

Tiina Koljonen, Sampo Soimakallio, Antti Asikainen,  
Timo Lanki, Perttu Anttila, Mikael Hildén, Juha Honka-  
tukia, Niko Karvosenoja, Antti Lehtilä, Heikki Lehtonen,  
Tomi J. Lindroos, Kristiina Regina, Olli Salminen, Mikko  
Savolahti, Riikka Siljander, Pekka Tiittanen

## **Energia- ja ilmastostrategian vaikutusarviot: Yhteenvetoraportti**

**Helmikuu 2017**

Valtioneuvoston selvitys-  
ja tutkimustoiminnan  
julkaisusarja 21/2017

## KUVAILULEHTI

<b>Julkaisija ja julkaisuaika</b>	Valtioneuvoston kanslia, 2.2.2017		
<b>Tekijät</b>	Tiina Koljonen, Sampo Soimakallio, Antti Asikainen, Timo Lanki, Perttu Anttila, Mikael Hildén, Juha Honka-tukia, Niko Karvosenoja, Antti Lehtilä, Heikki Lehtonen, Tomi J. Lindroos, Kristiina Regina, Olli Salminen, Mikko Savolahti, Riikka Siljander		
<b>Julkaisun nimi</b>	Energia ja ilmastostrategian vaikutusarviot: Yhteenvetoraportti		
<b>Julkaisusarjan nimi ja numero</b>	Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 21/2017		
<b>Asiasanat</b>	Energia- ja ilmastostrategia, hallitusohjelman tavoitteet		
<b>Julkaisun osat/ muut tuotetut versiot</b>	-		
<b>Julkaisuaika</b>	Helmikuu, 2017	<b>Sivuja</b> 106	<b>Kieli</b> Suomi

### Tiivistelmä

Kestävä energia- ja ilmastopolitiikka ja uusiutuvien rooli Suomessa (KEIJU) – tutkimushankkeessa on tarkasteltu laaja-alaisesti kansallisen energia- ja ilmastopolitiikan kokonaisuutta. Tässä raportissa on esitetty marraskuussa 2016 julkaistun Energia- ja ilmastostrategian vaikutusarvioiden tulokset. Keskeinen johtopäätös on, että esitetyillä linjauksilla Suomi voi saavuttaa sekä EU:n asettaman taakanjakosektorin päästövähennystavoitteen että kansalliset tavoitteet liittyen uusiutuvan energian lisäämiseen, fossiilisten polttoaineiden käytön vähentämiseen ja energian hankinnan omavaraisuuteen. Suurin osa kasvihuonekaasupäästöjen vähennystarpeesta taakanjakosektorilla toteutuisi liikenteessä, mutta päästöt vähenevät myös rakennusten erillislämmityksessä, maataloudessa, työkoneissa, F-kaasuissa ja jätehuollossa.

Energia- ja ilmastostrategian tavoitteiden toteuttaminen vaikuttaa taloudelliseen ohjaukseen ja kansantalouteen. Vaikutusarvioissa kansantuote supistuisi 2030 noin 0,6 prosenttiyksikköä verrattuna perusuraan. Työllisyys pienenesi noin 0,15 prosenttiyksikköä perusuraan verrattuna, mutta kasvaisi kuitenkin yli kolme prosenttia vuoteen 2015 verrattuna.

Uusiutuvista energialähteistä eniten kasvaa puuperäisen bioenergian käyttö. Suomen metsien hakkuumahdollisuudet riittävät sekä metsä- ja energiateollisuuden arvioidun raaka-ainetarpeen tyydyttämiseen. Metsät ovat jatkossakin nettohiilinielu, mutta jos kotimaisen runkopuun hakkuut kasvavat arvioiden mukaisesti noin 80 miljoonaan kuutiometriin vuodessa, ennakoidaan hiilinielun pienenevän vuosina 2021-2030 noin puoleen nykyisestä.

Strategia vaikuttaa ilmastonmuutokseen, luonnon monimuotoisuuteen ja vesistöihin, ilmansaasteisiin sekä ihmisten terveyteen ja elinoloihin. Linjausten käytännön toteutuksen yksityiskohdat ovat olennaisia. Ne määräävät mm. kuinka voimakkaasti puunkäytön lisäys vaikuttaa luonnon monimuotoisuuteen ja mitä hyvinvointivaikutuksia kohdistuu eri väestöryhmiin.

Tämä julkaisu on toteutettu osana valtioneuvoston vuoden 2016 selvitys- ja tutkimussuunnitelman toimeenpanoa (tietokaytoon.fi).

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

# PRESENTATIONSBLAD

<b>Utgivare &amp; utgivningsdatum</b>	Statsrådets kansli, 2.2.2017		
<b>Författare</b>	Tiina Koljonen, Sampo Soimakallio, Antti Asikainen, Timo Lanki, Perttu Anttila, Mikael Hildén, Juha Honka-tukia, Niko Karvosenoja, Antti Lehtilä, Heikki Lehtonen, Tomi J. Lindroos, Kristiina Regina, Olli Salminen, Mikko Savolahti, Riikka Siljander		
<b>Publikationens namn</b>	Konsekvensanalyser av energi- och klimatstrategi: Sammanfattande rapporten		
<b>Publikationsseriens namn och nummer</b>	Publikationsserie för statsrådets utrednings- och forskningsverksamhet 21/2017		
<b>Nyckelord</b>	Energi- och klimatstrategi, målsättningarna i regeringsprogrammet		
<b>Publikationens delar /andra producerade versioner</b>	-		
<b>Utgivningsdatum</b>	Januari, 2017	<b>Sidantal</b> 106	<b>Språk</b> Finska

## Sammandrag

Forskningsprojektet Hållbar energi- och klimatpolitik samt den förnybara energins roll i Finland (KEIJU) har gjort en övergripande analys av den nationella energi- och klimatpolitikhelheten. Denna rapport presenterar resultaten av konsekvensanalyser av energi- och klimatstrategin som publicerades i november 2016. En slutsats är att Finland med de riktlinjer som presenterats i strategin kan uppnå både EU:s utsläppsminskningmål för de sektorer som rörs av ansvarsfördelningsbeslutet och de nationella målen för att öka förnybar energi, minska användningen av fossila bränslen och öka energisjälvförsörjningen. Merparten av utsläppsminskningen i de sektorer som omfattas av ansvarsfördelningsbeslutet förverkligas i transportsektorn, men utsläppen minskar också i andra sektorerna av bördefördelning.

Genomförandet av energi- och klimatstrategins målsättningarna inverkar på den ekonomiska styrningen och på nationalekonomin. I konsekvensanalyserna beräknas bruttonationalprodukten år 2030 vara cirka 0,6 procentenheter lägre än i grundscenariot. Sysselsättningen beräknas vara cirka 0,15 procentenheter lägre än i grundscenariot, men skulle öka med mer än tre procent jämfört med 2015.

Av de förnyelsebara energikällorna ökar träbaserad bioenergi mest. Avverkningsmöjligheter i Finland är tillräckliga för att tillfredsställa både skogs- och energiindustrins beräknade behov. Skogarna kommer fortsättningsvis att vara en nettokolsänka, men om den inhemska avverkningen ökar till omkring 80 miljoner kubikmeter per år i enlighet med uppskattningarna så beräknas kolsänkan halveras under 2021-2030 jämfört med dagens läge.

Strategin påverkar klimatförändringen, den biologiska biodiversiteten och vattendragen, luftföroreningar och befolkningens hälsa och levnadsvillkor. Detaljerna i det praktiska genomförandet av linjedragningarna är väsentliga. De bestämmer bl.a. hur det ökade virkesuttaget påverkar biodiversiteten och vilka välfärdseffekterna blir för olika befolkningsgrupper.

Den här publikation är en del i genomförandet av statsrådets utrednings- och forskningsplan för 2016 ([tietokayttoon.fi/sv](http://tietokayttoon.fi/sv)).

De som producerar informationen ansvarar för innehållet i publikationen. Textinnehållet återspeglar inte nödvändigtvis statsrådets ståndpunkt

## DESCRIPTION

<b>Publisher and release date</b>	Prime Minister´s Office, 2.2.2017		
<b>Authors</b>	Tiina Koljonen, Sampo Soimakallio, Antti Asikainen, Timo Lanki, Perttu Anttila, Mikael Hildén, Juha Honka-tukia, Niko Karvosenoja, Antti Lehtilä, Heikki Lehtonen, Tomi J. Lindroos, Kristiina Regina, Olli Salminen, Mikko Savolahti, Riikka Siljander		
<b>Title of publication</b>	Impact assessments of the Energy and Climate strategy: The summary report		
<b>Name of series and number of publication</b>	Publications of the Government´s analysis, assessment and research activities 21/2017		
<b>Keywords</b>	Energy and climate strategy; Government Programme´s targets		
<b>Other parts of publication/ other produced versions</b>	-		
<b>Release date</b>	February, 2017	<b>Pages</b> 106	<b>Language</b> Finnish

### Abstract

The research project 'Sustainable Energy and Climate Policy and the Role of Renewables in Finland (KEIJU)' evaluated and assessed the Finnish energy and climate policy framework from a broad perspective. This report presents a summary of the impact assessments of the National Energy and Climate Strategy of November 2016. The conclusion is that the proposed actions and measures allows Finland to reach the targets of the EU Effort Sharing Decision and national targets to increase renewable energy, to reduce fossil fuel consumption, and to increase self-sufficiency of energy consumption. The largest share of additional emission reductions would be achieved in the transport sector followed by reduction of emissions from oil heating of buildings, work machinery, waste management, F-gases and agriculture.

The realization of the targets of the energy and climate strategy affects economic steering and the national economy. According to the impact assessments the gross domestic product would be 0.6 percentage units lower than the baseline in 2030. The employment would grow over 3 percent by 2030 compared to 2015, but would remain 0.15 percentage points lower than in the baseline.

Forest biomass is the largest growing renewable energy source from 2015 to 2030. Existing felling potential in the Finnish forests will be large enough to supply the estimated needs of both forest- and energy industries. Finnish forests will remain a carbon sink, but the carbon sink will be reduce to half of the current levels if the logging increases to an estimated 80 million cubic meters by 2030.

The strategy will affect climate change, nature's biodiversity and water basins, air pollution, health and living conditions. The details of the practical implementation are essential. They will influence how the increased wood harvesting affects biodiversity and what welfare impacts different population groups will experience.


This publication is part of the implementation of the Government Plan for Analysis, Assessment and Research for 2016 ([tietokaytoon.fi/en](http://tietokaytoon.fi/en)).

The content is the responsibility of the producers of the information and does not necessarily represent the view of the Government.

# SISÄLLYS

<b>1. Johdanto</b> .....	<b>8</b>
1.1 Juha Sipilän hallituksen energiatavoitteet .....	9
1.2 Kuvaus taustatutkimuksista ja -aineistosta.....	10
1.3 Tutkimusmenetelmät ja laskentamallit .....	11
Yhdyskuntarakenne, rakennukset .....	11
Liikenne.....	11
Metsien kehitysarviot .....	12
Maatalous .....	12
Energiajärjestelmämallinnus.....	13
Kansantalouden mallinnus.....	14
Suunnitelmien ja ohjelmien ympäristövaikutusten arviointi (SOVA).....	15
<b>2. Vaikutusarvioiden taustaoletukset</b> .....	<b>17</b>
2.1 Perusskenaarion lähtökohdat (WEM).....	17
2.2 Taakanjakosektorin 2030-tavoitteen tarkempi määrittely.....	18
2.3 Poliittiskenaarion (WAM) kuvaus .....	19
2.4 Muut tarkemmat lähtötiedot sektoreittain .....	21
Rakennukset ja rakentaminen .....	21
Liikenne ja työkoneet .....	22
Metsien kehitys .....	23
Metsähaketaseen laskenta .....	24
Maatalous .....	27
Maataloussektorin lisätoimien kustannukset ja rajoitukset.....	29
<b>3. Toimet ja niiden vaikutukset energiajärjestelmään</b> .....	<b>31</b>
3.1 Energiajärjestelmämallinnuksessa kuvatut toimet.....	31
3.2 Primaarienergian hankinta.....	32
3.3 Sähköenergian hankinta .....	34
3.4 Energian loppukulutus .....	35
3.5 Kasviuonekaasujen päästöt.....	38
3.6 Puun hankinta ja käyttö .....	40
<b>4. Hallitusohjelman tavoitteiden saavuttaminen</b> .....	<b>43</b>
4.1 Kasviuonekaasupäästöjen vähentäminen.....	43

4.2	Uusiutuvan energian käytön lisääminen.....	45
4.3	Liikenteen uusiutuvan energian lisääminen .....	47
4.4	Energian hankinnan omavaraisuuden lisääminen .....	48
4.5	Tuontiöljyn ja kivihiilen käytön vähentäminen .....	49
	Tuontiöljyn energiakäytön puolittaminen .....	49
	Kivihiilen energiakäytöstä luopuminen .....	49
<b>5.</b>	<b>Vaikutukset puun riittävyyteen ja nieluihin.....</b>	<b>50</b>
5.1	Metsävarojen kehitys.....	50
5.2	Arviot metsien hiilinielun ja monimuotoisuuden kehittymisestä.....	53
5.3	Metsähaketase vuoteen 2030 .....	55
<b>6.</b>	<b>Valtion- ja kansantaloudelliset vaikutukset .....</b>	<b>60</b>
6.1	WEM-skenaario .....	60
6.2	WAM-skenaario .....	63
<b>7.</b>	<b>Ympäristövaikutusten (SOVA) keskeiset tulokset .....</b>	<b>71</b>
7.1	Vaikutukset kasvihuonekaasujen päästöihin .....	72
7.2	Metsätalous ilmastonmuutoksen hillinnässä .....	74
7.3	Kasvihuonekaasujen nettopäästöjen kehitys Suomessa .....	76
7.4	Vaikutukset resurssitehokkuuteen.....	78
	Materiaalitehokkuus.....	79
	Mineraalivarantojen köyhtyminen .....	79
	Elinkaariset kasvihuonekaasupäästöt .....	80
7.5	Metsätalouden vaikutukset luonnon monimuotoisuuteen .....	80
7.6	Metsätalouden vesistövaikutukset.....	82
7.7	Vaikutukset ilmanlaatuun.....	83
7.8	Yhdyskuntarakenteen muutosten vaikutukset.....	89
7.9	Muut ilmastotavoitteiden saavuttamisen keskeiset vaikutukset elinoloihin .....	92
7.10	Strategian ympäristövaikutusten seuranta .....	93
<b>8.</b>	<b>Johtopäätökset .....</b>	<b>95</b>
	Kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen .....	95
	Uusiutuvan energian käytön lisääminen .....	95
	Liikenteen uusiutuvan energian lisääminen.....	96
	Energian hankinnan omavaraisuuden lisääminen.....	96
	Tuontiöljyn energiakäytön puolittaminen .....	96
	Kivihiilen energiakäytöstä luopuminen .....	97
	Vaikutukset puun riittävyyteen .....	97



Vaikutukset nieluihin .....	98
Vaikutukset valtion- ja kansantalouteen .....	98
Ympäristövaikutusten (SOVA) keskeiset tulokset .....	99
Vaikutusarvioiden epävarmuuksia ja lisätutkimustarpeet .....	99
<b>LÄHTEITÄ JA TAUSTA-AINEISTOJA .....</b>	<b>101</b>

# 1. JOHDANTO

TIINA KOLJONEN, VTT

Kestävä energia- ja ilmastopolitiikka ja uusiutuvien rooli Suomessa (KEIJU) –hankkeen tavoitteena on tarkastella laaja-alaisesti energia- ja ilmastopolitiikan kokonaisuutta hyödyntäen aiempia tutkimuksia ja selvityksiä, joiden keskeisistä johtopäätöksistä muodostetaan synteesi päätöksenteon kannalta käyttökelpoisessa muodossa. Hankkeessa tuotetaan kokonaisvaltainen selvitys Suomen mahdollisuuksista saavuttaa kustannustehokkaasti ja johdonmukaisesti hallitusohjelman, ilmastolain ja Euroopan Unionin (EU) asettamat energia- ja ilmastotavoitteet. Hanke on toteutettu yhteistyössä Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:n, Suomen ympäristökeskuksen (Syke), Luonnonvarakeskuksen (Luke), Terveystieteiden tutkimuskeskuksen (THL) ja Helsingin yliopiston (HY) kanssa. Kokonaisuudesta on vastannut VTT.

Tässä raportissa on esitetty kansallisen energia- ja ilmastostrategian<sup>1</sup> vaikutusarviot, joissa huomioidaan pääministeri Juha Sipilän hallitusohjelmassa sekä EU:ssa sovitut energia- ja ilmastotavoitteet. Vaikutusarvioiden lähtökohtana on perusskenaario, jossa on huomioitu päätetyt toimet ja politiikat. Energia- ja ilmastostrategiassa ja myös tässä raportissa perusskenaariota kutsutaan WEM-skenaarioksi (With Existing Measures). Vaikutusarvioissa WEM-skenaariota verrataan politiikkaskenaarioon, joka on nimetty energia- ja ilmastostrategiassa WAM-skenaarioksi (With Additional Measures). Tässä raportissa esitetyissä vaikutusarvioissa on mukana sekä laskennallisia että laadullisia arvioita seuraavista kokonaisuuksista:

- Eri energia- ja päästösektorien kehitykset toimialoittain ml. teollisuus, energiantuotanto, liikenne, asuminen, palvelut, jättesektori, maa- ja metsätalous sekä työkoneet.
- Koko energiatalouden ja -järjestelmän kehitys Suomessa, ml. kasvihuonekaasu (KHK) -päästöjen vähentämisen kustannukset ja päästövähennyspotentiaalit.
- Maankäyttö ja sen muutokset, metsänielujen kehitys (l. LULUCF).
- Kansantalouden kehitys.
- Vaikutukset ympäristöön ja terveyteen (l. SOVA).

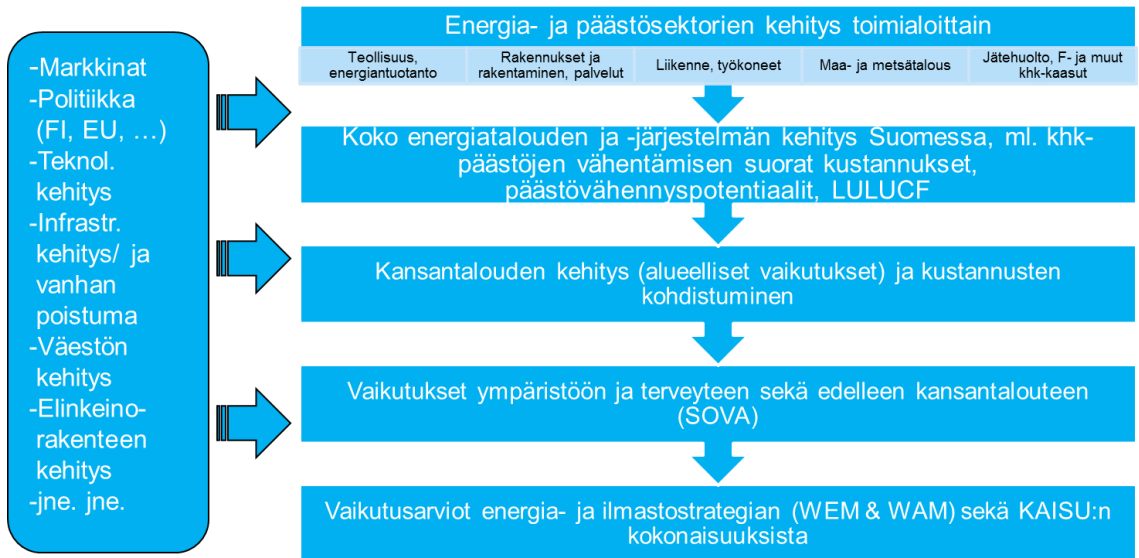
Energia- ja ilmastostrategian kanssa rinnakkain on laadittu keskipitkän aikavälin ilmastosuunnitelmaa (KAISU), joka valmistuu keväällä 2017. KAISU koskee päästökaupan ulkopuolisen, eli taakanjakosektorin, KHK-päästöjä ja siinä määritetään tarkemmin ne toimet, joilla päästään sekä EU:n Suomelle asettamaan taakanjakosektorin päästövähennystavoitteeseen että hallitusohjelmassa linjattuihin tavoitteisiin. KAISU:n vaikutusarvioista laaditaan erillinen KEIJU-hankkeen raportti, jossa keskitytään erityisesti eri päästövähennystoimien kustannustehokkuuden arviointiin. Tässä raportissa esitetyt taakanjakosektorin toimet perustuvat kuitenkin pitkälti KAISU:n tueksi tehtyihin selvityksiin.

Alla (Kuva 1) on esitetty havainnekuva KEIJU-hankkeen sisällöstä liittyen sekä energia- ja ilmastostrategian että KAISU:n vaikutusarvioihin.

<sup>1</sup> VNK 2016. Valtioneuvoston selonteko kansallisesta energia- ja ilmastostrategiasta vuoteen 2030.



Kuva 1. KEIJU-hankkeen sisältö



## 1.1 Juha Sipilän hallituksen energiavoitteet

Pääministeri Sipilän hallitusohjelma kärkihanke ”Hiilettömään, puhtaaseen ja uusiutuvaan energiaan kustannustehokkaasti” sisältää useita hallituksen energia- ja ilmastolinjauksia. Alla on esitetty ne linjaukset, joita on erityisesti tarkasteltu tämän raportin energia- ja ilmastostrategian vaikutusarvioissa:

- Päästöttömän, uusiutuvan energian käyttöä lisätään kestävästi niin, että sen osuus 2020-luvulla nousee yli 50 prosenttiin ja omavaraisuus yli 55 prosenttiin sisältäen mm. turpeen. Tämä perustuu erityisesti bioenergian ja muun päästöttömän uusiutuvan tarjonnan lisäämiseen. Suurimmat mahdollisuudet saavutetaan nestemäisten biopolttoaineiden ja biokaasun tuotannon ja teknologian kasvattamisessa.
- Uusiutuvan energian lisäämisen laskeva ja EU:n suuntaviivat täyttävä tuki perustetaan teknologianeutraalisuuteen ja taloudelliseen edullisuusjärjestykseen.
- Luovutaan hiilen käytöstä energiantuotannossa ja puolitetaan tuontiöljyn käyttö kotimaan tarpeisiin 2020-luvun aikana.
- Nostetaan liikenteen uusiutuvien polttoaineiden osuus vuoteen 2030-mennessä 40 prosenttiin.
- Kannustetaan tuontiöljyn korvaamiseen lämmityksessä päästöttömillä uusiutuvilla vaihtoehdoilla.

Raportissa esitetyissä vaikutusarvioissa osa tavoitteista on annettuja lähtötietoja perustuen energia- ja ilmastostrategian<sup>2</sup> linjauksiin, kuten uusiutuvien biopolttoaineiden käyttö liikenteessä ja lämmityksessä sekä hiilen käytöstä luopuminen. Toisaalta vaikutusarvioiden tulosten perusteella on voitu arvioida, päästääkö esitettyjen linjausten avulla muihin tavoitteisiin, kuten uusiutuvalle energialle ja energianhankinnan omavaraisuudelle asetettuihin tavoitteisiin vuodelle 2030.

<sup>2</sup> VNK (2016). Valtioneuvoston selonteko kansallisesta energia- ja ilmastostrategiasta vuoteen 2030.

## 1.2 Kuvaus taustatutkimuksista ja -aineistosta

Suomen ja EU:n pitkän aikavälin tavoitteena on hiilineutraali yhteiskunta. VTT koordinoi vuosina 2012-2014 Tekes-rahoitteista Low Carbon Finland 2050 platform -hanketta, jonka tuottamia skenaario- ja muita analyysejä hyödynnettiin Suomen vähähiilietiekartan muodostamisessa<sup>3</sup>. Vuosien 2014-15 aikana on valmistunut VTT:n, VATT:n, Luke:n ja Syke:n toimesta useita selvityksiä ja vaikutusarvioita liittyen EU:n esittämään vuoden 2030 ilmasto- ja energiapakettiin<sup>4,5,6,7</sup>. Näissä hankkeissa on arvioitu EU-paketin vaikutuksia energia- ja kansantalouteen sekä KHK-päästöihin koko Suomen näkökulmasta tai sektorikohtaisesti, jossa erityinen huomio on kohdistunut liikenteen KHK-päästöjen vähentämiseen. Lisäksi on tehty vertailututkimusta muiden EU-maiden välillä ja liittyen komission tekemiin laskennallisiin vaikutusarvioihin<sup>8</sup>, selvitetty ja tarkennettu erityisesti päästökaupan ulkopuolisen sektorin, eli taakanjakosektorin, KHK-päästöjä ja päästövähennyspotentiaaleja sekä tehty alustava selvitys LULUCF-sektorin (Land Use, Land Use Change and Forestry) vaihtoehtoisista käsittelyistä 2030-politiikkakokonaisuudessa<sup>9</sup>.

Taakanjakosektorin osalta on tehty useita selvityksiä, joissa on arvioitu kansallisten toimien vaikutuksia. Rakennuskannan energiankulutuksen osalta on tehty tarkka analyysi eri toimenpiteiden vaikutuksista jo vuoden 2013 energia- ja ilmastostrategian päivityksen yhteydessä<sup>10,11</sup>. Ilmasto- ja energiapolitiikan vaikutuksia maatalouteen on tarkasteltu useissa hankkeissa vuonna 2015 hillintävaihtoehtojen ja -skenaarioiden näkökulmasta<sup>12,13,14</sup>. Näissä on arvioitu päästövähennyskeinoja ja -potentiaaleja maatalouden, ruoan kulutuksen ja maaseudun vaihtoehtoisissa skenaarioissa sekä vaikutuksia maataloudelle, kuluttajille, maaseudulle mukaan lukien vaikutukset tilatasolla ja toimien hyväksyttävyyden.

Sektorikohtaisista tarkasteluista vähäisimmälle huomiolle on jäänyt teollisuus, lukuun ottamatta metsäteollisuuden kehitysarviot. Erityisesti taakanjakosektorin teollisuuden kehityksestä ja päästövähennyspotentiaalista ei ole kattavaa selvitystä. Myöskään työkonien osalta, joka on luokiteltu omaksi KHK-päästösektoriksi, ei ole tehty aiempia selvityksiä. Molempien osalta on tehty pieni esiselvitys KAISU:n puitteissa, mutta selvästi jatkotarkasteluja tarvitaan. Energiatohokkuutta on puolestaan tarkasteltu useissa sektorikohtaisissa selvityksissä, mutta kokonaisvaltaista ja eri energiankäyttösektoreiden ylittävää ja tulevaisuuden kehitystä ar-

<sup>3</sup> Koljonen, T., Sipilä, L., Lehtilä, A. et al. (2014). Low Carbon Finland 2050 -platform: vähähiilipolkujen kiintopisteet ja virstanpylväät. Yhteenveto hankkeen tuloksista ja johtopäätöksistä. VTT TECHNOLOGY 167.

<sup>4</sup> Koljonen, Tiina; Honkatukia, Juha; Pursiheimo, Esa; Lehtilä, Antti; Sipilä, Kai; Nylund, Nils-Olof; Lindroos, Tomi J. EU:n 2030 -ilmasto- ja energiapaketin vaikutukset Suomen energiajärjestelmään ja kansantalouteen. Taustaraportti 2014. VTT, Espoo. 66 s. + liitt. 2 s. VTT Technology : 170.

<sup>5</sup> Lindroos, T. & Ekholm, T. (2016). Taakanjakosektorin päästökauppa ja päästövähennystoimet vuoteen 2030. VTT Technology 245.

<sup>6</sup> Nylund, N.-O., Tamminen, S., Sipilä, K., Laurikko, J., Sipilä, E., Mäkelä, K., Hannula, I. & Honkatukia, J. (2015). Tieliikenteen 40 %n hiilidioksidipäästöjen vähentäminen vuoteen 2030: Käyttövoimavaihtoehdot ja niiden kansantaloudelliset vaikutukset. VTT, tutkimusraportti VTT-R-00752-15.

<sup>7</sup> Tuominen, A., Tervonen, J., Järvi, T., Mäkelä, K., Liimatainen, H., Nykänen, L., & Rehunen, A. 2015. Liikenteen energiatehokkuustoimenpiteet osana EU:n 2030 ilmasto- ja energiavoitteiden saavuttamista: vaikutukset, kustannukset ja työnjako. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja: 14/2015. 60 s

<sup>8</sup> Lindroos, T., Koljonen, T., Ekholm, T., & Björnberg, A. (2015). EU:n 2030 ilmasto- ja energiapaketin vaikutusarvioiden yhteenveto ja vertailu. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja: 12/2015. Valtioneuvosto, 44 s.

<sup>9</sup> Ekholm, Tommi; Honkatukia, Juha; Koljonen, Tiina; Laturi, Jani; Lintunen, Jussi; Pohjola, Johanna; Uusivuori, Jussi 2015. EU:n 2030 ilmasto- ja energiakesitys - arvio LULUCF-sektorin sisällyttämisen mahdollisuuksista ja ristiriidoista Suomelle. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja: 6/2015.

<sup>10</sup> Airaksinen, M. & Vainio T. (2012). Rakennuskannan korjaamisen ja kunnossapidon energiatehokkuustoimenpiteiden vaikuttavuuden arviointi energiansäästön, CO<sub>2</sub>-ekv-päästöjen, kustannuksien ja kannattavuuden näkökulmista. Asiakasraportti VTT\_CR\_00426-12. VTT, Espoo.

<sup>11</sup> Pursiheimo, Esa; Koljonen, Tiina; Honkatukia, Juha; Lehtilä, Antti; Airaksinen, Miimu; Flyktman, Martti; Sipilä, Kai; Helynen, Satu. (2013). Tarkennetun perusskenaarioiden vaikutukset Suomen energiajärjestelmään ja kansantalouteen. Energia- ja ilmastostrategian päivityksen taustaraportti, VTT, Espoo, 41 s

<sup>12</sup> Rikkinen, P. (toim.) (2015). Maatalouden energia- ja ilmastostrategian suuntia vuoteen 2030. Hillintäkeinojen analyysi tilatason vaikutuksista ja keinojen hyväksyttävyydestä. Helsinki, Luonnonvarakeskus. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 35/2015. 107 s.

<sup>13</sup> Rikkinen, P. & Rintamäki H. (toim.) (2015). Ilmastonmuutoksen hillintävaihtoehtojen ja -skenaarioiden tarkastelu maa- ja elintarviketaloudessa vuoteen 2030. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 12/2015.

<sup>14</sup> Uusivuori, J., Hildén, M., Lehtonen, H., Rikkinen, P., Makkonen, M. (toim.) (2015). Poliittikka ja luonnonvarat. Helsinki, Luonnonvarakeskus. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 20/2015. 57 s.

vioivaa tietoa on hyvin vähän. Tuorein selvitys lienee Suomen vähähiilitiekartan taustaselvitys vuodelta 2014<sup>15</sup>.

### 1.3 Tutkimusmenetelmät ja laskentamallit

#### Yhdyskuntarakenne, rakennukset

*Juhani Heljo ja Maija Mattinen, Syke*

Tämän vaikutusarvion oletukset rakennuskannan kehityksestä ja poistumasta perustuvat arvioihin, joita Suomen Ympäristökeskus on tehnyt yhteistyössä Tampereen teknillisen yliopiston kanssa<sup>16,17</sup>. Näissä arvioissa on tuotettu rakennuskannan tilavuusennuste rakennustyyppittäin. Rakennuskanta on jaettu asuin- ja palvelurakennuksiin, joista asuinrakennukset on edelleen jaettu pientaloihin, rivi- ja ketjutaloihin sekä asuinkerrostaloihin. Palvelurakennuksiin sisältyvät liike-, toimisto-, kokoontumis- ja opetusrakennukset, sekä liikenteen, hoitoalan ja pelastustoimen rakennukset.

Rakennuskannan kokonaistarpeen kehitystä on arvioitu väestökehityksen ja asumisväljyyden perusteella. Asuinrakennusten tarve on jaettu eri rakennustyyppisiin tilastokeskuksen vuosien 2010-2014 keskimääräisen tuotantotrendin mukaisesti. Palvelurakennusten tarve on laskettu siten, että asuin- ja palvelurakennusten suhde noudattaa vuoden 2014 rakennuskantatietoja. Vuosittaiseksi rakennuskannan poistumaksi on oletettu 0,3 % asuinrakennusten ja 1 % palvelurakennuksen osalta. Uudistuotannon määrä on laskettu tarpeen lisäyksen ja poistuman summana.

#### Liikenne

*Juhani Laurikko ja Kari Mäkelä, VTT*

Liikenteen kehitystä on arvioitu VTT:n LIPASTO-mallilla, joka on nimitys viiden pääalamallin kokonaisuudelle. Alamalleja ovat ALIISA autokanta-, LIISA tieliikenne-, RAILI rautatieliikenne- ja MEERI-vesiliikenne sekä työkoneiden malli TYKO. Tarkempi kuvaus malleista on esitetty LIPASTO:n www-sivuilla<sup>18</sup>, jota ylläpitää VTT.

ALIISA-autokantamallin laskenta perustuu arvioihin autokannan ja liikennesuoritteiden kehityksistä, joita on energia- ja ilmastostrategian vaikutusarvioissa hyödynnetty TIMES-VTT-mallin lähtötietoina. ALIISA-autokantamalliin on määritetty 40 autotyyppiä (tekniikoita) ja 7 eri käyttövoimaa, joten se soveltuu hyvin myös pitkän aikavälin kehityksen arviointiin. Autokantojen automäärät määräytyvät autokannan tilastojen perusteella sekä ennusteiden mukaan huomioiden myynti ja vanhan autokannan poistuma. Kullekin autotyypille ja käyttövoimalle lasketaan vuosimallikohtainen suorite ja suorite puolestaan perustuu Liikenneviraston arvioon vuodelta 2014. Henkilöautojen osalta Liikenneviraston ennuste on kuitenkin osoittautunut liian korkeaksi, jonka vuoksi sitä on korjattu alaspäin (ks. tarkemmin LIPASTO:n www-sivut<sup>19</sup>).

<sup>15</sup> Koreneff, Göran; Grandell, L.; Lehtilä, Antti; Koljonen, Tiina; Nylund, Nils-Olof (2014). Energiatoteutuksen kehittyminen Suomessa. Arviot menneisyydestä ja tulevaisuudesta. VTT, Espoo. 70 s. + liitt. 16 s. VTT Technology:

<sup>16</sup> Heljo, J., Vihola, J. (2012). Energiansäästömahdollisuudet rakennuskannan korjaustoiminnassa. Tampere, Tampereen teknillinen yliopisto. 84 s

<sup>17</sup> Mattinen M., Heljo J. & Savolahti M. (2016). Rakennusten energiankulutuksen perusskenaario Suomessa 2015–2050. Suomen ympäristökeskus 10.6.2016.

<sup>18</sup> VTT (2016). LIPASTO liikenteen päästöt. [http://www.lipasto.vtt.fi/lipasto\\_kuvaus.htm](http://www.lipasto.vtt.fi/lipasto_kuvaus.htm)

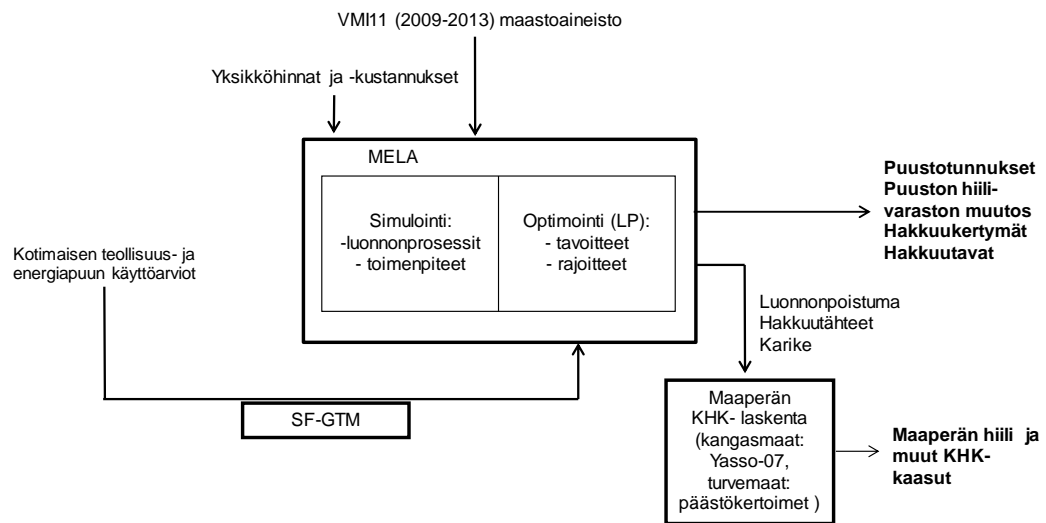
<sup>19</sup> VTT (2016). LIPASTO liikenteen päästöt. [http://www.lipasto.vtt.fi/lipasto\\_kuvaus.htm](http://www.lipasto.vtt.fi/lipasto_kuvaus.htm)

## Metsien kehitysarviot

Olli Salminen, Maaret Kallio ja Risto Sievänen, Luke

Energia ja ilmastostrategian taustaselvityksissä<sup>20,21</sup> ennakoitun kotimaisen puunkäytön vaikutuksia Suomen metsävarojen ja metsien kasvihuonekaasutaseen kehitykseen arvioitiin Luonnonvarakeskuksessa (Luke) SF-GTM, MELA ja Yasso07 ohjelmistoihin perustuvilla laskelmilla<sup>22</sup> (Kuva 2). SF-GTM<sup>23</sup> mallin avulla valtakunnallinen puunkäyttöarvio muutettiin alueelliseksi hakkuukertymätavoitteiksi ja puunkäytön mukainen metsävarojen kehitys simuloitiin MELA<sup>24</sup> ohjelmistolla. MELA simuloinnin tuloksena saatiin arviot muun muassa hakkuukertymästä ja puuston hiilivaraston kehityksestä.

### Kuva 2. Metsävarojen ja metsien hiilinielujen kehityksen laskentakehikko



## Maatalous

Heikki Lehtonen ja Kristiina Regina, Luke

Maatalouden päästöarvioiden taustana on Dremfia –sektorimallilla<sup>25</sup> tehdyt mallinnukset eläinmääristä ja pellonkäytöstä 2015-2030. Näitä tietoja on käytetty, kun arvioidaan päästöt tuleville vuosille käyttäen kasvihuonekaasuinventaarion menetelmiä<sup>26</sup>. Päästövähennystoimien vaikutuksia arvioidessa on käytetty IPCC:n oletuspäästökertoimia aina, kun mahdollista. Biokaasun fossiilisia polttoaineita korvaava vaikutus on laskettu kevyen polttoöljyn päästökeroita käyttäen<sup>27</sup>.

<sup>20</sup> Pöyry Management Consulting (2016). Suomen metsäteollisuus 2015–2035. Loppuraportti X304203 19.1.2016. [https://www.tem.fi/files/44609/2016\\_Poyry\\_Suomen\\_metsateollisuus\\_2015-2035.pdf](https://www.tem.fi/files/44609/2016_Poyry_Suomen_metsateollisuus_2015-2035.pdf)

<sup>21</sup> Pöyry Management Consulting Oy. (2017). Metsäbiomassan kustannustehokas käyttö. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja xx/2017 (painossa).

<sup>22</sup> Lehtonen, A., Salminen, O., Kallio, M., Tuomainen, T. & Sievänen, R. (2016). Skenaariolaskelmiin perustuva puuston ja metsien kasvihuonekaasutaseen kehitys vuoteen 2045 : Selvitys maa- ja metsätalousministeriölle vuoden 2016 energia- ja ilmastostrategian valmistelua varten. Luke luonnonvara ja biotalouden tutkimus 36/2016. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-264-5>

<sup>23</sup> Kallio, A.M.I. (2010). Accounting for uncertainty in a forest sector model using Monte Carlo simulation. *Forest Policy and Economics* 12 (1), 9-16, <http://dx.doi.org/10.1016/j.forpol.2009.09.014>.

<sup>24</sup> Redsvén, V., Hirvelä, H., Härkönen, K., Salminen, O. & Siitonen, M. (2013). MELA2012 Reference Manual, 2<sup>nd</sup> ed. The Finnish Forest Research Institute. [http://mela2.metla.fi/mela/julkaisut/oppaat/mela2012\\_2nd\\_ed.pdf](http://mela2.metla.fi/mela/julkaisut/oppaat/mela2012_2nd_ed.pdf).

<sup>25</sup> Lehtonen, H. 2001. Principles, structure and application of dynamic regional sector model of Finnish agriculture. Academic dissertation. Systems Analysis Laboratory, Helsinki University of Technology. Publisher: Agrifood Research Finland, Economic Research (MTTL). Publications 98. Helsinki. 265 pages. <http://lib.tkk.fi/Diss/2001/isbn9512256894/>

<sup>26</sup> Tilastokeskus (2016). Greenhouse gas emissions in Finland 1990-2014. National Inventory Report under the UNFCCC and the Kyoto Protocol. 15 June 2016.

<sup>27</sup> Tilastokeskus (2016). Greenhouse gas emissions in Finland 1990-2014. National Inventory Report under the UNFCCC and the Kyoto Protocol. 15 June 2016.

## Energiajärjestelmämallinnus

Antti Lehtilä, VTT

Työn keskeinen työkalu on VTT:llä kehitetty laaja järjestelmämalli TIMES-VTT<sup>28,29</sup>, joka kattaa koko maailman energian tuotannon ja kulutuksen sekä kasvihuonekaasupäästöt ja niiden vähennysteknologiat. Tarkemmin mallissa on kuvattu Suomen, Pohjoismaiden ja muun Euroopan energiajärjestelmät. Menetelmällisesti malli on niin sanottu osittaistasapainomalli, joka sisältää yksityiskohtaisen kuvauksen sekä nykyjärjestelmän että tulevaisuuden investointivaihtoehtojen mukaisista energian tuotanto- ja käyttöteknologioista.

TIMES-VTT-mallin laaja tietokanta sisältää yksityiskohtaisen kuvauksen nykyisestä energiajärjestelmästä mukaan lukien energiantuotanto ja -siirtojärjestelmä, rakennuskanta, asumisen ja palvelujen energian käyttökohteet, auto- ja muu liikennevälinekanta, energiaintensiivisten teollisuustuotteiden tuotantoprosessit ja -laitokset, muun teollisuuden energian loppukäyttökohteet sekä maa- ja metsätalouden energiakäyttö. Mallin tietokanta sisältää myös arviot nykyisen energiajärjestelmän poistumasta, kuten energiantuotantolaitosten, rakennusten ja autokannan poistumasta sekä toisaalta uusien teknologioiden kehityksistä.

Energiajärjestelmämallin tuloksena saadaan sellaisen hankinta- ja loppukäyttöjärjestelmän kehitys, jolla hyötyenergian kysyntä voidaan tyydyttää mahdollisimman kustannustehokkaasti, ottaen huomioon muun muassa verot, tuet ja investointien tuottovaatimukset. Lisäksi mallissa voidaan asettaa järjestelmän kehitykselle monenlaisia rajoitteita. Esimerkiksi useille energian tuotantomuodoille on asetettu tuotannon, kapasiteetin tai markkinaosuuden ylä- tai alarajoja, joita ratkaisun täytyy noudattaa. Taakanjakosektorin päästöille asetettu päästökatto on myös esimerkki työssä mallinnetussa WAM-skenaariossa asetetuista rajoitteista. Energian kulutusta ja tuotantoa tarkastellaan mallissa samoin periaattein, jolloin energian käytön tehostusmahdollisuuksien ja tuotantoinvestointien keskinäinen vuorovaikutus tulee otetuksi huomioon.

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

- talouden eri sektoreiden kehitys eli teollisuussektoreiden, kotitalouksien, palvelujen, maa- ja metsätalouden ja kaivannaisteollisuuden kehitys;
- energiaintensiivisen teollisuuden toimialojen eri tuotteiden tuotannon kehitys;
- nykyinen auto- ja muu liikennevälinekanta sekä liikkumis- ja kuljetustarpeiden kehitys liikennemuodoittain;
- nykyinen rakennuskanta sekä asuinpinta-alan kehitys rakennustyypeittäin;
- nykyiset energia- ja ilmastopoliittiset ohjaukset ml. energia- ja päästöverot, tuet, päätetyt energian käytön tehostamista koskevat määräykset, säädökset jne.;
- nykyisen energiajärjestelmän laitos- ja laitekannan laskennallinen poistuma ja käytettävissä olevien teknologiavaihtoehtojen oletettu kehitys kaikilla sektoreilla sekä teknisten parametrien että kustannusten osalta.

TIMES-VTT-mallin lähtövuosi 2010 on kalibroitu kaikkien maiden osalta IEA:n (International Energy Agency) yksityiskohtaisiin energiataseisiin. Ne perustuvat Tilastokeskuksen IEA:lle

<sup>28</sup> Loulou, R. & Labriet, M. (2007). ETSAP-TIAM: the TIMES integrated assessment model. Part I: Model structure. *Computational Management Science special issue on Energy and Environment* 5 (1–2), 7–40.

<sup>29</sup> Loulou, R. Remme, U., Kanudia, A., Lehtilä, A. & Goldstein, G. (2016). Documentation for the TIMES Model. Energy Technology Systems Analysis Programme (ETSAP). <http://iea-etsap.org/index.php/documentation>

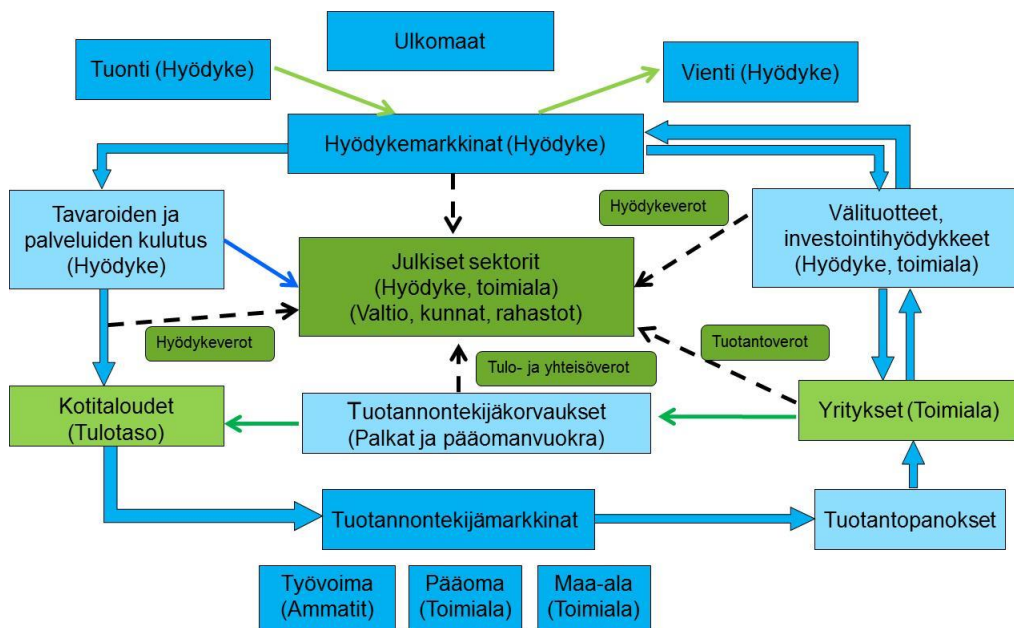
toimittamiin tilastoihin, mutta ovat laskentatavaltaan hieman kansallisesta energiatilastoinnista poikkeavia.

## Kansantalouden mallinnus

Juha Honkatukia, VTT

Energia- ja ilmastopoliittisten toimien vaikutuksia Suomen kansantalouteen arvioitiin kansantaloutta kuvaavan laskennallisen tasapainomallin avulla. Tasapainomalli kuvaa taloutta lähtökohtanaan kotitalouksien, yritysten ja julkisten sektoreiden päätökset. Kotitalouksien keskeisiä päätöksiä ovat kulutus ja säästämispäätökset sekä työn tarjonta. Yritykset päättävät tuotantopanosten – työn, pääoman ja väli tuotteiden – käytöstä sekä investoinneista. Julkisten sektoreiden toimintaa kuvaavat ennen kaikkea erilaiset verotuksen rakenteet sekä tulonsiirrot kotitalouksille ja toisille julkisille toimijoille. Ulkomaita tarkastellaan lähinnä viennin ja tuonnin näkökulmasta, mutta lisäksi mallissa seurataan kansantalouden ulkoisen velan ja varallisuuden kehittymistä. Pitkän aikavälin tarkastelussa ulkoinen tasapaino nousee jopa määrääväksi. Kysynnän ja tarjonnan tasapaino toteutuu hintamekanismien kautta. Mallin rakennetta havainnollistaa kuva 3.

Kuva 3. Kansantaloutta kuvaavan tasapainomallin rakenne



Tasapainomallein tehtävä vaikutusarviointi vertaa politiikkatoimenpiteiden (WAM-skenaario) vaikutuksia talouden kehityksen perusskenaarioon (WEM-skenaario), jossa tulevaisuutta peilataan nykykäsitykseen maailmanmarkkinoiden ja kotimaisen talouden kehityksestä. Kehitykseen vaikuttavasta politiikasta tehdään yleensä ”business-as-usual”-oletus eli jo tehdyt politiikkapäätökset otetaan huomioon. Usein tämäkin vaatii tulevaisuudessa toteutettavan politiikan vaikutusten huomioimista. Suomen talouden kehityksen kannalta tekeillä on useita uudistuksia, jotka vaikuttavat merkittävästi talouden kasvupotentiaaliin lähivuosina. Honkatukia ja Lehmus<sup>30</sup> ovat arvioineet hallituksen keskeisten rakenneuudistusten vaikutuksia. SO-TE-uudistus on yksi tärkeimmistä, mutta sen toteutuksesta ei aiemmin ole juurikaan ollut käytettävissä tarkempia tietoja.

<sup>30</sup> Honkatukia, J. & Lehmus, M. (2016). Suomen talous 2015-2030: Laskelmia politiikkatoimien vaikutuksista. VATT tutkimukset 183. <http://vatt.fi/documents/2956369/3011957/t183.pdf>

## Suunnitelmien ja ohjelmien ympäristövaikutusten arviointi (SOVA)

*Sampo Soimakallio, Syke*

Energia- ja ilmastostrategia kuuluu SOVA-lain (200/2005) yleisen soveltamisalan piiriin. Lain mukaan viranomaisen tulee selvittää ja arvioida valmistelemiensä suunnitelmien ja ohjelmien ympäristövaikutukset (SOVA), jos niiden toteuttaminen voi vaikuttaa merkittävästi esimerkiksi ihmiseen, luontoon ja sen monimuotoisuuteen, rakennettuun ympäristöön, maisemaan tai luonnonvaroihin (§ 3).

Ympäristövaikutusten arviointi käynnistettiin osana energia- ja ilmastostrategian valmistelua, mutta toimenpiteiden ja linjausten yksityiskohtainen tarkastelu oli mahdollista vasta strategian valmistumisen jälkeen. Arviointi perustuu siten hallituksen 24.11.2016 hyväksymään ja eduskunnalle selontekona luovutettuun strategiaan<sup>31</sup> sekä VTT:n marraskuussa 2016 laatimiin skenaariolaskelmiin, joita on esitetty tässä raportissa.

Käytetty ympäristövaikutusten määritelmä on laaja ja on SOVA-lain (200/2005) § 2 pykälän mukainen. Ympäristövaikutuksella tarkoitetaan suunnitelman tai ohjelman välitöntä ja välillistä vaikutusta Suomessa ja sen alueen ulkopuolella:

- a) ihmisten terveyteen, elinoloihin ja viihtyvyyteen;
- b) maaperään, vesiin, ilmaan, ilmastoon, kasvillisuuteen, eliöihin ja luonnon monimuotoisuuteen;
- c) yhdyskuntarakenteeseen, rakennettuun ympäristöön, maisemaan, kaupunkikuvaan ja kulttuuriperintöön;
- d) luonnonvarojen hyödyntämiseen;
- e) a–d alakohdassa mainittujen tekijöiden keskinäisiin vuorovaikutussuhteisiin.

Määritelmän laajuudesta johtuen merkittävä osa tarkastelusta on laadullista. Arvioinnissa on pyritty tunnistamaan esitettyjen linjausten merkittävimpiä ympäristönäkökuilimia ja osa-alueita, joiden ympäristövaikutuksiin tulisi paneutua energia- ja ilmastostrategian toimeenpanovaiheessa ja vaikutusten seurannassa. Tällaisia ovat erityisesti vaikutukset kasvihuonekaasujen päästöihin ja ilmastomuutokseen, vaikutukset ilmansaasteisiin ja edelleen ihmisten terveyteen sekä vaikutukset luonnon monimuotoisuuteen, metsien hiilinieluihin ja vesistöihin. Lisäksi on tarkasteltu ohjauskeinoiniin liittyviä keskeisiä sosioekonomisia tekijöitä.

Pääsääntöisesti on arvioitu ilmastopoliittisten lisätoimenpiteiden (WAM-skenaarion) vaikutuksia suhteessa olemassa olevien ja jo toteutettaviksi päätettyjen ilmastopoliittisten toimenpiteiden muodostamaan perusskenaarioon (WEM-skenaario). Tämän lisäksi joiltain osin on ollut tarpeen arvioida vaikutuksia myös sellaisista strategian poliittisista linjauksista, joiden osalta WEM- ja WAM-skenaariot eivät merkittävästi poikkea toisistaan. Tällaisessa tilanteessa vaikutuksia arvioidaan suhteessa muuhun ennalta määritettyyn perusuraan (vertailuskenaarioon) tai nykytilaan.

Strategian poliittisten linjausten vaikutuksia energijärjestelmään ja kasvihuonekaasupäästöihin käsitellään luvussa 3 ja vaikutuksia metsänieluihin luvussa 5.2. SOVA-arvioinnin yhteydessä näitä tekijöitä käsitellään laadullisesti täydentäen luvuissa 3 ja 5.2 esitetyjä arvioita. Vaikutusten arvioinnissa on hyödynnetty kirjallisuuden lisäksi ENVIMAT-mallia (Suomen ta-

<sup>31</sup> VNK 2016. Valtioneuvoston selonteko kansallisesta energia- ja ilmastostrategiasta vuoteen 2030.

louden materiaalivirtojen ympäristövaikutukset), FRES-mallia (ilmansaasteiden päästöjen ja niiden vaikutusten alueellinen päästöskenaariomalli<sup>32</sup>). Pienhiukkasten terveysvaikutusten arvioinnissa on käytetty lisäksi Tilastokeskuksen Ruututietokantaa<sup>33</sup> ja väestöennusteita sekä WHO:n suosittelemia altiste-vastefunktioita<sup>34</sup>. SOVA-arvioinnin koordinointi on KEIJU-hankkeessa toteutunut Suomen ympäristökeskuksen (Syke) ja Terveiden ja hyvinvoinnin laitoksen (THL) yhteistyönä.

---

<sup>32</sup> Karvosenoja, N. (2008). *Emission scenario model for regional air pollution*. Finnish Environment Institute.

<sup>33</sup> <https://www.stat.fi/tup/ruututietokanta/index.html>

<sup>34</sup> WHO (2013). Health risks of air pollution in Europe – HRAPIE project. Recommendations for concentration–response functions for cost–benefit analysis of particulate matter, ozone and nitrogen dioxide. World Health Organization, Regional Office for Europe, Bonn, pp. 60.



## 2. VAIKUTUSARVIOIDEN TAUSTAOLETUKSET

TOMI J. LINDROOS JA TIINA KOLJONEN, VTT

### 2.1 Perusskenaarion lähtökohdat (WEM)

Hankkeen perusskenaarion oletukset vastaavat Energia- ja ilmastostrategian ja keskipitkän aikavälin ilmastopolitiikan suunnitelman perusskenaarion tausta-oletuksia. Keskeisimpiä oletuksia 2015-2030 aikavälille ovat oletukset bruttokansatuotteen kasvusta, väestönkehityksestä, sekä Suomen ja EU:n energia- ja ilmastopoliittisista tavoitteista. Tähän on koottu tiivis yhteenveto perusuran, eli WEM (With Existing Measures) -skenaarion, keskeisimmistä oletuksista.

Suomen talouden oletetaan kasvavan 2-3 % vuodessa ja talouden rakenteen muuttuvan palveluvaltaisemmaksi. Oletukset eri teollisuudenalojen kasvuvauhdista vaihtelevat tyypillisesti 1,5 ja 3 %:n välillä ja ne on raportoitu yksityiskohtaisesti VATT:n raportissa politiikkatoimien vaikutuksista Suomen talouteen<sup>35</sup>.

Nykyisten arvioiden mukaan Suomen väestö kasvaa noin 5,8 miljoonaan 2030 mennessä, ikääntyy ja kaupungistuminen jatkuu. Uudisrakentaminen on noin kolme kertaa suurempaa kuin rakennuskannan poistuma. Yhteisvaikutus rakennuskantaan on noin 0,6 % vuosittainen lisäys.

Perusskenaariossa oletetaan, että Suomi saavuttaa kansalliset energia- ja ilmastopoliittiset 2020-tavoitteensa ja ne pysyvät voimassa 2020 jälkeen, mutta niitä ei tiukenneta. Taakanjakosektorin päästöjä vähennetään 16 % vuoden 2005 päästöistä, mikä vastaa päästöissä 28,4 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. vuonna 2020. Energiatehokkuustavoitteelle ei ole oletettu sitovaa tavoiteprosenttia, vaan teollisuudessa energiatehokkuuden oletetaan paranevan 0,4-0,5 % vuodessa ja muilla sektoreilla toteutetaan erilaisia energiatehokkuustoimenpiteitä.

Uusiutuvan energian osuus loppukulutuksesta oletetaan nousevan vähintään 38 prosenttiin. Uusiutuvan energian lisääminen jakautuu useille eri energiamuodoille: Vesivoimassa tehdään pieniä tehonkorotuksia huomioiden suojelulait. Metsähakkeen käyttö kasvaa 29 TWh:iin 2030 mennessä. Tuulivoiman nykyinen syöttötariffi täyttyy ja tämän jälkeen tuulivoiman määrä pysyy 2020 tasolla. Aurinkosähkön ja -lämmön nykytuet säilyvät, mutta investoinnit muuttuvat kustannustehokkaammaksi teknologian halventuessa. Lisäksi biokaasun määrä nousee 0,5 TWh:iin vuoden 2020 jälkeen.

Uudesta ydinvoimasta on oletettu, että Olkiluoto 3 käynnistyy vuonna 2018 toimien täydellä kapasiteetilla vuonna 2020. Vastaavasti Fennovoima käynnistyy vuonna 2024 ja toimii täydellä kapasiteetilla 2026. Sähkön siirtoyhteydet naapurimaihin paranevat nykyisten investointisuunnitelmien mukaan.

Liikenteen suoritteiden, ajoneuvokannan ja energiatehokkuuden on oletettu kehittyvän VTT:n LIPASTO-laskentatyökalun perusuran mukaisesti. Nykyinen biopoltonesteiden jakeluvaihtoehto säilyy vuoden 2020 jälkeen samalla tasolla kuin vuonna 2020. Sähköautoilla ja biokaasuautoilla ei myönnetä perusurassa uusia tukia, mutta niiden määrä kasvaa markkinaehtoisesti.

<sup>35</sup> Honkatukia, J. & Lehmus, M. (2016). Suomen talous 2015-2030: Laskelmia politiikkatoimien vaikutuksista. VATT tutkimukset 183. <http://vatt.fi/documents/2956369/3011957/t183.pdf>

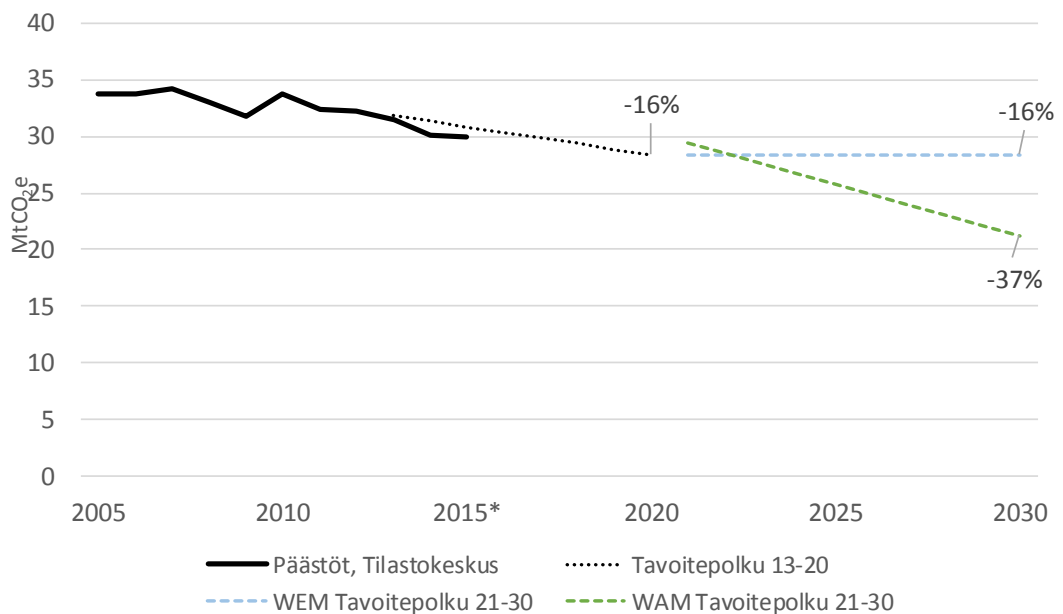
Perusskenaariossa oletetaan, että muu EU toteuttaisi ehdotetun 2030 energia- ja ilmastopoliittikan tavoitteet. Tämän vuoksi päästöoikeuden hinnan oletetaan kiristyvän vuoden 2020 jälkeen. Päästökauppa- ja energiasektorille ei oleteta erillistä kansallista tavoitetta, vaan ohjaus tapahtuu laskemissa oletetun päästöoikeuden hinnan kautta. Päästöoikeuden hinnaksi on oletettu 15 €/t CO<sub>2</sub>-ekv. vuonna 2020 ja 30 €/t CO<sub>2</sub>-ekv. 2030.

## 2.2 Taakanjakosektorin 2030-tavoitteen tarkempi määrittely

Jokaisella EU-maalla on oma maakohtainen tavoite vähentää kasvihuonekaasuja taakanjakosektorilla, joka kattaa päästöt mm. liikenteestä, maataloudesta, kiinteistökohtaisesta lämmityksestä ja päästökaupan ulkopuolisesta teollisuudesta. Taakanjakosektorin rakenne ja päästölähteet on käyty yksityiskohtaisesti läpi VTT:n raportissa 'Taakanjakosektorin päästökehitys ja päästövähennystoimet vuoteen 2030'<sup>36</sup>.

Suomen tavoitteena on vähentää taakanjakosektorin päästöjä 16 % vuoden 2005 päästöistä vuoteen 2020 mennessä. Varsinaisten tavoitevuosien lisäksi taakanjakosektorilla on lineaarinen tavoitepolku vuosille 2013-2020, jonka lähtöpiste on vuosien 2008-2010 päästöjen keskiarvo. Perusskenaariossa taakanjakosektorin tavoitteen oletetaan pysyvän -16 %:ssa ja se saavutetaan kotimaisin toimin. Kuva 4 esittää taakanjakosektorin päästötilastot ja perusskenaarion (WEM) päästötavoitteen.

**Kuva 4. Suomen taakanjakosektorin päästötilastot ja laskennassa käytetyt tavoitepolut.**



Kuvan päästötilastot kattavat vuodet 2005-2015, missä 2015 perustuu tilastoennakkoon ja saattaa muuttua. Mustalla katkoviivalla on esitetty vuosien 2013-2020 päästövähennyspolku, minkä Suomi on saavuttanut. Vuosien 2021-2030 perusuran päästövähennystavoite on sinisellä katkoviivalla ja lisätoiminnan tavoite vuosille 21-30 on vihreällä katkoviivalla.

Lisätoimiskenaariossa (WAM) tarkastellaan EU:n komission ehdottamaa taakanjakopäätöksen uudistamista. Laskenta on tehty komission ehdotuksen pohjalta, joka voi muuttua ennen lopullista päätöstä.

<sup>36</sup> Lindroos, T. & Ekholm, T. 2016. Taakanjakosektorin päästökehitys ja päästövähennystoimet vuoteen 2030. VTT Technology 245.

Komissio on ehdottanut Suomelle tavoitetta vähentää taakanjakosektorin päästöjä 39 % vuoteen 2030 mennessä vuoden 2005 päästöihin verrattuna. Myös uusi ehdotus sisältää lineaarisen tavoitepolun vuosille 2021-2030, mutta sen laskennallisena 2020-lähtöpisteenä on vuosien 2016-2018 päästöjen keskiarvo. Tästä johtuen vuoden 2021 välitavoite saattaa olla vuoden 2020 tavoitetta korkeammalla tasolla, mutta tarkka lukuarvo selviäisi vasta vuonna 2020 kun vuoden 2018 päästötilastot valmistuvat.

Varsinaisten päästövähennysten lisäksi Suomi voi hyödyntää ns. joustokeinoja. Komission ehdottamia joustokeinoja ovat ns. one-off -jousto, LULUCF-linkki (land use, land use change and forestry; maankäyttö, maankäytön muutos ja metsätalous), päästöyksiköiden osto ja Suomen omat ajalliset siirrot.

One-off -jousto tarkoittaa päästöyksiköiden kertaluonteista siirtoa päästökaupparektorilta taakanjakosektorille. Komissio on ehdottanut 2 % vuodessa ylärajaa Suomelle. Suomen taakanjakosektorin päästöt olivat 33,7 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. vuonna 2005, joten vuosina 2021-2030 Suomi voi hyödyntää one-offia yhteensä 6,7 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. verran.

Komission ehdottama LULUCF-linkki kytkisi taakanjakosektorin ja maankäyttösektorin päästöt toisiinsa. LULUCF-linkin laskentasääntöjen kautta voi taakanjakosektorille tulla joko päästöhyvityksiä tai laskennallinen rasite. Komission ehdotuksen mukaan hyödyn yläraja on 1,3 % vuoden 2005 päästöistä, mutta mahdollisella rasitteella ei olisi ylärajaa. Asia on erittäin tärkeä Suomelle, mutta neuvottelut varsinaisista laskentasäännöistä ovat vielä EU-tasolla kesken.

Suomi voi ostaa taakanjakosektorin päästöyksiköiltä muilta jäsenmailta, jos näiden päästövähennykset ylittävät omat tavoitteensa ja ne suostuvat myymään päästöyksiköitä. Suomen omat ajalliset siirrot tarkoittavat sitä, että jos päästövähennykset ylitetään yhtenä vuonna, voidaan käyttämättömät kiintiöt hyödyntää myöhemmin vuosina.

WAM-skenaariossa on oletettu, että Suomi hyödyntää one-off -joustoja täysimääräisesti ja muiden joustokeinojen yhteenlaskettu vaikutus on nolla eli niistä ei saada laskennallista hyötyä eikä haittaa. One-off -yksiköitä käytettäisiin tasaisesti vuosina 2021-2030. Tämän vuoksi mallinnuksessa käytettävä kotimainen päästövähennystavoite vuodelle 2030 on 37 %.

## 2.3 Poliittikkaskenaarion (WAM) kuvaus

WAM (With Additional Measures) -skenaarion lähtökohtana on toisaalta edellä esitetty EU:n Suomelle asettama taakanjakosektorin tavoite ja lisäksi Energia- ja ilmastostrategiassa esitetyt linjaukset. Alla on esitetty ne linjaukset, joita on käytetty mallitarkasteluissa WAM-skenaarion lähtötietona tai vaihtoehtoisesti ne ovat kvantitatiivisissa mallitarkasteluissa optimoinnin perusta. WAM-skenaarion lähtökohtia ja tuloksia on esitetty tarkemmin seuraavissa luvuissa ja alla jaottelu perustuu Energia- ja ilmastostrategian luvun kolme ”Energia- ja ilmastostrategian poliittiset linjaukset” jaotteluun.

- Uusiutuvan energian käytön lisääminen ja energian hankinnan omavaraisuus: Suomelle 38 % vähimmäisosuus energian loppukulutuksesta vuonna 2020, ei sitovaa tavoitetta vuodelle 2030. Hallitusohjelmassa sekä Energia- ja ilmastostrategiassa linjattu 50 % uusiutuvan energian tavoitetta sekä 55 % omavaraisuustavoitetta tarkastellaan mallilaskelmien tulosten perusteella. Investoinnit uusiutuvaan energiaan tapahtuvat laskelmissa kustannusjärjestyksessä lukuun ottamatta alla esitettyjä linjauksia liittyen bio-osuuden sekoitevelvoitteeseen ja tuulivoimaan.

- Tuontiöljyn energiankäytön puolittaminen: tuontiöljyn kotimaan käyttö on laskelmissa määritetty samoin kuin Energia- ja ilmastostrategiassa, eli sillä tarkoitetaan Suomessa kulutukseen luovutetun fossiilisen moottoribensiinin, dieselin, lentobensiinin, kerosiinin sekä kevyen ja raskaan polttoöljyn kokonaisenergiamäärää. Mallitarkasteleissa annettuina lähtötietoina ovat linjaukset liittyen biokomponenttien sekoitevelvoitteisiin liikenteessä, rakennusten öljylämmityksessä ja työkoneissa ja tuontiöljyn puolittamista tarkastelleen laskelmien tulosten perusteella.
- Kivihiilen energiakäytöstä luopuminen: Kivihiilen käyttö vähenee merkittävästi jo WEM-skenaariossa vanhojen laitosten poistuman myötä. Investointeja uusiin kivihiiltä käyttäviin laitoksiin ei sallita ja sen käyttöä rajoitetaan myös monipolttoainekattiloissa. Kivihiilen käyttö sallitaan WAM-skenaariossa kuitenkin talven huippukulutus-tunteina. Kivihiilen samoin kuin muidenkin polttoaineiden verojärjestelmä on sama kuin WEM-skenaariossa.
- Puupohjainen energia: metsähakesähkön tuotantotukijärjestelmä on voimassa vuoteen 2020, jolloin metsähakkeen käyttö on 25 TWh. Tämän jälkeen laskelmissa ei asetettu sitovaa tavoitetta metsähakkeen käytölle. Vaikutusarvioissa sallitaan myös metsähakkeen ja muun puuperäisen polttoaineen tuonti rannikon energialaitoksille.
- Biokaasun tuotanto ja käyttö: vaikutusarvioissa ei sitovaa tavoitetta biokaasun tuotannolle. Liikenteen kaasua käyttäville ajoneuvoille sitova tavoite (ks. liikenteen linjaukset).
- Uusiutuviin energialähteisiin perustuvan sähkön ja lämmön tuet: Uusiutuvan sähkön tuotantokapasiteetin lisäys 2 TWh vuosien 2018-2020 kilpailutuksen tuloksena (ks. tarkemmin luku 3.1). Sähkön pientuotanto vapautettu sähköverosta omassa tuotannossa.
- Kasvihuonekaasupäästöjen pienentäminen (vrt. luku 3.1):
  - Suomen taakanjakosektorin tavoite vuonna 2030 37 % KHK-päästövähennys (vertailuvuosi 2005). EU-toteuttaa sille asetetut KHK-päästötavoitteet, eli 43 % päästökaupparektorin ja 30 % taakanjakosektorin osalta (vertailuvuosi 2005). Päästöoikeuden hintakehitys: sama kuin WEM-skenaariossa, eli 15e/t CO<sub>2</sub>-ekv. vuonna 2020 ja 30e/t CO<sub>2</sub>-ekv. 2030.
  - Jätteenpolto siirretään päästökaupan piiriin.
  - 10 % bio-osuuden sekoitevelvoite rakennusten erillislämmitykselle ja työkoneille.
  - F-kaasujen päästöjen vähennys 0,2 Mt CO<sub>2</sub>-ekv.
- Liikenteen toimet: Liikenteen biopolttoaineiden energiasisällön fyysinen osuus kaikesta tiiliikenteeseen myydyistä polttoaineista (l. sekoitevelvoite) on 30 % vuonna 2030. Liikennejärjestelmän ja ajoneuvojen energiatehokkuudet paranevat siten, että saavutetaan noin 1,6 Mt CO<sub>2</sub>-ekv KHK-päästövähennys (ks. tarkemmin luku 3.1). Sähkökäyttöisten autojen määrä on vähintään 250 000 (täyssähköautot, vetyautot, ladattavat hybridit) ja vastaavasti kaasukäyttöisten autojen määrä vähintään 50 000. Kaikki nämä ovat mallinnukselle annettuja lähtötietoja.

- Rakennettu ympäristö: Otetaan käyttöön 10 % bionesteen sekoitusvelvoite rakennusten erillislämmityksessä käytettävään kevyeen polttoöljyyn.
- Tieliikenteen biopoltoaineiden jakelunelvoite ja tarjonta: Biopoltoaineiden osuus tieliikenteen energiankulutuksesta nostetaan vuoden 2020 13,5 % energiasisällön osuudesta 30 % osuuteen vuoteen 2030 mennessä. Lähtökohtana lisäkysynnän kattamiselle on oletettujen kotimaisten biojalostamoinvestointien toteutuminen. Laskelmissa on oletettu, että uuden jalostamokapasiteetin myötä uutta kotimaista tuotantoa syntyy 600 000 ktoe/a, josta puolet käyttäisi raaka-aineenaan puuperäistä syötettä (metsähake, sahanpuru, jne.) ja puolet erilaisia jätteitä, tähteitä, lignoselluloosaa ja muita metsäteollisuuden sivutuotteita (ks. tarkemmin luku 3.1). Mallinnuksessa on mukana myös biopoltoaineiden globaali kauppa.
- Nielupolitiikka: vaikutusarvioissa ei ole huomioitu asetusehdotusta liittyen LULUCF-sektorin liittämiseen osaksi EU:n ilmasto- ja energiapakettia (l. ei vaikutuksia taakanjakosektorin tavoitteen määrittämiseen). LULUCF-sektorin kehitystä on sen sijaan tarkasteltu kvantitatiivisten mallitarkastelujen avulla (ks. luku 5.2) ja osana SOVA-tarkasteluja (ks. luku 7).
- Sähkö- ja kaasumarkkinat: vaikutusarvioissa lähtökohtana on ollut nykyisenkaltaiset sähkö- ja kaasumarkkinat ja myös kaikkien muiden energiahyödykkeiden kauppa. Mallinnuksessa on huomioitu nykyiset siirtoyhteydet sekä päätetyt investoinnit maiden rajojen välillä. Mallinnuksessa on myös mukana erityisesti muiden Pohjoismaiden energiajärjestelmien kehitys, mutta myös muun Euroopan ja Venäjän kehitykset.
- Energiatohokkuus: vaikutusarvioissa ei ole asetettu sitovaa energiatohokkuustavoitetta, vaan mallitarkasteluissa laskennallinen loppuenergian kulutuksen pieneneminen WAM-skenaariossa verrattuna WEM-skenaarioon kertoo eri sektorikohtaisten linjausten (esim. liikennettä ja rakennuksia koskevat) vaikutukset energiatohokkuuden paranemiseen. Suuri osa energian käytön tohostamisen toimista kuitenkin toteutuu jo WEM-skenaariossa johtuen nykyisistä politiikoista.

## 2.4 Muut tarkemmat lähtötiedot sektoreittain

### Rakennukset ja rakentaminen

*Antti Lehtilä ja Tiina Koljonen, VTT*

TIMES-VTT –mallin lähtötietona vaikutusarvioissa käytettiin Syken laatimaa arviota rakennuskannan kehityksestä rakennustyypeittäin<sup>37</sup> (Kuva 5). Verrattuna vuonna 2013 laadittuun Energia- ja ilmastostrategian päivitykseen<sup>38</sup>, jonka rakennuskanta-arvion laati VTT<sup>39</sup>, arviot rakennuskannan kasvusta ovat jonkin verran suuremmat. Arviot rakennuskannasta olivat samat sekä WEM- että WAM-skenaariossa. Lämmitysmuotojen valinta, energiatohokkuustoimenpiteet ja muut tietokannassa olevat KHK-päästöjen vähentämisinvestoinnit ovat sen sijaan TIMES-VTT:n laskennan tuloksia. Keskeinen toimi WAM-skenaariossa oli kuitenkin 10 % bio-osuuden huomioiminen öljylämmityksessä, joka ulotettiin kaikkiin rakennustyypeihin

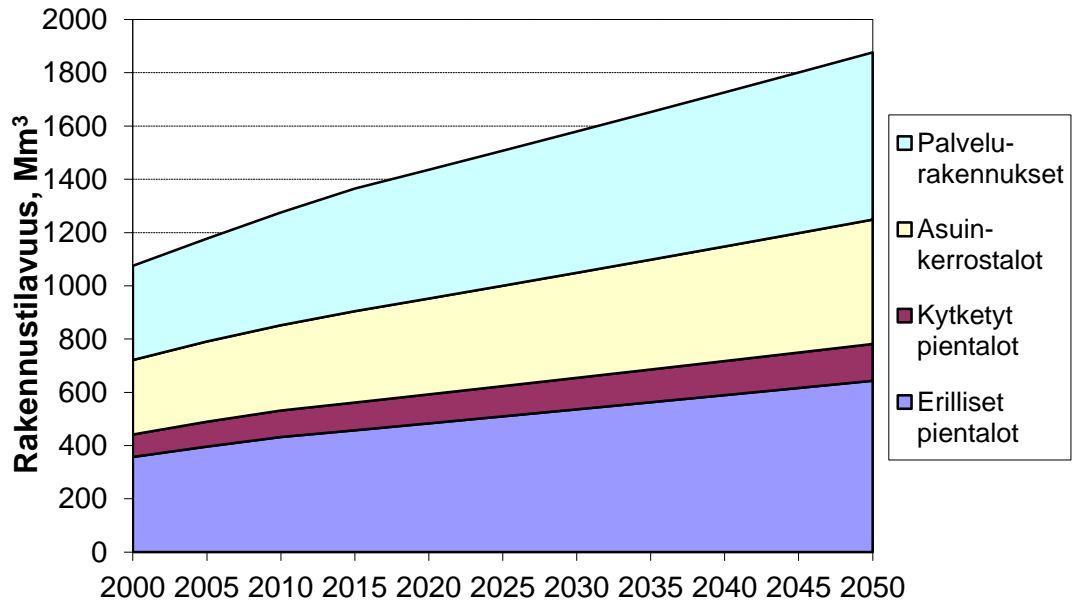
<sup>37</sup> Mattinen M., Heljo J. & Savolahti M. (2016). Rakennusten energiankulutuksen perusskenaario Suomessa 2015–2050. Suomen ympäristökeskus 10.6.2016.

<sup>38</sup> Pursiheimo, Esa; Koljonen, Tiina; Honkatukia, Juha; Lehtilä, Antti; Airaksinen, Miimu; Flyktman, Martti; Sipilä, Kai; Helynen, Satu. (2013). Tarkennetun perusskenaaron vaikutukset Suomen energiajärjestelmään ja kansantalouteen. Energia- ja ilmastostrategian päivityksen taustaraportti, VTT, Espoo, 41 s

<sup>39</sup> Airaksinen, M. & Vainio T. (2012). Rakennuskannan korjaamisen ja kunnossapidon energiatohokkuustoimenpiteiden vaikuttavuuden arviointi energiansäästön, CO<sub>2</sub>-ekv-päästöjen, kustannuksien ja kannattavuuden näkökulmista. Asiakasraportti VTT\_CR\_00426-12. VTT, Espoo.

hin, eli asuin-, teollisuus-, palvelu- ja maatilarakennuksiin. Bio-osuuden oletettiin kasvavan lineaarisesti vuoden 2020 0-tasosta vuoden 2030 10 prosentin osuuteen.

**Kuva 5. Rakennuskannan kehitys rakennustyypeittäin perustuen Syke:n arviointiin<sup>37</sup>**



## Liikenne ja työkoneet

*Juhani Laurikko, Antti Lehtilä ja Tiina Koljonen, VTT*

Liikenteen kehitysraivoissa WEM-skenaario perustui uusimpaan LIPASTO-ennusteeseen (ks. luku 1.3). WAM-skenaarion osalta poliittiset linjaukset sen sijaan vaikuttivat sekä autokantaan että suoritteeseen. Alla (Taulukko 1) on esitetty oletukset henkilöautojen lukumääristä WEM- ja WAM-skenaarioissa, jossa näkyvät strategian linjaukset liittyen kaasu- ja sähköautoihin. Lisäksi WAM-skenaariossa liikenteen keskeisenä KHK-päästöjen vähennystoimena oli 30 % bio-osuus tieliikenteeseen myydyistä polttoaineista. Lähtökohteisesti on oletettu, että suurin osa tästä on ns. drop-in nestemäistä polttoainetta, jota voi käyttää nykyisissä ajoneuvoissa. Vastaavasti työkoneiden osalta oletettiin 10 % bio-osuus vuonna 2030.

**Taulukko 1. Henkilöautokannan kehitys WEM- ja WAM-skenaarioissa**

Henkilöautot	WEM			WAM		
	2015	2020	2030	2015	2020	2030
Bensiini	1 932 255	1 909 551	1 813 568	1 932 255	1 909 551	1 690 911
FFV (täysetanoli)	8 396	8 273	6 749	8 396	7 838	3 995
Diesel	678 739	856 095	1 004 625	678 739	851 608	964 707
Kaasu	1 921	4 238	14 654	1 921	7 564	50 000
Sähkö	1 608	18 402	120 017	1 608	20 000	250 000
Vety	0	65	553	0	65	553
<b>Yhteensä</b>	<b>2 622 919</b>	<b>2 796 625</b>	<b>2 960 167</b>	<b>2 622 919</b>	<b>2 796 625</b>	<b>2 960 167</b>

WAM-skenaarioon oli lisäksi sisällytetty linjaukset liikennejärjestelmän energiatehokkuuden kasvusta liittyen kävelyyn ja pyöräilyyn, joukkoliikenteeseen sekä tavaraliikenteen tehostumiseen, jonka seurauksena saavutetaan noin 10 % henkilöautojen ajoneuvosuoritteiden

alenema ja noin 3 % tavaraliikenteen ajoneuvosuoritteiden alenema logistiikan tehostamisen myötä WEM-skenaarioon verrattuna.

## Metsien kehitys

**Olli Salminen, Perttu Anttila, Vesa Nivala, Maarit Kallio, Risto Sievänen, Juha Laitila ja Antti Asikainen, Luke**

Hakkuu- ja puuston kehityslaskelmat tehtiin MELA-ohjelmistolla<sup>40</sup> kymmenvuotiskausittain vuosille 2015–2024, 2025–2034 ja 2035–2044. Tukki- ja kuitupuun alueelliset määrät olivat MELA optimoinnin rajoitteina siten, että toteutumat saivat vaihdella tavoitetason suhteen  $\pm 0,5$  %. Samoin metsähakkeen kokonaismäärä sai vaihdella  $\pm 0,5$  %, mutta kokonaismäärän jakautuminen runkokuun, hakkuutähteen ja kantojen suhteen ratkesi optimoinnissa. Kantoja sai kuitenkin olla ratkaisussa korkeintaan 1 milj. m<sup>3</sup>/v, ja kotitalouksien polttopuu oli kokonaan runkokuuta.

Puuston hiilivaraston muutos laskettiin peräkkäisten kausien erotuksena MELA-ohjelmiston sisältämiin biomassamalleihin<sup>41,42</sup> perustuen. Maaperän kasvihuonekaasut arvioitiin erikseen kivennäismaille ja ojitetuille turvemaille. Kivennäismaille laskenta perustui Yasso07 malliin<sup>43</sup>, jonka syötteenä olivat MELA-ohjelmistosta saadut hakkuutähteet, luonnonpoistuma ja arviot elävän puuston tuottamasta karikkeesta. Ojitettujen turvemaiden maaperän CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> ja N<sub>2</sub>O päästöt arvioitiin päästökertoimien avulla<sup>44,45</sup>. Kasvihuonekaasujen laskenta noudatti pääpiirteissään KHK-inventaarissa<sup>46</sup> sovellettua menetelmää, lukuun ottamatta puutuotteita, joita ei otettu huomioon. Laskentamenetelmiä ovat kuvanneet tarkemmin Lehtonen ym.<sup>47</sup>, Sievänen ym.<sup>48,49</sup> ja Kallio ym.<sup>50</sup>.

Metsävarojen osalta laskelmat perustuivat valtakunnan metsien 11. inventoinnin (VMI 11) vuosina 2009–2013 mitattuihin metsä- ja kitumaan koealoihin (n. 60 000). Metsien käsittely noudatti MELA simuloinneissa vuoden 2013 metsänkäsittelysuosituksia<sup>51</sup> ja uusimpia energiapuun korjuun suosituksia<sup>52</sup>. Uudistushakkuissa jätettiin säästöpuita vähintään 5 m<sup>3</sup>/ha.

Puuntuotantoon liittyvien käytörajoitusten perusteella VMI 11 maastoaineisto on jaettu 1) puuntuotannon, 2) rajoitetun puuntuotannon ja 3) puuntuotannon ulkopuolella olevaan maaan. Puuntuotannon ulkopuoliselle maalle ja puuntuotannon kitumaalle ei tehty mitään toimenpiteitä. Rajoitetun puuntuotannon metsämaalla sallittuja hakkuutapoja olivat kasvatushakkuu (harvennukset ja ylispuiden poisto) sekä luontainen uudistaminen. Laskennassa otet-

<sup>40</sup> Redsvén, V., Hirvelä, H., Härkönen, K., Salminen, O. & Siitonen, M. (2013). MELA2012 Reference Manual, 2<sup>nd</sup> ed. The Finnish Forest Research Institute. [http://mela2.metla.fi/mela/julkaisut/oppaat/mela2012\\_2nd\\_ed.pdf](http://mela2.metla.fi/mela/julkaisut/oppaat/mela2012_2nd_ed.pdf).

<sup>41</sup> Repola, J. (2008). Biomass equations for birch in Finland. *Silva Fennica* 42(4), 605-624. <https://doi.org/10.14214/sf.236>

<sup>42</sup> Repola, J. (2009). Biomass equations for Scots pine and Norway spruce in Finland. *Silva Fennica* 43(4), 625-647. <https://doi.org/10.14214/sf.184>

<sup>43</sup> Tuomi, M., Laiho, R., Repo, A. & Liski, J. (2011). Wood decomposition model for boreal forests. *Ecological Modelling* 222 (3), 709–718. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2010.10.025>.

<sup>44</sup> Minkkinen, K., Laine, J., Shurpali, N., Mäkiranta, P., Alm, J. & Penttilä, T. (2007). Heterotrophic soil respiration in forestry-drained peatlands. *Boreal Environment Research* 12, 115-126.

<sup>45</sup> Ojanen, P., Minkkinen, K., Alm, J. & Penttilä, T. (2010). Soil-atmosphere CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O fluxes in boreal forestry-drained peatlands. *Forest Ecology and Management* 260(3), 411–421. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2010.04.036>

<sup>46</sup> Tilastokeskus 2016. Suomen kasvihuonekaasupäästöt 1990-2015. [http://www.stat.fi/static/media/uploads/suominir\\_2016.pdf](http://www.stat.fi/static/media/uploads/suominir_2016.pdf)

<sup>47</sup> Lehtonen, A., Salminen, O., Kallio, M., Tuomainen, T. & Sievänen, R. (2016). Skenaariolaskelmiin perustuva puuston ja metsien kasvihuonekaasutaseen kehitys vuoteen 2045 : Selvitys maa- ja metsätalousministeriölle vuoden 2016 energia- ja ilmastostrategian valmistelua varten. Luke luonnonvara ja biotalouden tutkimus 36/2016. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-264-5>

<sup>48</sup> Sievänen, R., Lehtonen, A., Ojanen, P. & Salminen, O. (2012). Metsien hiilitaset. In: Asikainen, A., Ilvesniemi, H., Sievänen, R., Vapaavuori, E. & Muhonen, T. (eds.). Bioenergia, ilmastonmuutos ja Suomen metsät. Metlan työraportteja 240, p. 197-204. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-951-40-2378-1>

<sup>49</sup> Sievänen, R., Salminen, O., Lehtonen, A., Ojanen, P., Liski, J., Ruosteenoja, K. & Tuomi, M. (2014). Carbon stock changes of forest land in Finland under different levels of wood use and climate change. *Annals of Forest Science* 71 (2), 255–265. doi:10.1007/s13595-013-0295-7

<sup>50</sup> Kallio, A.M.I., Salminen, O. & Sievänen, R. (2013). Sequester or substitute – consequences of increased production of wood based energy on the carbon balance in Finland. *Journal of Forest Economics* 19(4), 402–415. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfe.2013.05.001>.

<sup>51</sup> Äijälä, O., Koistinen, A., Sved, J., Vanhatalo, K. & Väisänen, P. (toim.) (2014). Metsänhoidon suositukset. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion julkaisuja. [http://www.metsanhoitosuosituks.fi/wp-content/uploads/2016/08/Metsanhoidon-suositukset\\_Tapio\\_2014.pdf](http://www.metsanhoitosuosituks.fi/wp-content/uploads/2016/08/Metsanhoidon-suositukset_Tapio_2014.pdf)

<sup>52</sup> Koistinen, A., Luoro, J.-P. & Vanhatalo, K. (toim.) (2016). Metsänhoidon suositukset energiapuun korjuuseen, työopas. Tapion julkaisuja. [http://tapio.fi/wp-content/uploads/2015/06/MHS-Energiapuun-korjuun-suositukset\\_verkkojulkaisu2.pdf](http://tapio.fi/wp-content/uploads/2015/06/MHS-Energiapuun-korjuun-suositukset_verkkojulkaisu2.pdf).

tiin huomioon virallisten suojelupäätösten mukaisten käytönrajoitusten lisäksi mm. Metsähallituksen omiin päätöksiin perustuvat rajoitukset. Sovelletut rajoitukset pinta-aloineen on esitetty tarkemmin Lehtosen ym. raportissa<sup>53</sup>.

MELA-ohjelmistolla tuotetuissa metsien kehitysarviossa ei otettu huomion ilmastonmuutoksen vaikutusta puuston kasvuun, vaan kasvun ja maaperän orgaanisen aineen hajoamisen oletettiin jatkuvan pitkän aikavälin toteutuneen ilmaston (1984–2013) keskimääräisellä tasolla. Oletus on konservatiivinen, sillä VMI11:ssä mitattu kasvu on 2–10 % pitkän aikavälin indeksikorjattuja kasvuja korkeampi. Lisäksi oletusta ilmastonmuutoksen Suomen metsien kasvua kiihdyttävänä tekijänä voidaan pitää varsin todennäköisenä, koska tulos on saatu useilla eri malleilla kasvunlisäyksen vaihdellessa 5–75 %<sup>54</sup>. Uusimpien tutkimusten valossa kasvua kiihdyttävät mallit voivat kuitenkin yliarvioida ilmastonmuutoksen vaikutuksen, jos niissä ei ole mukana lisääntyviä häiriötekijöitä eikä CO<sub>2</sub>-pitoisuuden ja lämpötilan nousun lisäksi muita kasvuun vaikuttavia tekijöitä, jotka voivat kumota ilmastonmuutoksen positiiviset vaikutukset<sup>55</sup>. Näin ollen tässä selvityksessä ilmastonmuutoksen positiivisten ja negatiivisten vaikutusten oletettiin varovaisuussyistä kumoavan toisensa.

## Metsähaketaseen laskenta

*Perttu Anttila, Vesa Nivala, Olli Salminen, Juha Laitila ja Antti Asikainen, Luke  
Janne Kärki & Markus Hurskainen, VTT*

Metsähake on metsästä suoraan energiakäyttöön tulevaa haketta. Se valmistetaan pienpuusta, kannoista ja latvussmassasta, joita kertyy esimerkiksi harvennusten ja ainespuuhakkuiden yhteydessä. Metsähaketta käytetään esimerkiksi sähkön- ja lämmöntuotantolaitosten polttoaineena. Lisäksi metsähaketta voidaan käyttää neste- ja kaasumaisten biojalosteiden raakaaineena. Metsähakkeen käyttö on kasvanut Suomessa nopeasti 2000-luvulla. Käytön voidaan odottaa lisääntyvän edelleen uusien energialaitosten ja biojalostamoiden rakentamisen myötä.

Metsähakkeen alueellisen riittävyuden ennakoimiseksi tässä vaikutusarviossa on laskettu ns. metsähaketaseita. Metsähaketaseella tarkoitetaan tässä metsähakkeen teknisen hankintapotentialin ja käytön erotusta, mikä lasketaan paikkatietoanalyysiä käyttäen<sup>56</sup>. Tekninen hankintapotentiali tarkoittaa suurinta metsähakkeen määrää, joka voitaisiin hankkia noudattaen energiapuun korjuusuosituksia<sup>57</sup>. Taselaskennat kohdistuivat vuoteen 2030.

Metsähakkeen tekniset hankintapotentialit lasketaan nuorista metsistä saatavalle pienpuulle sekä uudistushakkuista kertyvälle latvussmassalle ja kannoille viidellätoista yhden tai kaksi maakuntaa käsittävällä laskenta-alueella. Pienpuuta korjataan varttuneiden taimikoiden hoidon ja ensiharvennusten yhteydessä. Puuston pienen koon vuoksi taimikonhoidosta saatavan metsähakkeen hankintapotentiali on kuitenkin mitätön, joten laskelmassa on mukana vain ensiharvennuksista saatava metsähakkeen hankintapotentiali. Potentialit laskettiin Luonnonvarakeskuksen MELA-mallilla<sup>58</sup>, jolla simuloitiin metsänhoito- ja energiapuun korjuu-

<sup>53</sup> Lehtonen, A., Salminen, O., Kallio, M., Tuomainen, T. & Sievänen, R. (2016). Skenaariolaskelmiin perustuva puuston ja metsien kasvihuonekaasutaseen kehitys vuoteen 2045 : Selvitys maa- ja metsätalousministeriölle vuoden 2016 energia- ja ilmastostrategian valmistelua varten. Luke luonnonvara ja biotalouden tutkimus 36/2016. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-264-5>

<sup>54</sup> Kalliokoski, T. & Repo, A. (2015). Mitä metsämallit kertovat Suomen metsien hiilinielun tulevasta kehityksestä. Ilmastopaneelin raportti 4/2015: Metsien hyödyntäminen ja ilmastonmuutoksen hillintä eds. Seppälä, J., Vesala, T. & Kanninen, M. [http://www.ilmastopaneeli.fi/uploads/selvitykset\\_lausunnot/Metsätvöt\\_taustraraportit\\_2015\\_final.pdf](http://www.ilmastopaneeli.fi/uploads/selvitykset_lausunnot/Metsätvöt_taustraraportit_2015_final.pdf)

<sup>55</sup> Kalliokoski, T. & Repo, A. (2015). Mitä metsämallit kertovat Suomen metsien hiilinielun tulevasta kehityksestä. Ilmastopaneelin raportti 4/2015: Metsien hyödyntäminen ja ilmastonmuutoksen hillintä eds. Seppälä, J., Vesala, T. & Kanninen, M. [http://www.ilmastopaneeli.fi/uploads/selvitykset\\_lausunnot/Metsätvöt\\_taustraraportit\\_2015\\_final.pdf](http://www.ilmastopaneeli.fi/uploads/selvitykset_lausunnot/Metsätvöt_taustraraportit_2015_final.pdf)

<sup>56</sup> Nivala, M., Anttila, P., Laitila, J., Salminen, O. & Flyktman, M. 2016. A GIS-based methodology to estimate the regional balance of potential and demand of forest chips. *Journal of Geographic Information System*, 8, 633-662.

<sup>57</sup> Koistinen, A., Luoro, J.-P. & Vanhatalo, K. (toim.) (2016). Metsänhoidon suositukset energiapuun korjuuseen, työopas. Tapion julkaisuja. [http://tapio.fi/wp-content/uploads/2015/06/MHS-Energiapuun-korjuun-suositukset\\_verkkajulkaisu2.pdf](http://tapio.fi/wp-content/uploads/2015/06/MHS-Energiapuun-korjuun-suositukset_verkkajulkaisu2.pdf).

<sup>58</sup> Redsvén, V., Hirvelä, H., Härkönen, K., Salminen, O. & Siitonen, M. (2013). MELA2012 Reference Manual, 2<sup>nd</sup> ed. The Finnish Forest Research Institute. [http://mela2.metla.fi/mela/julkaisut/oppaat/mela2012\\_2nd\\_ed.pdf](http://mela2.metla.fi/mela/julkaisut/oppaat/mela2012_2nd_ed.pdf).



ohjeiden<sup>59,60</sup> mukaisia metsien käsittely- ja kehitysvaihtoehtoja. Toimenpidevaihtoehtoina nuorissa metsissä oli ainespuun korjuu sekä energiapuun korjuu rankana, kokopuuna tai integroituna ainespuun korjuun kanssa. Laskelmissa hakkuu toteutetaan ensimmäisen kymmenvuotiskauden aikana aina, kun se oli metsänhoitosuosituksen mukaan mahdollista. Näin laskettuun pienpuupotentiaaliin sisältyy myös mittojensa puolesta materiaalikäyttöön soveltuvaa puuta. Tämän vuoksi tuotettiin lisäksi potentiaaliarvio, jossa mukaan luettiin vain ne puut, joiden läpimitta rinnan korkeudella on alle 10,5 cm.

Latvusmassan ja kantojen tekniset hankintapotentiaalit perustuivat oletukseen, että ainespuun hakkuukertymä olisi suurimmalla kestäväällä tasolla (78 milj. m<sup>3</sup>/v). Kunkin laskenta-alueen suurin puuntuotannollisesti ja taloudellisesti jatkuvasti hakattavissa oleva puumäärä on laskettu MELA-mallilla maksimoimalla nettotulojen nykyarvoa neljän prosentin laskentakorolla siten, että kausittaiset nettotulot ja aines- ja energiapuun hakkuukertymistä pysyvät vähintään edellisen kymmenvuotiskauden tasolla, tukkipuukertymä säilyy koko laskelma-ajan vähintään ensimmäisen kauden tasolla, ja puuston tuottoarvo neljän prosentin korkokannalla laskettuna on laskelma-ajan lopussa vähintään alkuhetken tasolla. Laskelmassa ei rajoitettu kasvun ja poistuman suhdetta, metsien ikäluokkarakennetta tai uudistushakkuiden määrää, eikä kestävyyttä edellytetty puulajeittain. Latvusmassan ja kantojen tekninen hankintapotentiaali saatiin vähentämällä hakkuupoistuman biomassasta palstalle suositusten mukaan jätettävä osuus. Latvusmassalla tämä oli 30 % ja kannoilla 16–18 %<sup>61</sup>.

Seuraavaksi maakunnittaiset potentiaalit levitettiin karttamuotoon puuntuotannon metsämaalle 1 km x 1 km hilaan. Puuntuotannon metsämaa määriteltiin tässä siten, että Monilähteen Valtakunnan Metsien Inventoinnin (MVMI) vuoden 2013 aineistoon perustuen valittiin metsämaa-alueet, joista poistettiin suojelu- ja suojeluohjelma-alueet sekä Metsähallituksen omalla päätöksellä suojelemat ja erillissopimuksin puuntuotannon ulkopuolelle jätetyt alueet.

Latvusmassa- ja kantopotentiaalit jaettiin neliökilometrin pikseleille painottaen MVMI:n vastaavilla biomassoilla. Esimerkiksi kuusen latvusmassapotentiaali jaettiin hilaan suhteessa kuusen elävien oksien biomassaan. Pienpuupotentiaalin jakamista varten valittiin ensin pikselit, joiden katsottiin edustavan pienpuun korjuukohteita seuraavien ehtojen mukaisesti:

- puuston keskiläpimitta  $\geq 8$  cm
- runkoluku  $\geq 1500$  / ha
- keskipituus  $< 10,5$  m Lapin maakunnassa ja keskipituus  $< 12,5$  m muualla.

Tämän jälkeen pienpuupotentiaali jaettiin näille pikseleille painottaen runkopuun biomassalla.

Metsähakkeen käyttömäärät perustuivat kolmeen eri skenaarioon: WEM, WAM ja TEM. Näistä WEM- ja WAM-käyttömäärät saatiin VTT:n TIMES-mallitarkastelujen tuloksista ja TEM-skenaariorilla tarkoitetaan TEM:stä syyskuussa 2016 saatua käyttömääräarviota, joka vastaa Energia- ja ilmastostrategiassa oletettua käyttömäärää. WEM- ja WAM-skenaariot erittelivät metsähakkeen kokonaiskäytön lämmön- ja sähköntuotantoon, liikenteen biopolttonesteiden tuotantoon sekä tuontihakkeen määrään. TEM-skenaariossa kaikki hake oletettiin olevan kotimaista ja käytettävän lämmön ja sähkön tuotantoon.

<sup>59</sup> Koistinen, A., Luro, J.-P. & Vanhatalo, K. (toim.) (2016). Metsänhoidon suositukset energiapuun korjuuseen, työopas. Tapion julkaisu. [http://tapio.fi/wp-content/uploads/2015/06/MHS-Energiapuun-korjuun-suositukset\\_verkkojulkaisu2.pdf](http://tapio.fi/wp-content/uploads/2015/06/MHS-Energiapuun-korjuun-suositukset_verkkojulkaisu2.pdf).

<sup>60</sup> Äijälä, O., Koistinen, A., Sved, J., Vanhatalo, K. & Väisänen, P. (toim.) (2014). Metsänhoidon suositukset. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion julkaisu. [http://www.metsanhoitosuosituksset.fi/wp-content/uploads/2016/08/Metsanhoiton-suositukset\\_Tapio\\_2014.pdf](http://www.metsanhoitosuosituksset.fi/wp-content/uploads/2016/08/Metsanhoiton-suositukset_Tapio_2014.pdf).

<sup>61</sup> Anttila, P., Nivala, M., Laitila, J., Flyktman, M., Salminen, O. & Nivala, J. (2014). Metsähakkeen alueellinen korjuupotentiaali ja käyttö vuonna 2020. Metlan työraportteja / Working Papers of the Finnish Forest Research Institute 313. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-951-40-2504-4>.

Jotta käyttömääriä voitiin tarkastella paikkaan sidottuna, jaettiin kokonaiskäyttömäärät lämmön, sähkön ja biopolttonesteiden tuotantolaitoksille. Lämmön ja sähkön tuotanto metsähakkeella oletettiin laitoksille, jotka olivat Luke:n tilastojen mukaan käyttäneet metsähaketta vuonna 2015 sekä laitoksille, joista oli tehty investointipäätös lokakuussa 2016. VTT:n asiantuntijat määrittivät laitoskohtaiset käyttömäärät laitosten tehoarvojen ja kattilateknologian perusteella. Metsähakkeesta biopolttonesteitä valmistavia tuotantolaitoksia ei ole toiminnassa eikä niistä ole myöskään investointipäätöksiä. Tämän vuoksi valittiin joukko paikkakuntia, joille tällainen laitos metsähakepotentiaalin ja infrastruktuurin puolesta voisi sijoittua (Taulukko 2). WEM-skenaariossa kotimaisen metsähakkeen käyttö jaettiin näille laitoksille tasan. WAM-skenaariossa muiden laitosten käyttömäärä pidettiin samana kuin WEM-skenaariossa, ja loput kokonaiskäyttömäärästä allkoitiin Kemiin, jonne on ollut suunnitteilla biojalostamoinvestointeja.

**Taulukko 2. Tutkimukseen valitut biopolttonesteiden sijaintipaikkakunnat ja niiden kotimaisen metsähakkeen käyttö (milj. m<sup>3</sup>/a).**

Paikkakunta	WEM	WAM
Haapavesi	0.13	0.13
Joensuu	0.13	0.13
Jyväskylä	0.13	0.13
Kaskinen	0.13	0.13
Kemi	0.13	2.45
Kemijärvi	0.13	0.13
Kuopio	0.13	0.13
Myllykoski	0.13	0.13
Nokia	0.13	0.13
<b>Yhteensä</b>	<b>1.21</b>	<b>3.52</b>

Laitosten käyttömäärät ja sijainti siirrettiin paikkatietojärjestelmään, jonka avulla määritettiin metsähakkeen hankinta-alue laitoskohtaisesti. Tutkimuksessa käytetty käyttöpaikkojen hankinta-alue pohjautui aiempaan kyselytutkimukseen<sup>62</sup>. Laitokset jaettiin metsähakkeen käyttömäärän mukaan viiteen luokkaan, ja kullekin luokalle määritettiin pisin kuljetusmatka metsähakkeen hankinnassa (Taulukko 3).

**Taulukko 3. Laskennassa käytetyt laitosten hankinta-alueiden säteet käyttömäärän mukaan.**

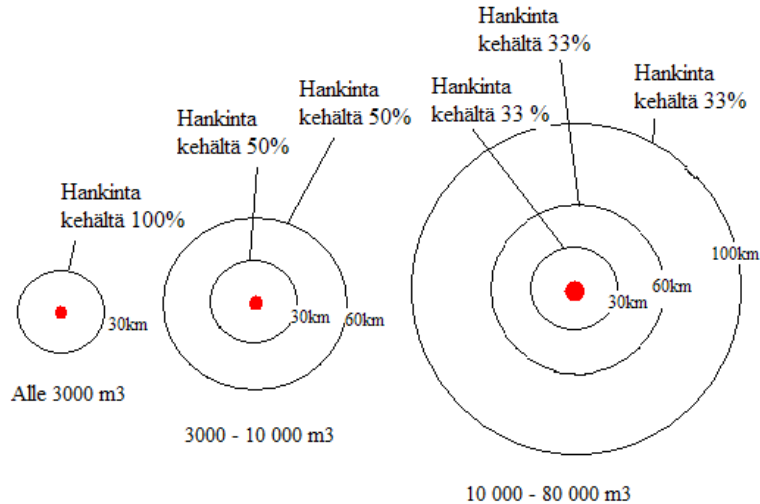
Hankinta-alueen säde, km	Käyttömäärä, m <sup>3</sup>
30	≤ 3000
60	≤ 10000
100	≤ 80000
150	≤ 175000
200	> 175000

Hankinta-alueen määrittämisessä huomioitiin myös se, että laitokset pyrkivät hankkimaan raaka-aineensa mahdollisimman läheltä. Tämä toteutettiin laskennassa siten, että laitosten ympärille muodostettiin taulukon (Taulukko 3) hankintasäteiden mukaisesti hankintaympyröitä, joilta jokaiselta laitos hankkii saman verran raaka-ainetta. Hankintaympyrän sisällä hankintamäärä levitettiin puuntuotannon metsämaalle samalla tavalla kuin potentiaali. Säteen kas-

<sup>62</sup> Kurki, P., Mutanen, A. & Anttila, P. (2012). Energiapuumarkkinat - käytännön kokemukset ja tilastointimahdollisuudet. Metlan työraportteja / Working Papers of the Finnish Forest Research Institute 228. <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2012/mwp228.htm>.

vaessa myös ympyrän pinta-ala kasvaa, joten suhteessa pinta-alaan sisemmiltä ympyröiltä hankitaan enemmän raaka-ainetta. Pienimpien laitosten oletettiin siten hankkivan raaka-aineensa yhden ympyrän sisältä, ja laitokseen kasvaessa ympyröiden määrä kasvoi siten, että suurimmilla laitoksilla ympyröitä oli viisi (Kuva 6). Laskennassa oletettiin hankintasäteen enimmäispituuden olevan 200 kilometriä.

**Kuva 6. Hankintamäärän jakaantuminen hankinta-alueen sisällä.**



Metsähakkeen raaka-aineiden laitokohtainen jakauma sähkön ja lämmön tuotannossa oletettiin samaksi kuin vuonna 2015 toteutunut. Uusilla investoinneilla jakauma arvioitiin joko ennakkoinformaatioon perustuen tai vastaavan kokoisten laitosten keskimääräisenä jakaumana. Biopolttonesteiden tuotantolaitosten oletettiin käyttävän raaka-aineenaan pienpuuta ja latvusmassaa. Metsähaketaseet laskettiin vähentämällä jakeittain potentiaalikärttatasosta käyttökarttataso.

## Maatalous

*Kristiina Regina, Heikki Lehtonen ja Pasi Rikkinen, Luke*

Maatalouden perusuran taustalla on käytetty TEM:in perusskenaariokehikon (I. WEM) oletuksia muun muassa energian hintojen ja väestön kehityksestä. Taustalla on myös OECD-FAO:n arviot maataloustuotteiden hinnoista 2015–2024. Niiden mukaan hinnat suhteessa panoksiin keskimäärin vähän laskevat, eli hintasuhde lievästi heikkenee. Etenkin annetuilla energian hintojen nousulla on vaikutusta erityisesti viljantuotannon määrään (kannattavuuden heikkenemisen kautta). Samoin sianlihan tuotanto alenee muutamia prosentteja. Siipikarjanlihan tuotannon kasvu pysähtyy jo heikentyneen ja edelleen heikkenevän kannattavuuden vuoksi, mutta ei vähene hyvän kysynnän ansiosta.

Vuonna 2014 maataloussektorin päästöt olivat yhteensä noin 6,5 Mt CO<sub>2</sub>-ekv., josta lannankäsittelyn dityppioksidipäästöjen ja metaanipäästöjen osuus oli yhteensä noin 11 % sekä viljelymaan dityppioksidipäästöjen osuus 53 %. Kotieläinten ruoansulatuksen metaanipäästöt olivat noin 32 % sekä hiilidioksidipäästöt kalkituksesta ja urealannoituksesta noin 3 % sektorin päästöistä. Verrattuna vuoden 2005 päästöihin maatalouden kokonaispäästöt nousevat WEM-skenaariossa 3 % vuoteen 2020 mennessä, mutta vuonna 2030 ne ovat 0,5 % alhaisemmat kuin 2005 (Taulukko 4). Vuoteen 2020 asti lannoitus ja turvemaat ovat kasvavia päästölähteitä. Vuoden 2020 jälkeen märehitjät ja lannoitus ovat pieneneviä päästölähteitä.

**Taulukko 4. Maataloussektorin kokonaispäästöt ja WEM-skenaario 1990–2030 (Mt CO<sub>2</sub>-ekv.)**

<b>Päästölähde ja kaasu</b>	<b>1990</b>	<b>2005</b>	<b>2014</b>	<b>2020</b>	<b>2030</b>
Ruuansulatus (CH <sub>4</sub> )	2,42	2,06	2,09	2,16	2,01
Lanta (CH <sub>4</sub> ja N <sub>2</sub> O)	0,65	0,72	0,74	0,69	0,68
Maaperä (N <sub>2</sub> O)	3,75	3,34	3,42	3,53	3,47
Kalkitus ja urea (CO <sub>2</sub> )	0,64	0,29	0,22	0,22	0,22
Kulutus (CH <sub>4</sub> ja N <sub>2</sub> O)	0,004	0,003	0,003	0,003	0,003
<b>Yhteensä</b>	<b>7,47</b>	<b>6,41</b>	<b>6,48</b>	<b>6,61</b>	<b>6,38</b>
Muutos vuodesta 2005				+3,1 %	-0,5 %

Maatalouden lisätoimia ovat:

- Eloperäisten maiden viljely monivuotisesti muokkaamatta
- Säättösalaojitus eloperäisellä nurmialalla
- Eloperäisten maiden metsitys
- Eloperäisten maiden kosteikkometsitys
- Biokaasun tuotannon lisääminen

Jos tarkastellaan maataloussektorilla raportoitavia kasvihuonekaasupäästöjä, nurmipeitteinen turvepelto tuottaa noin 1,6 t CO<sub>2</sub>-ekv. hehtaarilta vuodessa vähemmän päästöjä kuin yksivuotisella kasvilla, kuten viljalla, oleva turvepelto. Turvemaita on kaikkiaan noin 250 000 ha joista nurmella noin 57 %. Jos nurmipeitteisyyttä lisättäisiin 80 %:iin, se merkitsisi noin 50 000 hehtaarin siirtymistä nurmelle ja 0,07 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. päästövähennystä maataloussektorille vuodessa, mikäli nurmipeitteisyys jäisi pysyväksi. LULUCF-sektorille saataisiin huomattavasti suurempi hyöty, koska hiilidioksidipäästö pienenee enemmän monivuotisessa viljelyssä. Yhteensä molemmat raportointisektorit huomioiden saavutettaisiin 0,39 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. suuruinen päästövähennys (ks. Taulukko 5)

Säättösalaojitus on yhtenä ympäristökorvauksen toimenpiteenä Manner-Suomen maaseudun kehittämissuunnitelmassa ohjelmakaudella 2014–2020. Säättösalaojituksen perustamiseen voidaan myöntää investointitukea, joka on 40 prosenttia hyväksytyistä kustannuksista. Lisäksi hoitotoimenpiteistä voidaan saada ympäristökorvausta. Säättösalaojituksella voidaan nostaa pohjaveden korkeutta, mikä hidastaa turpeen hajoamista ja vähentää päästöjä. WAM-skenaariossa säättösalaojituksen osuus nousee 2 prosentista 20 prosenttiin eloperäisillä nurmilla vuosina 2020–2030. Säättösalaojitus turvemailla vähentää päästöjä noin 3,7 t CO<sub>2</sub>-ekv./ha/vuosi, jos turvemaalla viljellään ennestään nurmea. Jos vain maataloussektorin päästövähennykset huomioidaan, saadaan 0,14 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. suuruinen päästövähennys, kun toimi toteutetaan jo olemassa olevalla nurmialalla. Jos tähän lisätään LULUCF-sektorilla toteutuva vähennys 0,43 Mt CO<sub>2</sub>-ekv., saadaan yhteisvaikutukseksi 0,57 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. vuonna 2030 (ks. Taulukko 5).

Eloperäisiä peltoja metsittämällä voidaan saada jo ilman puubiomassan huomioimista noin 10 t CO<sub>2</sub>-ekv./ha/vuosi suuruinen päästövähennys. Jos 45 000 ha turvemaata tulisi metsitystoimen piiriin vuoteen 2030 mennessä, päästövähennys WEM-skenaarioon verrattuna olisi

0,23 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. maataloussektorilla ja 0,26 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. LULUCF-sektorilla, eli yhteensä 0,49 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. (ks. Taulukko 5).

Kosteikkometsityksessä turvepellon ojat tukitaan ja pelto istutetaan hieskoivulle. Toimi nostaa pohjaveden pinnankorkeutta, mikä vähentää olennaisesti kasvihuonekaasupäästöjä. Pelto jäisi pysyvästi maatalouskäytön ulkopuolelle eikä olisi oikeutettu maataloustukiin enää istutuksen jälkeen. Toimi sopii parhaiten viljelyn kannalta huonoille tai tilakeskuksesta kaukana oleville turvepelloille. Jos yhteensä 5000 ha saataisiin tuen piiriin, saavutettava päästövähennys olisi 0,01 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. maataloussektorilla ja 0,13 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. LULUCF-sektorilla (ks. Taulukko 5).

Biokaasutus vähentää päästöjä sekä lannankäsittelyssä että fossiilia polttoaineita korvaavan vaikutuksen kautta. Suomessa muodostui noin 19,1 Mt erilaisia lantoja vuonna 2014, mikäli oletetaan kaiken lannan muodostuvan eläinsuojissa. Jos tästä poistetaan erikseen kerätty virtsa ja laidunlannan osuus, teoreettisesti biokaasulaitoksissa prosessoitava lantamäärä olisi tällöin 15,2 Mt lantaa vuosittain. Lannan biokaasusaantoa parannettaisiin lisäksi ylijäämärehuista saatavista nurmisyötteellä, jonka osuus on noin 8 % mädätettävän massan märkäpainosta. Maataloussektorin päästövähennys olisi 0,01 Mt CO<sub>2</sub>-ekv., jos puolet suurten tilojen lannasta mädätettäisiin. Jos biokaasulla korvataan tilalla käytettävää lämmitysöljyä tai se käytetään liikennesektorilla, saadaan taakanjakosektorille lisäksi noin 0,35 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. päästövähennys.

#### Taulukko 5. Yhteenveto maatalouden lisätoimien päästövähennyksistä

	Päästövähennys 2030 Mt CO <sub>2</sub> -ekv.			ha	ha
	Taakanjako	LULUCF	Yhteensä	2015	2030
Eloperäisten maiden viljely monivuotisesti muokkaamatta	0,07	0,32	0,39	159000	212000
Säätösalaajitus eloperäisellä nurmialalla	0,14	0,43	0,57	3000	36000
Eloperäisten maiden metsitys	0,23	0,26	0,49	0	45000
Eloperäisten maiden kosteikkometsitys	0,01	0,13	0,14	0	5000
Biokaasun tuotannon lisääminen	0,36	-	0,36	-	-
Yhteensä	0,81	1,15	1,95		

#### Maataloussektorin lisätoimien kustannukset ja rajoitukset

*Kristiina Regina, Heikki Lehtonen ja Pasi Rikkonen, Luke*

Vähentämiskustannukset eloperäisille maille kohdistuville toimille ovat varsin tapauskohtaisia ja siksi epävarmoja. Eri tapauksien perusteella on kuitenkin laskettu vaihteluvälejä eri keinojen kustannuksille (ks. Taulukko 6). Toimilla on varsin vähäisiä vaikutuksia maatalouden tuotantomäärään. Viljan tuotanto eloperäisillä mailla vähenisi noin 20-30 milj. euron arvosta nurmipeitteisyyden lisäämisen seurauksena, mutta vastaava tuotannon lisäys voidaan helposti saavuttaa kivennäismailla, ja todennäköisesti kannattavammin. Osa toimista olisi päällekkäisiä, esim. turvemaiden nurmipeitteisyyden lisääminen olisi toimena myös säätösalaajitetuilla pelloilla.

Metsityksen käyttöönottoa rajoittaa nykyisellään merkittävästi se, että suurta osaa eloperäisiä maita tarvitaan maataloustuotteiden tuotantoon, johon tilat ovat investointiensa kautta sitoutuneet. Siksi metsitykseen vapautuu peltoa todennäköisesti varsin hitaasti. Lisäksi

peltoalalle maksetaan tukea yhteensä 480-600 €/ha viljelykasveista ja mm. ympäristökorvauksen sitoumuksista riippuen. Keskeisenä tukiehtona on, että pelto pidetään hyvässä viljelykunnossa. Metsitys tai oijen tukkiminen poistaa pellon maataloustukien piiristä jolloin metsitys on nykyisellään yksityistaloudellisesti kannattamatonta, vaikka yhteiskunnalle koitua päästövähennyskustannus (jossa tukimenetystä ei ole otettu huomioon vaan maataloustukien kokonaismäärä Suomessa oletettu vakioksi; ks. Taulukko 6) on varsin alhainen. Yksityistaloudellinen kustannus viljelijälle on tukien menetyksen vuoksi huomattava, ja moninkertainen yhteiskunnalliseen päästövähennyskustannukseen verrattuna. Näin on ainakin EU-ohjelmakauden 2014-2020 tilanteessa, jossa pellon tukioikeuden ehtona on sen pitäminen viljelykunnossa. Maataloustuen ehdot voivat kuitenkin muuttua 2020 jälkeen. Yksityistaloudellinen kustannus olisi kuitenkin lähes sama kuin yhteiskunnallinen, jos viljelijälle voidaan osoittaa toinen pelto, johon tukioikeus voidaan siirtää metsitettävältä alalta.

Vielä ei ole tiedossa, kuinka merkittäviin päästövähennyksiin päästään vuoteen 2030, sillä WAM-skenaariota mukainen kehitys vaatisi muutoksia tukijärjestelmiin. Paras kustannustehokkuus saataisiin kohdentamalla toimia maatalouskäytössä vähäarvoisimmille lohkoille. Näitä ovat pienet, maatilojen talouskeskuksiin nähden syrjäiset ja sadontuotokyvyltään heikot peltolohkot, joiden pinta-ala on mahdollista selvittää mm. maaperätietojen ja GIS-työkalujen keinoin.

#### Taulukko 6. Toimien kustannukset maataloudessa

	Kustannus	Kustannus täydessä laajuudessa keskimäärin	
	€/t CO <sub>2</sub> -ekv.	€/t CO <sub>2</sub> -ekv./vuosi	M€/vuosi
Nurmipeitteisyyden lisääminen eloperäisillä mailla	6,4-20	15	5,9
Säätösalaajitus eloperäisillä nurmilla	9-43	26	14,7
Eloperäisten maiden metsitys	13,5	13,5	6,6
Eloperäisten maiden kosteikkometsitys	3,6-8,6	6	0,9
Biokaasun tuotannon lisääminen	37	37	13,4
Kustannus yhteensä			41,5

## 3. TOIMET JA NIIDEN VAIKUTUKSET ENERGIAJÄRJESTELMÄÄN

ANTTI LEHTILÄ, VTT

### 3.1 Energiajärjestelmämallinnuksessa kuvatut toimet

Energiajärjestelmätarkastelussa käytettiin hyväksi edellä esitettyjä hankkeen yhteisiä lähtöoletuksia, joista keskeisimmät olivat seuraavat:

- väestön ja kansantalouden talouden kehitys;
- energiantensiivisen teollisuuden tuotannon kehitys;
- asuin- ja palvelurakennusten kannan kehitys;
- liikenteen suoritteiden kehitys;
- päästöoikeuksien hinnan kehitys.

WAM-skenaariossa tarkasteltiin lisätoimien vaikutuksia. Tärkeimpiä strategian suunnitelmissa esitettyjä lisätoimia käsiteltiin seuraavasti:

- Taakanjakosektorin päästötavoitteet asetettiin joustokeinojen käyttö huomioiden sitoviksi rajoitteiksi: -16 % vuonna 2020, -23 % vuonna 2025, -37 % vuonna 2030 (eli noudattaa lineaarista kehitystä).
- Uusiutuva energia: 38 % vähimmäisosuus 2020, ei sitovaa tavoitetta vuodelle 2030
- Metsähakkeen käyttötaso: ei sitovaa tavoitetta, malli laskee tarvittavan käyttömäärän
- Biopolttoainejalostamot:
  - Puubiodieseliä noin 300 ktoe, josta 50 % uusia ns. stand-alone-laitoksia ja 50 % metsäteollisuuden integraateissa
  - Lisäksi noin 300 ktoe lisää HVO- (Hydrotreated Vegetable Oil, suom. vetykäsitelty kasviöljy), jäte- ja ligniinipohjaista tuotantoa. Jätteraaka-aineesta valmistettu biojaloste osa raaka-aineen tuontiin perustuvaa tuotantoa.
- Liikenteessä lisätoimille asetettiin seuraavat vähimmäistasoja koskevat oletukset:
  - henkilöautojen ajoneuvosuoritteiden oletettiin alenevan noin 10 %
  - tavaraliikenteen ajoneuvosuoritteiden oletettiin alenevan noin 3 % logistiikan tehostamisen myötä
  - sähkökäyttöisiä henkilöautoja tulee käyttöön 250 000 vuoteen 2030 mennessä
  - kaasukäyttöisiä henkilöautoja tulee käyttöön 50 000 vuoteen 2030 mennessä
  - sekoitevelvoite nousee lineaarisesti keskimäärin 30 %:iin vuoteen 2030 mennessä.
- Asuin- ja palvelurakennusten osalta käytettiin seuraavia oletuksia:
  - Lämmön ominaiskulutukset kehittyvät kuten WEM-skenaariossa (Syke:n perusura<sup>63</sup>) sekä vanhan kannan että uudisrakennusten osalta
  - lämmitysöljyä tulee koskemaan 10 %:n sekoitevelvoite (biopolttoöljy)

<sup>63</sup> Mattinen M., Heljo J. & Savolahti M. (2016). Rakennusten energiankulutuksen perusskenaario Suomessa 2015–2050. Suomen ympäristökeskus 10.6.2016.

- Tuotantorakennusten osalta oletettiin myös lämmitysöljyn 10 %:n sekoitevelvoite
- Työkoneiden dieselöljylle oletettiin niin ikään 10 %:n sekoitevelvoite
- Maatalouden eloperäisten turvemaiden päästöjen vähennystoimet mallinnettiin Luken arvioiden mukaan, mutta kustannustehokkuuden mukaan mallissa käyttöönotettavina
- F-kaasujen lisävähennystoimet mallinnettiin 0,2 Mt CO<sub>2</sub>-ekv.:n lisävähennyspotentiaaliksi mukaisesti, mutta kustannustehokkuuden mukaan mallissa käyttöönotettavina
- Jätteenpolton oletettiin siirtyvän päästökauppasektorille WAM-skenaariossa
- Päästökauppasektorille asetettiin vain muutamia lisäoletuksia:
  - Tuulivoiman lisäys on vähintään 2 TWh vuosina 2021–2024 uuden tukijärjestelmän myötä
  - Monipolttoainekattiloiden oletuksia kivihiilen/turpeen vähimmäisosuudesta tupolttoaineena lievennettiin kivihiilen käytöstä luopumistavoitteen takia

Yllä esitettyjen toimien lisäksi mallin annettiin itse valita kustannustehokkaita päästöjen vähennystoimia, esimerkiksi lämpöpumppujen laajempi käyttöönotto. Yksinkertaistuksena oletettiin, että bio-osuuden sekoitevelvoitteiden osalta sekä rakennusten erillislämmityksessä että työkoneissa fossiilista polttoainetta korvataan samalla kehittyneellä biodieselillä kuin tieliikenteessä.

Seuraavissa kappaleissa esitetään energijärjestelmämallin perustuloksia WEM- ja WAM-skenaarioista. Hallitusohjelman tavoitteiden toteutumista (Kappale 4) tarkastellaan WAM-skenaariotulosten pohjalta.

## 3.2 Primaarienergian hankinta

TIMES-VTT-mallin antama primaarienergian kokonaiskulutus WEM- ja WAM-skenaarioissa on esitetty kuvassa 7. Energian kokonaiskulutus on mallinnettu ja raportoitu yhdenmukaisesti IEA:n energiataseiden kanssa, joten luvut eivät ole täysin vertailukelpoisia kansallisen energiatilastoinnin kanssa. Primaarienergian kokonaiskulutus on WEM-skenaariossa korkeimmillaan noin 1550 PJ (431 TWh) vuonna 2025, jonka jälkeen kulutus alkaa vähentyä. Strategian lisätoimilla (WAM-skenaario) on varsin pieni vaikutus kulutuksen kokonaismäärään: ne laskevat kulutusta vain noin yhden prosentin verran vuosina 2025–2030.

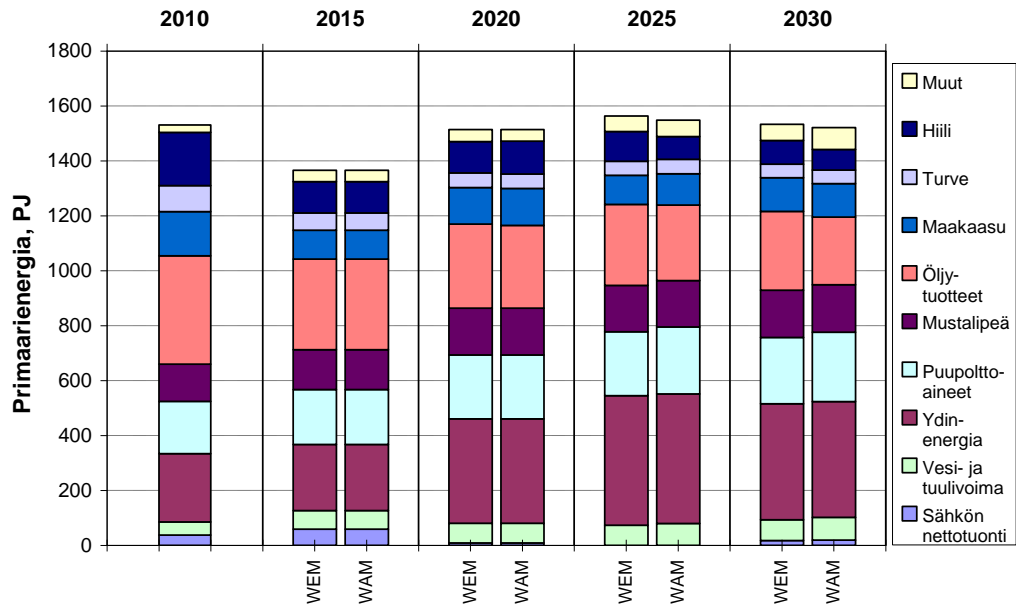
Fossiilisten polttoaineiden käyttö vähenee molemmissa skenaarioissa merkittävästi vuoteen 2030 mennessä, mutta erityisesti öljyn kokonaiskulutus vähenee huomattavasti voimakkaammin WAM-skenaariossa. Maakaasun kulutus sen sijaan kasvaa kummassakin skenaariossa vuoden 2015 tasosta noin 120 PJ:n (33 TWh) tasolle, mutta jää silti selvästi vuoden 2010 tason alapuolelle. Lisäydinvoiman vaikutus näkyy kokonaisenergiataseessa tuntuvana vuodesta 2020 alkaen ja on suurimmillaan vuonna 2025, ennen kuin Loviisan olemassa olevat laitokset tulevat teknisen käyttöikänsä päähän. Lauhdevoimana ydinvoima lisää primaarienergian kokonaiskulutusta, mutta toisaalta vähentää sähkön tuontia, fossiilisten polttoaineiden käyttöä kotimaiseen sähkön tuotantoon sekä kasvihuonekaasupäästöjä.

Uusiutuvia primaarienergiälähteitä on havainnollistettu tarkemmin kuvassa 8. Uusiutuvan energian kokonaismäärä nousee vuoteen 2030 mennessä 52–62 % vuoden 2010 tasosta. Puun energiakäyttö kasvaa merkittävästi sekä WEM- että WAM-skenaariossa, mikä johtuu toisaalta sivutuotteiden määrän kasvusta ja toisaalta metsähakkeen käytön lisäyksestä. WAM-skenaariossa energiakäyttöä lisää etenkin biopolttonesteiden tuotanto, ja vuonna 2030 primaarinen käyttö nousee 11 PJ (noin 1,5 Mm<sup>3</sup>) WEM-skenaariota suuremmaksi. Kaikkiaan

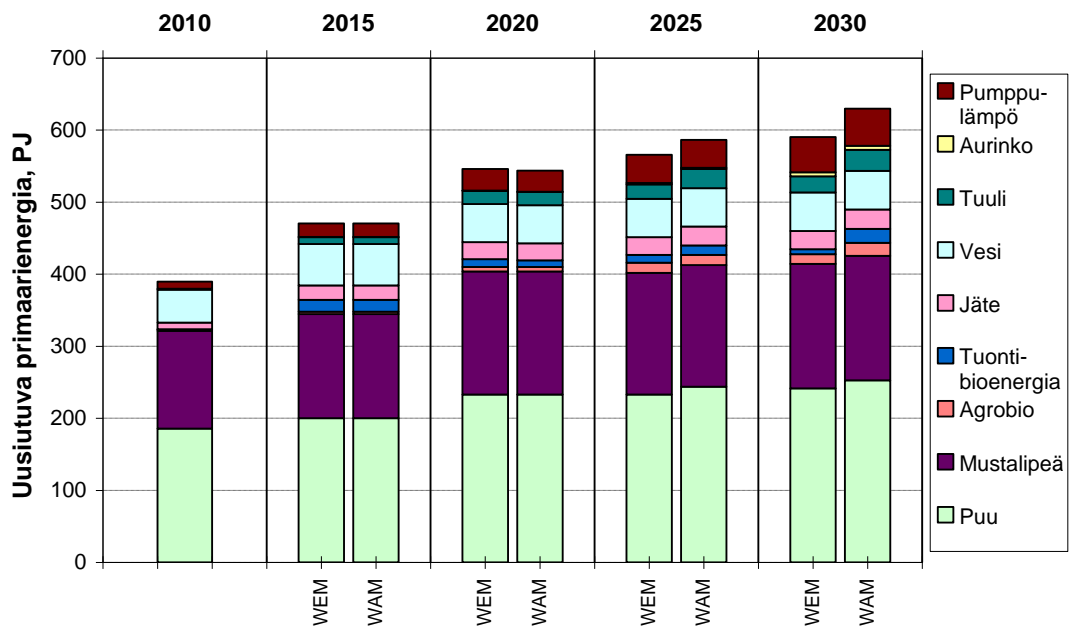


puuperäisen primaarienergian käyttö nousee tällöin WAM-skenaariossa 425 PJ:n (118 TWh) määrään. Myös maatalouden sivutuotteiden käyttö nousee WAM-skenaariossa 2020-luvulla tuntuvasti muun muassa biokaasun tuotannossa. Yhdyskuntajätteen energiakäyttö kasvaa skenaarioissa noin 20 PJ:n (n. 6 TWh) tasolle, mutta WAM-skenaariossa lisätoimet eivät vaikuta käyttötasoon. Muiden uusiutuvien energialähteiden käyttöä tarkastellaan sähköntuotantoa käsittelevässä kappaleessa 3.3.

**Kuva 7. Primaarienergian kokonaiskulutus WEM ja WAM-skenaarioissa.**



**Kuva 8. Uusiutuvan primaarienergian hankinta WEM ja WAM-skenaarioissa.**



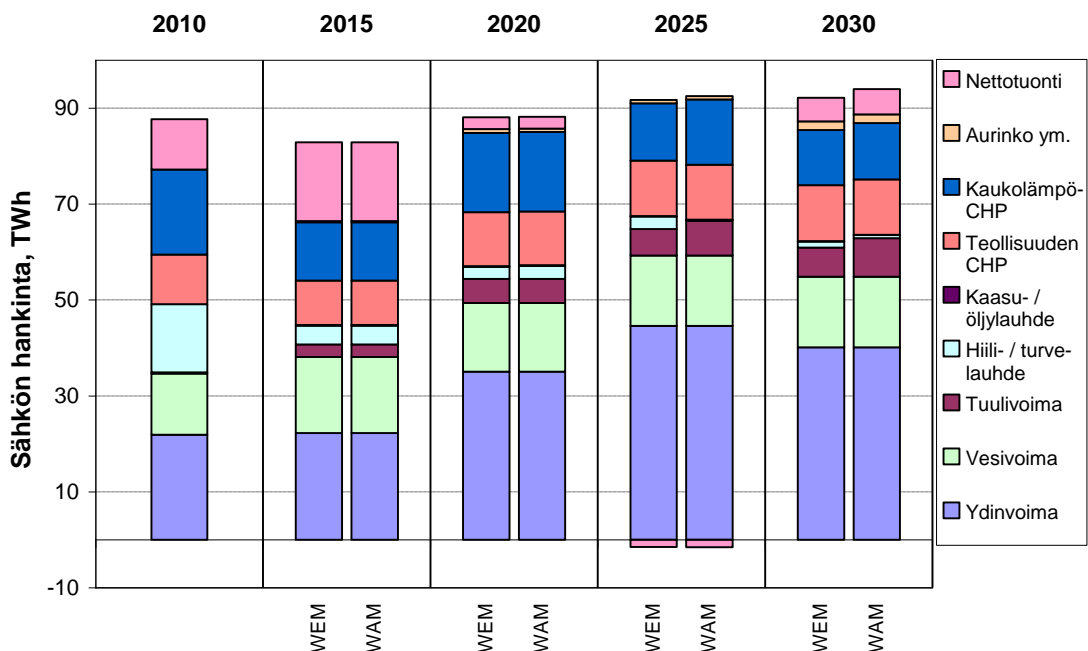
### 3.3 Sähköenergian hankinta

Mallilaskelmien mukainen sähkön kokonaishankinnan kehitys on esitetty kuvassa 9. Tulosten mukaan sähkön kulutus nousee Suomessa yli 90 TWh:n tasolle vasta vuonna 2025. Sähkön tuotanto on vuonna 2025 jopa hieman kulutusta suurempi, eli Suomi olisi kummassakin skenaariossa omavarainen sähkön hankinnan suhteen vuonna 2025. Vuonna 2030 sähkön kokonaiskulutus on WAM-skenaariossa vajaat 2 TWh suurempi kuin WEM-skenaariossa, mikä johtuu osittain biopolttonesteiden huomattavasti laajemmasta kotimaisesta tuotannosta WAM-skenaariossa ja osittain voimakkaammasta energian kulutuksen sähköistymisestä taakanjakosektorilla, muun muassa liikenteessä.

Tarkasteltaessa sähkön hankintaa energialähteittäin nähdään samansuuntaisia muutoksia kuin primäärienergian osalta, eli fossiilisten polttoaineiden osuus vähenee huomattavasti ja uusiutuvien energialähteiden osuus vastaavasti kasvaa merkittävästi. Puupolttoaineilla tuotetun sähkön määrä on vuonna 2030 WAM-skenaariossa lähes samalla tasolla WEM-skenaariion kanssa siitäkin huolimatta, että WAM-skenaariossa puupolttoaineita ohjautuu selvästi enemmän taakanjakosektorille, erityisesti liikenteen polttoaineeksi. Tuulivoimatuo- tannon suurempi lisäys WAM-skenaariossa kompensoi sähkön kulutuksen suuremman kasvun, joten sähkön nettotuonti on vuonna 2030 kummassakin skenaariossa noin 5 TWh. WAM-skenaariion lisätoimilla ei ole sanottavaa vaikutusta yhdistetyn sähkön- ja lämmöntuo- tannon (CHP) laajuuteen, joka on vuonna 2030 runsaat 23 TWh kummassakin skenaariossa.

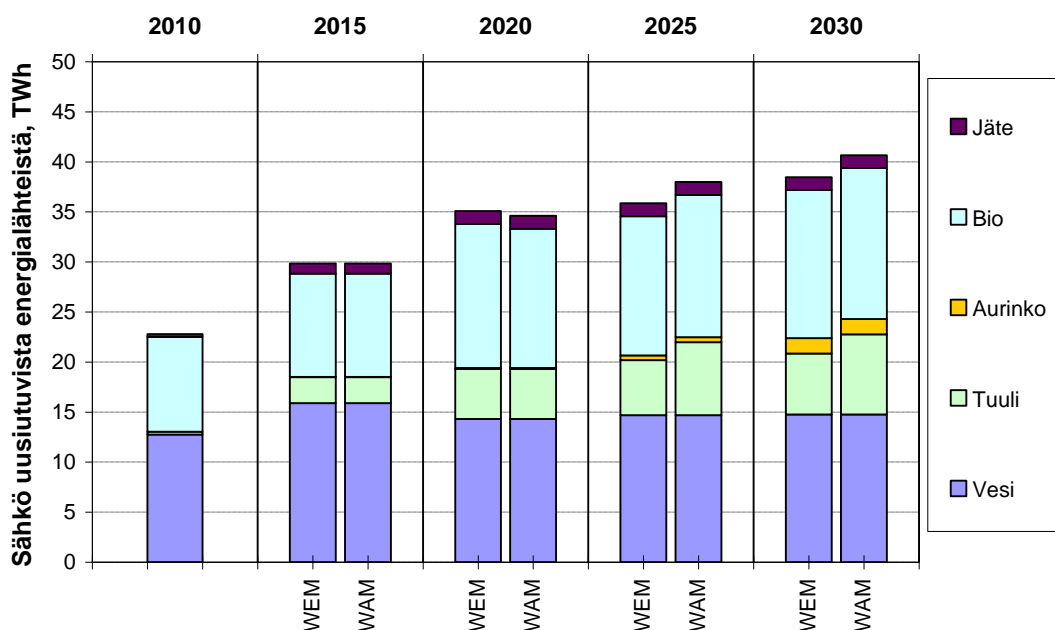
Uusiutuville energialähteillä tuotetun sähkön kokonaismäärän kehitys voidaan nähdä sel- vemmin kuvasta 10. Vesivoiman hyödyntämisen oletettiin kasvavan hitaasti, lähinnä vanho- jen laitosten saneerauksen myötä, ja lisäys on samansuuruinen kummassakin skenaariossa. Tuulivoiman tuotanto nousee WEM-skenaariossa nykyisen tukijärjestelmän myötä hieman yli 6 TWh:n vuonna 2030, mutta WAM-skenaariossa oletettu uusi tuotantotuki nostaa tuotannon 2 TWh suuremmaksi eli noin 8 TWh:iin. Biopolttoaineilla tuotetun sähkön määrä on kummas- sakin skenaariossa noin 15 TWh vuonna 2030, ja jättepolttoaineilla tuotettu sähkö (osittain uusiutuvaa) noin 1,3 TWh.

Kuva 9. Sähköenergian hankinta WEM ja WAM-skenaarioissa



Aurinkosähkön tuotantopotentiaaleista saatiin KEIJU-hankkeen tarpeisiin arviot Pöyry Management Consulting Oy:ltä<sup>64</sup>. Arvioiden mukaan teoreettinen aurinkosähkön tuotantopotentiaali on Suomessa kattopinta-aloja hyödyntäen noin 14 GW, kun otetaan huomioon ilmansuuntien ja kattorakenteiden aiheuttamat rajoitteet. Arviossa todetaan kuitenkin, että taloudellinen potentiaali jää selvästi pienemmäksi, sillä investointien kannattavuus riippuu voimakkaasti mahdollisuudesta hyödyntää sähkö omaan käyttöön. Näistä lähtökohdista energiajärjestelmätarkastelussa oletettiin teoreettisesta tuotantopotentiaalista tulevan käyttöön 2030 mennessä korkeintaan 10 %, mitä vastaava tuotanto, noin 1,5 TWh, toteutuu kummassakin skenaariossa ja vasta vuoteen 2050 mennessä potentiaalista voisi olla suurin osa hyödynnetty. Energia- ja ilmastostrategiassa aurinkosähkön tuotannoksi oletettiin 0,7 TWh WEM- ja WAM-skenaarioissa, eli noin puolet TIMES-VTT-skenaarioiden määristä. Myös Pöyry Management Consulting Oy:n arvio päättyy likimain samaan, kuin Energia- ja ilmastostrategia. Aurinkosähkön osalta tulee kuitenkin huomioida, että arvioon liittyy merkittävää epävarmuutta ja vuoteen 2030 mennessä kasvu voi olla huomattavasti oletettua voimakkaampaa.

**Kuva 10. Uusiutuvilla energialähteillä tuotettu sähkö WEM- ja WAM-skenaarioissa.**



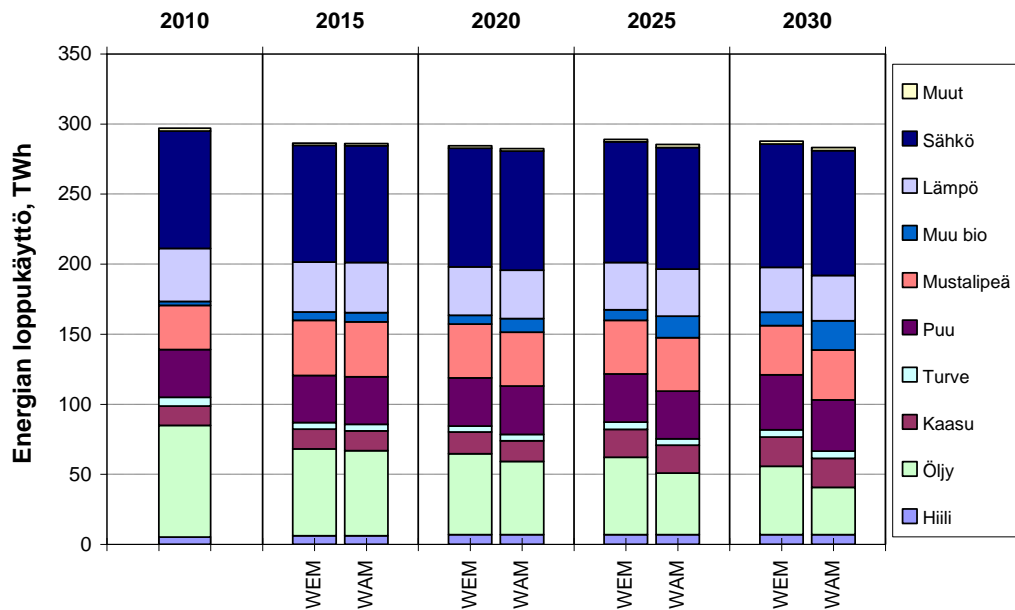
### 3.4 Energian loppukulutus

Energian loppukulutuksella eli loppuenergian kulutuksella tarkoitetaan tavallisimmin teollisuuden, asumisen, palvelujen, maa- ja metsätalouden ja liikenteen suoraa energialähteiden kulutusta, jossa ei siis ole mukana energian konversio- ja jakelusektoreiden (esim. öljynjalostus, sähkön ja kaukolämmön tuotanto ja jakelu) energiahäviöitä, eikä myöskään lämpöpumppujen avulla ympäristöstä talteen otettua lämpöenergiaa. EU:n uusiutuvan energian osuuden laskennassa noudatetaan tässä hieman toisenlaista määritelmää, mikä on hyvä pitää mielessä. Tavallisimman ja muun muassa IEA:n noudattaman määritelmän mukainen energian loppukulutus on esitetty kuvassa 11.

<sup>64</sup> Pöyry Management Consulting (2017). Hajautetun uusiutuvan energiantuotannon potentiaali ja potentiaalın toteutuminen markkinaehtoisesti. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 05/2017. <http://tietokayttoon.fi/julkaisu?pubid=16603>

Energian loppukulutus oli Suomessa vuonna 2010 yhteensä noin 300 TWh, josta sähköä oli 28 %, lämpöä noin 13 % ja suoraa polttoainekäyttöä 59 %. Tulosten mukaan loppukäytön kokonaismäärä pysyy vuoteen 2030 saakka lähellä vuoden 2015 tasoa. Tarkastellut lisätoimet johtavat kuitenkin loppuenergian käytön vähenemiseen WAM-skenaariossa noin 2 %:lla WEM-skenaarioon verrattuna, mikä johtuu lähinnä liikennejärjestelmän tehostumisesta ja sähköistymisestä. Vähennys kohdistuu voimakkaimmin fossiilisiin öljytuotteisiin, ja vastaavasti biopolttonesteiden loppukäyttö kasvaa huomattavasti. Sähkön loppukäyttö kasvaa toimien seurauksena 1,3 % vuonna 2030.

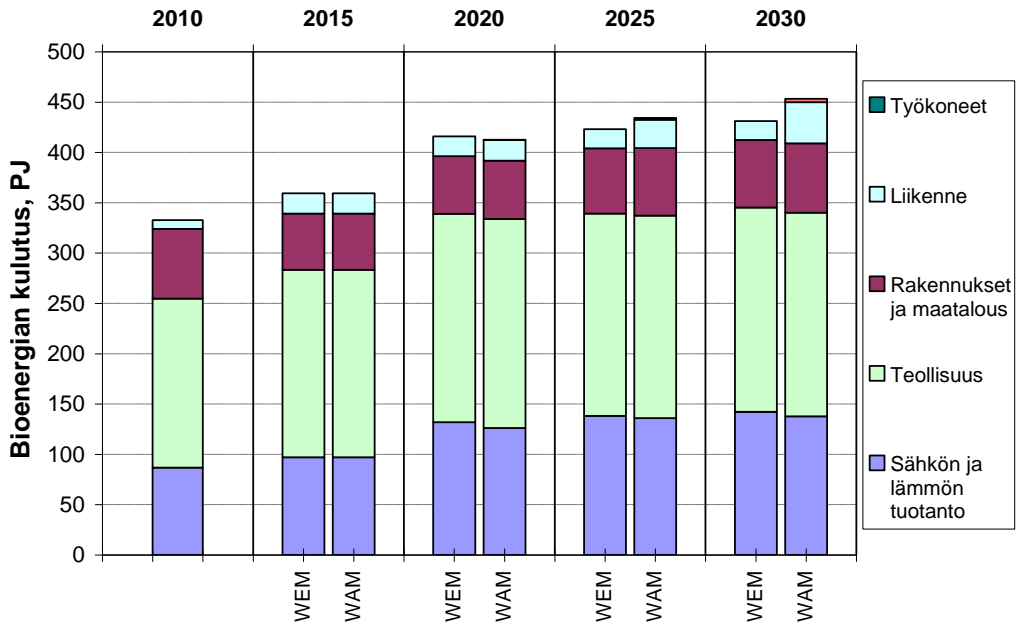
**Kuva 11. Energian loppukulutus WEM- ja WAM-skenaarioissa**



Kuvassa 12 on esitetty bioenergian käyttö sektoreittain ja kuvassa 13 vastaavasti öljytuotteiden käyttö (ottaen huomioon vain strategiassa<sup>65</sup> käytetyn määritelmän mukaiset öljytuotteet). Näissä kuvissa on mukana myös polttoaineiden käyttö sähkön ja lämmön tuotantoon, mutta ei jalostamoiden syöttöön meneviä polttoaineita. Strategian lisätoimet (WAM-skenaario) johtavat huomattavaan bioenergian käytön lisäykseen liikenteen ja työkoneiden polttoaineena ja vastaavasti pieneen vähennykseen bioenergian käytössä sähkön ja lämmön tuotannossa verrattuna perusskenaarioon (WEM). Rakennusten lämmityksen ja maatalouden käyttötasoon toimilla ei ole merkittävää vaikutusta, sillä lämmitysöljyn 10 % sekoitevelvoite johtaa vain runsaan 2 %:n lisäykseen bioenergian lämmityskäytössä. Fossiilisten öljytuotteiden käyttö supistuu merkittävästi kummassakin skenaariossa, mutta WAM-skenaarion lisätoimet kiihdyttävät tuontiöljyn käytön vähenemistä erityisesti liikenteessä. Toimien ansiosta öljytuotteiden käyttö lähes puolittuu vuoden 2010 tasosta tarkasteluajavälin aikana.

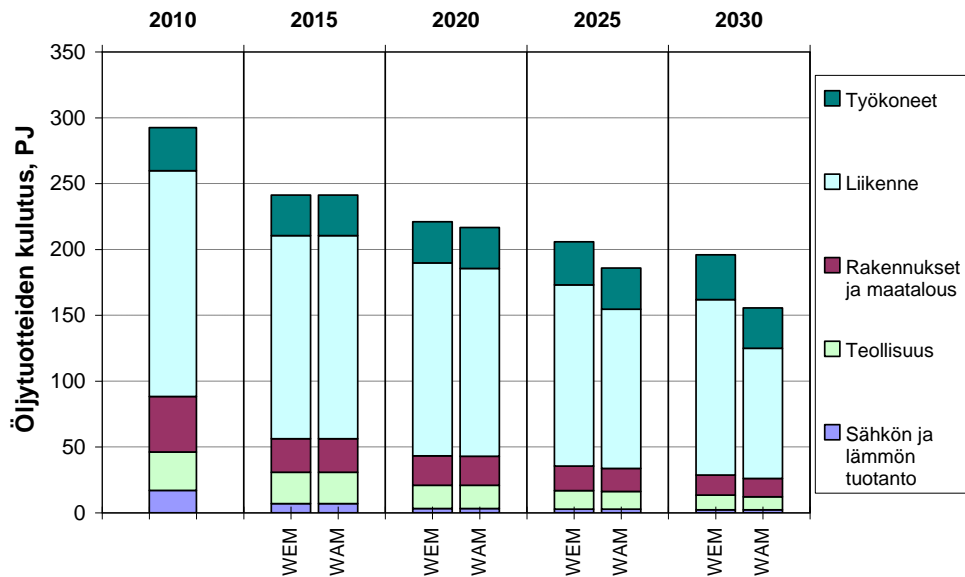
<sup>65</sup> VNK (2016). Valtioneuvoston selonteko kansallisesta energia- ja ilmastostrategiasta vuoteen 2030.

**Kuva 12. Bioenergian loppukulutus WEM ja WAM-skenaarioissa**

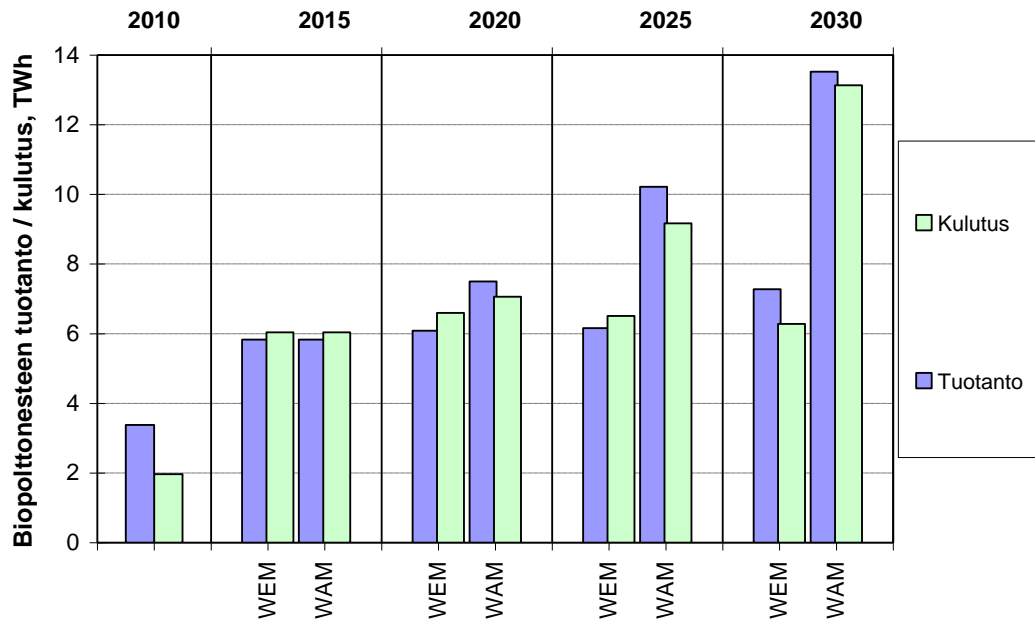


Kuvassa 14 on havainnollistettu biopoltonesteiden kotimaisen tuotannon ja kulutuksen tasetta, joka lienee työn kannalta yksi energiajärjestelmämallinnuksen keskeisimmistä tuloksista. Tulosten mukaan WEM-skenaariossa biopoltonesteiden tuotanto ja kulutus pysyvät suunnitellun vuoden 2015 tasolla vuoteen 2030 saakka, mutta WAM-skenaariossa tuotanto kasvaa 2020-luvulla voimakkaasti, aluksi oletetun sekoitevelvoitteen mukaista kulutuksen kasvua nopeammin. Vuonna 2030 tuotanto ja kulutus ovat kuitenkin lähes tasapainossa runsaan 47 PJ:n vuotuisen kulutuksen tasolla. Suomi on biopoltonesteiden osalta WAM-skenaariossa HVO-pohjaisen (HVO = Hydrotreated Vegetable Oil, suom. vetykäsitelty kasviöljy) tuotannon tuontiraaka-aineita lukuun ottamatta omavarainen vuodesta 2020 lähtien.

**Kuva 13. Öljypolttoaineiden kotimainen loppukulutus WEM- ja WAM-skenaarioissa (hallitusohjelman rajauksen mukaan).**



**Kuva 14. Biopolttonesteiden kotimainen tuotanto ja loppukulutus WEM- ja WAM-skenaarioissa.**

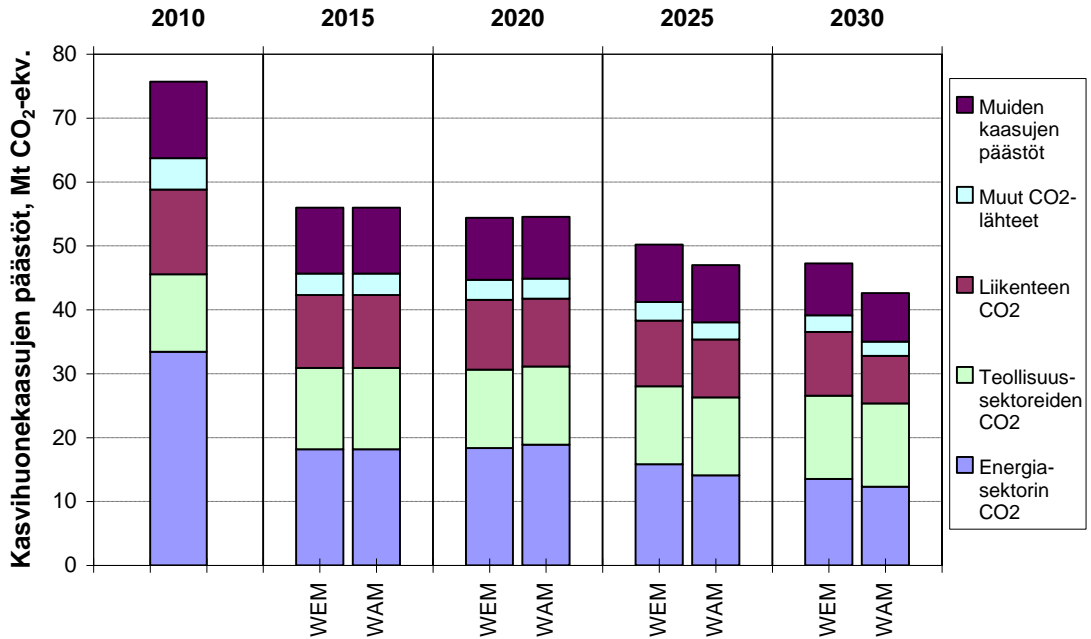


### 3.5 Kasvihuonekaasujen päästöt

Energiajärjestelmämalli kattaa kaikki Kioton pöytäkirjan käsittelemät neljä tärkeintä kasvihuonekaasulajia, eli hiilidioksidin (CO<sub>2</sub>), metaanin (CH<sub>4</sub>), typpioksiduulin (N<sub>2</sub>O) ja niin sanotut F-kaasut (fluorihilivedyt (HFC), perfluorihilivety (PFC) ja rikkiheksafluoridi (SF<sub>6</sub>)). Uutena F-kaasulajina mukaan tulleen typpitrifluoridin (NF<sub>3</sub>) päästöjä ei kansallisen inventaarin mukaan Suomessa käytännössä ole. Kuvassa 15 on esitetty Suomen kasvihuonekaasupäästöjen kehitys WEM- ja WAM-skenaariossa (ilman LULUCF-päästöjä).

Tulosten mukaan päästöjen kokonaismäärä on vuonna 2020 kummassakin skenaariossa noin 54 Mt CO<sub>2</sub>-ekv., eli jo 24 % vähemmän kuin vertailuvuonna 1990. Päästourat kuitenkin erkaantuvat toisistaan selvästi 2020-luvulla siten, että WAM-skenaariossa kokonaispäästöjen vähennys on vuonna 2025 jo 34 % vuoden 1990 tasosta ja vuonna 2030 noin 40 %. Suomi saavuttaa siten WAM-skenaariossa EU:n yhteisen tavoitteen mukaisen 40 %:n päästönvähennyksen.

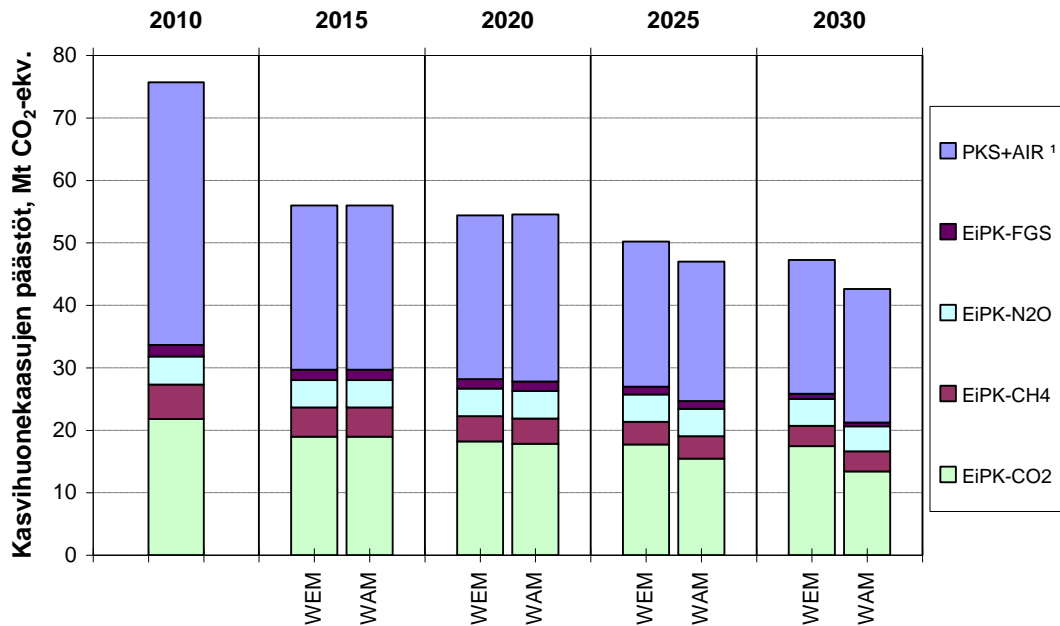
Kuva 15. Kasvihuonekaasupäästöt WEM- ja WAM-skenaarioissa.



Päästöjen jakautumista päästökauppa- ja taakanjakosektorille ja edelleen taakanjakosektorin päästöluokkiin on havainnollistettu kuvassa 16. Kuvasta nähdään, että lisätoimet (WAM-skenaario) vaikuttavat voimakkaimmin taakanjakosektorin CO<sub>2</sub>-päästöihin, jotka pienenevät niiden ansiosta noin 23 % WEM-skenaariota tasosta vuoteen 2030 mennessä. Myös maatalouden N<sub>2</sub>O-päästöt (eloperäiset turvemaat) ja F-kaasupäästöt vähenevät merkittävästi niihin kohdistuvien toimien ansiosta. Metaanipäästöihin lisätoimien vaikutus jää pienimmäksi, mutta tulosten mukaan jätehuollon piirissä on jonkin verran päästöjen lisävähennysmahdollisuuksia, jotka tulevat WAM-skenaariossa käyttöön. Jäljempänä kappaleessa 4.1 on eritelty toimien vaikutusta taakanjakosektorilla päästölähdeluokittain. Päästökaupparektorin päästöihin toimista vaikuttavat suoraan ainoastaan jätteenpolton siirto päästökaupparektorille ja tuulivoiman uusi tuotantotuki. Eri suuntiin vaikuttavien tekijöiden yhteisvaikutuksena päästökaupparektorin päästöt ovat vuonna 2030 kuitenkin WAM-skenaariossa 0,2 % pienemmät kuin WEM-skenaariossa.

Taakanjakosektoriin sisältyvä osa teollisuudesta ja energiatuotannosta kattaa lukuisan joukon toimialoja ja toimijoita, joiden päästöistä ei ole saatavilla tarkkaa tilastointia, ja joiden päästövähennyspotentiaalia on voitu arvioida mallissa ainoastaan karkealla tasolla. Tuloksista voidaan kuitenkin nähdä, että näidenkin alojen päästöt vähenevät sekä perusskenaariossa että WAM-skenaariossa, jossa lisävähennyksiä saadaan paitsi tuotantorakennusten lämmityksessä, pääosin sekoitevelvoitteen ansiosta, jonkin verran myös muussa energiankäytössä tehostumisen ja sähköistymisen ansiosta. Epävarmuuksien vähentämiseksi taakanjakosektoriin kuuluvan teollisuuden ja energiantuotannon päästöjä sekä niiden vähennyspotentiaalia olisi jatkossa selvitettävä tarkemmin.

**Kuva 16. Kasvihuonekaasupäästöjen jakautuminen päästökauppa- ja taakanjakosektoreille WEM- ja WAM-skenaarioissa.**



<sup>1</sup> PKS = päästökauppasektori, AIR = lentoliikenne, EIPK = ei-päästökauppasektori, FGS = F-kaasupäästöt, N2O = N<sub>2</sub>O-päästöt, CH<sub>4</sub> = CH<sub>4</sub>-päästöt, CO<sub>2</sub> = CO<sub>2</sub>-päästöt

### 3.6 Puun hankinta ja käyttö

Kun energia- ja ilmastostrategian yksi keskeisimmistä tavoitteista on uusiutuvan energian käytön lisääminen ja keskeinen toimi on puun energiakäytön lisääminen, on perusteltua tarkastella myös skenaarioiden vaikutuksia puun kokonaiskäytön taseeseen.

Kuvassa 17 on vertailtu puun kokonaishankintaa päälajeittain vuonna 2013 ja vuonna 2030 WEM- ja WAM-skenaarioiden tulosten pohjalta. Kuvassa 18 on vastaavasti esitetty puun kokonaiskäyttö ensisijaisen käyttökohteen mukaan. Yksinkertaisuuden vuoksi kaiken kierrätys- ja jätteen on oletettu olevan peräisin muualta kuin samana vuonna Suomessa tuotetuista puutuotteista, vaikka osa näistä onkin epäilemättä päällekkäistä käyttöä.

Luonnonvarakeskuksen tilastojen mukaan kotimaista käyttöä vastaava runkopuun hakkuukertymä oli vuonna 2013 runsaat 63,3 milj. m<sup>3</sup>, josta tukkipuuta oli 23,2 milj. m<sup>3</sup>, kuitupuuta 30,6 milj. m<sup>3</sup>, polttopuuta 5,4 milj. m<sup>3</sup> ja muuta energiapuuta 4,1 milj. m<sup>3</sup><sup>66</sup>. Luonnonvarakeskuksen vuonna 2016 esittämien arvioiden mukaan suurimmat kestävät hakkuumahdollisuudet ovat tällä hetkellä noin 81 miljoonaa kuutiometriä runkopuuta vuodessa, mutta niiden arvioidaan nousevan 86 milj. m<sup>3</sup>:iin vuoteen 2030 mennessä, sillä puuston vuosikasvu on edelleen jatkuvassa nousussa<sup>67</sup>. Runkopuun hakkuuta on siis mahdollista lisätä 23 milj. m<sup>3</sup> vuoteen 2013 verrattuna.

Mallilaskelmien mukaan kotimaisen runkopuun kokonaiskäyttö kasvaa WEM-skenaariossa 76,2 milj. m<sup>3</sup>:iin ja WAM-skenaariossa vastaavasti 76,8 milj. m<sup>3</sup>:iin. Tuontiainespuun määrän

<sup>66</sup> Luke (2013). Tilastotietokanta. Puun kokonaiskäyttö metsäkeskusalueittain (1 000 m<sup>3</sup>). Luonnonvarakeskus. [http://statdb.luke.fi/PXWeb/pxweb/fi/LUKE/LUKE\\_04%20Metsa\\_04%20Talous\\_14%20Puun%20kokonaiskäyttö/01\\_Puun\\_kok\\_käyttö.px](http://statdb.luke.fi/PXWeb/pxweb/fi/LUKE/LUKE_04%20Metsa_04%20Talous_14%20Puun%20kokonaiskäyttö/01_Puun_kok_käyttö.px)

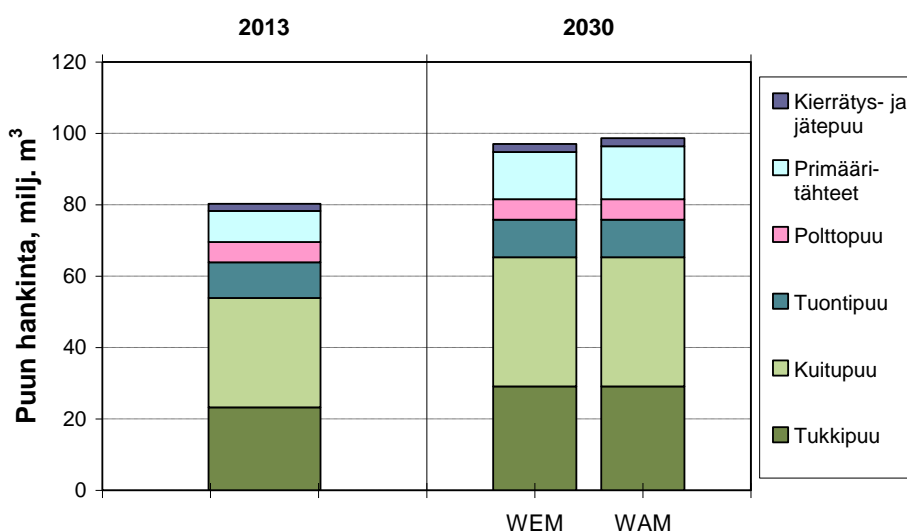
<sup>67</sup> Luke (2016). Hakkuumahdollisuudet. Luonnonvarakeskus, tietoa luonnonvaroista. <https://www.luke.fi/tietoa-luonnonvaroista/metsa/metsavarat-ja-metsasuunnittelu/hakkuumahdollisuusarviot/>



oletettiin laskelmissa pysyvän noin 9 milj. m<sup>3</sup>:n tasolla. Runkopuun hakkuukertymä on siis WAM-skenaariossa vain 0,6 milj. m<sup>3</sup> WEM-skenaariota suurempi, ja se jää noin 10 % Luonnonvarakeskuksen suurimman kestävän hakkuukertymän alapuolelle.

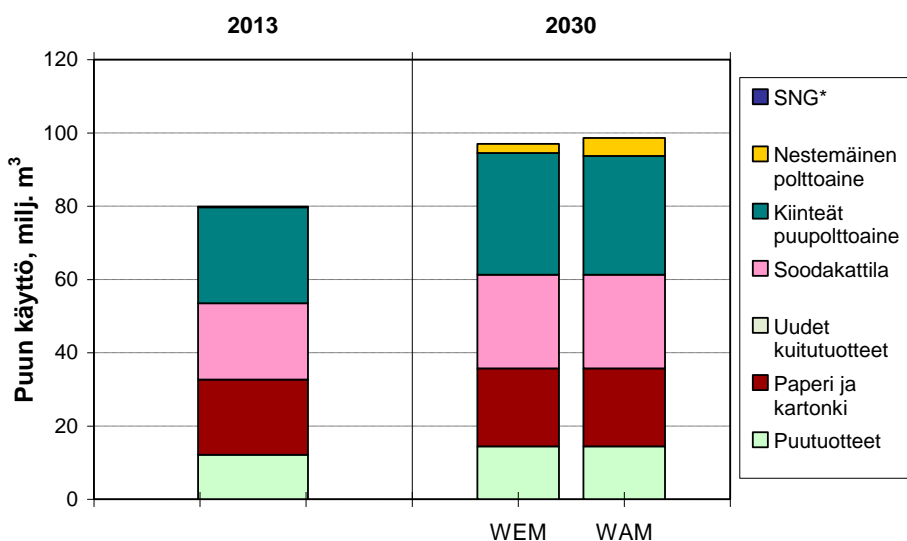
Metsähakkeen kokonaiskäyttö kasvaa WAM-skenaariossa kuitenkin selvästi enemmän kuin hakkuukertymä, sillä suurin osa käytön lisäyksestä saadaan hakkuutähteistä ja pieni osa myös kannoista. Kotimaisen metsähakkeen kokonaiskäyttö on WEM-skenaariossa 12,7 milj. m<sup>3</sup> ja WAM-skenaariossa 14,2 milj. m<sup>3</sup> vuonna 2030, joten WAM-skenaariossa lisäkäyttö nousee runsaat 1,5 milj. m<sup>3</sup> suuremmaksi.

**Kuva 17. Puun hankinta vuosina 2013 ja 2030 WEM- ja WAM-skenaarioissa.**



Biopoltonesteiden tuotanto nousee skenaarioissa metsähakkeen merkittäväksi uudeksi käyttökohteeksi. Puun käyttö biopoltoainelajostamoiden raaka-aineena kasvaa WAM-skenaariossa lähes 5 milj. m<sup>3</sup>:iin vuonna 2030, kuten voidaan nähdään kuvasta 18. Puun kokonaiskäyttöön nähden määrä on kuitenkin verrattain pieni.

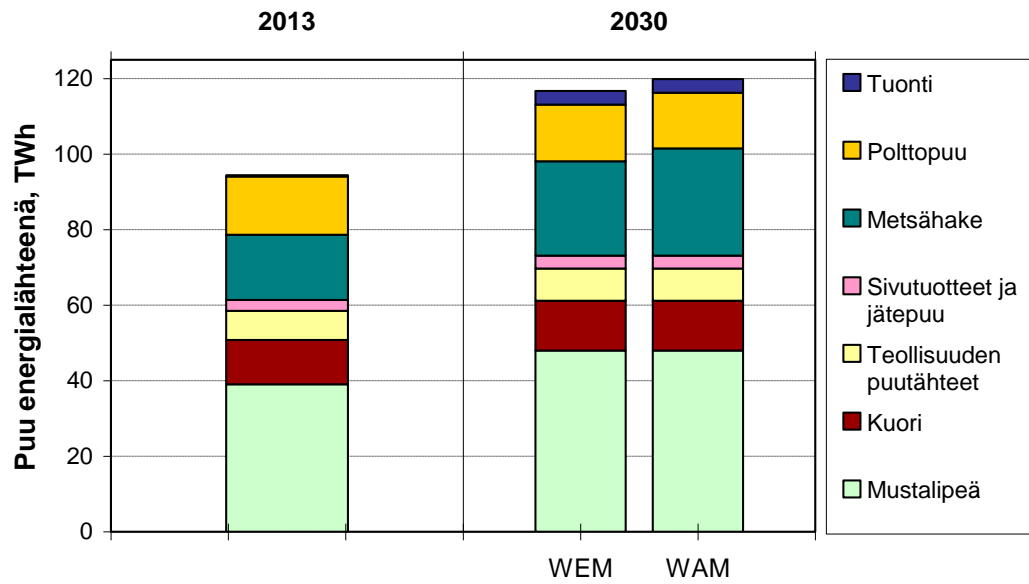
**Kuva 18. Puun käyttö vuosina 2013 ja 2030 WEM- ja WAM-skenaarioissa.**



\* SNG = Synthetic Natural Gas, suom. synteettinen maakaasu

Puun energiakäytön kokonaismäärän jakautumista pääjakeisiin on lopuksi havainnollistettu energiamäärinä kuvassa 19. Selluteollisuuden jo päätettyjen ja oletettujen tulevien investointien ansiosta mustalipeän osuus puun energiakäytöstä pysyy erittäin suurena. Suhteellisesti suurin kasvu saadaan kuitenkin metsähakkeen käytön lisäyksestä, joka on WAM-skenaariossa myös absoluuttisesti mustalipeän lisäystä suurempi, ja on noin 12 TWh suurempi vuoteen 2013 verrattuna. Kotimaisen metsähakkeen kokonaiskäyttö nousee tällöin 28,4 TWh:iin. Määrä on sopusoinnussa aiemmin eri lähteissä julkaistujen metsähakkeen tuotantopotentiaaliarvioiden kanssa.

**Kuva 19. Puun energiakäyttö vuosina 2013 ja 2030 WEM ja WAM-skenaarioissa.**



## 4. HALLITUSOHJELMAN TAVOITTEIDEN SAAVUTAMINEN

ANTTI LEHTILÄ JA TIINA KOLJONEN, VTT

### 4.1 Kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen

Suomen taakanjakosektorin päästövähennystavoite vuodelle 2020 on 16 % vähennys vuoden 2005 päästöihin verrattuna ja komission ehdottama tavoite vuodelle 2030 on -39 % vuoden 2005 päästöistä<sup>68</sup>. Komission ehdotuksen mukaan vuoden 2030 tavoitteen saavuttamiseksi on kuitenkin käytettävissä useita joustokeinoja. Komission ehdotuksessa joustokeinojen maksimäärä vaihtelee jäsenmaittain. Komissio on ehdotuksen mukaan Suomen käytettävissä olisi

- kertaluonteinen mahdollisuus siirtää päästöyksiköitä päästökaupan puolelta taakanjakosektorille, ns. one-off vähennys (maksimissaan 2 %/vuosi),
- pakollinen LULUCF-linkki, jonka kautta voi tulla laskennallinen hyöty tai rasite taakanjakosektorille (maksimihyöty 1,3 %/vuosi, haitalla ei ylärajaa),
- päästöyksiköiden hankkiminen muilta jäsenvaltioilta, ja
- Suomen omat ajalliset joustot.

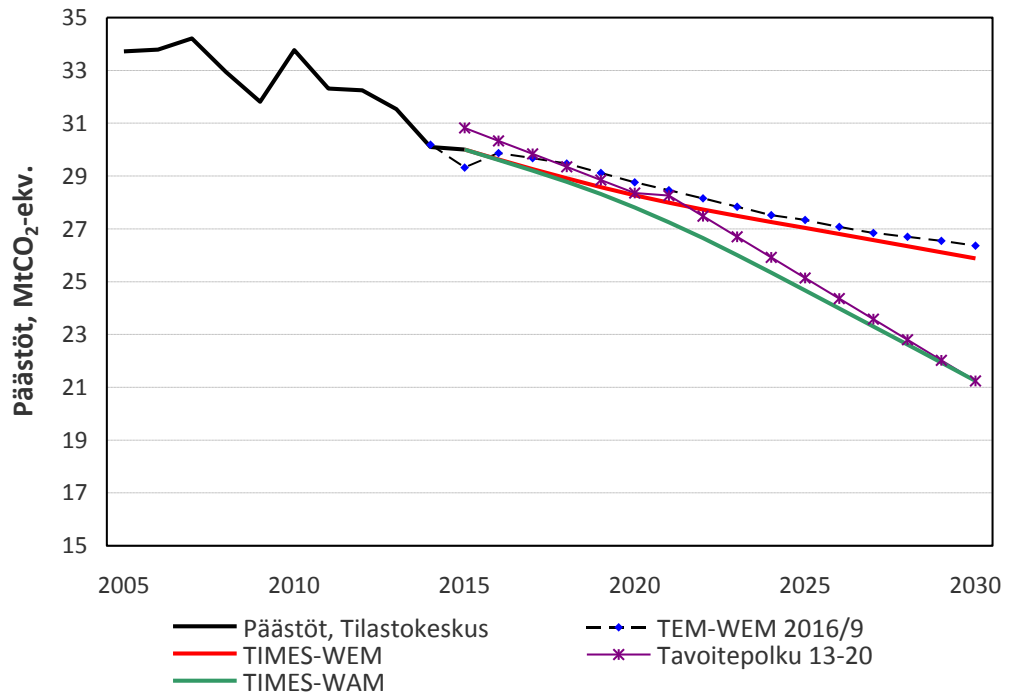
Vaikutusarvioiden laskelmissa oletettiin, että Suomi hyödyntää täysimääräisesti one-offia ja muiden joustokeinojen summavaikutus on nolla. Tämän vuoksi WAM-skenaariossa Suomen laskennallinen tavoite on -37 % vuonna 2030.

Jätteenpolton päästöjen oletettiin siirtyvän päästökaupan piiriin kokonaisuudessaan suunnitteen vuonna 2022. Tämä vaikuttaa vuoden 2030 tavoitetasoon hyvin vähän, sillä jätteenpolton päästöt olivat pienet vuonna 2005, mistä tavoitetaso lasketaan. Jätteenpolton siirto vaikuttaa vuoden 2021-2030 tavoitepolkuun, sillä sen lähtöpiste lasketaan vuosien 2016-2018 päästöistä.

Taakanjakosektorin laskennallinen päästöjen tavoitepolku, Energia- ja ilmastostrategian mukainen päästöjen kehitysarvio WEM-skenaariossa (l. alla "TEM-WEM") sekä TIMES-mallilaskelmien mukaiset taakanjakosektorin päästöjen kehitysurat on esitetty kuvassa 20. Mallitulosten mukaan WEM-skenaariossa päästöt olisivat noin 26 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. vuonna 2030, kun joustoilla korjattu tavoitetaso on 21,2 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. Päästöjen lisävähennystarpeeksi jää siten WAM-skenaariossa runsaat 4,6 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. vuonna 2030.

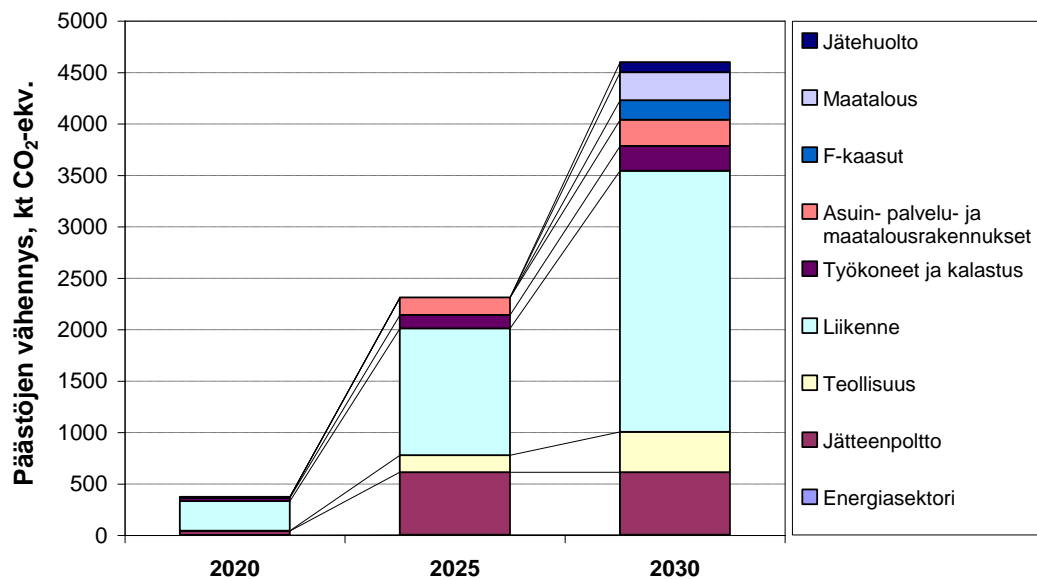
<sup>68</sup> European Commission (2016). Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council on the inclusion of greenhouse gas emissions and removals from land use, land use change and forestry into the 2030 climate and energy framework and amending Regulation No 525/2013 of the European Parliament and the Council on a mechanism for monitoring and reporting greenhouse gas emissions and other information relevant to climate change. COM(2016) 479 final.

**Kuva 20. Taakanjakosektorin päästöjen kehitys WEM- ja WAM-skenaarioissa. (tavoitepolussa otettu huomioon kaksi edellä mainittua joustoaa).**



Lisätoimien päästövaikutusten jakaantuminen eri sektoreille on esitetty tarkemmin kuvassa 21 ja taulukossa 7. Taulukossa on myös verrattu mallilaskelmien tuloksia keskipitkän aikavälin ilmastopolitiikan suunnitelman (Kaisu) mukaisiin arvioihin, joihin on viitattu Valtioneuvoston selonteossa<sup>69</sup>.

**Kuva 21. Taakanjakosektorin kasvihuonekaasupäästöjen väheneminen WAM-skenaariossa WEM-skenaarioon verrattuna.**



<sup>69</sup> VNK (2016). Valtioneuvoston selonteko kansallisesta energia- ja ilmastostrategiasta vuoteen 2030.

**Taulukko 7. Päästöjä vähentävien lisätoimien toteutuminen WAM-skenaariossa (Mt CO<sub>2</sub>-ekv.).**

Lisätoimi	Vaikutus 2030	
	TIMES Mt	KAISU / strategia Mt
Liikennejärjestelmän energiatehokkuus: Henkilöliikenne	0,6	0,7
Liikennejärjestelmän energiatehokkuus: Tavaraliikenne	0,1	0,3
Moottoripolttoaineiden sekoitevelvoitteiden nosto 30 %:iin	1,6	1–2
Ajoneuvojen energiatehokkuuden parantaminen	0,3	0,6 <sup>1</sup>
Työkoneiden sekoitevelvoitteen käyttöönotto ja sähköistyminen	0,2	0,2
Asuin- ja palvelurakennukset: öljyn sekoitevelvoite ja sähköistyminen	0,2	0,2
Tuotantorakennukset: öljyn sekoitevelvoite ja sähköistyminen	0,1	– <sup>2</sup>
Taakanjakosektorin teollisuuden energiatehokkuus ja sähköistyminen	0,3	– <sup>2</sup>
Maatalouden eloperäisten maiden päästöjen rajoittaminen	0,3 <sup>3</sup>	0,5 <sup>4</sup>
F-kaasujen talteenoton tehostaminen ja kylmäaineita koskevat kriteerit	0,2	0,2
Jätteenpolton siirto päästökaupasektorille	0,6	0,5
Kaatopaikkakiellon ja kaatopaikkakaasun keräämisen tehostaminen	0,1	... <sup>5</sup>
<b>YHTEENSÄ</b>	<b>4,6</b>	<b>4–5</b>

<sup>1</sup> Sisältää sähkö- ja vetyautojen lisäyksen vaikutuksen

<sup>2</sup> Ei käsitelty Kaisu-suunnitelmassa eikä strategian selonteossa

<sup>3</sup> Luku perustuu syksyllä 2016 saatuaan KAISU:n puitteissa tehtyyn arvioon

<sup>4</sup> Sisältää paitsi eloperäisiin maihin myös biokaasuun liittyviä toimia

<sup>5</sup> Ei arvioitu kvantitatiivisesti Kaisu-suunnitelmassa

Lisätoimien vaikutuksista suurin epävarmuus kohdistuu liikennejärjestelmän energiatehokkuuden parantamiseen ja sitä kautta saataviin päästövähennyksiin. Niiden arvioitiin keskipitkän aikavälin ilmastopolitiikan suunnitelmassa voivan olla jopa noin 1 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. vuodessa, mutta laskelmissa käytetyt oletukset johtavat hieman varovaisempaan, 0,7 Mt CO<sub>2</sub>-ekv.:n päästövähennykseen. Ainoa ajoneuvojen energiatehokkuuden parantamiseen kohdistuva lisätoimi WAM-skenaariossa oli vähäpäästöisiin käyttövoimiin perustuvien ajoneuvojen lisäys, ja muu ajoneuvojen tehostuminen oli huomioitu jo WEM-skenaariossa.

Lämmitysöljyn sekoitevelvoitteen lisäksi rakennusten lämmityksen päästöjä vähentävät jonkin verran myös mallin valitsemat muut toimet, kuten lämpöpumppujen lisääminen. Jätteenpolton päästökauppaan siirtyvä päästömäärä on mallissa laskettu laitosten käytön mukaisesti, olettaen ei-uusiutuvien jakeiden osuudeksi 40 % jätteen energiasisällöstä. Jätehuollon muiden päästöjen vähennyksestä (0,1 Mt CO<sub>2</sub>-ekv.) noin 60 % saadaan aikaan kaatopaikkakaasun talteenoton tehostamisella ja 40 % jätevesien käsittelyn tehostamisella.

## 4.2 Uusiutuvan energian käytön lisääminen

EU:n vuoden 2030 ilmasto- ja energiapaketin mukaan uusiutuvan energian osuuden tulee olla vähintään 27 % EU:n energian loppukulutuksesta vuonna 2030<sup>70</sup>. Sitovia jäsenmaakohtaisia tavoitteita pakettiin ei sisälly, mutta tavoitteiden toteutumisen edistymistä seurataan uuden hallintomallin kautta. Komissio valmistelee vuoden 2020 jälkeiselle ajalle myös uudistetun uusiutuvan energian direktiivin (RES-direktiivin) ja EU:n bioenergian kestävyyspolitiikan. Hallitusohjelmassa uusiutuvan energian tavoitteeksi on asetettu sen käytön lisääminen kestävästi niin, että osuus nousee 2020-luvulla yli 50 %:iin energian kulutuksesta. Samalla tavoit-

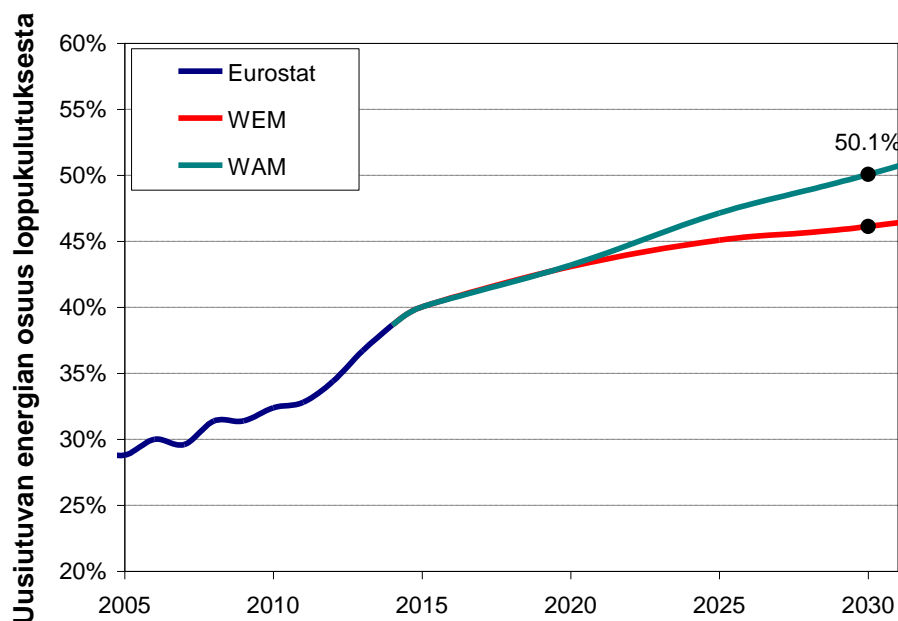
<sup>70</sup> European Commission (2014). Communication from the Commission to the European Parliament, the council, the European economic and social committee and the committee of the regions. A policy framework for climate and energy in the period from 2020 to 2030. COM(2014) 15 final.

teena on huolehtia, että bioenergian käyttöä edistetään kestävyyskriteerien mukaisesti. Kuten aiemmassa uusiutuvan energian direktiivin mukaisessa tavoitteessa vuodelle 2020, uusiutuvan energian osuus lasketaan loppukulutuksesta direktiivin laskentasääntöjen mukaisesti.

Laskentamallin tulosten mukaan uusiutuvista energialähteistä eniten kasvaa puuperäisen bioenergian käyttö, ja käytön lisäys kohdistuu voimakkaimmin metsähakkeeseen ja metsäteollisuuden jätelemiin. Lisäkäytön taustatekijänä on oletettu metsäteollisuuden kehitys, jonka sisältämät investoinnit uuteen tuotantoon lisäävät sekä sivutuotteiden että metsähakkeen tarjontaa. Tuulivoiman lisäys hidastuu WEM-skenaariossa merkittävästi 2020-luvulla, kun tuotantotukea ei oleteta enää tarjottavan uusille laitoksille, mutta WAM-skenaariossa oletettu uusi tuki tuo lisäinvestointeja. Aurinkosähkön tuotanto kasvaa merkittävästi, mutta jää vuonna 2030 kummassakin skenaariossa vielä alle 2 TWh:n. Kuten edellä on esitetty, aurinkosähkön kehityksen arviointiin sisältyy kuitenkin merkittävää epävarmuutta. Myös lämpöpumput tuovat tuntuosan uusiutuvan energian lisäyksestä, kuten voidaan nähdä edellä esitetystä kuvasta 8.

Laskentasääntöjen mukaan laskettu energian loppukulutus tasaantuu noin 315 TWh:n tasolle vuosina 2025–2030 sekä WEM että WAM-skenaariossa. Uusiutuvan energian osuus energian loppukulutuksesta WEM- ja WAM-skenaarioissa on esitetty kuvassa 22. Uusiutuvan energian osuus kasvaa koko tarkasteluajan, mutta selvästi hitaammin kuin vuosina 2010–2015, joiden aikana koettiin sekä talouden taantuma että poikkeuksellisen lämmin vuosi 2015. Taantuma on vähentänyt energian kokonaiskulutusta, mutta vesivoiman, tuulivoiman ja bioenergian tuotanto ovat sitä vastoin kasvaneet taantumien aikana. Uusiutuvan energian osuus on vuonna 2020 kummassakin skenaariossa noin 43 %, eli selvästi yli kansallisen 2020-tavoitteen. Vuonna 2030 osuus on WEM-skenaariossa 46 % ja WAM-skenaariossa 50,1 %. Mallilaskelmien perusteella oletukset tuulivoiman lisäinvestoinneista saattavat olla vaarankieliasemassa uusiutuvan energian tavoitteen saavuttamisen kannalta. Mikäli oletus tuulivoiman uudesta tuotantotuesta 2 TWh:n lisätuotantoa vastaaville investoinneille poistettaisiin, uusiutuvan energian osuus jäisi laskelmissa hieman tavoitteen alle.

**Kuva 22. Uusiutuvan energian osuuden kehitys WEM- ja WAM-skenaarioissa laskettuna energian loppukulutuksesta.**



### 4.3 Liikenteen uusiutuvan energian lisääminen

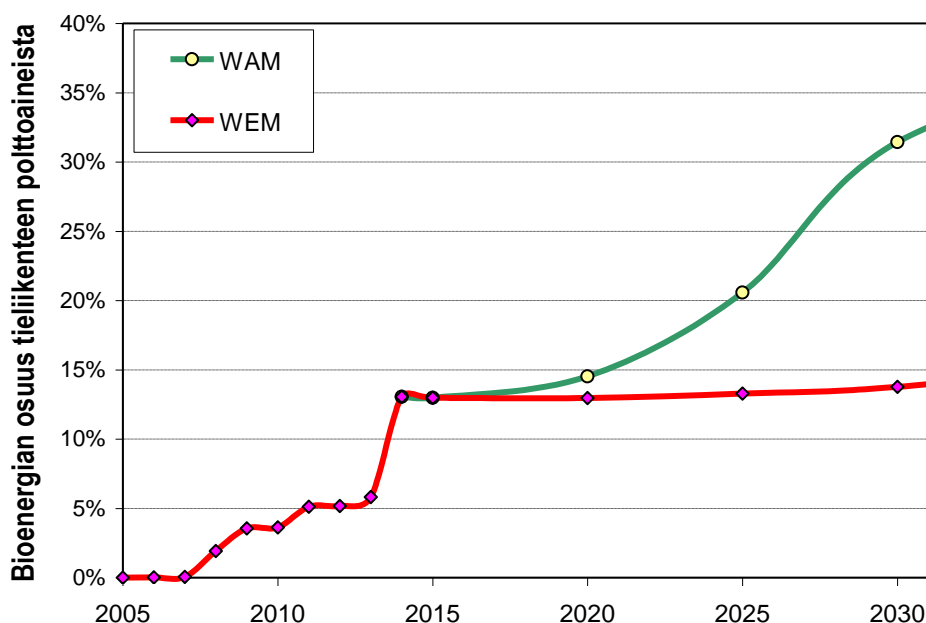
Yhtenä keskeisenä osana uusiutuvan energian käytön lisäystavoitteita on hallitusohjelmassa asetettu tavoite nostaa liikenteen uusiutuvien polttoaineiden osuus 40 %:iin vuoteen 2030 mennessä. Liikenteen tavoite määritellään muuten kuten laissa biopolttoaineiden käytön edistämisestä liikenteessä, mutta tavoitteessa huomioidaan lisäksi uusiutuvista energialähteistä tuotettu liikenteen sähkö ja vety EU:n uusiutuvan energian direktiivin mukaisesti.

WEM-skenaariossa oletettiin tieliikenteen biopolttoaineiden jakeluvuorituksen jatkuvan 2020-luvulla keskimäärin 20 %:n tasolla, jossa on otettu huomioon ns. tuplalaskenta. Mallilaskelmissa bioenergian osuus tieliikenteen polttoaineista pysyy sen vuoksi WEM-skenaariossa fyysikaalisesti suunnilleen nykyisellä tasolla, 13–14 %:ssa, kuten voidaan nähdä kuvasta 23. WAM-skenaariossa jakeluvuorituksen oletettiin nousevan keskimäärin 30 % tasolle, minkä lisäksi pääosin biokaasua käyttävien kaasukäyttöisten henkilöautojen määrän oletettiin nousevan 50 000:een vuoteen 2030 mennessä. Näiden toimien yhteisvaikutuksena bioenergian osuus kasvaa WAM-skenaariossa noin 32 %:iin tieliikenteen polttoaineista.

Tuplalaskennan vaikutusta ei energijärjestelmämallinnuksessa tarkasteltu, mutta tuloksista voidaan havaita, että tuplalaskenta huomioon ottaen hallitusohjelman tavoite 40 %:n osuudesta ylitetään WAM-skenaariossa reilusti. Lisäksi voidaan todeta, että mallilaskelmissa oletettu sähköautoja koskeva tavoite (vähintään 250 000 sähkökäyttöistä henkilöautoa vuonna 2030) ei juuri muuta lopputulosta kuvassa 23 esitetystä, sillä uusiutuvan sähkön osuus nousee WAM-skenaariossa lähes 45 %:iin sähkön hankinnasta vuonna 2030. Vetyautoille ei WAM-skenaariossa asetettu lisäystavoitetta, eivätkä ne oletusten mukaisilla hinnoilla tule kilpailukykyisiksi vuoteen 2030 mennessä.

Liikenteen polttoaineista bensiinin osalta on oletettu etanolin osuuden voivan nousta vain 10 %:iin normaalista moottoribensiinistä. Sen lisäksi markkinoille tulee kuitenkin myös toisen sukupolven biobensiiniä, jolla fossiilinen bensiini voidaan korvata. Sekoitevelvoitteen kiristyminen kohdistuu siten ennen kaikkea dieselöljyyn, jonka bio-osuus nousee 38 %:iin.

**Kuva 23. Tieliikenteen polttoaineiden bioenergiaosuuden kehitys WEM- ja WAM-skenaarioissa.**



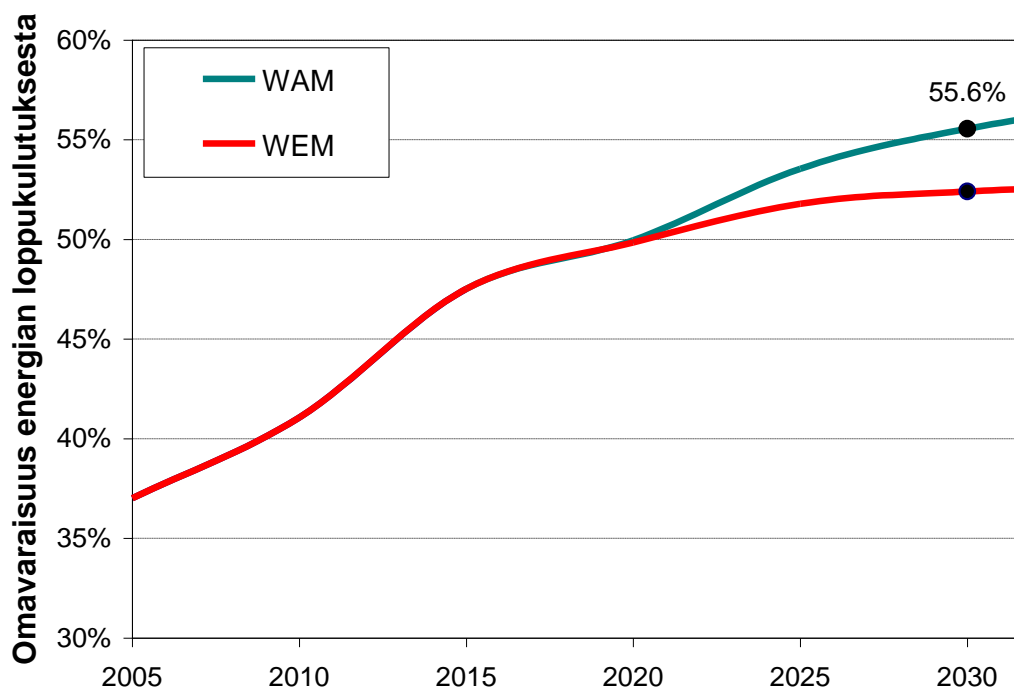
## 4.4 Energian hankinnan omavaraisuuden lisääminen

Energiaomavaraisuutta koskeva hallitusohjelman tavoite kytkeytyy vahvasti uusiutuvan energian tavoitteeseen. Tavoitteen mukaan pääosin uusiutuvan energian käyttöä lisäämällä omavaraisuuden tulee nousta yli 55 %:n. Tavoite pyritään saavuttamaan erityisesti bioenergian ja muun uusiutuvan energian tarjontaa lisäämällä. Ohjelman mukaan suurimmat mahdollisuudet tarjonnan lisäämiseen ovat nestemäisten biopolttoaineiden ja biokaasun tuotannossa ja tuotantoteknologian kehittämisessä.

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

Koska mallilaskelmien tulosten mukaan turpeen energiakäyttö ei ole lähivuosikymmeninä kasvamassa vaan päinvastoin hitaasti vähenemässä, energiaomavaraisuuden kasvu saadaan yksinomaan uusiutuvan energian ja jätepolttoaineiden käytön lisääntymisestä, ja omavaraisuus pysyy noin 5 prosenttiyksikköä uusiutuvan energian osuutta korkeampana. Energiaomavaraisuuden kehitys WEM- ja WAM-skenaarioissa on esitetty kuvassa 24. WEM-skenaariossa omavaraisuus on edellä esitetyn määritelmän runsaat 52 % vuonna 2030, mikä on vain 3 prosenttiyksikköä alle hallitusohjelman tavoitteen. WAM-skenaariossa omavaraisuus nousee 55,6 %:iin eli ylittää tavoitteen vajaalla prosenttiyksiköllä. Kun turpeen käytön on arvioitu TEM:n omassa perusskenaariossa<sup>71</sup> pysyvän hieman TIMES-mallilaskelmien tuloksia korkeampana, omavaraisuustavoite näyttäisi olevan hallitusohjelman keskeisistä tavoitteista helpoimmin saavutettavissa.

**Kuva 24. Energian hankinnan omavaraisuuden kehitys WEM- ja WAM-skenaarioissa.**



<sup>71</sup> TEM (2016). Energia- ja ilmastostrategian ja keskipitkän aikavälin ilmastopolitiikan suunnitelman perusskenaarioiden tausta-oletuksia. 15.6.2016 (versio 1).



## 4.5 Tuontiöljyn ja kivihiilen käytön vähentäminen

### Tuontiöljyn energiakäytön puolittaminen

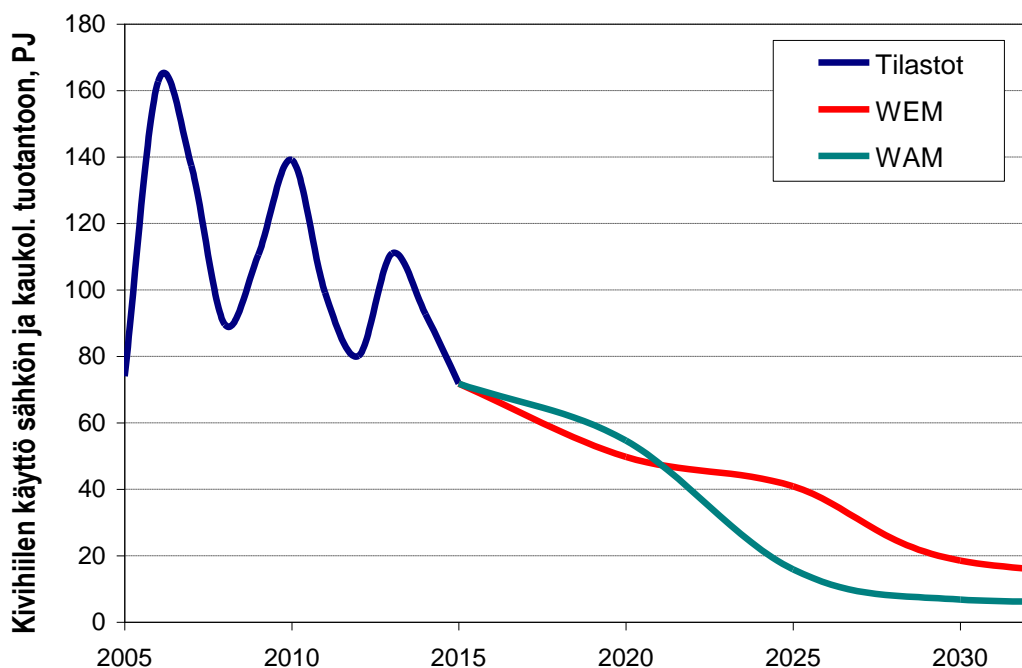
Hallitusohjelman tavoitteena on puolittaa tuontiöljyn käyttö kotimaan tarpeisiin 2020-luvun aikana. Tuontiöljyn kotimaan käytöllä tarkoitetaan Suomessa kulutukseen luovutetun fossiilisen moottoribensiinin, dieselin, lentobensiinin, kerosiinin sekä kevyen ja raskaan polttoöljyn kokonaisenergiamäärää. Ulkomaanliikenteen polttoaineita, nestekaasua, jalostamokaasuja tai esimerkiksi bitumia tai voiteluaineita ei lasketa mukaan. Vertailuvuotena käytetään vuotta 2005.

Hallitusohjelman määritelmän mukaisten öljytuotteiden käytön kehitys esitettiin jo edellä kuvassa 14 vuodesta 2010 lähtien. Vertailuvuoden 2005 käyttötasoon verrattuna kulutus vähennee WEM-skenaariossa noin 39 % ja WAM-skenaariossa niukasti yli 50%:n tavoitearajan. Hallitusohjelman tavoite siis näyttää siis toteutuvan lasketussa WAM-skenaariossa.

### Kivihiilen energiakäytöstä luopuminen

Kivihiiltä käytetään energiantuotannossa lähinnä lauhdesähkön ja kaukolämmön tuotantoon. Käytön määrä on vaihdellut huomattavasti vuodesta toiseen lähinnä lauhdesähkön tuotannon kilpailukyvyyn mukaan. Kokonaiskäytön trendi on kuitenkin ollut selvästi laskeva, ja samalla kivihiilikäyttöisiä lauhdevoimalaitoksia on poistettu käytöstä. Nykyaikaisissakin suurissa monipolttoainekattiloissa (esimerkiksi Jyväskylän Keljonlahti ja Naantalin uusi voimalaitos) joko kivihiilen tai turpeen käyttö saattaa olla tarpeen biopolttoaineen rinnalla tukipolttoaineena sekä polttoteknisistä syistä että polttoainehuollon näkökulmasta. Polttoprosessin säätöä ja bioenergian logistiikkaa parantamalla bioenergian osuutta voitaneen kuitenkin nostaa lähelle 100 %:a, kuten oletettiin WAM-skenaariossa. Kuvassa 25 on esitetty laskentatulosten mukainen kivihiilen käytön kehitys WEM- ja WAM-skenaariossa.

**Kuva 25. Kivihiilen käytön kehitys sähkön ja kaukolämmön tuotannossa WEM- ja WAM-skenaarioissa.**



## 5. VAIKUTUKSET PUUN RIITTÄVYYTEEN JA NIELUIHIN

*OLLI SALMINEN, PERTTU ANTTILA, VESA NIVALA, MAARIT KALLIO, RISTO SIEVÄNEN, JUHA LAITILA JA ANTTI ASIKAINEN, LUKE*

### 5.1 Metsävarojen kehitys

Maa- ja metsätalousministeriön toimeksiannosta Luke laski vuoden 2016 energia- ja ilmastostrategian valmistelua varten arviot puuston ja metsien kasvihuonekaasutaseen kehityksestä vuosille 2015–2045 kahdelle eri puunkäytön tasolle sekä suurimmalle puuntuotannollisesti kestäväälle hakkuukertymälle<sup>72</sup>. Laskelmat tehtiin kymmenvuotiskausittain vuosille 2015–2024, 2025–2034 ja 2035–2044. Energia- ja ilmastostrategian perusskenaariota (WEM) vastasi hakkuulaskelma, jossa vuoteen 2035 mennessä runkopuun vuotuinen kertymä kasvoi n. 80 milj. m<sup>3</sup>:iin ja pysyi tällä tasolla tarkastelujakson loppuun. Runkopuun hakkuukertymä nousi näin samalle tasolle kuin Kansallisessa metsästrategiassa vuodelle 2025 asetettu 80 milj. m<sup>3</sup>/v tavoite. Samoin energia- ja ilmastostrategian perusskenaariosta johdettu puunkäyttö vastasi hallitusohjelmassa asetettua tavoitetta lisätä vuotuista puun käyttöä 15 milj. m<sup>3</sup>:llä. Viime vuosina (2013–2015) runkopuuta on korjattu noin 66 milj. m<sup>3</sup> vuodessa. Suurimman puuntuotannollisesti kestäväen hakkuukertymän arvio seuraavalle kolmenkymmenen (2015–2044) vuoden ajalle on keskimäärin 87 milj. m<sup>3</sup>/v.

Energia- ja ilmastostrategian kotimaista puunkäyttöä vastaavan hakkuulaskelman vuosittaisesta runkopuukertymästä teollisuuden ainespuuta (tukkia ja kuitua) oli 68 milj. m<sup>3</sup> ja metsähakkeena ja kotitalouksien polttopuuna käytettävää runkopuuta yhteensä 12 milj. m<sup>3</sup>. Teollisuuden ainespuukertymästä tukkia oli hieman yli 28 ja kuitua vajaat 40 milj. m<sup>3</sup>/v. Ainespuukertymä perustui arvioihin<sup>73,74</sup> teollisuuden puunkäytön kehityksestä vuosina 2015–2035, kun puun tuonnin oletettiin pysyvän nykyisellä noin 9 milj. m<sup>3</sup>:n vuositasolla

Metsähakkeen käyttö lämmön- ja sähköntuotantoon nostettiin hakkuulaskelmassa vuosien 2013–2015 tasosta (7,6 milj. m<sup>3</sup>/v) edellisen Kansallisen energia- ja ilmastostrategian<sup>75</sup> tavoitteen mukaisesti vuoteen 2020 mennessä 13,5 milj. m<sup>3</sup>:iin vuodessa käytön pysyessä tällä tasolla tarkastelujakson loppuun. Kotitalouksien polttopuun käytön oletettiin pysyvän nykytasolla (5,5 milj. m<sup>3</sup>/v), jolloin metsäbiomassan ensiasteinen energiakäyttö oli vuodesta 2020 lähtien yhteensä noin 19 milj. m<sup>3</sup>/v. Tästä runkopuuta oli noin 12 milj. m<sup>3</sup>/v ja hakkuutähdettä ja kantoja yhteensä 7 milj. m<sup>3</sup>/v. Metsähakkeen eri jakeiden (harvennuspuu, hakkuutähdde, kannot) osuudet määräytyivät laskennassa optimoinnin tuloksena. Kotitalouksien polttopuu koostui kuitenkin vain runkopuusta, ja kantojen käytön oletettiin ekosysteemivaikutusten sekä sen polttoon liittyvien tuotannollisten ongelmien vuoksi yltävän korkeintaan nykyiselle tasolle (1 milj. m<sup>3</sup>/v). Jos tätä rajoitetta ei ollut, niin kantoja nostettiin lähes 4 milj. m<sup>3</sup>/v. Lisäys korvasi

<sup>72</sup> Lehtonen, A., Salminen, O., Kallio, M., Tuomainen, T. & Sievänen, R. (2016). Skenaariolaskelmiin perustuva puuston ja metsien kasvihuonekaasutaseen kehitys vuoteen 2045 : Selvitys maa- ja metsätalousministeriölle vuoden 2016 energia- ja ilmastostrategian valmistelua varten. Luke luonnonvara ja biotalouden tutkimus 36/2016. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-264-5>

<sup>73</sup> Pöyry Management Consulting (2016). Suomen metsäteollisuus 2015–2035. Loppuraportti X304203 19.1.2016. [https://www.tem.fi/files/44609/2016\\_Poyry\\_Suomen\\_metsateollisuus\\_2015-2035.pdf](https://www.tem.fi/files/44609/2016_Poyry_Suomen_metsateollisuus_2015-2035.pdf)

<sup>74</sup> Pöyry Management Consulting (2016). Metsäbiomassan kustannustehokas käyttö. Alustavien tulosten esittely TEAS hankkeen johtoryhmän kokous 18.10.2016. VNK/1999/48/2015 (pdf).

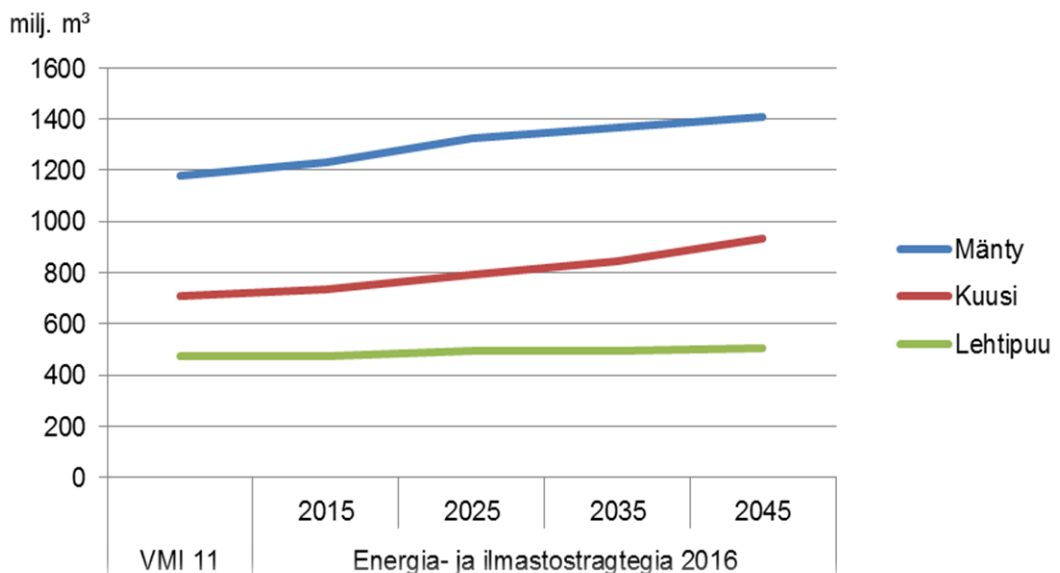
<sup>75</sup> TEM (2013). Kansallinen energia- ja ilmastostrategia: Valtioneuvoston selonteko eduskunnalle 20. päivänä maaliskuuta 2013. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja. Energia ja ilmasto 8/2013.

runkopuun käyttöä metsähakkeena. Vuosina 2013–2015 metsähakkeen toteutuneesta käytöstä runkopuuta oli 4,1 milj. m<sup>3</sup>/v, hakkuutähdettä 2,6 milj.m<sup>3</sup>/v ja kantoja 0,9 milj. m<sup>3</sup>/v<sup>76</sup>.

Energia- ja ilmastostrategian perusskenaariossa arvioidaan, että vuonna 2030 metsähakkeella tuotettaisiin sähköä ja lämpöä 29 TWh<sup>77</sup>, joka vastaa noin 14,5 milj. m<sup>3</sup> metsähaketta. Lisäksi strategiaa varten tehtyjen selvitysten perusteella puubiomassan käyttö liikenteen biopolttoaineiden valmistuksessa voi asettua välille 3–4 milj. m<sup>3</sup>/v vuoteen 2030 mennessä. Vaikka suurin osa puupolttoaineista saadaan, kuten nykyisin, puunjalostuksen sivuvirroista (eli mäntyöljystä, mustalipeästä, kuoresta ja puruista), metsähakkeen kokonaiskäyttö voi nousta sähkön, lämmön ja erilaisten nestemäisten biopolttoaineiden tuotannossa perusskenaarion noin 14 milj. m<sup>3</sup> tasolta noin 18 milj. m<sup>3</sup>/v määrään. Energia- ja ilmastostrategiaa varten tehtiin lisälaskelmat, jossa metsähakkeen käyttö nousi 15 ja 17 milj. m<sup>3</sup>:iin vuodessa. Metsähakkeen lisäys (1,5 tai 3,5 milj. m<sup>3</sup>/v) koostui laskelmaratkaisuissa pääosin kuitupuukokoisesta runkopuusta, jolloin runkopuun hakkuukertymä kasvoi vastaavasti noin 81 ja 82,5 milj. m<sup>3</sup>:iin vuodessa.

Kasvun ja kokonaispoistuman erotus ratkaisee puuston tilavuuden kehityksen. Runkopuun tilavuus kasvoi koko tarkastelujakson (Kuva 26), sillä vaikka puuston malleilla estimoitu kasvu aluksi laski alle 100 milj. m<sup>3</sup>/v (Kuva 27) kääntyen myöhemminä kausina uudelleen nousuun, niin kasvu ylitti kuitenkin jatkuvasti kokonaispoistuman arvion. Kokonaispoistuma, joka koostuu hakkuukertymästä, metsään jäävästä taimikonhoidon ja hakkuiden pienpuustosta sekä latvahukkapuusta ja luontaisesti kuolleesta puusta, lisääntyi kasvavien hakkuumäärien seurauksena viime vuosien (2013–2015) toteutuneesta tasosta 10 milj. m<sup>3</sup>:llä noin 90 milj. m<sup>3</sup>:iin/v (Kuva 28).

### Kuva 26. Puuston runkopuutilavuuden kehitys vuosina 2015–2045 puulajeittain koko metsä- ja kitumaalla (milj. m<sup>3</sup>).



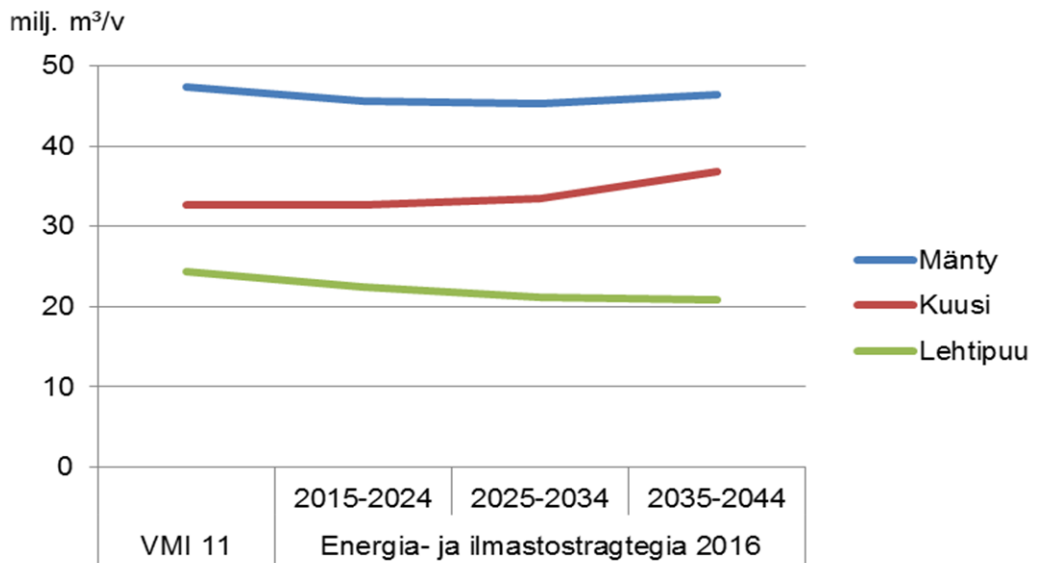
VMI 11 on valtakunnan metsien 11. inventoinnin (2009–2013) mitattu tilavuus<sup>78</sup>.

<sup>76</sup> <http://stat.luke.fi/metsa>

<sup>77</sup> VNK (2016). Valtioneuvoston selonteko kansallisesta energia- ja ilmastostrategiasta vuoteen 2030.

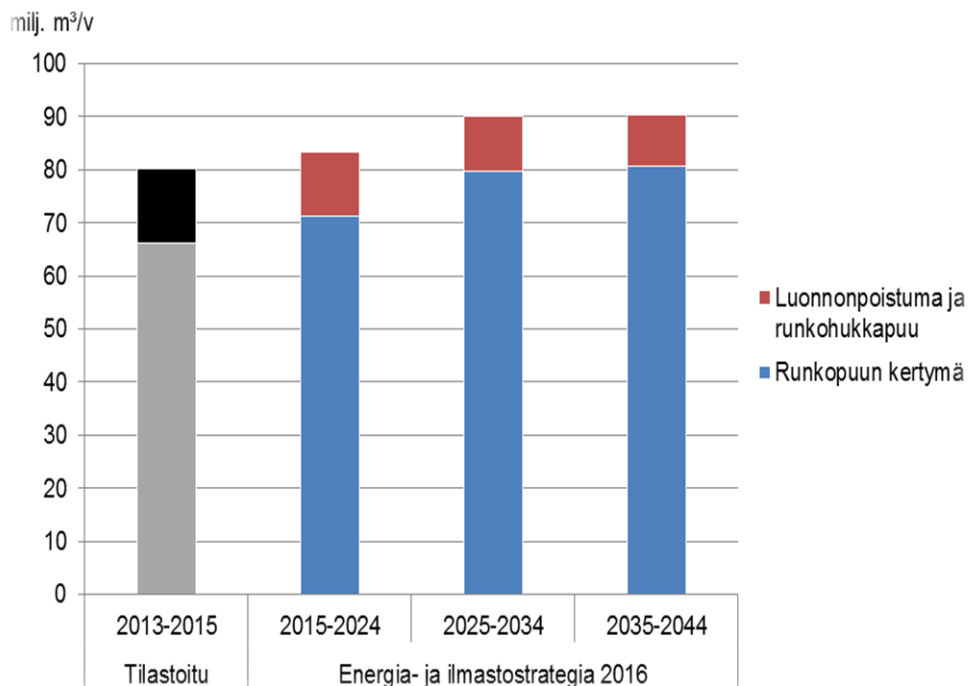
<sup>78</sup> <http://stat.luke.fi/metsa>

**Kuva 27. Puuston kasvu puulajeittain koko metsä- ja kitumaalla vuosina 2015–2044 (milj. m<sup>3</sup>/v.)**



VMI 11 on valtakunnan metsien 11. inventoinnin (2009–2013) mitattu puuston kasvu<sup>79</sup>.

**Kuva 28. Kokonaispoistuma vuosina 2015–2044 ja tilastoitu kokonaispoistuma keskimäärin vuosina 2013–2015<sup>80</sup> koko metsä- ja kitumaalla (milj. m<sup>3</sup>/v.)**



Männyn, kuusen ja koivujen tilavuus kasvoi tarkastelujakson aikana, mutta muiden lehtipuiden osalta rukotilavuus aleni. Erityisesti järeän puuston määrä kasvoi nykyisestä (Taulukko 8), sillä ennakoitujen käytön mukaiset hakkuut painottuivat kuitu- ja energiapuuhun. Lisäksi pienläpimittaisen koivun määrä laski nykyiseen verrattuna, sillä ainespuun tavoitteiden koh-

<sup>79</sup> <http://stat.luke.fi/metsa>

<sup>80</sup> <http://stat.luke.fi/metsa>

distuessa havukuitupuuhun, kasvava energiapuutavoite kannatti täyttää taloudellisesti vähä-arvoisemmalla lehtipuulla. Osa pienläpimittaisen puuston vähenemisestä selittyy hakkuulas-kelmien edellyttämällä hyvän metsänhoidon toimilla: mm. taimikonhoito tehdään laskelmissa ajallaan ja nykyiset hoitorästit hoidetaan heti laskelmien alussa. Pohjois-Suomessa järeä lehtipuu täyttää harvoin vaneritukin laatuvaatimukset ja muu kysyntä on vähäistä, ja vaikka järeän lehtipuun määrä kasvaa suhteessa paljon, niin lisäys on kuitenkin absoluuttisesti pieni.

### Taulukko 8. Kokonaistilavuuden ja läpimittaluokittaisten tilavuuksien suhteelliset muutokset vuosina 2011–2045 metsä- ja kitumaalla keskimäärin koko Suomessa sekä erikseen Etelä- ja Pohjois-Suomessa.

	Kokonais- tilavuus	Suhteellinen muutos			
		-10	d1.3 -luokka		
			11-20	21-30	31-
<b>Suomi</b>					
Mänty	1,2	1,1	1,1	1,2	1,5
Kuusi	1,3	0,8	1,5	1,3	1,3
Koivu	1,1	0,6	1,3	1,3	1,9
Muu lehtipuu	0,8	0,4	1,0	0,6	1,1
<b>Etelä-Suomi</b>					
Mänty	1,0	1,1	0,9	0,9	1,4
Kuusi	1,3	0,7	1,5	1,3	1,2
Koivu	1,1	0,4	1,2	1,1	1,9
Muu lehtipuu	0,7	0,4	1,0	0,6	1,0
<b>Pohjois-Suomi</b>					
Mänty	1,4	1,1	1,3	1,7	1,8
Kuusi	1,5	1,0	1,6	1,5	1,7
Koivu	1,2	0,7	1,4	1,9	2,4
Muu lehtipuu	1,0	0,8	1,1	0,8	1,4

Lukuarvo alle 1,0 kertoo tilavuuden vähenemisestä ja yli 1,0 sen lisäyksestä.

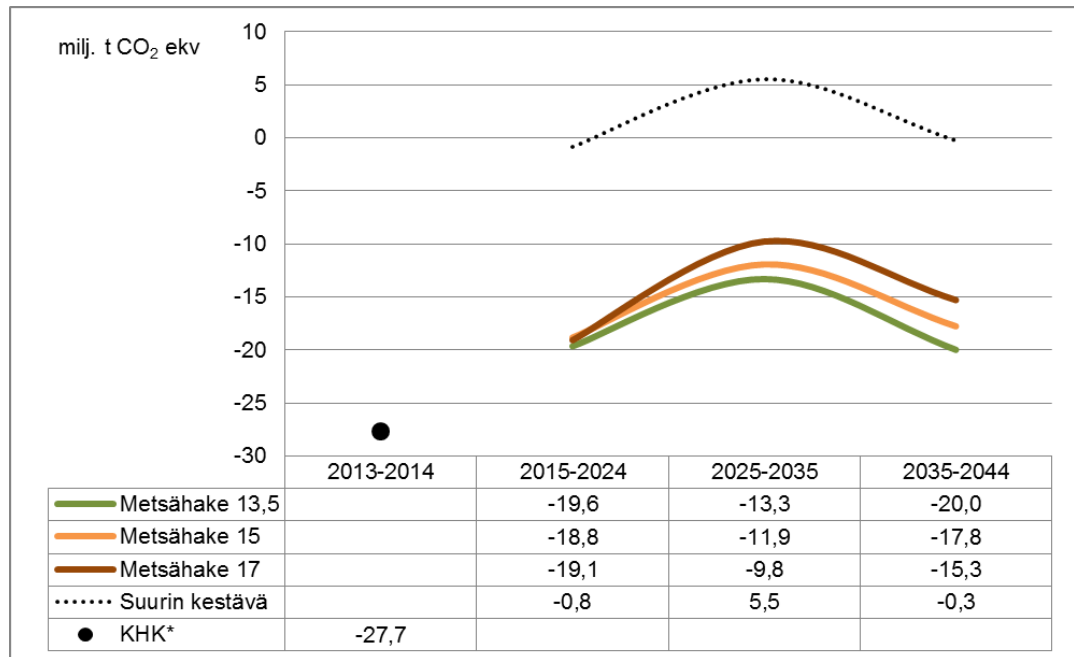
## 5.2 Arviot metsien hiilinielun ja monimuotoisuuden kehittämisestä

Suomen metsät sitoivat vuosina 1990–2014 keskimäärin n. 30 (19–51) miljoonaa tonnia vuodessa enemmän kasvihuonekaasuja hiilidioksidiekvivalenttina (milj. t CO<sub>2</sub>-ekv.) mitattuna, kuin mitä metsistä hakkuissa vietiin pois ja maaperästä hiilidioksidia ja muita kasvihuonekaasuja orgaanisen aineen hajoamisen johdosta ilmakehään vapautui. Suomen metsät ovat olleet näin huomattava hiilinielu, joka vuositasolla on vastannut 30–60 % Suomen kokonaispäästöistä. Kioton pöytäkirjassa Suomelle vuosille 2013–2020 asetettu hiilinielun vertailutaso on n. 20 milj. t CO<sub>2</sub>-ekv./v. Kasvihuonekaasuinventaarion mukainen Suomen metsien hiilinielu oli vuosina 2013–2014 vielä 27,7 milj. t CO<sub>2</sub>-ekv.<sup>81</sup>, joten Kioton pöytäkirjan vertailutaso pystyttäneen täyttämään viime vuosien kohonneista hakkuista huolimatta. Hakkuulas-kelmien mukaan metsien hiilinielu laskee kuitenkin tasolle 13,5 milj. t CO<sub>2</sub>-ekv./v vuosina 2025–2034, kun energia- ilmastostrategiassa ennakoitujen investointien mukaiset runkopuun hakkuut toteutuessaan nousevat vuoteen 2035 mennessä 80 milj. m<sup>3</sup>:iin/v ja metsähakkeen käyttö on 13,5 milj. m<sup>3</sup>/v. Uutta vertailutasoa vuoden 2020 jälkeen ole vielä määritelty, mutta nykyinen

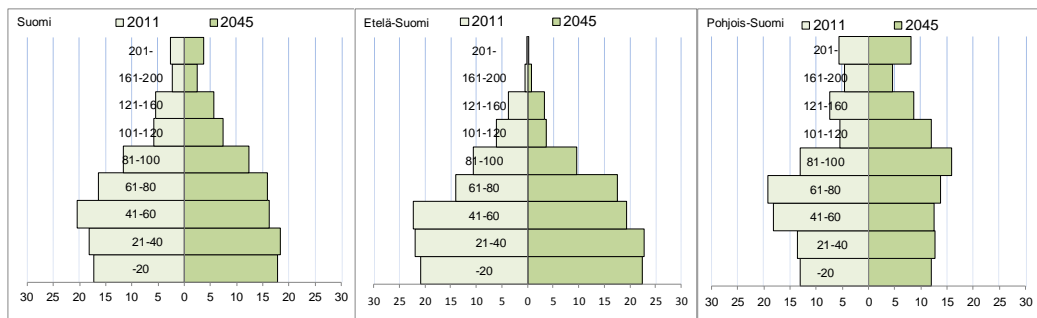
<sup>81</sup> Tilastokeskus (2016). Suomen kasvihuonekaasupäästöt 1990-2015. [http://www.stat.fi/static/media/uploads/suominir\\_2016.pdf](http://www.stat.fi/static/media/uploads/suominir_2016.pdf)

taso saavutettaisiin uudelleen vuoden 2035 jälkeen. Metsähakkeen käytön lisäys 15 ja 17 milj. m<sup>3</sup>:iin vuodessa verrattuna 13,5 milj. m<sup>3</sup> tasoon vähensi metsien hiilinielua vuoteen 2035 mennessä vastaavasti 1,5–3,5 milj. t CO<sub>2</sub>-ekv. (Kuva 29).

**Kuva 29. Suomen metsien kasvihuonekaasutase (CO<sub>2</sub> ekvivalenttina) metsähakkeen eri kertymätasoilla vuosina 2015–2044 ja kasvihuonekaasuraportoinnin (KHK) arvo vuosille 2013–2014<sup>82</sup> (milj. t CO<sub>2</sub>-ekv./v). Negatiivinen arvo tarkoittaa nielua ja positiivinen päästöä.**



**Kuva 30. Metsämaan ikäluokajakauma vuosina 2011 (VMI 11) ja 2045. Ikäluokan osuus metsämaan pinta-alasta (%).**



Kasvun ja maaperän orgaanisen aineen hajoamisen oletettiin jatkuvan konservatiivista varmuusperiaatetta noudattaen pitkän ajan toteutuneen ilmaston (1984–2013) keskimääräisellä tasolla. On huomioitava, että kasvun kehitysarvioissa ei otettu näin huomioon ilmastonmuutoksen vaikutusta, ja kasvunvasteisiin liittyvien epävarmuuksien vuoksi ilmastonmuutoksen positiivisten ja negatiivisten vaikutusten oletettiin kasvun osalta kumoavan toisensa. Puuston määrä kasvoi skenaariossa 9 % vuoteen 2035 vuodesta 2015. Mikäli puuston kasvu on mallilaskelmia suurempi, niin myös vastaavasti metsien hiilinielu pienenee vähemmän.

<sup>82</sup> Tilastokeskus (2016). Suomen kasvihuonekaasupäästöt 1990-2015. [http://www.stat.fi/static/media/uploads/suominir\\_2016.pdf](http://www.stat.fi/static/media/uploads/suominir_2016.pdf)

Metsiin ja niiden rakennepiirteiden kehitykseen vaikuttaa ulkoisista tekijöistä keskeisimmin hakkuut – niiden voimakkuus ja erityisesti harvennus- tai uudistushakkuuden suhde. Energia- ja ilmastostrategian mukaisilla puun käytön tavoitteilla puuston ikäluokkarakenne ei esim. koko Suomen tasolla juuri muutu, mutta Etelä-Suomessa ikärakenne nuortuu hieman ja Pohjois-Suomessa se vanhenee (Kuva 30). Tavoiteltu hakkuukertymä on kuitenkin mahdollista saavuttaa usealla erilaisilla hakkuustrategialla, kun toimitaan puuntuotantomahdollisuuksien rajan alapuolella. Luonnonvarakeskus ja Suomen ympäristökeskus arvioivat lisääntyvän puun käytön monimuotoisuusvaikutuksia keskeisten rakennepiirteiden (mm. puuston rakenne, ikärakenne, kuolleen puun määrä)<sup>83</sup>. Tarkastelun keskeinen johtopäätös oli, että runkokuun hakkuut voivat nousta energia- ja ilmastostrategian mukaiselle 80 milj. m<sup>3</sup>/v tasolle ja samalla voidaan turvata metsäluonnon monimuotoisuus. Tämä kuitenkin edellyttää, että olemassa olevia monimuotoisuuden edistämiskeinoja tehostetaan. Näitä keinoja ovat kuolleen puuston säästäminen hakkuissa nykyistä paremmin, vanhojen metsien ja arvokkaiden luontokohteiden suojelun edistäminen, puun korjuun välttäminen arvokkailta luontokohteilta, järeiden elävien säästöpuiden lisääminen uudistushakkuissa ja luonnonhoidollinen kulutus<sup>84</sup>.

### 5.3 Metsähaketase vuoteen 2030

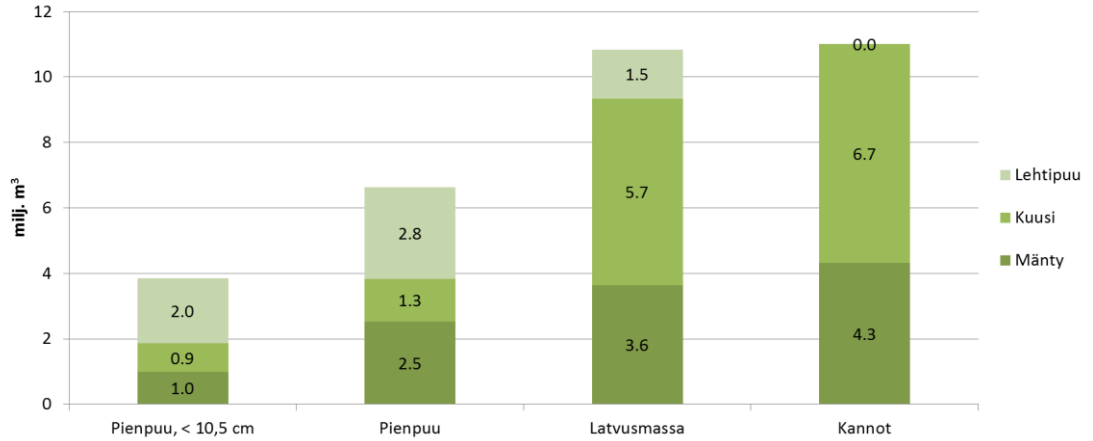
Metsähakkeelle laskettiin tekninen hankintapotentiaali vuonna 2030. Tekninen hankintapotentiaali kuvaa suurinta määrää pienpuuta, latvusmassaa ja kantoja, joka voitaisiin voimassa olevia energiapuun korjuusuosituksia noudattaen hankkia. Tuolloin kaikki ensiharvennuskohteet hakattaisiin vuosien 2011–2020 välillä ja tukki- ja kuitupuun hakkuukertymä olisi 78 milj. m<sup>3</sup>/v. Käytännössä toteutuvat aines- ja energiapuun määrät ratkeavat markkinoilla.

Pienpuun tekniseksi hankintapotentiaaliksi saatiin 6,6 milj. m<sup>3</sup>, josta n. 40 % lehtipuuta ja hieman vähemmän mäntyä (Kuva 31). Jos vain alle 10,5-senttiset puut laskettiin mukaan, oli potentiaali 3,8 milj. m<sup>3</sup>. Tästä puolet oli lehtipuuta. Latvusmassan potentiaali oli 10,8 milj. m<sup>3</sup> ja kantojen 11,0 milj. m<sup>3</sup>. Latvusmassapotentiaalista yli puolet oli kuusta ja kolmannes mäntyä. Kantopotentiaalista puolestaan kuusen osuus oli 60 % ja männyn 40 %. Latvusmassan ja kantojen potentiaali sijaitsee pääosin kivennäismailla, mutta pienpuupotentiaalista jopa kolmannes turvemilla (Kuva 32). Alueellisesti latvusmassan ja kantojen potentiaali painottuu Etelä- ja Itä-Suomeen (Kuva 33). Suurin pienpuupotentiaali on Länsi-Lapissa ja Kemijärven pohjoispuolella.

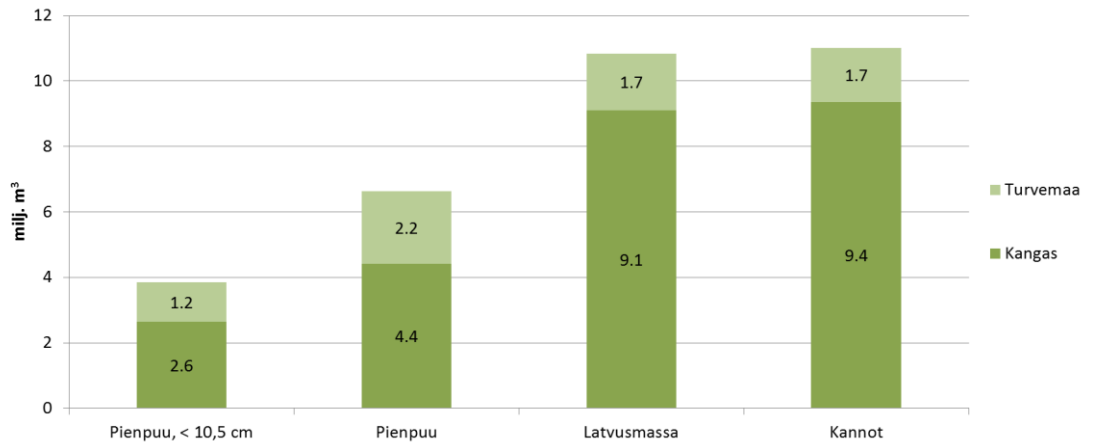
<sup>83</sup> Korhonen, K. T., Auvinen, A.-P., Kuusela, S., Puntila, P., Salminen, O., Siitonen, J., Ahlroth, P., Jäppinen, J.-P. & Kolström, T. (2016). Biotalouskenaarioiden mukaisten hakkuiden vaikutukset metsien monimuotoisuudelle tärkeisiin rakennepiirteisiin. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 51/2016. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-294-2>

<sup>84</sup> Korhonen, K. T., Auvinen, A.-P., Kuusela, S., Puntila, P., Salminen, O., Siitonen, J., Ahlroth, P., Jäppinen, J.-P. & Kolström, T. (2016). Biotalouskenaarioiden mukaisten hakkuiden vaikutukset metsien monimuotoisuudelle tärkeisiin rakennepiirteisiin. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 51/2016. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-294-2>

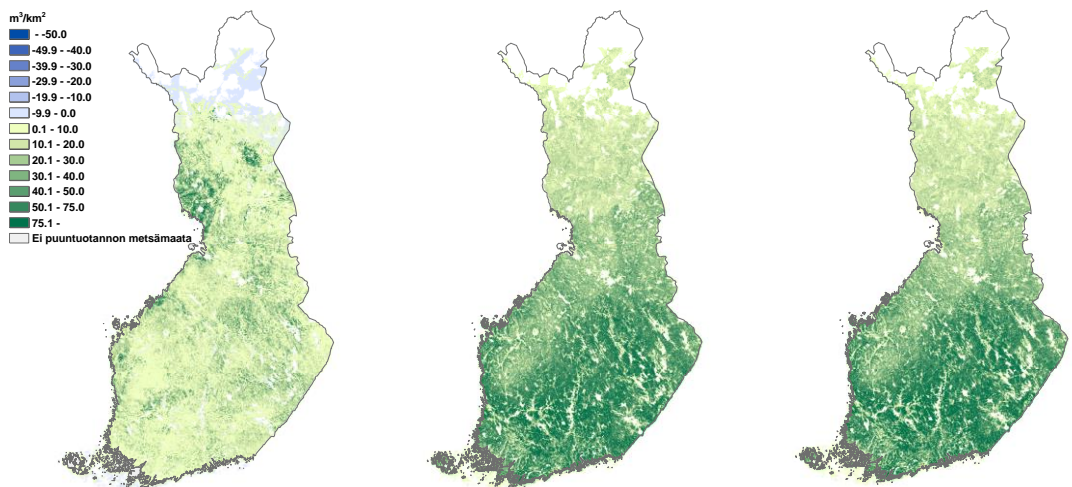
**Kuva 31. Metsähakkeen tekninen hankintapotentialiaali puulajijakeittain.**



**Kuva 32. Metsähakkeen tekninen hankintapotentialiaali kankailla ja turvemilla.**



**Kuva 33. Metsähakkeen tekninen hankintapotentialiaali pienpuulle (vasemmalla), latvusmassalle (keskellä) ja kannoille (oikealla).**

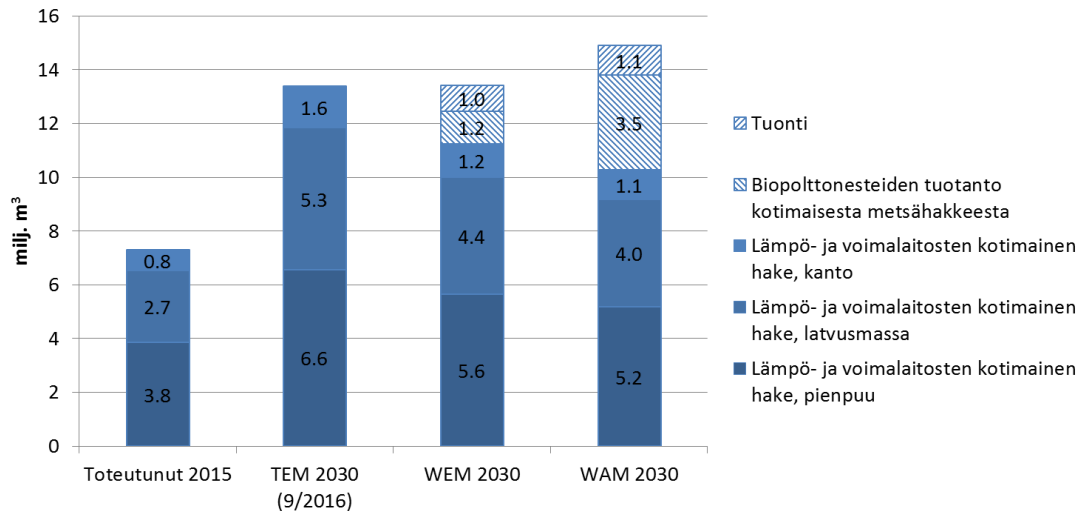


Pienpuupotentiaaliin on luettu puut, joiden läpimitta rinnan korkeudella on alle 10,5 cm. Latvusmassa- ja kantopotentiaaleissa on oletettu, että ainespuun hakkuut toteutuvat suurimmalla kestäväällä tasolla.



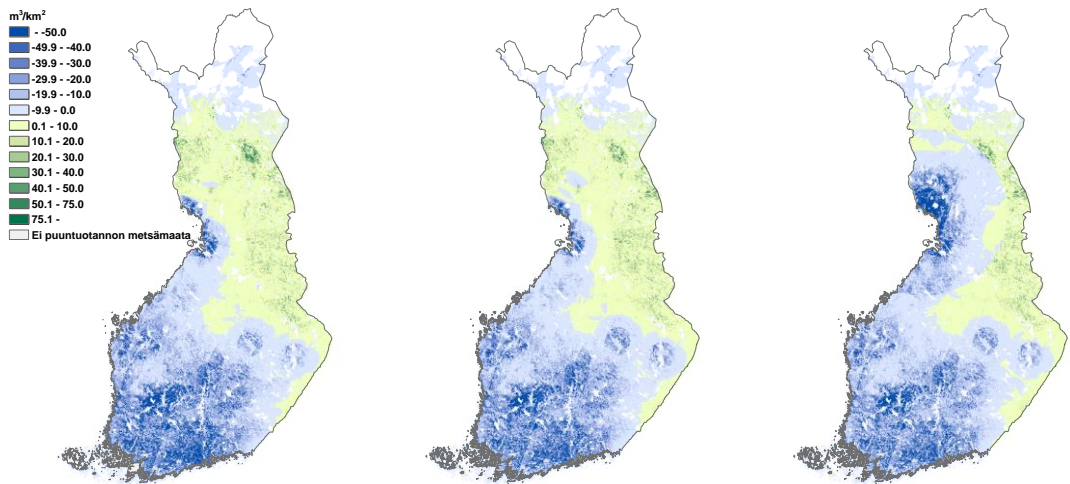
VTT:n TIMES-mallin tulosten mukaan metsähakkeen käyttö vuonna 2030 olisi WEM-skenaariossa 13,4 milj. m<sup>3</sup>/v ja WAM-skenaariossa 14,9 milj. m<sup>3</sup>/v (Kuva 34). WEM-skenaariossa kokonaiskäytöstä lämmön ja sähkön tuotantoon ohjautuisi 12,1 milj. m<sup>3</sup>/v ja biopolttonesteiden tuotantoon 1,3 milj. m<sup>3</sup>/v. WAM-skenaariossa vastaavat luvut ovat 11,1 milj. m<sup>3</sup>/v ja 3,8 milj. m<sup>3</sup>/v. Kokonaiskäyttömäärästä ulkomaista alkuperää olisi WEM-skenaariossa 1,0 milj. m<sup>3</sup>/v ja WAM-skenaariossa 1,1 milj. m<sup>3</sup>/v.

**Kuva 34. Metsähakkeen toteutunut käyttömäärä lämmön ja sähkön tuotannossa 2015 sekä ennakoitu käyttömäärä vuonna 2030 eri skenaarioissa.**



Mikäli ainespuun mitat täyttävä puu jätettäisiin pääosin potentiaalinen ulkopuolelle (pienpuupotentiaalissa läpimitta < 10,5 cm), olisi pienpuutase valtakunnan tasolla TEM-skenaariossa 2,7 milj. m<sup>3</sup>/v, WEM-skenaariossa 2,4 milj. m<sup>3</sup>/v ja WAM-skenaariossa 3,1 milj. m<sup>3</sup>/v alijäämäinen, ja maakuntatasolla ainoastaan Pohjois-Karjalassa, Kainuussa ja Lapissa ylijäämäinen (WAM-skenaariossa myös Lappi alijäämäinen) (Kuva 35). Jos pienpuun kysyntä siis nousee tässä ennakoidulle tasolle, korvautuu puuttuva määrä kuitupuumittaisen puun käytöllä tai tuonnilla. Toisaalta jakeiden suhteet perustuvat menneisiin käyttömääriin, joten myös jakeiden välillä voi tapahtua siirtymää.

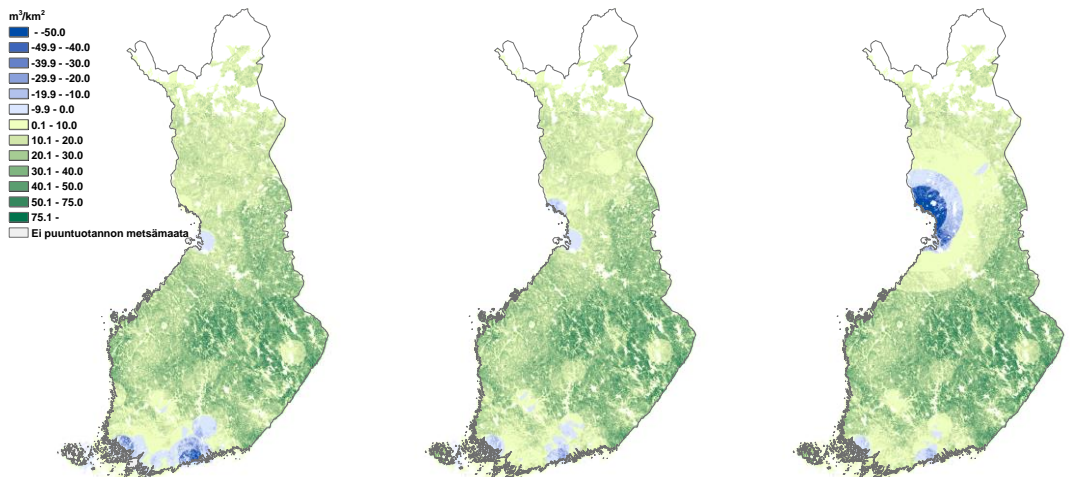
**Kuva 35. Pienpuun hankintapotentialin ja käytön erotus skenaariossa TEM (vasemmalla), WEM (keskellä) ja WAM (oikealla).**



Pienpuupotentiaaliin on luettu puut, joiden läpimitta rinnan korkeudella on alle 10,5 cm. Skenaarioissa WEM ja WAM on oletettu biojalostamoiden käyttämästä metsähakkeesta olevan puolet latvusmassaa ja puolet pienpuuta.

TEM-skenaariossa latvusmassatase oli negatiivinen Uudellamaalla, kun taas WEM- ja WAM-skenaarioissa tase oli positiivinen maakuntatasolla koko maassa. Suuret käyttöasteet Etelä-Suomessa ja Perämeren rannikolla erottuvat kartoilla sinisinä (Kuva 36). Erityisesti WAM-skenaariossa suuri käyttömäärä Kemissä erottuu samoin kuin pienpuutaseissakin (Kuva 35).

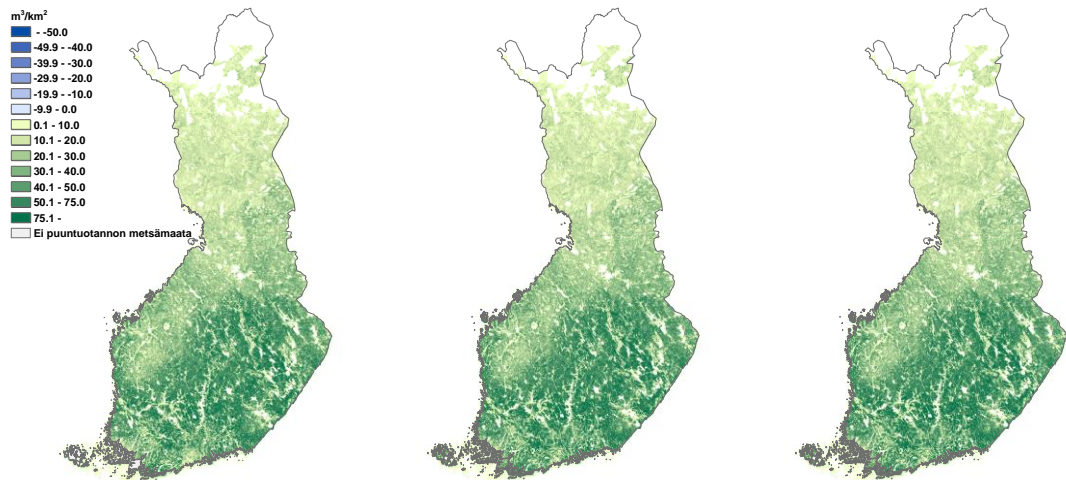
**Kuva 36. Latvusmassan hankintapotentialin ja käytön erotus skenaariossa TEM (vasemmalla), WEM (keskellä) ja WAM (oikealla).**



Skenaarioissa WEM2030 ja WAM2030 on oletettu biojalostamoiden käyttämästä metsähakkeesta olevan puolet latvusmassaa ja puolet pienpuuta.

Kantojen tekninen hankintapotentiali suhteessa ennakoituun käyttöön oli huomattavan suuri johtuen osittain männyn kantojen lukemisesta mukaan. Tämän vuoksi taseet olivat koko maassa ja alueittain positiiviset kaikissa skenaarioissa (Kuva 37).

**Kuva 37. Kantojen hankintapotentialin ja käytön erotus skenaariossa TEM (vasemmalla), WEM (keskellä) ja WAM (oikealla).**



Yllä olevien metsähaketasekarttojen perusteella alueellinen kilpailutilanne eri jakeissa näyttäisi olevan skenaariosta riippumatta samansuuntainen: pienpuun käytön lisäämismahdollisuudet painottuvat Itä- ja Pohjois-Suomeen, kun taas latvusmassan ja etenkin kantojen korjuumahdollisuuksia olisi lähes koko maassa, jos ainespuun hakkuumäärät nousisivat suurimmalle kestäväälle tasolle. Koska metsähakkeen kysynnän kasvu sijaitsee kaukana metsähakevaroista, tarvitaan tehokkaita logistisia ratkaisuja ongelman ratkaisemiseksi. Metsähaketaselkelma perustuu kuitenkin moniin staattisiin oletuksiin vuoden 2030 hakkuumääristä, puun hankinnasta ja toimintaympäristöstä. Tämän vuoksi vuoden 2017 jatkotarkasteluista on tarpeen analysoida mm. seuraavia tekijöitä:

- Latvusmassan ja kantojen potentiaali perustui suurimpaan kestävään ainespuun hakkuumäärään (78 milj. m<sup>3</sup>/v). Tämä ei ole linjassa käyttöskenaarioiden hakkuumääräoletusten kanssa. TEM-skenaariossa ainespuun hakkuumääräksi oletettiin 67 milj. m<sup>3</sup>/v vuonna 2035. On siis syytä tehdä potentiaalilaskelma alemmalla hakkuumääräoletuksella.
- Käytännössä kantojen korjuu keskittyy teknisesti helpommin korjattavissa oleviin kuusikoihin. Kantopotentiaalit- ja taseet tulee laskea myös ainoastaan kuuselle.
- Tarkasteluissa ei ole pääasiallisesti huomioitu lämmön ja sähkön tuotantolaitosten jäljellä olevia käyttöaikoja pois lukien aivan lähitulevaisuudessa tapahtuvat investoinnit, joista on jo tietoja. Laitoskohtaisiin käyttömääriin sisältyy siis oletus, että metsähakkeen käyttö säilyisi jotakuinkin ennallaan korvausinvestoinnin jälkeenkin.
- Biopoltonesteiden tuotantopaikkoja on spekuloitu julkisuudessa runsaasti. Tähän valittujen paikkojen sijaan ne voisivat sijaita eri pisteissä. Tuotantopaikkojen lukumäärä sekä metsähakkeen käyttömäärä voivat olla jotain muuta kuin tässä on oletettu. On myös hyvin mahdollista, että tuotanto ei perustu lainkaan metsähakkeeseen (vrt. TEM-skenaario). Koska toistaiseksi investointipäätöksiä ei ole nähty, voidaan tarvittaessa laatia vaihtoehtolaskelmia.

## 6. VALTION- JA KANSANTALOUDELLISET VAIKUTUKSET

JUHA HONKATUKIA, VTT

### 6.1 WEM-skenaario

WEM-skenaariossa otetaan keskeiset talouden kasvupotentiaaliin ja energiajärjestelmään vaikuttavat politiikkapäätökset huomioon. Energiajärjestelmän osalta WEM-skenaario on TIMES-mallin arvioiden mukainen. Liikennesuoritteen ja ajoneuvokannan kehitys noudattavat Energia- ja ilmastostrategian arvioita (ks. Taulukko 1 ja luku 2.4). Vaikutusarvioiden kannalta merkittävää on se, että muiden EU-maiden oletetaan toteuttavan EU:n vuodelle 2030 asetamat päästötavoitteet sekä WEM- että WAM-skenaarioissa EU:n laajuisen päästökaupan ja kansallisten toimien avulla. Energiajärjestelmästä ja energian kulutuksesta tehdyt oletukset voidaan kiteyttää seuraavasti:

- Energiajärjestelmä noudattaa TIMES-mallilla arvioitua skenaariota, jossa Suomi toteuttaa EU-2020 tavoitteet
- Liikenteen kehitys noudattaa LVM:n arviota liikennesuoritteen ja ajoneuvokannan kehityksestä
- Biopolttoaineiden tuotanto noudattaa TIMES-mallilla tehtyä arviota
- EU:n päästökauppa heijastaa 2030 tavoitteita.

Kansantalouden kasvun osalta lähivuosien kehitysarvio perustuu Valtiovarainministeriön kevään 2016 ennusteeseen<sup>85</sup>. Pidemmällä aikavälillä toimialakehityksen taustalla ovat pitkän aikavälin tuottavuus- ja kysyntätrendit sekä julkisten menojen osalta etenkin väestöennuste. Julkisen talouden osalta monet rakenteelliset uudistukset ovat hyvin merkittäviä, koska ilman niitä julkisen talouden alijäämä jatkaisi kasvuaan<sup>86</sup>. Keskeinen, tulevaisuuden kasvuedellytyksiä parantava politiikkatoimi on käynnistynyt eläkeuudistus, joka lisää työn tarjontaa etenkin 2020-luvulle tultaessa. Toinen keskeinen vaikuttaja on yhteiskuntasopimus, joka parantaa kilpailukykyä ja talouden kasvuedellytyksiä jo lähivuosina. Senkin arvioidut vaikutukset on otettu huomioon jo perusskenaariossa. Lisäksi arviossa on ennakoitu tekeillä olevan SOTE-uudistuksen vaikutuksia työvoiman tarpeeseen ja julkiseen talouteen. SOTE-uudistuksen vaatimista investoinneista ei ole käytettävissä kattavaa arviota, mutta hallitusohjelmassa on asetettu uudistuksen tuottamille säästöille tavoite, jonka tässä oletetaan toteutuvan tuottavuuskasvun kautta.

Työn tarjonnan kasvu muuttaa perustavanlaatuisesti talouden kasvuedellytyksiä. Kun työikäisen väestön määrä on ollut laskussa jo muutaman vuoden, on kansantalouden kasvu ollut pitkälti investointien ja tuottavuuskasvun varassa. Eläkeuudistuksen myötä työpanoskin voi kasvaa 2020-luvun lopulle asti, mikä puolestaan vauhdittaa investointeja. Perusskenaariossa työpanoksen ja pääomapanoksen kautta syntyvä kasvukontribuutio ovat merkittävän suuria, kuten nähdään kuvasta 38. Tuottavuuden kasvua vauhdittaa sekä julkisen sektorin oletettu

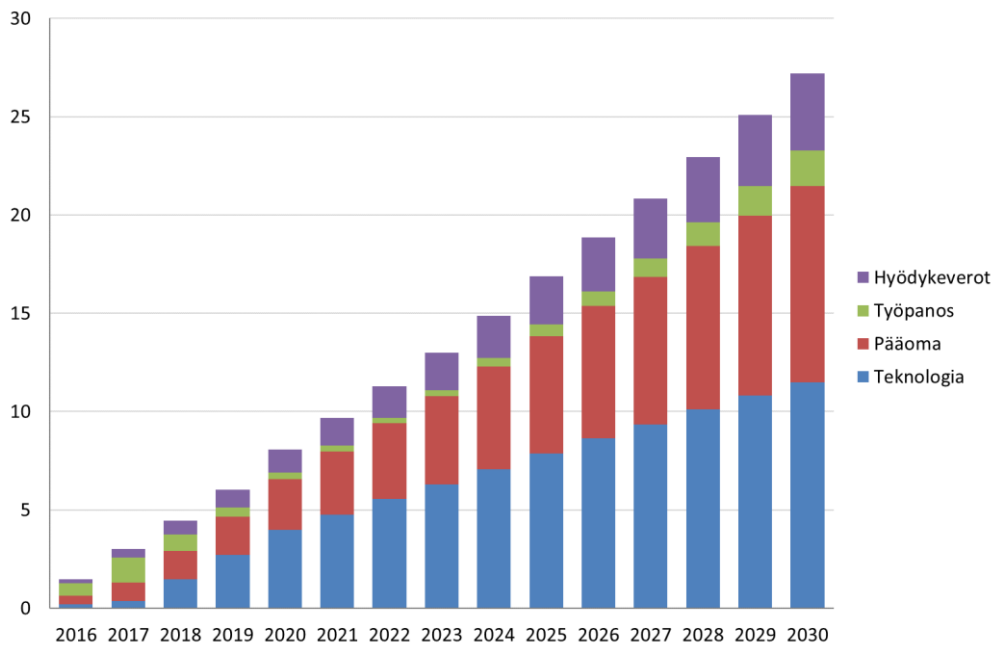
<sup>85</sup> Valtiovarainministeriö (2016). Taloudellinen katsaus, kevät 2016. Valtiovarainministeriön julkaisu - 12a/2016. <http://vm.fi/documents/10623/2321597/Taloudellinen+katsaus+kevat+2016>.

<sup>86</sup> Honkatukia, J. & Lehmus, M. (2016). Suomen talous 2015-2030: Laskelmia politiikkatoimien vaikutuksista. VATT tutkimukset 183. <http://vatt.fi/documents/2956369/3011957/t183.pdf>

tuottavuuskasvu että tuotannontekijöiden suuntautuminen avoimille sektoreille. Uudistusten ansiosta talous kasvaa yli kahden prosentin vuosivauhtia 2020-luvulla.

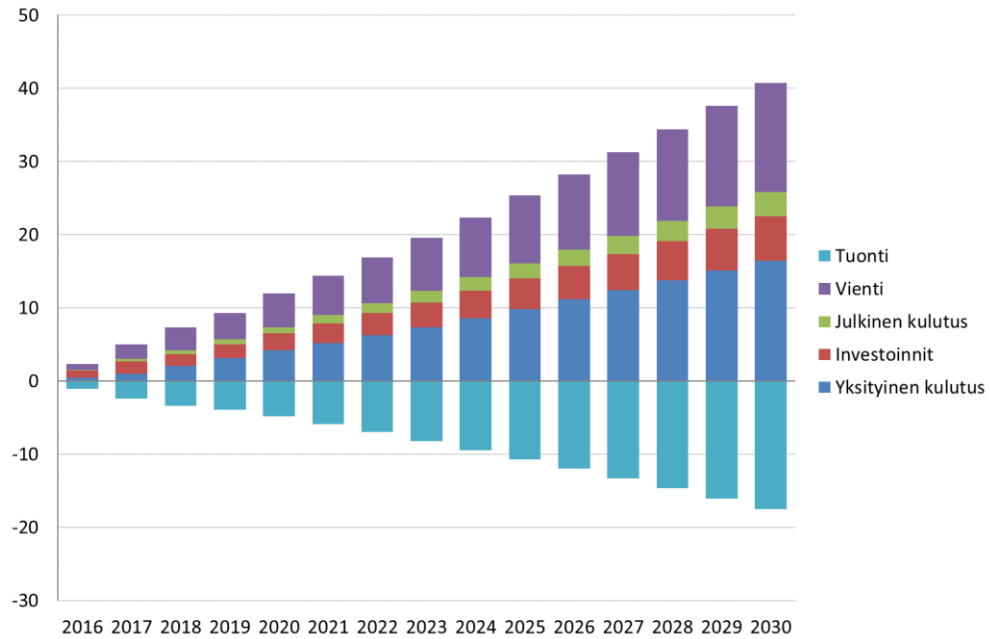
Kuvaan 39 on kuvattu kansantuotteen käytön kehittyminen perusskenaariossa. Kuva 40 kertoo kysyntäerien ja arvonlisän vaikutuksen kansantuotteeseen hyödykeryhmittäin ja lisäksi kuvaan on koottu vastaavien toimialojen arvonlisän muutos. Kun koko kuluvan vuosikymmenen talouskasvu on ollut kotimarkkinoiden varassa, korostuu viennin elpymisen vuosikymmenen loppua kohti tultaessa ja seuraavalla vuosikymmenellä. Kuten Honkatukia ja Lehmus<sup>87</sup> toteavat, ajaa viennin elpymistä työmarkkinoiden oletettu lähivuosien maltillisuus ja 2020-luvulla eläkeuudistuksen aikaansaama työn tarjonnan kasvu, jotka parantavat viennin kilpailukykyä.

### Kuva 38. Tarjontaerien vaikutus kansantuotteeseen WEM-skenaariossa (muutos prosenttiyksikköinä vuodesta 2015)

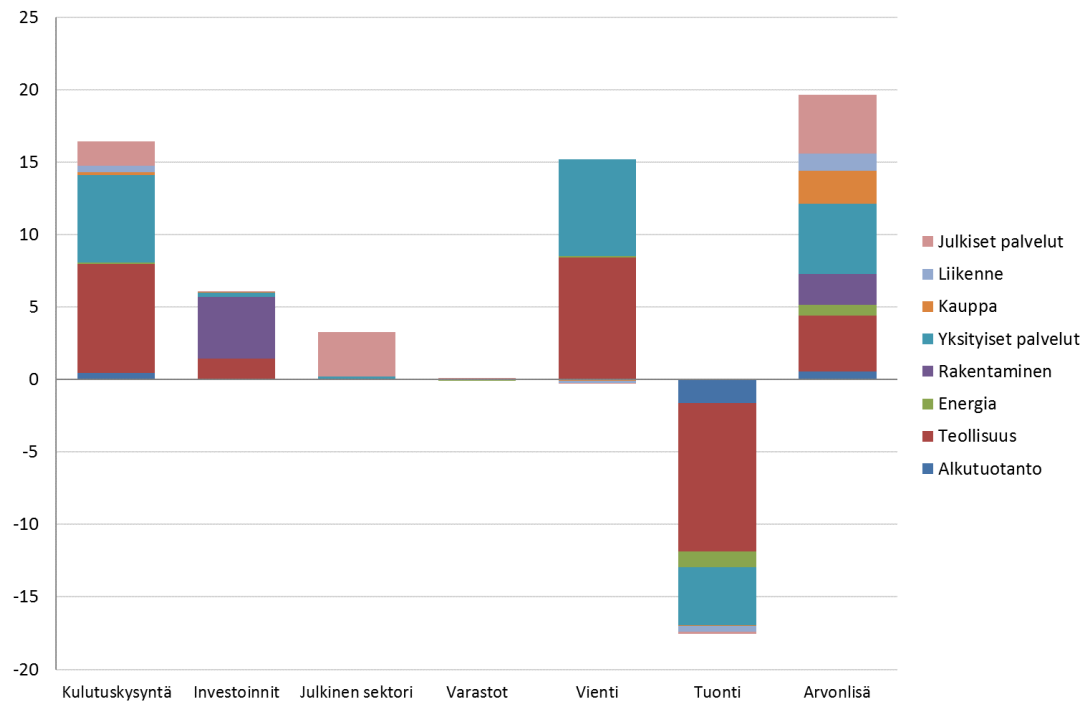


<sup>87</sup> Honkatukia, J. & Lehmus, M. (2016). Suomen talous 2015-2030: Laskelmia politiikkatoimien vaikutuksista. VATT tutkimukset 183. <http://vatt.fi/documents/2956369/3011957/t183.pdf>

**Kuva 39. Kysyntäerien vaikutus kansantuotteeseen WEM-skenaariossa (muutos prosenttiyksikköinä vuodesta 2015)**



**Kuva 40. Kysyntäerien ja arvonlisän vaikutus kansantuotteeseen WEM-skenaariossa (muutos prosenttiyksikköinä vuodesta 2015)**



## 6.2 WAM-skenaario

WAM-skenaarion tarkastelun lähtökohtina ovat ennen kaikkea energiajärjestelmää ja energian kulutusta koskevat lisätoimet. Talouskasvun muiden reunaehtojen oletetaan noudattavan WEM-skenaariota. Uusiutuvan energian osuus lisääntyy sekä sähkön- ja lämmöntuotannossa että etenkin liikennepolttoaineissa. Kun EU:n päästökaupan oletetaan jo WEM-skenaariossa noudattavan EU 2030-tavoitteita, ei WAM-skenaariossa kuitenkaan synny kovin suurta muutostarvetta päästökauppasektorilla. Päästökaupan ulkopuolella, taakanjakosektorilla, vähennystarve sen sijaan on merkittävä. Suurimmat muutokset koskevat liikennettä, jossa WAM-skenaarion toteuttaminen vaatii ennen kaikkea biopolttoaineiden käytön tuntuvaa lisäämistä, mutta myös henkilöautokannan sähköistymistä WEM-skenaariota selvästi vauhdikkaammin. Raskaan liikenteen osalta sähköautoja merkittävämmäksi nousee biopolttoaineiden käytön tuntuva lisääminen. Biopolttoaineiden jalostus kotimaassa kasvaa kysynnän kasvun myötä.

WAM-skenaarion tavoitteiden toteuttaminen vaikuttaa taloudelliseen ohjaukseen ja valtiontalouteen. Energiankulutuksen kasvun hidastuminen ja painottuminen uusiutuvaan energiaan vaikuttaa kansantaloudellisessa tarkastelussa valtiontalouteen ennen kaikkea polttoaineverokertymän kautta, sillä biopolttoaineiden verotus on fossiilisia kevyempää. Myös uusien autojen myynti muuttuu perinteisiä kalliimpien sähköautojen, hybridien ja kaasautojen osuuden kasvaessa. Biojalostamot taas vaativat tarkastelussa ainakin ajoittain investointitukia. Nämä vaikutukset valtiontalouteen neutraloidaan tarkastelussa olettamalla muun hyödykeverotuksen – käytännössä arvonlisäveron – kiristyvän ja kattavan ympäristöperustaisen ohjauksen kautta syntyvän alijäämän. WAM-skenaario on siis budjettineutraali.

Energiajärjestelmän ja liikenteen osalta WAM-skenaarion keskeiset oletukset kansantalouden vaikutusarviossa ovat:

- Energiajärjestelmä noudattaa TIMES-mallilla arvioitua skenaariota
- Biopolttoaineiden tuotanto noudattaa TIMES-mallilla tehtyä arviota
- Liikenteen kehitys noudattaa LVM:n arviota liikennesuoritteiden kehityksestä
- Uusien autojen keskihinta nousee aluksi sähkö- ja kaasuhenkilöautojen ja hybridien alkaessa yleistyä
- Taloudellinen ohjaus toteutetaan budjettineutraalisti
- Muun maailman ja EU:n kehitys oletetaan WEM-skenaarion mukaiseksi

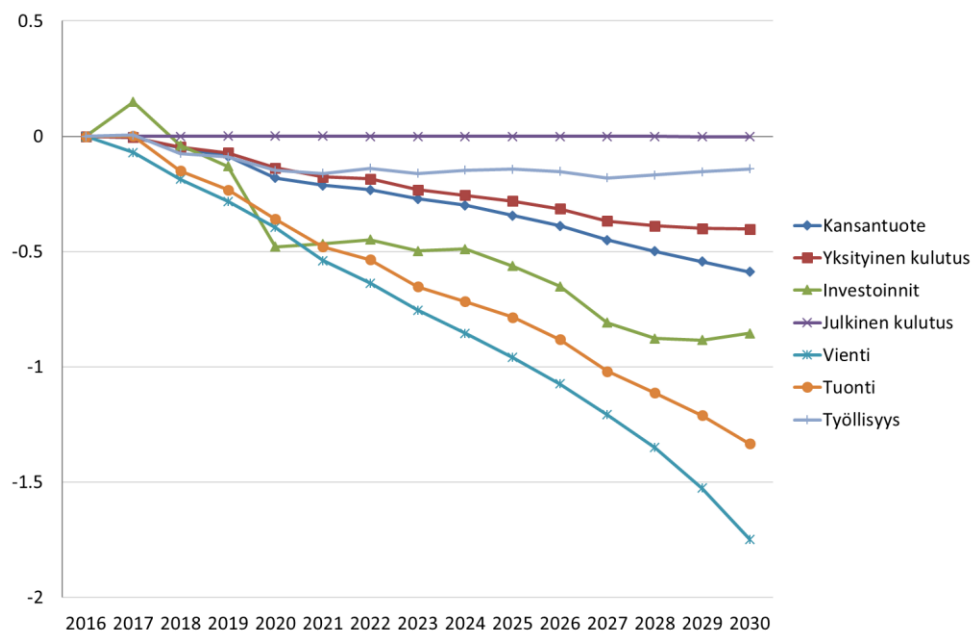
WAM-skenaarion vaikutuksia koko kansantalouteen kuvataan taulukossa 9. Kansantuote jää vuonna 2030 noin 0,6 prosenttia WEM-skenaariota pienemmäksi. Vaikutus syntyy yksityisen kulutuksen ja investointien laskusta WEM-skenaarioon verrattuna ja ulkomaankaupan hidastumisesta. Suuri osa vaikutuksista kansantuotteeseen syntyy viennin supistumisesta, mikä heijastaa toimenpiteiden vaikutusta kotimaiseen kustannustasoon. Toisaalta tuontikin supistuu, mikä kasvattaa kansantuotetta.

**Taulukko 9. Vaikutukset kansantalouteen (WAM-skenaarion ero WEM-skenaarioon)**

	Muutos WEM-skenaarioon verrattuna (%)	Vaikutus kansantuotteeseen WEM-skenaarioon verrattuna (%)
Kansantuote	-0,59	
Yksityinen kulutus	-0,40	-0,23
Investoinnit	-0,85	-0,10
Julkinen kulutus	0,00	0,00
Vienti	-1,75	-0,76
Tuonti	-1,33	0,49

Kuvaan 41 on koottu kansantuote-erien muutokset WAM-skenaariossa WEM-skenaarioon verrattuna. Vuonna 2030 kansantuote jää noin 0,6 prosenttia alemmaksi kuin WEM-skenaariossa. Työllisyys on 0,15 WEM-skenaariota alempana – mutta kasvaa siis edelleen yli kolme prosenttia vuoteen 2015 verrattuna. Investoinnit laskevat WEM-skenaarioon verrattuna vajaan prosentin vuoteen 2030 mennessä. Yksityinen kulutus laskee noin 0,4 prosenttia WEM-skenaarioon verrattuna, pääasiassa ostovoimaa heikentävän liikennepolttoaineiden ja autojen keskihinnan nousun vuoksi. Kotimaisen hintatason nousu heikentää viennin kilpailukykyä ja laskee vientiä toista prosenttia WEM-skenaarioon verrattuna, mutta vuoteen 2015 verrattuna kasvu on edelleen yli 40 prosenttia. Viennin osalta on huomattava myös, että koska WEM-skenaariossa oletetaan muiden EU-maiden tavoittelevan 2030 tavoitteita, ei vienti WAM-skenaariossa saa vetoapua maailmanmarkkinahintojen noususta. Toisaalta maailmanmarkkinahinnoista ei myöskään synny lisäkustannuksia tuonnille WEM-skenaarioon verrattuna.

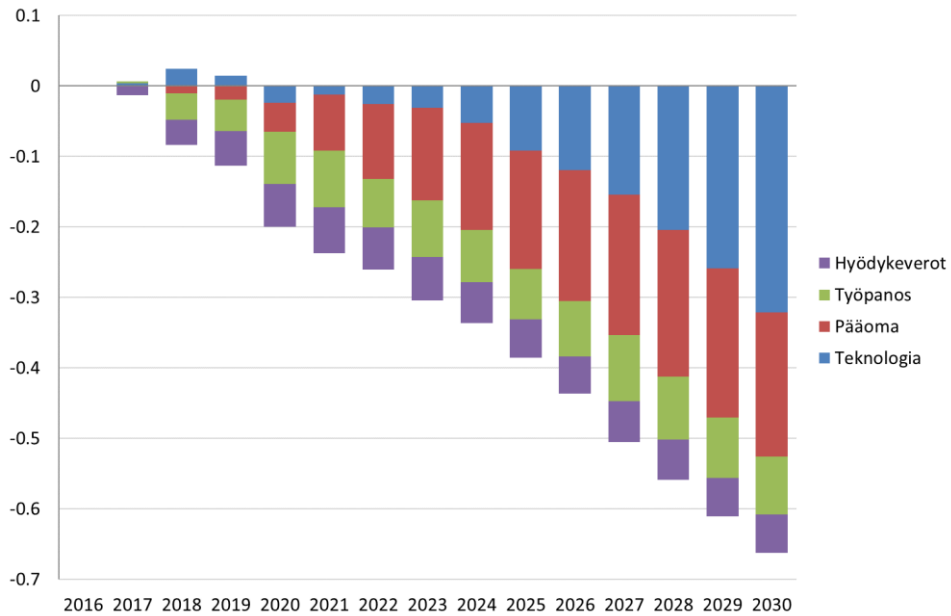
**Kuva 41. Kansantuote-erien muutos WAM-skenaariossa (tasoero WEM-skenaarioon, prosentteina)**





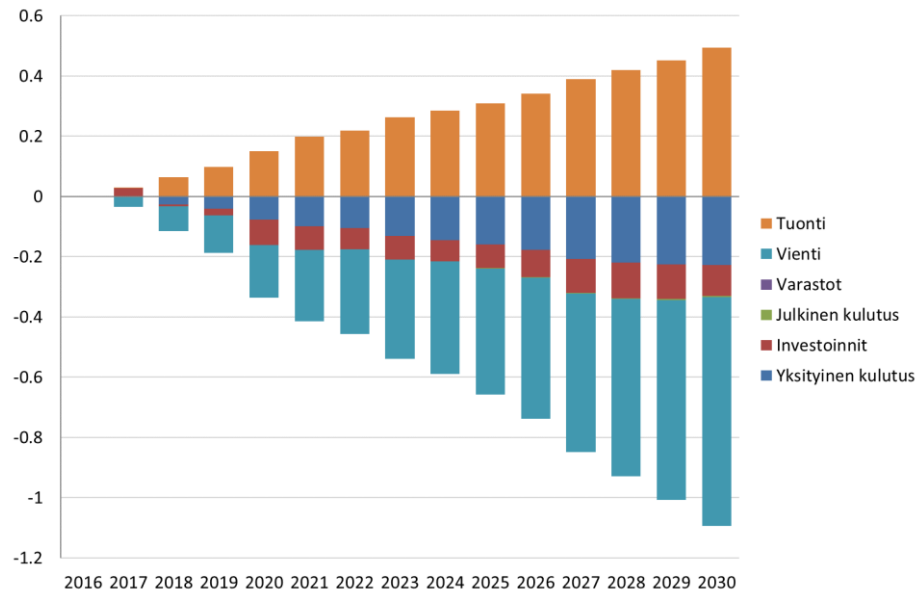
Kuvassa 42 tarkastellaan kansantuotteen muutosta kasvukontribuutioiden avulla. Kasvukontribuutiot lasketaan painottamalla kansantuote-erien prosentuaalista muutosta niiden osuudella kansantuotteesta. Niinpä työllisyyden 0,15 prosentin laskun kontribuutio jää noin 0,1 prosenttiyksikköön ja pääomakannan kasvun hidastumisen noin 0,2 prosenttiyksikköön. Hyödykeverokertymän laskun vaikutus vuonna 2030 on noin 0,05 prosenttiyksikköä. Suurin vaikutus kansantuotteen muutokseen tulee teknologian kokonaistuottavuuden kautta. Tuottavuus laskee energian hinnan nousun aiheuttaman tuotantorakenteen muutoksen kautta: toisaalta saman sisältöisiä tuotteita ja palveluita tuotetaan kalliimmista tuotantopanoksista, toisaalta tuotanto ohjautuu toimialoille, joilla tuottavuuden kasvu on hitaampaa.

**Kuva 42. Tarjontaerien vaikutus kansantuotteeseen WAM-skenaariossa (ero prosenttiyksikköinä WEM-skenaarioon verrattuna)**



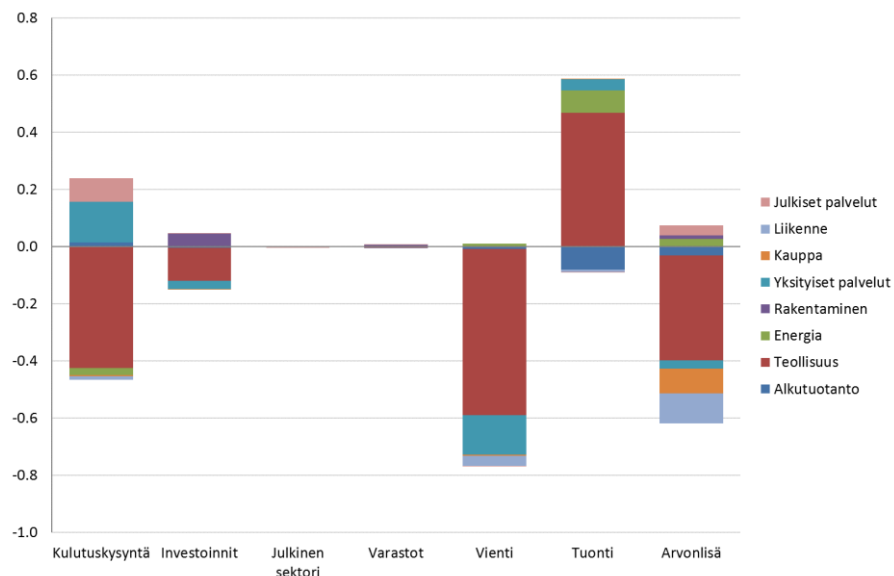
Myös kansantuotteen käyttö muuttuu. Kuvasta 43 nähdään, että kotitalouksien kulutuksen ja investointien kasvun hidastuminen WEM-skenaarioon verrattuna laskee kansantuotetta noin 0,3 prosenttiyksiköllä. Viennin ja tuonnin kasvukontribuutiot ovat kuitenkin selvästi suuremmat: viennin kansantuotetta laskeva vaikutus on noin 0,8 prosenttia ja tuonnin supistumisesta johtuva kansantuotetta kasvattava vaikutus on vajaa puoli prosenttiyksikköä.

**Kuva 43. Kysyntäerien vaikutus kansantuotteeseen WAM-skenaariossa (ero prosenttiyksikköinä WEM-skenaarioon verrattuna)**



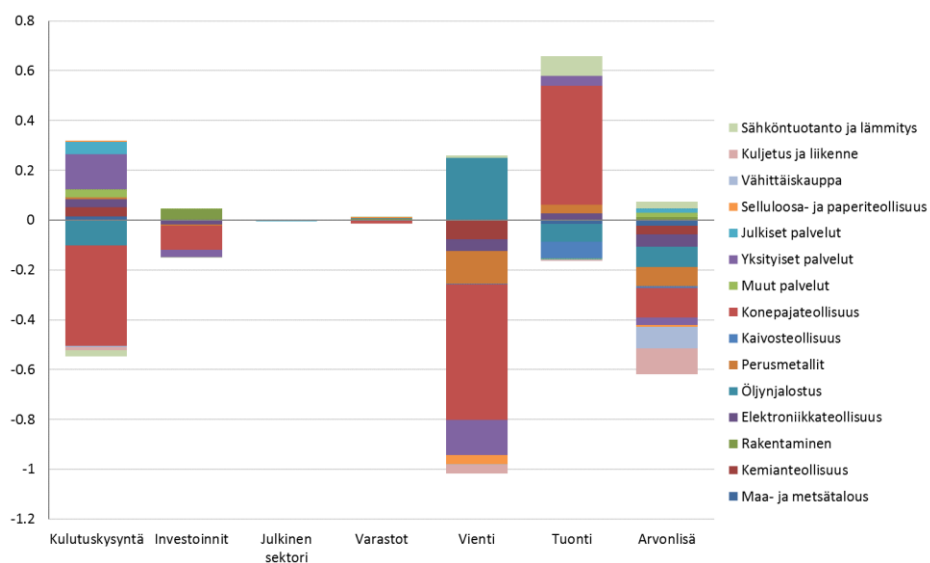
Kuvassa 44 tarkastellaan kansantuotteen muutosta kysyntäerien kasvukontribuutioiden valossa hyödykeryhmittäin. Lisäksi kuvaan on koottu vastaavien toimialojen arvonlisän muutos. Suurin muutos on teollisuustuotteiden kysynnän väheneminen lähes kauttaaltaan. Ainostaan palveluihin kohdistuvan kotitalouksien kysynnän kasvukontribuutio on positiivinen. Energiainvestointien kasvu näkyy rakentamisen ja energiantuotannon arvonlisän positiivisina kasvukontribuutiona. Kuvassa 45 on esitetty sama kansantuotteen käytön tarkastelu tarkemmalla hyödykejaottelulla. Kuvasta käy ilmi, että teollisuuden sisällä on myös kansantuotetta kasvattavia (WEM-skenaarioon verrattuna) tuoteryhmiä, nimittäin öljynjalostuksessa ja sähkön viennissä.

**Kuva 44. Kysyntäerien ja arvonlisän vaikutus kansantuotteeseen WAM-skenaariossa (ero prosenttiyksikköä WEM-skenaarioon verrattuna vuonna 2030)**



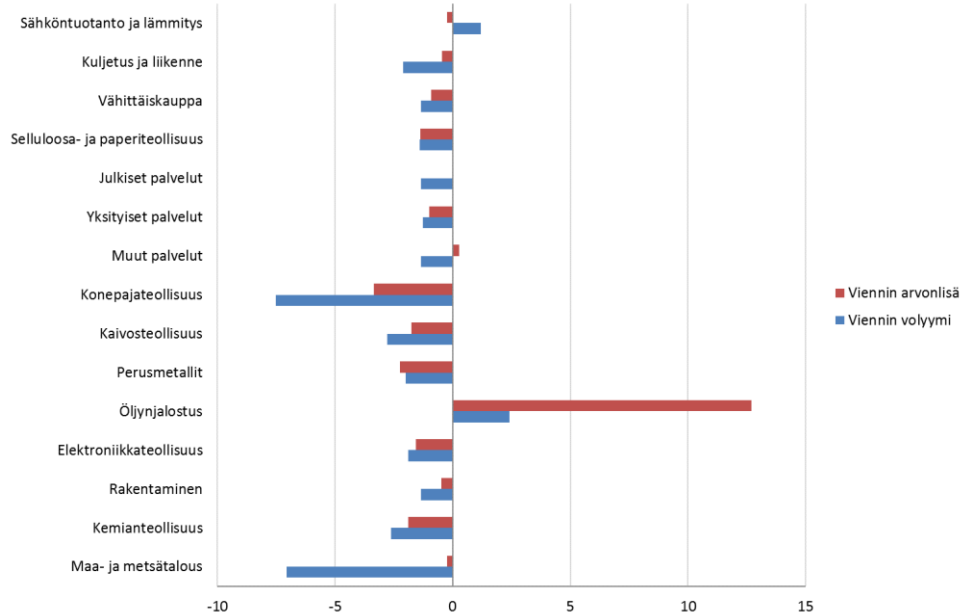
Kuvista 44 ja 45 näkyy, että teollisuustuotteiden viennin laskuun lisäksi myös teollisuustuotteiden tuonti laskee, mikä näkyy positiivisena kasvukontribuutiona. Tämä johtuu pääosin siitä, että teollisuustuotteita valmistetaan suurelta osin muualta tuoduista väli tuotteista, joita tuotannon laskiessa tarvitaan vähemmän. Tämä kasvattaa kansantuotetta. Metsäteollisuus on tästä näkökulmasta poikkeuksellinen, koska sen väli tuoteketju on suurelta osin kotimaisempi kuin monen muun teollisuudenalan. Koska biopolttoaineiden valmistus perustuu sekin kotimaisiin raaka-aineisiin, kasvattaa se kotimaisuusastetta öljynjalostuksessa, johon biojalostamojen kapasiteetti tässä tarkastelussa on kohdennettu. Osittain kotimaisuusasteen kasvu näkyy muillakin toimialoilla.

**Kuva 45. Kysyntäerien ja arvonlisän vaikutus kansantuotteeseen WAM-skenaariossa tarkempaa hyödykejaottelua käyttäen (ero prosenttiyksikköinä WEM-skenaarioon verrattuna vuonna 2030)**



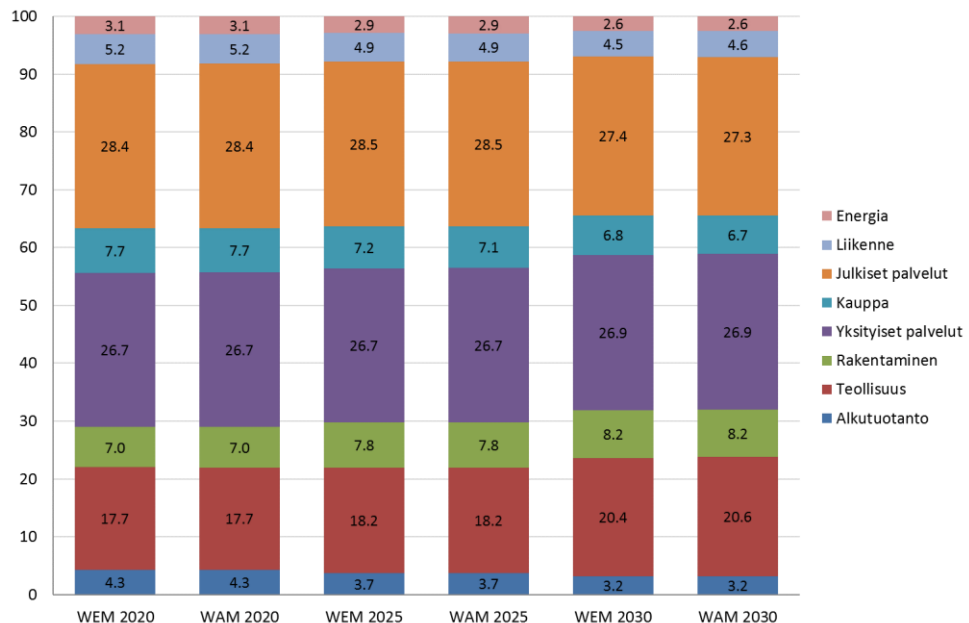
Kotimaisuusasteen muutosta kuvataan kuvassa 46 hyödykeryhmittäin. Kuvassa on esitetty viennin volyymin muutos vuoteen 2030 mennessä suhteessa WEM-skenaarioon. Lisäksi siihen on koottu vientihyödykkeiden valmistamisessa käytetyn kotimaisen arvonlisän ja kotimaisiin väli tuotteisiin sisältyvän arvonlisän muutos. Muutos on lähellä viime aikaisesta kansainvälisen kaupan tutkimuksesta peräisin olevaa kaupan arvonlisän käsitettä (Trade in value added), mutta ei kuitenkaan sisällä sitä arvonlisää, joka on peräisin tuontiväli tuotteiden sisältämästä suomalaisesta arvonlisästä. Kuvan perusteella kotimainen arvonlisä laskee kaikissa hyödykeryhmissä viennin volyyymiä vähemmän – kotimaisuusaste on siis suhteellisesti kasvanut. Kun tässä tarkastelussa biopolttoaineiden jalostuksen on kuvattu tapahtuvan öljynjalostuksen toimialalla, kasvaa toimialan viennin arvonlisäsisältö huomattavasti. On epäselvää, mihin mittaan näin tulee käymään todellisuudessa: vaikka biopolttoaineiden kysyntä maailmanmarkkinakysyntä kasvaisikin, on mahdollista, että valtaosa käytettäisiin kotimaassa. Sen sijaan biopolttoaineiden kotimainen käyttö vapauttaa öljynjalostuksen kapasiteettia fossiilisten jalosteiden vientiin.

**Kuva 46. Viennin ja viennin kotimaisen arvonlisäsisällön muutos WAM-skenaariossa (tasoero WEM-skenaarioon vuonna 2030)**

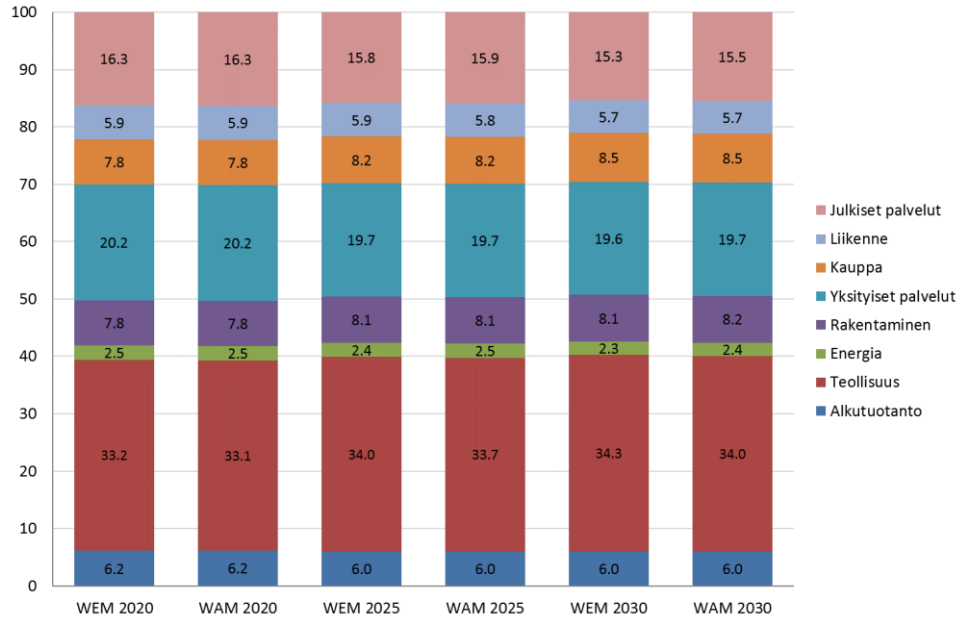


Yllä esitetyn mukaan, WAM-skenaariion toimenpiteet muuttavat sekä kysynnän että tuotannon rakennetta WEM-skenaarioon verrattuna. Muutokset eivät kuitenkaan ole kovin dramaattisia. Kuvassa 47 on verrattu eri toimialojen arvonlisäosuutta WEM- ja WAM-skenaarioissa. Suurin muutos kummassakin skenaariossa on julkisten palvelujen ja hallinnon – joista suurin osa on SOTE-sektoreilla ja siten muuttumassa yksityisiksi lähivuosina – osuuden pieneneminen, jonka SOTE-uudistuksen myötä tapahtuva tehostuminen aiheuttaa. WAM-skenaariossa myös teollisuuden arvonlisäosuus nousee hieman lähinnä biojalostamoiden myötä. Kuvassa 48 tarkastellaan tuotoksen jakaantumaa, jossa rakentamisen, kaupan ja palvelujen osuudet kasvavat WAM-skenaariossa hieman WEM-skenaarioon verrattuna.

**Kuva 47. Käypähintaiset arvonlisäosuudet WEM- ja WAM-skenaarioissa (prosenttia)**

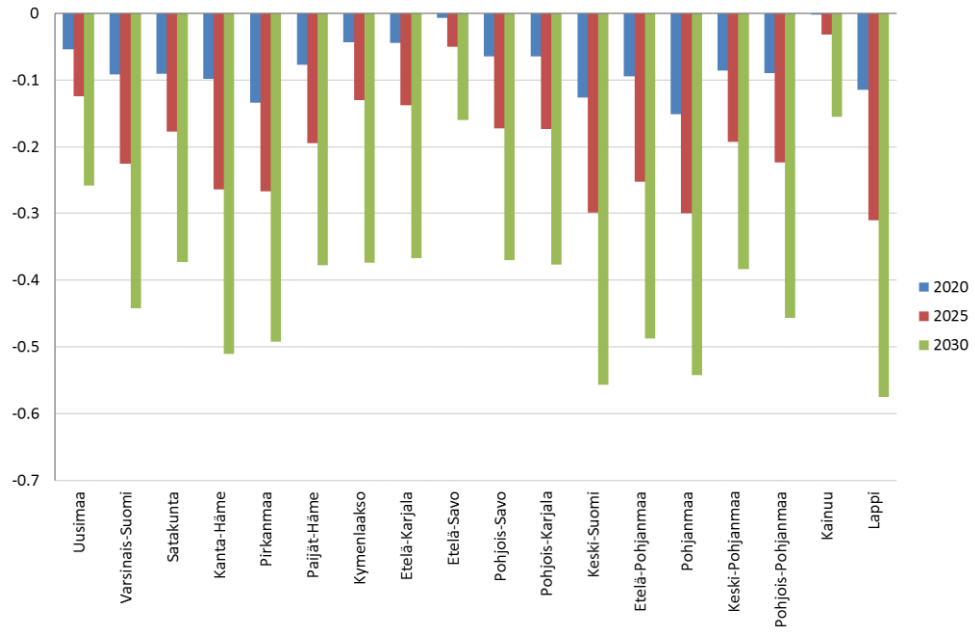


**Kuva 48. Kiinteähintaiset tuotososuudet WEM- ja WAM-skenaarioissa (prosenttia)**



Energian ja liikenteen merkitys vaihtelee toimialojen lisäksi myös alueellisesti sekä toimialarakenteen että kulutusrakenteen alueellisten erojen vuoksi. Pelkästään tällä perusteella on mahdollista arvioida karkeasti WAM- ja WEM-skenaarioiden vaikutusta alueelliseen kokonaistuotantoon. Kuvaan 49 on koottu arvio alueellisesta kokonaistuotannosta vuosina 2020 – 2030. Alueelliset erot eivät ole kovin suuria, kokonaistuotanto laskee kaikissa maakunnissa noin 0,4 – 0,6 prosenttia WEM-skenaarioon verrattuna. Työvoimavaltaisia palveluja tuottava Uusimaa erottuu hieman joukosta, jonka vuoksi kokonaistuotannon muutos on keskimääräistä pienempi. Vastaavasti suurten etäisyyksien Lapissa kokonaistuotannon muutos on keskimääräistä suurempi.

**Kuva 49. Alueellisen kokonaistuotannon muutos WAM-skenaariossa (ta-soero WEM-skenaarioon vuonna 2030, prosenttia)**



## 7. YMPÄRISTÖVAIKUTUSTEN (SOVA) KESKEISET TULOKSET

SAMPO SOIMAKALLIO, SYKE

Havaintojen mukaan maapallon keskilämpötila on viimeisen sadan vuoden aikana noussut noin asteen<sup>88</sup> Vaihtelu vuosien ja vuosikymmenten välillä on suurta, mutta kaikki lämpimimmät vuodet ovat esiintyneet vuoden 1997 jälkeen<sup>89</sup>. Vuonna 2014 toteutui uusi globaali lämpötilaennätys, joka taas ylittyi vuonna 2015 ja uudelleen vuonna 2016<sup>90</sup>. Ilmastonmuutoksen vaikutukset ovat jo havaittavissa maailmanlaajuisesti sään ääri-ilmiöissä ja niiden seurauksissa<sup>91</sup>. Ilmastonmuutoksen aiheuttamien vahinkojen sosioekonomiset kustannukset voivat nousta moninkertaisiksi hillintäkustannuksiin verrattuna, jos hillintäpyrkimyksissä ei onnistuta riittävästi<sup>92</sup>. Pariisin ilmastopöytäkirja lähestyy ilmastonmuutoksen hillintää uudella tavalla kaikkien sopimukseen osallistuvien maiden sitoumusten kautta. Kansainvälisen luottamuksen edistämiseksi hillintätoimenpiteiden vaikutuksia tulee joka maassa arvioida mahdollisimman perusteellisesti ja läpinäkyvästi sekä kasvihuonekaasupäästöjen alenemisen että muiden vaikutusten suhteen. Tämä auttaa myös hallitsemaan mahdollisia sivuvaikutuksia.

Energia- ja ilmastostrategiassa esitetyt poliittiset linjaukset ovat keskenään hyvin erityyppisiä ja konkreettasoltaan erilaisia. Osa linjauksista sisältää elementtejä normiohjauksesta esimerkiksi kieltojen, kaavoitusuudistusten tai hallinnollisten esteiden purkamisen muodossa, osa taloudellisesta ohjauksesta erilaisten tukien tai verotuksen muodossa ja osa informaatio-ohjauksesta eri muodoissa. Eräissä linjauksissa esitetään käynnistettäväksi selvitys-, kokeilu- tai arviointityö, toisissa panostetaan seurantaan ja varautumiseen ja toisissa korostetaan vaikuttamista EU-päätöksiin. Lisäksi osa linjauksista on tavoitteellisia, joille ei ole erikseen määritetty konkreettisia ohjauskeinoja. Näin ollen linjauksilla voi olla hyvin erityyppisiä ja asteisia ympäristövaikutuksia, jotka edelleen riippuvat muun muassa linjausten myöhemmästä täytäntöönpanosta sekä kuluttajien, sijoittajien ja muiden toimijoiden käyttäytymisestä.

Strategian poliittiset linjaukset kohdistuvat toteutuessaan pääsääntöisesti energian tuotantoon ja käyttöön. Välittöminä vaikutuksina fossiilisten polttoaineiden käyttö vähentyy energian käytön tehostumisen ja polttoaineiden korvautumisen myötä, ja biopolttoaineiden ja muun uusiutuvan energian käyttö lisääntyy. Tällä on sekä hyödyllisiä että kielteisiä vaikutuksia ympäristöön ja yhteiskuntaan, kun käytetään SOVA-lain mukaista ympäristövaikutusten määrittelyä. Hyödyllisillä vaikutuksilla tarkoitetaan seurauksia, jotka edistävät muissa yhteyksissä aiemmin asetettuja yhteiskunnallisia tavoitteita ja kielteisillä taas seurauksia, jotka vaikeuttavat muiden kuin ilmastovelvoitteiden saavuttamista. Kasvihuonekaasupäästöjen lisäksi linjaukset vaikuttavat toteutuessaan muun muassa ilmansaasteisiin, terveyteen, luonnonvarojen käyttöön, luonnon monimuotoisuuteen, metsien hiilinieluihin ja vesistöihin sekä ihmisten elinoloihin. Osa vaikutuksista ilmenee Suomen rajojen ulkopuolella. Lisäksi linjaukset ja niistä aiheutuvat välittömät vaikutukset voivat aiheuttaa erilaisia kerrannaisvaikutuksia, jotka voivat sekä lisätä että vaimentaa välittömiä vaikutuksia.

<sup>88</sup> IPCC (2013). Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, US

<sup>89</sup> NASA (2017). Global Climate Change. Vital Signs of the Planet. Facts. <http://climate.nasa.gov/>

<sup>90</sup> NASA (2017). Global Climate Change. Vital Signs of the Planet. Facts. <http://climate.nasa.gov/>

<sup>91</sup> IPCC (2013). Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, US

<sup>92</sup> IPCC (2014). Summary for policymakers. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1-32.

## 7.1 Vaikutukset kasvihuonekaasujen päästöihin

*Sampo Soimakallio, Syke*

Strategian mukainen taakanjakosektorin kasvihuonekaasupäästöjen vähennys arvioidaan saavutettavan erityisesti korvaamalla fossiilisten polttoaineiden käyttöä eri sektoreilla uusiutuvalla energialla ja sähköllä, vähentämällä ja tehostamalla energiankäyttöä sekä siirtämällä päästöjä taakanjakosektorilta päästökauppasektorille (luku 3). Kaikkeen infrastruktuurin ja voimantuotannon rakentamiseen sekä biopolttoaineiden, lämpöpumppujen ja sähköautojen tuotantoon ja käyttöön liittyy välitöntä ja välillistä materiaalien ja energian kulutusta, mikä osaltaan pienentää toimenpiteillä saavutettavia päästövähennyksiä.

Luvussa 3 käsiteltiin strategian linjausten arvioituja vaikutuksia energiajärjestelmään ja kasvihuonekaasujen päästöihin Suomessa. Seuraavassa käsitellään mahdollisia, erityisesti Suomen rajojen ulkopuolella aiheutuvia päästövaikutuksia, jotka eivät ole mukana luvussa 3.5 esitetyissä päästöissä. Suomen rajojen ulkopuolella tapahtuvia päästöjä on käsitelty myös resurssitehokkuuden indikaattorina (ks. Elinkaariset kasvihuonekaasupäästöt).

Mikäli fossiilisten polttoaineiden käytön vähentyminen Suomessa edistää fossiilisten polttoaineiden käytön vähentymistä globaalisti, vähentyvät myös fossiilisten polttoaineiden tuotannon, kuljetusten ja jalostuksen päästöt. Nämä päästöt on tyypillisesti arvioitu olevan suuruusluokaltaan noin 5-20 % fossiilisen polttoaineen polton päästöistä<sup>93,94,95</sup>. Jos maailman energiankulutus jatkaa kasvuaan, on kuitenkin mahdollista, että fossiilisten polttoaineiden käytön vähentyminen joissain maissa kompensoituu osittain kasvavalla käytöllä toisaalla, mikäli käyttöä ei rajoiteta esimerkiksi päästökatoilla<sup>96</sup>. Fossiilisten polttoaineiden käytön kehitys riippuu voimakkaasti fossiilisten polttoaineiden kysynnän ja tarjonnan hintajoustoista<sup>97</sup> ja niihin vaikuttavista politiikkatoimista. Pahimmillaan fossiilisten polttoaineiden käyttö ei globaalisti merkittävästi vähene siitä huolimatta, että käyttöä vähennetään tietyllä alueella kuten Suomessa tai EU:ssa<sup>98</sup>.

Tuontibiopolttoaineiden tai -raaka-aineiden tuotannon kasvihuonekaasupäästöt syntyvät Suomen rajojen ulkopuolella, ja ne voivat olla merkittäviä tuotannossa tarvittavien resurssipanosten (mm. energia, lannoitteet, entsyymit, maa-ala) vuoksi<sup>99</sup>. Erityisesti viljeltyjen kasvien käyttäminen biopolttoaineiden raaka-aineena saattaa aiheuttaa hyvin merkittävät, jopa fossiilisten polttoaineiden elinkaarisia kasvihuonekaasupäästöjä suuremmat päästöt lannoitteiden käytön, prosessienergian tarpeen ja epäsuorien maankäytön muutosten vuoksi<sup>100</sup>. Euroopan komission biopolttoaineille ehdottamat kestävyyskriteerit<sup>101</sup> pyrkivät rajoittamaan biopolttoaineiden tuotantoa ruokakasveista ja tukemaan biojätteiden, teollisuuden sivuvirtojen, maa- ja metsätalouden tähteiden sekä lignoselluloosapohjaisten raaka-aineiden käyttöä biopolttoaineiden raaka-aineina. Ehdotetut kriteerit eivät kuitenkaan suoranaisesti estä bio-

<sup>93</sup> WEC 2004. Comparison of energy systems using life cycle assessment. A Special Report of the world energy council.

<sup>94</sup> Frischknecht R, Althaus HJ, Bauer C, Doka G, Heck T, Jungbluth N, et al. (2007). The environmental relevance of capital goods in life cycle assessments of products and services. *International Journal of Life Cycle Assessment*. 11, 1–11.

<sup>95</sup> JEC 2017. JEC Well-to-wheels analyses (WTW). <http://iet.jrc.ec.europa.eu/about-jec/jec-well-wheels-analyses-wtw>

<sup>96</sup> Creutzig, F., Ravindranath, N. H., Berndes, G., Bolwig, S., Bright, R., Cherubini, F., ... & Fargione, J. (2015). Bioenergy and climate change mitigation: an assessment. *GCB Bioenergy*, 7(5), 916-944.

<sup>97</sup> Rajagopal, D. (2013). The fuel market effects of biofuel policies and implications for regulations based on lifecycle emissions. *Environmental Research Letters*, 8(2), 024013.

<sup>98</sup> Rajagopal, D., & Plevin, R. J. (2013). Implications of market-mediated emissions and uncertainty for biofuel policies. *Energy Policy*, 56, 75-82.

<sup>99</sup> Soimakallio, S., Antikainen, R., Thun, R. (Eds). 2009. Assessing the sustainability of liquid biofuels from evolving technologies - A Finnish approach. VTT Research Notes 2482. Espoo, 2009. 220 p. + app. 41 p.

<sup>100</sup> Creutzig, F., Ravindranath, N. H., Berndes, G., Bolwig, S., Bright, R., Cherubini, F., ... & Fargione, J. (2015). Bioenergy and climate change mitigation: an assessment. *GCB Bioenergy*, 7(5), 916-944.

<sup>101</sup> European Commission (2016). Proposal for a directive of the European Parliament and of the Council on the promotion of the use of energy from renewable sources (recast). COM/2016/0767 final - 2016/0382 (COD).



polttoaineiden valmistamista viljeltävistä kasveista, joita saatetaan käyttää erityisesti tuonti-biopolttoaineiden raaka-aineina.

Jätepohjaisten biopolttoaineiden tuotannon kasviuonekaasupäästöt ovat tyypillisesti verrattain alhaiset, sillä jätteiden hyötykäyttö ei lisää raaka-aineen tuotantarvetta. Biokaasun valmistus biojätteistä voi vähentää mätänemisestä aiheutuvia metaanipäästöjä sekä mahdollistaa biomassojen sisältämien ravinteiden kierrätyksen, joka vähentää neitseellisten lannoitteiden valmistustarvetta. Biokaasun tuotanto lannasta voi myös välillisesti vähentää pellon raivausta ja siitä syntyviä päästöjä. Sen sijaan tähteiden ja sivuvirtojen lisääntyvä hyödyntäminen biopolttoaineina saattaa aiheuttaa merkittäviä kilpailuvaikutuksia, mikäli raaka-aineet olisi muussa tapauksessa todennäköisesti käytetty johonkin muuhun. Tällöin seurauksena saattaa olla jopa kasviuonekaasupäästöjen lisääntyminen<sup>102</sup>. Jätteiden ja tähteiden lisääntyvä taloudellinen hyödyntäminen saattaa myös alentaa kannusteita jätteiden ja tähteiden synnyn ehkäisemiseen ja siten heikentää mahdollisuuksia vähentää päästöjä primäärituotannossa.

Tuulivoimaloiden ja aurinkopaneelien valmistaminen aiheuttaa kasviuonekaasupäästöjä erityisesti komponenttien ja materiaalien tuottajamaissa, mutta kirjallisuuden perusteella nämä päästöt ovat pienet esimerkiksi fossiilisten polttoaineiden tai turpeella tuotetun sähkön päästöihin nähden<sup>103</sup>. Keskeinen tekijä sekä aurinko- että tuulivoiman lisäämisen vaikutuksissa sähköjärjestelmän kokonaispäästöihin onkin se, miten sähkötehon tarve kehittyy ja millä energianlähteellä tuotetaan energiajärjestelmässä tarvittava säätövoima, kun aurinko- ja tuulienergian tuotanto vaihtelee.

Lämpöpumppujen kiertoaineina on yleisesti käytetty HFC-yhdisteitä (fluorihilivetyjä), joten lämpöpumppujen käytön lisääminen todennäköisesti kasvattaa jonkin verran voimakkaina kasviuonekaasuina toimivien F-kaasupäästöjen määrää. Lämpöpumppujen kiertoaineissa ollaan kuitenkin siirtymässä enenevässä määrin pois synteettisten yhdisteiden käytöstä.

Ilmasto- ja energiastrategian toimenpiteet vaikuttavat myös EU:n päästökauppasektorilla. Jätteenpolton päästöjen siirtäminen päästökaupan piiriin, samoin kuin esimerkiksi verkkosähkön kulutusta (esim. sähköautot, lämpöpumput) lisäävät toimenpiteet nostavat päästöoikeuksien kysyntää ja hintaa. Toisen suuntainen vaikutus on toimenpiteillä, jotka vähentävät päästökaupan piirissä olevien tuotantolaitosten päästöjen määrää, esimerkiksi energiankäytön tehostuessa tai kivihien ja turpeen käytön korvautuessa biomassalla tai muilla energialähteillä. Päästökauppasektorilla päästöjen kokonaismäärä määräytyy käytettävissä olevien päästöoikeuksien perusteella, jotka riippuvat poliittisista päätöksistä. Päästökaupan piirissä oleviin päästöihin kohdistuvat toimenpiteet eivät suoranaisesti muuta päästökaupan kokonaispäästöjä, mutta hintamekanismien kautta toimenpiteet voivat vaikuttaa päästöjen kehittymiseen päästökaupan ulkopuolisilla sektoreilla ja EU:n ulkopuolella sekä päästökauppaa koskeviin tuleviin poliittisiin päätöksiin.

<sup>102</sup> Fraunhofer. (2016). Analysis of the European crude oil industry – environmental impact, socio-economic value & downstream potential. Final report, Fraunhofer umsicht 11, May 2016.

<sup>103</sup> Sokka, L., Sinkko, T., Holma, A., Manninen, K., Pasanen, K., Rantala, M., & Leskinen, P. (2016). Environmental impacts of the national renewable energy targets—A case study from Finland. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 59, 1599-1610.

## 7.2 Metsätalous ilmastonmuutoksen hillinnässä

*Sampo Soimakallio, Mikael Hildén ja Anna Repo, Syke*

Puunkorjuun lisääminen nykytasolta pienentää metsien hiilivarastoa vuosikymmeniksi eteenpäin verrattuna tilanteeseen, jossa puunkorjuu pidettäisiin nykytasolla tai sitä vähennettäisiin<sup>104,105,106,107</sup>. Metsät toimivat edelleen hiilen nettonieluina, mikäli metsien hiilivarasto kasvaa, mutta nieluvaikutus pienenee puunkorjuun lisääntyessä. Luvussa 5.2 on esitetty strategian tavoitteiden mukaisen kotimaisen puunkäytön lisäyksen aiheuttamaa hiilinielun pienentymistä numeerisesti. Tämän merkitystä voidaan myös tarkastella suhteuttamalla hiilinielun pienentymistä puunkorjuussa metsästä vietyyn hiilimäärään ja arvioimalla puunkäytön mahdollisuuksia vähentää päästöjä vaihtoehtoisia materiaaleja ja energiaa korvaamalla (substitutio).

Luonnonvarakeskuksen arvion<sup>108</sup> mukaan puunkorjuun lisääminen pienentää metsien hiilinielua vuosina 2015-2044 keskimäärin kaksi kertaa niin paljon kuin metsästä korjataan lisääntyneen puun korjuun mukana hiiltä. Tämä johtuu siitä, että hakkuiden ja puun korjuun lisäyksessä menetetään olemassa olevaa metsien hiilivarastoa sekä sen ennustettua kasvua. Strategiassa tavoiteltu kotimaisen puunkäytön lisäys pienentää vuosina 2025-2035 metsien vuosittaista hiilinielua arviolta noin 9-12 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. verrattuna skenaarioon, jossa puunkäyttö pysyisi nykyisellä tasolla lisättynä kesäkuuhun 2016 mennessä tehdyillä uusilla metsäteollisuuden investointipäätöksillä<sup>109</sup>. Luonnonvarakeskuksen arvion mukaan metsähakkeen vuotuisen korjuun lisäys 13,5 Mm<sup>3</sup>:sta 17 Mm<sup>3</sup>:iin pienentää hiilinielua vuoden 2030 tasolla noin 3,5 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. (luku 5.2) eli keskimäärin noin 1,4-kertaisesti metsähakkeen mukana korjattua hiilimäärää kohden.

Toisaalta korvattaessa puunkäytöllä uusiutumattomia materiaaleja ja energiaa (substitutio) voidaan välttää fossiilista polttoaineista syntyviä päästöjä. Vältetyt päästöt näkyvät Suomessa taakanjako- ja päästökauppasektorilla tapahtuvina muutoksina sekä osittain Suomen rajojen ulkopuolella muun muassa uusiutumattomien materiaalien ja energian tuotannossa tapahtuvina muutoksina. Erilaisilla uusiutumattomilla raaka-aineilla on erilaiset elinkaariset päästöt, jotka vaikuttavat puunkäytön substituutiomahdollisuuksiin. Substituutiomahdollisuudet ovat sitä pienemmät, mitä enemmän puunjalostuksessa tarvitaan fossiilista energiaa ja toisaalta sitä suuremmat, mitä päästöintensiivisempiä raaka-aineita puulla voidaan korvata. Vältettyjen päästöjen suuruutta on kuitenkin vaikea arvioida yksiselitteisesti, sillä se riippuu käyttökohteiden teknisten ominaisuuksien lisäksi myös muun muassa markkinoiden, teknologioiden ja ohjauskeinojen kehityksestä.

Materiaalibioenergiaa voidaan vähentää enemmän päästöjä kuin energiasubstituutiolla erityisesti, jos materiaalina käytetty puu voidaan lisäksi käyttää energiana fossiilisten polttoainesten korvaajana elinkaarensa lopussa. Lisäämällä pitkäikäisten puutuotteiden määrää yhteiskunnassa, voidaan myös kasvattaa puutuotteisiin sitoutuneena olevan hiilen määrää. Nykyisellään suurin osa metsästä puun mukana korjatusta hiilestä kuitenkin vapautuu ilmaan muutaman vuoden sisällä energiantuotannossa ja lyhytikäisten puutuotteiden laho-

<sup>104</sup> Hynynen, J., Salminen, H., Ahtikoski, A., Huuskonen, S., Ojansuu, R., Siipilehto, J., ... & Eerikäinen, K. (2015). Long-term impacts of forest management on biomass supply and forest resource development: a scenario analysis for Finland. *European Journal of Forest Research*, 134(3), 415-431.

<sup>105</sup> Kallio, M., Salminen, O., & Sievänen, R. (2014). Low Carbon Finland 2050-platform: skenaariot metsäsektorille. *Metlan työraportteja* 308. 34 s.

<sup>106</sup> Kallio, M., Salminen, O., Sievänen, R. (2016). Forests in the Finnish low carbon scenarios. *Journal of Forest Economics* 23, 45-62.

<sup>107</sup> Lehtonen, A., Salminen, O., Kallio, M., Tuomainen, T., Sievänen, R. (2016). Skenaariolaskelmiin perustuva puuston ja metsien kasvihuonekaasutaseen kehitys vuoteen 2045: Selvitys maa- ja metsätalousministeriölle vuoden 2016 energia- ja ilmastostrategian valmistelua varten. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 36/2016.

<sup>108</sup> Lehtonen, A., Salminen, O., Kallio, M., Tuomainen, T., Sievänen, R. (2016). Skenaariolaskelmiin perustuva puuston ja metsien kasvihuonekaasutaseen kehitys vuoteen 2045: Selvitys maa- ja metsätalousministeriölle vuoden (2016) energia- ja ilmastostrategian valmistelua varten. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 36/2016.

<sup>109</sup> Lehtonen, A., Salminen, O., Kallio, M., Tuomainen, T., Sievänen, R. (2016). Skenaariolaskelmiin perustuva puuston ja metsien kasvihuonekaasutaseen kehitys vuoteen 2045: Selvitys maa- ja metsätalousministeriölle vuoden 2016 energia- ja ilmastostrategian valmistelua varten. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 36/2016.

misessa<sup>110</sup>. Puutuotevaraston hiilinielu on ollut selvästi pienempi kuin metsien hiilinielu, ja muutokset puunkorjuussa ovat vaikuttaneet absoluuttisesti selvästi enemmän metsien kuin puutuotteiden hiilinieluun<sup>111</sup>. Viimeaikaisten tutkimusten mukaan puunkorjuun lisäyksestä aiheutuva metsien hiilinielun pieneneminen on keskimäärin niin merkittävää, että sen seurauksena kokonaispäästöt ilmakehään käytännössä kasvavat lähivuosisikymmenien aikana. Näin siitä huolimatta, että puunkäytöllä voidaan välttää fossiilisten polttoaineiden käytöstä syntyviä päästöjä ja osa hiilestä säilyy pitkäikäisissä puutuotteissa.<sup>112,113,114</sup>

Puupohjaisten bioenergian vaikutukset metsien hiilinieluun riippuvat siitä, minkälaisiin puujakeisiin biopolttoaineiden raaka-aineen tarve kohdistuu. Tämä puolestaan riippuu muun muassa metsäteollisuuden puun käytön kehittymisestä ja siten metsätähteiden ja teollisuustähteiden alueellisesta saatavuudesta ja niiden hankintakustannuksista, tukki- ja kuitupuun kysynnästä ja hinnoista sekä niiden energiakäyttöä mahdollisesti rajoittavista kestävyyskriteereistä, metsähakkeen tuista ja puunkäyttökohteiden sijainnista. Mikäli metsäteollisuustuotanto kasvaa voimakkaasti, lisääntyy myös teollisuuden sivuvirtojen ja metsähakkeen saatavuus<sup>115</sup>. Siltä osin kuin biopolttoaineiden raaka-aineina voidaan käyttää metsäteollisuuden prosessien ylijäämäsvivurtoja, jotka muuten jäisivät hyödyntämättä, ei bioenergian tuotannolla ole vaikutusta metsänieluun. Todennäköisesti bioenergian tuotanto kuitenkin perustuu tulevaisuudessakin metsäteollisuuden sivuvirtojen lisäksi myös metsätähteisiin ja runkopuuhun.

Mikäli metsäteollisuuden puunkäyttö jää strategiassa esitettyä tasoa alhaisemmaksi, saattaa yhä suurempi osa energiapuunkäytöstä kohdentua kuitupuukokoiseen runkopuuhun metsätähteiden rajallisemman saatavuuden vuoksi. Runkopuun energiakäyttö saattaa lisääntyä myös, mikäli se on käyttäjän kannalta muita jakeita taloudellisesti kannattavampaa. Strategiaassa linjataan, että teollisuuden raaka-aineeksi kelpaavista tukeista ja kuitupuusta valmistetun metsähakkeen tukea jatketaan, mutta alennetaan. Puun energiakäytön tavoitellun lisääntymisen onkin arvioitu markkinaehtoisesti johtavan kuitupuukokoisen runkopuun energiakäytön lisääntymiseen<sup>116,117,118</sup>. Komission marraskuussa julkaisema biopolttoaineiden kestävyyskriteeriesitys ei myöskään asettanut erillisiä rajoituksia erilaisten puuositteiden energiakäytölle<sup>119</sup>. Toisaalta nestemäisten biopolttoaineiden tuotannon lisääminen saattaa nostaa puun hintaa ja siten osittain vähentää kotimaisen puun käyttöä sähkön ja lämmön tuotannossa sekä selluntuotannossa<sup>115,120</sup>.

Mitä enemmän metsähakkeen korjuu kohdistuu kasvaviin puihin, sitä enemmän metsien hiilinielu tulevien vuosikymmenten aikana pienenee<sup>121,122</sup>. Lahoavien metsätähteiden ja kantojen korjuuta lisättäessä vaikutus hiilinieluun on vähäisempi kuin kasvavien puiden korjuuta

<sup>110</sup> Soimakallio, S., Saikku, L., Valsta, L., Pingoud, K. (2016). Climate change mitigation challenge for wood utilization – the case of Finland. *Environmental Science & Technology* 50(10), 5127–5134.

<sup>111</sup> Tilastokeskus (2016). Greenhouse gas emissions in Finland 1990-2014. National Inventory Report under the UNFCCC and the Kyoto Protocol. 15 June 2016.

<sup>112</sup> Pukkala, T. (2016). Does management improve the carbon balance of forestry? *Forestry* 2016, 1–11.

<sup>113</sup> Sievänen, R., Soimakallio, S., Salminen, O. (2016). Metsät biotalouden raaka-aineena ja hiilinieluna. *Metsätieteen aikakauskirja* 2, 125-127.

<sup>114</sup> Soimakallio, S., Saikku, L., Valsta, L., Pingoud, K. (2016). Climate change mitigation challenge for wood utilization – the case of Finland. *Environmental Science & Technology* 50(10), 5127–5134.

<sup>115</sup> Pöyry Management Consulting Oy. (2017). Metsäbiomassan kustannustehokas käyttö. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja xx/2017 (luonnos joulukuun 2016).

<sup>116</sup> Kallio, M., Salminen, O., & Sievänen, R. (2014). Low Carbon Finland 2050-platform: skenaariot metsäsektorille. Mettan työraportteja 308. 34 s.

<sup>117</sup> Sievänen, R., Salminen, O., Lehtonen, A., Ojanen, P., Liski, J., Ruosteenoja, K., Tuomi, M. (2014). Carbon stock changes of forest land in Finland under different levels of wood use and climate change. *Annals of Forest Science*, 71, 255–265.

<sup>118</sup> Lehtonen, A., Salminen, O., Kallio, M., Tuomainen, T., Sievänen, R. (2016). Skenaariolaskelmiin perustuva puuston ja metsien kasvihuonekaasutaseen kehitys vuoteen 2045: Selvitys maa- ja metsätalousministeriölle vuoden 2016 energia- ja ilmastostrategian valmistelua varten. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 36/2016.

<sup>119</sup> European Commission (2016). Proposal for a directive of the European Parliament and of the Council on the promotion of the use of energy from renewable sources (recast). COM/2016/0767 final - 2016/0382 (COD).

<sup>120</sup> Forsström, J., Pingoud, K., Pohjola, J., Vilen, T., Valsta, L. & Verkerk, H. (2012). Wood-based biodiesel in Finland: Market-mediated impacts on emissions and costs. *VTT Technology* 7. 48 s.

<sup>121</sup> Kallio, M., Salminen, O., & Sievänen, R. (2014). Low Carbon Finland 2050-platform: skenaariot metsäsektorille. Mettan työraportteja 308. 34 s.

<sup>122</sup> Sievänen, R., Salminen, O., Lehtonen, A., Ojanen, P., Liski, J., Ruosteenoja, K., Tuomi, M. (2014). Carbon stock changes of forest land in Finland under different levels of wood use and climate change. *Annals of Forest Science*, 71, 255–265.

lisättäessä<sup>123</sup>. Vuoteen 2030 mennessä metsähakkeen korjuun lisäyksen aiheuttama hiilinielun pieneneminen on kuitenkin verrattain nopeasti lahoavien oksienkin korjuun kohdalla niin merkittävä, että se voi kumota suuren osan päästövähennyksistä, jotka saadaan aikaan korvaamalla fossiilisia polttoaineita biopolttoaineilla<sup>123</sup>. Liikenteen biopolttoaineiden ja muiden bionesteiden valmistuksessa merkittävä osa raaka-aineen energiasisällöstä saattaa kulua valmistusprosessissa, mikä voi heikentää niiden mahdollisuuksia hillitä ilmastonmuutosta lyhyellä aikavälillä<sup>124</sup>. Mikäli raaka-aineen hankinnan nieluvaikutus on merkittävä ja biopolttoaineen jalostuksen hyötysuhde verrattain alhainen, saattaa biopolttoaineiden ilmastovaikutus olla samaa suuruusluokkaa tai jopa selvästi suurempi kuin fossiililla verrokipolttoaineilla useiden vuosikymmenten ajan<sup>125</sup>.

Pitkällä aikavälillä tarkasteltuna puunkorjuun nielua pienentävä vaikutus on pienempi kuin lyhyellä aikavälillä tarkasteltuna, sillä hakkaamattomana metsän kasvu hidastuu ja metsään jätettyinä tähteiden lahoaminen etenee, kun taas hakatussa ja uudelleen istutetussa metsässä hiilivarasto alkaa vähitellen saavuttaa hakkaamattoman metsän hiilivarastoa uuden puusukupolven kasvun myötä<sup>126</sup>. Pidemmällä aikavälillä epävarmuudet kasvavat. Ilmastonmuutos saattaa sekä lisätä metsien kasvua, mikä voi kasvattaa nielua, mutta myös erilaiset kasvua heikentävät häiriöt voivat yleistyä<sup>127</sup>. Metsien hoidolla ja erityisesti ikäluokka- ja puulajirakenteen ohjauksella myös hakkuin voidaan mahdollisesti metsätuhoriskejä pienentää.

Kasvihuonekaasutaseiden lisäksi metsätalouden ilmastovaikutuksia aiheutuu muutoksista metsien heijastuskyvyssä (albedo), pilvien muodostumiseen vaikuttavista metsien tuottamista haihtuvista yhdisteistä sekä puun polton tuottamista pienhiukkaspäästöistä ja mustan hiilen päästöistä. Osalla näistä tekijöistä on ilmastoa lämmittäviä ja osalla viilentäviä vaikutuksia, mutta vaikutusten suuruuteen liittyy merkittäviä epävarmuuksia<sup>128</sup>.

Käytännössä metsien käyttö- ja hoitotapojen kehittymiseen vaikuttaa moni tekijä, eikä metsien hoitoa voida kehittää yksinomaan ilmastonmuutoksen hillinnän ehdoilla. Lainsäädännön, suositusten, ohjeistuksen, taloudellisten tukien, puun kysynnän ja teknisen kehityksen yhteisvaikutukset luovat erilaisia kannustimia, jotka vaikuttavat metsien kehitykseen. Olennaista on tarkastella eri ohjauskeinojen yhteisvaikutusta ja metsiä koskevien yhteiskunnallisten tavoitteiden välisiä vaihtosuhteita.

### 7.3 Kasvihuonekaasujen nettopäästöjen kehitys Suomessa *Sampo Soimakallio, Syke*

Tässä luvussa tarkastellaan Suomen kasvihuonekaasujen nettopäästöjen (päästöjen ja nielujen yhteenlaskettua) kehitystä. Nettopäästöt koostuvat Suomen päästökauppasektorin (ETS), taakanjakosektorin (non-ETS) ja maankäyttösektorin (LULUCF) yhteenlasketuista päästöistä ja nieluista. Nettopäästöt raportoidaan myös osana inventaarioraporttia YK:n ilmastosopi-

<sup>123</sup> Pingoud, K., Ekholm, T., Soimakallio, S., & Helin, T. (2016). Carbon balance indicator for forest bioenergy scenarios. *Gcb Bioenergy*, 8(1), 171-182.

<sup>124</sup> Soimakallio, S. (2014). Toward a More Comprehensive Greenhouse Gas Emissions Assessment of Biofuels: The Case of Forest-Based Fischer-Tropsch Diesel Production in Finland. *Environmental Science & Technology* 48, 3031–3038.

<sup>125</sup> Soimakallio, S. (2014). Toward a More Comprehensive Greenhouse Gas Emissions Assessment of Biofuels: The Case of Forest-Based Fischer-Tropsch Diesel Production in Finland. *Environmental Science & Technology* 48, 3031–3038.

<sup>126</sup> Seppälä, J., Kanninen, M., Vesala, T., Uusivuori, J., Kalliokoski, T., Lintunen, J., Saikku, L., Korhonen, R., Repo, A. (2015). Metsien hyödyntämisen ilmastovaikutukset ja hiilinielujen kehittyminen. Ilmastopaneelin raportti 3/2015.

<sup>127</sup> Seppälä, J., Kanninen, M., Vesala, T., Uusivuori, J., Kalliokoski, T., Lintunen, J., Saikku, L., Korhonen, R., Repo, A. (2015). Metsien hyödyntämisen ilmastovaikutukset ja hiilinielujen kehittyminen. Ilmastopaneelin raportti 3/2015.

<sup>128</sup> Kalliokoski, T. & Repo, A. (2015). Mitä metsämallit kertovat Suomen metsien hiilinielun tulevasta kehityksestä? Ilmastopaneelin raportti 4/2015: Metsien hyödyntäminen ja ilmastomuutoksen hillintä. Toim. Seppälä, J., Vesala, T. & Kanninen, M.

mukselle<sup>129</sup>, mutta raportoinnissa sektorijako noudattaa IPCC:n raportointiohjeita ja on päästökaupan ja taakanjakosektorin osalta erilainen kuin tässä luvussa. Maankäyttösektori (LU-LUCF) koostuu metsämaasta, puutuotteista ja muusta maankäytöstä, johon kuuluvat viljelysmaa, ruohikkoalueet, kosteikot, rakennetut alueet ja muu maankäyttö. Kioton pöytäkirjassa vuoteen 2020 saakka määritettyjen ja Euroopan komission vuosille 2021–2030 ehdotettujen ilmastovelvoitteiden seurannassa maankäyttösektorin päästöjä ja nieluja ei huomioida täysimääräisesti, vaan ne määritetään erikseen sovittujen laskentasääntöjen perusteella. Netto-päästöt kuitenkin auttavat hahmottamaan todellisia vaihtosuhteita, joita joudutaan ottamaan huomioon pyrittäessä globaaliin hiilineutraaliuteen Pariisin sopimuksen tavoitteiden mukaisesti.

Taulukossa 10 esitetyt lukuarvot päästökauppa- ja taakanjakosektorin arvioituille päästöille vuonna 2030 ovat luvun 3.5 ja metsämaan nieluille luvun 5.2 mukaisia. Puutuotteiden ja muun maankäyttösektorin osalta lukuarvot perustuvat seuraavassa kuvattuihin oletuksiin.

Suomelle puutuotteiden hiilinielu oli vuonna 2014 YK:n ilmastopimukselle raportoidun mukaisesti n. 4 Mt CO<sub>2</sub>-ekv.<sup>130</sup>. Puutuotteiden hiilinieluun vaikuttaa keskeisesti sahatavaran tuotantovolyyymi. Strategian tavoitteiden mukaisesti tukkipuun hakkuukertymä kasvaisi noin 15 % vuoden 2014 tasosta vuoteen 2030 mennessä. Hakkuukertymän perusteella korjattu puutuotteiden hiilinielu vuonna 2030 voisi siis olla n. 5 Mt CO<sub>2</sub>-ekv.

Muun maankäyttösektorin osalta ei ole odotettavissa merkittäviä muutoksia kasvihuonekaasupäästöissä<sup>131,132</sup>. Ilman merkittäviä politiikkatoimia muun maankäyttösektorin päästöjen arvioidaan hieman kasvavan vuoden 2014 tasosta vuoteen 2030 mennessä<sup>133</sup>. Koska erillistä arviota ilmastolain edellyttämän keskipitkän aikavälin suunnitelman mukaisista päästövähennyskeinoista ja niiden vaikutuksista ei vielä ollut saatavilla kaikista maankäyttöluokista, oletettiin tässä, että muun maankäyttösektorin päästöt olisivat WAM-skenaariossa vuonna 2030 vuoden 2014 tasolla.

<sup>129</sup> Tilastokeskus (2016). Greenhouse gas emissions in Finland 1990-2014. National Inventory Report under the UNFCCC and the Kyoto Protocol. 15 June 2016.

<sup>130</sup> Tilastokeskus (2016). Greenhouse gas emissions in Finland 1990-2014. National Inventory Report under the UNFCCC and the Kyoto Protocol. 15 June 2016.

<sup>131</sup> Haakana, M., Ollila, P., Regina, K., Riihimäki, H. & Tuomainen, T. (2015). Menetelmä maankäytön kehityksen ennustamiseen. Pinta-alojen kehitys ja kasvihuonekaasupäästöt vuoteen 2040. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 51/2015.

<sup>132</sup> Rikkinen, P. & Rintamäki H. (toim.) (2015). Ilmastonmuutoksen hillintävaihtoehtojen ja –skenaarioiden tarkastelu maa- ja elintarviketaloudessa vuoteen 2030. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 12/2015.

<sup>133</sup> Haakana, M., Ollila, P., Regina, K., Riihimäki, H. & Tuomainen, T. (2015). Menetelmä maankäytön kehityksen ennustamiseen. Pinta-alojen kehitys ja kasvihuonekaasupäästöt vuoteen 2040. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 51/2015.

**Taulukko 10. Suomen kasvihuonekaasujen nettopäästöt (Mt CO<sub>2</sub>-ekv.) vuonna 2014 ja arvioitu kehitys WEM- ja WAM-skenaarioissa.**

Sektorit	2014 Mt CO <sub>2</sub> -ekv	2030 WEM Mt CO <sub>2</sub> -ekv	2030 WAM Mt CO <sub>2</sub> -ekv
Päästökauppa-sektori (ETS)	29	21	21
Taakanjakosektori (non-ETS)	30	26	21
Maankäyttösektori (LULUCF)	-21	-6	-4...-7
<i>Metsämaa</i>	-28	-13	-10...-13
<i>Puutuotteet (HWP)</i>	-4	-5	-5
<i>Muu maankäyttö</i>	11	12	11
<b>Yhteensä</b>	<b>38</b>	<b>41</b>	<b>36...39</b>

Vuoteen 2030 mennessä Suomen nettopäästöjen arvioidaan pysyvän suurin piirtein vuoden 2014 tasolla. Tämä johtuu siitä, että vaikka päästökauppa-sektorin päästöjen arvioidaan vähentyvän reilut 25 % ja taakanjakosektorin päästöjen noin 15 % (WEM) tai 30 % (WAM), metsämaan hiilinielu pienenee strategiassa tavoitellulla kotimaisen puun käytön tasolla 55 % (WEM) tai jopa 65 % (WAM) vuoden 2014 tasosta, toteutuvasta puunkäytöstä riippuen. Mikäli kotimaisen puunkäytön taso pysyisi vuoden 2030 jälkeen suurin piirtein vuoden 2030 tasolla, kasvaisi metsämaan nielu Luonnonvarakeskuksen arvion mukaan vuosina 2035-2044 tasolle 20 Mt CO<sub>2</sub>-ekv.<sup>134</sup> Toisaalta Suomen päästökauppa- ja taakanjakosektorin yhteenlaskettujen päästöjen tulisi olla vuonna 2040 alle 30 Mt CO<sub>2</sub>-ekv., jotta Suomi olisi vähähiilitiekartassa vuodelle 2050 asetetun päästövähennystavoitteen (80 % vuoteen 1990 verrattuna) mukaisella kehitysuralla<sup>135</sup>. Tämä voi asettaa paineita lisätä puunkäyttöä päästökauppa- ja taakanjakosektorien myöhempien päästövähennysten saavuttamiseksi, mikä voi pienentää nielua yllä esitetystä arviosta.

## 7.4 Vaikutukset resurssitehokkuuteen

*Tuomas Mattila ja Sampo Soimakallio, Syke*

Strategian linjausten vaikutusta resurssitehokkuuden kehittymiseen tarkasteltiin kolmen elinkaari-indikaattorin avulla: materiaalitehokkuutta mitattiin raaka-aineiden kokonaiskäytöllä (*raw material requirement*, RMR), mineraalivarantojen köyhtymistä mitattiin sivukivi-indeksillä (*surplus ore potential*, SOP) ja ympäristötehokkuutta mitattiin elinkaaristen kasvihuonekaasupäästöjen (eKHK) avulla. Kunkin indikaattorin osalta tunnistettiin Suomen kansantalouden kannalta keskeisimmät toimialat, kulutushyödykkeet ja tuotevirrat hyödyntäen vuoden 2010 tilastoihin perustuvaa ympäristölaajennettua panos-tuotos mallia (ENVIMAT). Energia- ja ilmastostrategian toimenpiteitä verrattiin tunnistettuihin tekijöihin ja tarkasteltiin, kuinka hyvin toimenpiteet kohdentuvat keskeisiin toimialoihin ja tuotevirtoihin.

<sup>134</sup> Lehtonen, A., Salminen, O., Kallio, M., Tuomainen, T., Sievänen, R. (2016). Skenaariolaskelmiin perustuva puuston ja metsien kasvihuonekaasutaseen kehitys vuoteen 2045: Selvitys maa- ja metsätalousministeriölle vuoden 2016 energia- ja ilmastostrategian valmistelua varten. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 36/2016.

<sup>135</sup> Koljonen, T., Similä, L., Lehtilä, A. et al. (2014). Low Carbon Finland 2050 -platform: vähähiilipolkujen kiintopisteet ja virstanpylväät. Yhteenveto hankkeen tuloksista ja johtopäätöksistä. VTT TECHNOLOGY 167.

## Materiaalitehokkuus

Materiaalitehokkuuden näkökulmasta strategian linjausten aiheuttamat keskeisimmät muutokset liittyvät kivihiilen käytön alasajoon, fossiilisen öljyn energiakäytön vähentämiseen sekä biopolttoaineiden tuotannon lisäämiseen. Näiden seurauksena tuontiöljyn ja kivihiilen vaikutukset vähenevät, mutta toisaalta voidaan olettaa metsätalouden materiaalivirtojen kasvavan. Puurakentamiseen kannustaminen voi vähentää raaka-aineiden käytön kannalta intensiivisten betonituotteiden käyttöä. Raaka-aineiden käytön kannalta keskeisimmät toimialat kuten hiekan, soran ja saven otto, maanrakennus, metsänhoito ja metallimalmien louhinta eivät ole strategian linjausten kohteena, mutta niihin voi kohdistua välillisiä vaikutuksia esimerkiksi energian hinnan kautta.

Materiaalitehokkuuden yleinen parantaminen vaatisi erillisiä siihen keskittyviä toimenpiteitä. On kuitenkin perusteltua ottaa huomioon, että toimenpiteet, jotka lisäävät talouskasvua, yleensä lisäävät myös kulutusta, mikä lisää elinkaarista materiaalinkulutusta. Ilmastonmuutoksen ääri-ilmiöihin sopeutuminen voi lisätä infrastruktuurin rakentamista, mikä lisää kokonaismateriaalinkäyttöä. Energia- ja ilmastostrategian toimenpiteillä on arviolta vain vähäinen vaikutus koko kansantalouden materiaalitehokkuuteen, joskin yksityisen kulutuksen ja kansantalouden arvioitu alhaisempi kasvu WAM-skenaariossa (ks. luku 6.2) saattaa hieman parantaa materiaalitehokkuutta WEM-skenaarioon verrattuna.

## Mineraalivarantojen köyhtyminen

Aurinkopaneelien ja tuulivoimaloiden valmistus kasvattaa harvinaisten materiaalien käyttöä, mikä voi aiheuttaa ongelmia materiaalien riittävydessä ja saatavuudessa. Tuulivoimaloiden rakentaminen lisää tiettyjen harvinaisten materiaalien, kuten dysprosiumin, neodiuumin, molybdeenin, kromin, nikkelin ja magnesiumin käyttöä. Aurinkopaneelien valmistuksessa käytettävien harvinaisten metallien saatavuus voi tulevaisuudessa muodostua ongelmaksi. Tällaisia voivat olla esimerkiksi telluuri (Te), indium (In), tina (Sn), hopea (Ag), gallium (Ga), germanium (Ge), seleeni (Se) ja rutenium (Ru).<sup>136</sup>

Ehtyvien luonnonvarojen käytön näkökulmasta keskeisin kotimainen toimiala on metallimalmien louhinta. Tätä merkittävämpää on kuitenkin tuontituotteiden käyttö, etenkin metallimalmien ja rikasteiden, peruskemikaalien sekä raudan ja teräksen tuonti. Tuotenäkökulmasta nämä liittyvät värimetallien valmistukseen vientiä varten, talonrakentamiseen, raudan ja teräksen valmistukseen sekä massan ja paperin valmistukseen (peruskemikaalien ja mineraalien käyttö prosesseissa). Näiden lisäksi erilaisten koneiden ja elektroniikan valmistus vientiä varten on merkittävä tekijä, vaikka sen vaikutus on jakautunut usealle toimialalle. Yksittäisistä tuotevirroista merkittävimpiä on tuontimalmien käyttö värimetallien sekä raudan ja teräksen valmistuksessa.

Strategian linjaukset eivät juurikaan kohdistu mineraalivarantojen köyhtymisen kannalta merkittäviin toimialoihin tai tuotevirtoihin. Energiateknologian viennin kannustaminen todennäköisesti lisää koneiden ja elektroniikan valmistuksen elinkaarisia vaikutuksia. Bioenergian tuotannon lisääminen voi vaikuttaa massa- ja paperiteollisuuden tuotantoon, mikä voi vaikuttaa edelleen peruskemikaalien käyttöön, mutta vaikutusten merkittävyys koko maan tasolla ei ole suuri. Suuri osa toimenpiteistä kannustaa teknologian nopeaan uusimiseen ja esimerkiksi autokannan nopeampaan kiertoon. Tämä lisää koneiden ja elektroniikan tuotantoa, mikä nopeuttaa mineraalivarantojen köyhtymistä. Kierrätyksen lisääminen toimenpiteissä kohdentuu lähinnä rakentamiseen, eikä sitä ole erikseen kohdennettu erityisen arvokkaisiin luonnon-

<sup>136</sup> Leskinen, P., Holma, A., Manninen, K., Sinkko, T., Pasanen, K., Rantala, M., Sokka, L. (2014). Uusiutuvan energian tuotannon ja käytön ympäristövaikutukset ja -riskit. Kirjallisuuskatsaus ja asiantuntija-arvio. Ympäristöministeriön raportteja 9/2014.

varoihin. Koko Suomen mittakaavassa merkittävin yksittäinen prosessi on kuitenkin värime-  
tallien jatkojalostus ja vienti. Toimenpiteillä ei ole juurikaan vaikutusta tähän, joten kokonais-  
vaikutus mineraalivarantojen ehtymiseen on vähäinen.

## Elinkaariset kasvihuonekaasupäästöt

Elinkaaristen kasvihuonekaasupäästöjen kannalta oleelliset toimialat ovat sähkön tuotan-  
to ja jakelu, kaukolämmön tuotanto ja jakelu, raudan ja teräksen valmistus, tierahntiliikenne ja  
kotieläintalous. Lisäksi sähkön, raakaöljyn ja peruskemikaalien tuonnilla on merkittäviä vaiku-  
tuksia ulkomailla. Tuotenäkökulmasta nämä liittyvät asumiseen ja rakentamiseen, massan ja  
paperin, öljytuotteiden, peruskemikaalien sekä raudan ja teräksen vientiin, sekä eläinperäis-  
ten elintarvikkeiden kulutukseen. Näiden lisäksi julkinen hallinto sekä koulutus- ja terveystal-  
velut ovat merkittävä julkinen kuluttaja. Toimialojen käyttämän väliuotekäytön kannalta mer-  
kittäviä tuotevirtoja ovat raakaöljyn käyttö öljynjalostuksessa sekä kaukolämmön käyttö asun-  
tojen omistuksessa ja vuokrauksessa. Lopputuotteiden kulutukselle kohdentuvien kasvihu-  
onekaasupäästöjen näkökulmasta eläinperäisten elintarvikkeiden käyttö on merkittävä tekijä.  
Teollisuudessa vientiin suuntautuvan massan ja paperin, öljytuotteiden, raudan ja teräksen  
sekä peruskemikaalien valmistuksen elinkaariset kasvihuonekaasupäästöt ovat merkittävim-  
mät tekijät.

Strategian linjaukset kohdistuvat elinkaaristen kasvihuonekaasujen kannalta keskeisiin teki-  
jöihin, kuten sähkön ja lämmön tuotantoon sekä liikenteen polttoaineisiin. Raakaöljyn käytön  
ja sähkön tuonnin vähentäminen vähentävät myös riippuvuutta näihin kohdennettavista ul-  
komaisista elinkaarisista vaikutuksista. Rakentamisen materiaalien päästöintensiivisyyden  
vähentäminen ja rakennusten energiatehokkuuden parantaminen vaikuttavat talonrakentami-  
sen ja asumisen päästöihin, jotka ovat merkittäviä. Kuluttajaohjauksella on mahdollista vä-  
hentää asumiseen, liikkumiseen ja ruokaan liittyvän loppukulutuksen päästöjä.

Elinkaaristen kasvihuonekaasujen arvioinnissa käytetyssä ENVIMAT-mallissa ei huomioida  
vaikutuksia maaperän ja kasvillisuuden hiilivarastoihin, johtuen kansainvälisten tietoaineisto-  
jen rajallisuudesta. Tämän johdosta metsä- ja maatalouden sekä turvetuotannossa tapahtu-  
vien muutosten kokonaisvaikutuksia ei voitu tässä yhteydessä arvioida. Nämä vaikutukset  
riippuvat pitkälti siitä, kuinka paljon energiaomavaraisuuden nostaminen ja biopolttoaineiden  
käytön lisääminen kohdentuvat eri raaka-aineisiin, kuten puuhun, turpeeseen, peltobiomas-  
soihin ja jätteisiin ja minkälaisia vaikutuksia raaka-aineiden hankinnalla on maaperän ja kas-  
villisuuden hiilivarastoihin. Näitä vaikutuksia on käsitelty erikseen luvuissa 7.1 ja 7.2.

## 7.5 Metsätalouden vaikutukset luonnon monimuotoisuuteen

*Anna Repo ja Sampo Soimakallio, Syke*

Noin puolet Suomen lajimäärästä on metsälajeja, ja suurin osa maamme uhanalaisista lajeis-  
ta elää ensisijaisesti metsissä<sup>137,138,139</sup>. Viimeisimmän Suomen lajien uhanalaisuusarvion  
mukaan<sup>140</sup> metsissä esiintyy 814 uhanalaiseksi luokiteltua lajia eli 36 % kaikista uhanalaisista  
lajeista. Merkittävimmät metsälajien uhanalaisuuden syyt ja uhkatekijät ovat metsien uudis-  
tamis- ja hoitotoimet, metsien puulajisuhteiden muutokset, vanhojen metsien ja kookkaiden

<sup>137</sup> Ympäristöministeriö (1994). Suomen metsäluonnon monimuotoisuuden turvaaminen. Ympäristöministeriö, Alueiden käytön osasto. Muistio 3/1994. Painatuskeskus Oy, Helsinki.: 1-90.

<sup>138</sup> Siitonen J., Hanski I. (2004). Metsälajiston ekologia ja monimuotoisuus. In: Kuuluvainen T., Saaristo L., Keto-Tokoi P., Kostamo J., Kuuluvainen J., Kuusinen M., Ollikainen M., Salpakivi-Salomaa P. (eds.), Metsän kätköissä - Suomen metsäluonnon monimuotoisuus. Edita Publishing Oy. p. 76-109.

<sup>139</sup> Rassi, P., Hyvärinen, E., Juslén, A., Mannerkoski, I. (toim.) (2010). The 2010 Red List of Finnish Species. Suomen lajien uhanalaisuus – Punainen kirja 2010, Helsinki: Ympäristöministeriö ja Suomen ympäristökeskus.

<sup>140</sup> Rassi, P., Hyvärinen, E., Juslén, A., Mannerkoski, I. (toim.) (2010). The 2010 Red List of Finnish Species. Suomen lajien uhanalaisuus – Punainen kirja 2010, Helsinki: Ympäristöministeriö ja Suomen ympäristökeskus.



puiden väheneminen, lahoppuun väheneminen ja kuloalueiden sekä muiden luontaisen sukession alkuvaiheiden väheneminen. Yleisin metsälajien uhanalaisuuden syy ja uhkatekijä on lahoppuun väheneminen. Se on myös tärkein ensisijaisesti metsässä elävien silmälläpidettävien lajien taantumisen tai heikon tilanteen syy sekä uhkatekijä<sup>141</sup>. Kuolleen puun keskitilavuus Etelä-Suomessa on 3,8 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ja Pohjois-Suomessa 8,0 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup><sup>142</sup>. Tämä on merkittävästi vähemmän kuin luonnontilaisissa metsissä, joissa lahoppuun tilavuudeksi on arvioitu 20–120 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup><sup>143</sup>. Uhanalaisten lajien lisäksi monet yleiset metsälajit tarvitsevat lahoppuuta. Jopa 5000 lajin eli noin neljänneksen metsälajeista arvioidaan olevan riippuvaisia lahoppuusta<sup>144</sup>. Yleisin metsälajien häviämisen syy on vanhojen metsien ja kookkaiden puiden väheneminen<sup>145</sup>. Etelä-Suomessa yli 120-vuotiaiden metsien osuus on lisääntynyt 3,0 %:sta noin 4,5 %:iin metsämaan alasta 1960-luvulta 2000-luvulle. Pohjois-Suomessa kehitys on ollut päinvastaista. Pohjois-Suomessa yli 120-vuotiaiden metsien osuus metsämaan pinta-alasta on puolittunut noin 34 %:sta 17 %:iin vastaavana ajanjaksona<sup>146</sup>.

Energia- ja ilmastostrategian pohjana olevan hallituksen tavoitteiden mukaisesti hakkuiden lisääminen nykytasosta 80 Mm<sup>3</sup>:iin runkopuuta vuodessa ja metsähakkeen käytön lisäys 14–18 Mm<sup>3</sup>:iin vuodessa voivat lisätä metsälajiston uhanalaistumista. Runkopuun hakkuukertymän nostaminen ja energiapuun lisääntyvä korjuu vaikuttavat monimuotoisuudelle tärkeisiin metsien rakennepiirteisiin kuten puuston määrään ja rakenteeseen, metsien ikäluokkajakaukumaan ja kuolleen puun määrään. Luonnonvarakeskuksen ja Suomen ympäristökeskuksen vuoteen 2054 ulottuvissa skenaariotarkastelussa<sup>147</sup> runkopuun hakkuukertymän kasvattaminen Kansallisen metsästrategian 2025 mukaisesti nykyisestä 65 miljoonasta kuutiometrillä 80 miljoonaan kuutiometriin vuodessa kasvatti uudistushakkuualaa 1,4-kertaiseksi verrattuna skenaarioon, jossa hakkuita kasvatettiin noin 65 miljoonasta kuutiometrillä 73 miljoonaan kuutiometriin vuodessa. Uudistushakkuiden voimakas lisääminen voi vähentää järeiden vanhojen lehti- ja havupuiden määrää ja nuorentaa metsien ikärakennetta nykyisestä, mikä voimistaa vanhoista metsistä riippuvaiden lajien taantumista. Jos lisähakkuut kohdistuvat pääosin kasvatushakkuihin, mallilaskelmissa metsien ikäluokkajakauma vanhenee. Tällöin lahoppuun määrä puuntuotannon metsämaalla lisääntyy nykytasoon verrattuna, koska mallilaskelmissa kuolleen puuston tilavuus kasvaa elävän puuston kokonaistilavuuden kasvaessa. Strategiassa tavoitellaan kuitenkin myös puurakentamisen edistämistä, mikä yhdessä kuitupuun kysynnän kasvun kanssa saattaa lisätä tukkipuun kysyntää ja siten uudistushakkuiden määrää. Hakkuiden voimakas lisääminen vähentää lahoppuun määrää ja heikentää lahoppuusta riippuvien lajien elinolosuhteita<sup>148</sup>. Intensiivisempi maankäyttö voi myös muuttaa maaperän ravinnekiertoa, vesitaloutta ja vaikuttaa metsäisten luontotyyppien tilaan haitallisesti<sup>149</sup>.

WAM-skenaariossa tavoiteltu liikenteen biopolttoaineiden kotimaisen tuotannon lisäämisen arvioidaan lisäävän kotimaisen metsähakkeen käyttöä maksimissaan 4 Mm<sup>3</sup> vuodessa WEM-skenaarioon verrattuna. Lisäyksen vaikutukset luonnon monimuotoisuuteen riippuvat siitä, mihin jakeisiin lisäys kohdistuu (ks. luku 7.2). Lisääntyvä energiapuun korjuu vähentää metsi-

<sup>141</sup> Rassi, P., Hyvärinen, E., Juslén, A., Mannerkoski, I. (toim.) (2010). The 2010 Red List of Finnish Species. Suomen lajien uhanalaisuus – Punainen kirja 2010, Helsinki: Ympäristöministeriö ja Suomen ympäristökeskus.

<sup>142</sup> Peltola, A (toim), (2014). Finnish Statistical Yearbook of Forestry 2014, Vantaa: Metsäntutkimuslaitos.

<sup>143</sup> Siitonen, J., (2001). Forest management, coarse woody debris and saproxylic organisms: Fennoscandian boreal forests as an example. *Ecological Bulletins*, 49, 11–41.

<sup>144</sup> Siitonen, J., (2001). Forest management, coarse woody debris and saproxylic organisms: Fennoscandian boreal forests as an example. *Ecological Bulletins*, 49, 11–41.

<sup>145</sup> Rassi, P., Hyvärinen, E., Juslén, A., Mannerkoski, I. (toim.) 2010. The 2010 Red List of Finnish Species. Suomen lajien uhanalaisuus – Punainen kirja 2010, Helsinki: Ympäristöministeriö ja Suomen ympäristökeskus.

<sup>146</sup> Peltola, A (toim), (2014). Finnish Statistical Yearbook of Forestry 2014, Vantaa: Metsäntutkimuslaitos.

<sup>147</sup> Korhonen, K.T., Auvinen, A-P., Kuusela, S., Punttila, P., Salminen, O., Siitonen, J., Ahlroth, P., Jäppinen, J-P., Kolström, T. (2016). Biotalouskenaarioiden mukaisten hakkuiden vaikutukset metsien monimuotoisuudelle tärkeisiin rakennepiirteisiin. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 51/2016.

<sup>148</sup> Korhonen, K.T., Auvinen, A-P., Kuusela, S., Punttila, P., Salminen, O., Siitonen, J., Ahlroth, P., Jäppinen, J-P., Kolström, T. (2016). Biotalouskenaarioiden mukaisten hakkuiden vaikutukset metsien monimuotoisuudelle tärkeisiin rakennepiirteisiin. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 51/2016. (ks. kuva 14)

<sup>149</sup> Korhonen, K.T., Auvinen, A-P., Kuusela, S., Punttila, P., Salminen, O., Siitonen, J., Ahlroth, P., Jäppinen, J-P., Kolström, T. (2016). Biotalouskenaarioiden mukaisten hakkuiden vaikutukset metsien monimuotoisuudelle tärkeisiin rakennepiirteisiin. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 51/2016.

en lahopuumäärää ja voi aiheuttaa merkittäviä muutoksia metsälajistossa<sup>150,151,152</sup>, erityisesti, jos korjuu kohdistuu järeään kuolleeseen puuhun<sup>153,154</sup>. Metsänhoidon suositukset energia-puun korjuuseen korostavat, että järeä kuollut puu tulee jättää korjaamatta<sup>155</sup>.

Energia- ja ilmastostrategiassa tavoitellun puunkäytön lisäyksestä johtuvia metsien monimuotoisuuden kohdistuvia lisäpaineita voidaan pyrkiä rajoittamaan luomalla samalla uusia kannustimia monimuotoisuuden ylläpitämiseksi. Hakkuiden lisäämisen monimuotoisuudelle haitallisia vaikutuksia voidaan pyrkiä lieventämään esimerkiksi jättämällä järeitä eläviä säästö-puita uudistushakkuualoille nykyistä enemmän, välttämällä puun korjuuta arvokkaita luontokohteilta, säästämällä kuollutta puuta nykyistä enemmän hakkuukohteilla<sup>156</sup> sekä alueellisen metsäsuunnittelun<sup>157</sup> sekä ekologisen päätösanalyysin ja spatiaalisen priorisoinnin avulla<sup>158,159</sup>. Jos paineiden suuntaamisessa ja rajoittamisessa epäonnistutaan, puukäytön lisääminen voi hankaloittaa kansainvälisen biodiversiteettisopimuksen ja sen toteuttamiseen pyrkivien strategioiden tavoitteiden saavuttamista.

## 7.6 Metsätalouden vesistövaikutukset

*Ahti Lepistö, Syke*

Ilmastonmuutoksen hillintätoimenpiteiden vesistövaikutukset liittyvät läheisesti puunkäytön kehitykseen. Tehostuva metsätalous vaikuttaa samaan suuntaan kuin äärevöityvä ilmasto. Ne molemmat lisäävät vesien kuormitusta. Typpi- ja fosforikuormitus aiheuttavat vesistöjen rehevöitymistä ja kiintoainekuormitus sameutumista, liettymistä ja umpeenkasvua. Kuormituksen aiheuttamat vesistövaikutukset riippuvat mm. maankäytön alueellisesta laajuudesta, toimenpiteiden voimaperäisyydestä sekä valuma-alueen että vastaanottavan vesistön ominaisuuksista. Ihmistoiminnan aiheuttamasta typpikuormituksesta metsätalouden osuuden on arvioitu olevan Suomessa n. 5 % ja fosforikuormituksesta 6 %<sup>160</sup>. Metsätaloudessa vesistökuormitusta aiheutuu lähinnä hakkuista, lannoituksista ja kunnostusojituksista, joita toteutetaan vuosittain pienellä osalla koko metsäalasta<sup>161</sup>.

Hakkuiden lisääminen energia- ja ilmastostrategian tavoitteiden mukaisesti (vrt. luku 7.5) lisää vesistökuormitusta. Esimerkiksi fosforikuormituksen on suometsävaltaisilla koalueilla havaittu kohoavan eri tavoin toteutettujen hakkuiden ja kokopuukorjuun jälkeen. Fosforikuormitus kasvaa etenkin silloin, kun intensiiviset hakkuut nostavat pohjaveden pinnan lähelle maanpintaa<sup>162</sup>. Toisaalta, SYKEN pienten metsävaluma-alueiden verkon uusimmissa tuloksissa on havaittu, että metsien fosforilannoituksen voimakas väheneminen 1990-luvulla näkyi

<sup>150</sup> Rassi, P., Hyvärinen, E., Juslén, A., Mannerkoski, I. (toim.) (2010). The 2010 Red List of Finnish Species. Suomen lajien uhanalaisuus – Punainen kirja 2010, Helsinki: Ympäristöministeriö ja Suomen ympäristökeskus.

<sup>151</sup> Riffell, S., Verschuyf, J., Miller, D., & Wigley, T. B. (2011). Biofuel harvests, coarse woody debris, and biodiversity—a meta-analysis. *Forest Ecology and Management*, 261(4), 878-887.

<sup>152</sup> Johansson, V., Felton, A. & Ranius, T. (2016). Long-term landscape scale effects of bioenergy extraction on dead wood-dependent species. *Forest Ecology and Management*, 371, 103–113.

<sup>153</sup> Antikainen, R., Tenhunen, J., Ilomäki, M., Mickwitz, P., Punttila, P., Puustinen, M., Seppälä, J. & Kauppi, L. (2007). Bioenergian uudet haasteet Suomessa ja niiden ympäristönäkökohdat: nykytilakatsaus. Suomen Ympäristökeskuksen Raportteja, 11.

<sup>154</sup> Bouget, C., Lassauce, A. & Jonsell, M., 2012. Effects of fuelwood harvesting on biodiversity — a review focused on the situation in Europe. *Canadian Journal of Forest Research* 42(8), 1421–1432.

<sup>155</sup> Koistinen, A., Luuro, J-P. & Vanhatalo, K. (toim.) 2016. Metsänhoidon suositukset energiapuun korjuuseen, työopas. Tapion julkaisuja

<sup>156</sup> Korhonen, K.T., Auvinen, A-P., Kuusela, S., Punttila, P., Salminen, O., Siitonen, J., Ahlroth, P., Jäppinen, J-P., Kolström, T. 2016. Biotalouskenaarioiden mukaisten hakkuiden vaikutukset metsien monimuotoisuudelle tärkeisiin rakennepiirteisiin. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 51/2016.

<sup>157</sup> Triviño, M., Pohjanmies, T., Mazzotta, A., Juutinen, A., Podkopaev, D., Le Tortorec, E., & Mönkkönen, M. (2016). Optimizing management to enhance multifunctionality in a boreal forest landscape. *Journal of Applied Ecology*. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12790>

<sup>158</sup> Kareksela, S., Moilanen, A., Tuominen, S., & Kotiaho, J. S. (2013). Use of inverse spatial conservation prioritization to avoid biological diversity loss outside protected areas. *Conservation Biology*, 27(6), 1294-1303.

<sup>159</sup> Lehtomäki, J., 2014. Spatial conservation prioritization for Finnish forest conservation management. Helsingin yliopisto, väitöskirja.

<sup>160</sup> SYKE 2013. Vesistöjen ravinnekuormitus ja luonnon huuhtouma. [http://www.ymparisto.fi/FI/Kartat\\_ja\\_tilastot/Vesistojen\\_ravinnekuormitus\\_ja\\_luonnon\\_huuhtouma\\_paivitetty\\_3.9.2013\\_vitattu\\_7.11.2016](http://www.ymparisto.fi/FI/Kartat_ja_tilastot/Vesistojen_ravinnekuormitus_ja_luonnon_huuhtouma_paivitetty_3.9.2013_vitattu_7.11.2016).

<sup>161</sup> Launiainen Samuli, Sarkkola Sakari, Laurén Ari, Puustinen Markku, Tattari Sirkka, Mattsson Tuija, Piirainen Sirpa, Heinonen Jaakko, Alakukku Laura, Finér Leena. (2014). KUSTAA -työkalu valuma-alueen vesistökuormituksen laskentaan. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 33/2014. 55 p.

<sup>162</sup> Kaila A., Sarkkola S., Laurén A., Ukonmaanaho L., Koivusalo H., Xiao L., O'Driscoll C., Asam Z., Tervahauta A. & Nieminen M. (2014). Phosphorus export from drained Scots pine mires after clear-felling and bioenergy harvesting. *Forest Ecology and Management* 325: 99–107.

selvästi vähentyneenä fosforikuormituksena vesiin<sup>163</sup>. Tämä suotuisa kehitys on uhattuna jos lannoitusmäärät lähtevät uudelleen nousuun.

Energiapuun korjuun lisäämisessä ongelmallista vesistöjen kannalta on etenkin kantojen nosto metsämaasta. Se lisää entisestään orgaanisen aineksen eroosiota ja kuormitusta, joka on jo kasvamassa myös ilmastosyistä. Luonnonvarakeskuksen uusimpien tutkimustulosten mukaan kokopuukorjuu, jossa myös kannot nostetaan, lisää orgaanisen aineksen huuhtoutumista selvästi<sup>164</sup>. Humuksen mukana liikkeelle lähtee myös metalleja.

Metsäbiomassan lisääntyvän käytön haitallisia vesistövaikutuksia voidaan rajoittaa muun muassa käyttämällä metsämaaperän käsittelyssä mahdollisimman kevyitä menetelmiä. Painottamalla biomassan lisäkäyttöä harvennushakkuisiin ja hakkuutähteisiin, vesistövaikutukset jäävät myös todennäköisesti huomattavasti pienemmiksi verrattuna hyödyntämiseen, johon liittyy laajamittaista kantojen nostoa ja kokopuukorjuuta. Ongelmallisimpia vesistöjen kannalta ovat voimaperäiset hakkuut ja maaperän muokkaus suometsissä. Metsien monimuotoisuuden ylläpitämistä edistävät toimet (luku 7.5) taas ovat hyödyllisiä myös vesistöjen kannalta.

## 7.7 Vaikutukset ilmanlaatuun

*Niko Karvosenoja ja Mikko Savolahti, Syke*

*Timo Lanki, Raimo Salonen ja Pekka Tiittanen, THL*

Suurin osa ilmansaasteisiin liittyvistä vakavista terveyshaitoista aiheutuu pienhiukkasisista<sup>165,166</sup>. Kotimaisista pienhiukkasten päästölähteistä suurimpia ovat puun pienpoltto, tieliikenne, sisältäen sekä pakokaasupäästöt että katupölyn, ja työkoneet. Puun poltto takoissa ja kiukaissa heikentää ilmanlaatua erityisesti tiiviisti rakennetuilla pientalovaltaisilla alueilla. Puunpolton päästöjen pienhiukkaset aiheuttavat ennen aikaisia kuolemia ja lisäävät sairaustapauksia aivan kuten liikenteenkin pienhiukkaset. Näiden ns. lähipäästöjen primäärihiukkasten lisäksi hengitysilman pitoisuuksiin vaikuttavat merkittävästi myös kaukokulkeutuneet Euroopasta tulevat hiukkaset ja kotimaisten lähteiden kaasupäästöistä muodostuvat sekundäärihiukkaset. Taulukoissa 11, 12 ja 13 esitetään tärkeimpien ilmanlaatuun vaikuttavien epäpuhtauksien päästöt nykytilassa sekä vuonna 2030 WEM- ja WAM-skenaarioissa.

<sup>163</sup> Tattari S, Koskiahio J, Kosunen M, Lepistö A, Linjama J, Puustinen M. (2017). Nutrient loads from agricultural and forested areas in Finland from 1981 up to 2011 – is the efficiency of water protection measures seen? Environmental Monitoring & Assessment (submitted).

<sup>164</sup> Kiikkilä, O., Nieminen, T.M., Starr, M., Mäkilä, M., Loukola-Ruskeeniemi, K., Ukonmaanaho, L. (2014). Leaching of dissolved organic carbon and trace elements after stem-only and whole-tree clear-cut on boreal peatland. *Water, Air & Soil Pollution*. 255, 1–11.

<sup>165</sup> Hänninen O., Leino O., Kollanus V. & Jantunen M. 2010. Pienhiukkaset ja sisäilman saasteet suurimpia kansanterveysriskejä. *Ilmansuojelu* 2/2010. s.4-8.

<sup>166</sup> WHO (2013). Health risks of air pollution in Europe – HRAPIE project. Recommendations for concentration–response functions for cost–benefit analysis of particulate matter, ozone and nitrogen dioxide. World Health Organization, Regional Office for Europe, Bonn, pp. 60.

**Taulukko 11. Polttoaineiden primäärienergia ja ilmansuojelun kannalta merkittävät päästöt Suomessa vuonna 2015. Luvut ovat energiankäytön ennakkotietojen perusteella mallinnettuja arvioita.**

2015	Polttoaineiden primäärienergia [PJ]	SO <sub>2</sub> [kton]	NO <sub>x</sub> [kton]	Primääri PM <sub>2.5</sub> [kton]	Musta hiili [kton]
Energiantuotanto ja teollisuuden poltto	584	23.1	53.9	2.6	0.0
• Hiili ja kooksi	63	8.7	10.4	0.1	0.0
• Turve	60	9.0	7.0	0.2	0.0
• Puu, jäte	145	0.1	13.9	0.8	0.0
• Mustalipeä	144	0.5	9.0	1.3	0.0
• Öljyt	30	4.1	3.7	0.1	0.0
• Kaasut	151	0.6	9.9	0.1	0.0
Teollisuusprosessit	-	10.3	7.1	1.1	0.0
Pienpoltto	89	2.0	10.8	11.2	3.5
• Puun pienkäyttö	61	0.0	8.8	10.5	3.3
Tieliikenne	161	0.1	42.8	1.2	0.8
Työkoneet ja muu liikenne	46	1.3	32.3	2.4	0.9
Katupöly	-	-	-	3.3	0.1
Muut lähteet*	-	0.0	0.0	3.4	0.0
<b>Yhteensä</b>	<b>880</b>	<b>36.8</b>	<b>146.9</b>	<b>25.2</b>	<b>5.3</b>

**Taulukko 12. Polttoaineiden primäärienergia ja ilmansuojelun kannalta merkittävät päästöt Suomessa WEM-skenaariossa vuonna 2030.**

WEM 2030	Polttoaineiden primäärienergia [PJ]	SO <sub>2</sub> [kton]	NO <sub>x</sub> [kton]	Primääri PM <sub>2.5</sub> [kton]	Musta hiili [kton]
Energiantuotanto ja teollisuuden poltto	596	6.6	38.0	2.0	0.0
• Hiili ja kooksi	32	1.7	1.9	0.0	0.0
• Turve	44	1.8	3.9	0.1	0.0
• Puu, jäte	202	1.0	15.5	0.5	0.0
• Mustalipeä	173	0.7	9.4	1.3	0.0
• Öljyt	22	0.7	2.5	0.1	0.0
• Kaasut	123	0.7	4.7	0.0	0.0
Teollisuusprosessit	-	11.1	7.8	1.1	0.1
Pienpoltto	85	1.4	10.2	9.7	2.9
• Puun pienkäyttö	67	0.0	8.9	9.1	2.9
Tieliikenne	144	0.1	12.0	0.2	0.1
Työkoneet ja muu liikenne	44	0.2	13.0	0.5	0.2
Katupöly	-	-	-	3.5	0.1
Muut lähteet*	-	0.0	0.0	3.0	0.0
<b>Yhteensä</b>	<b>869</b>	<b>19.4</b>	<b>81.0</b>	<b>20.0</b>	<b>3.4</b>

**Taulukko 13. Polttoaineiden primäärienergia ja ilmansuojelun kannalta merkittävät päästöt Suomessa WAM-skenaariossa vuonna 2030.**

WAM 2030	Polttoaineiden primäärienergia [PJ]	SO <sub>2</sub> [kton]	NO <sub>x</sub> [kton]	Primääri PM <sub>2.5</sub> [kton]	Musta hiili [kton]
Energiantuotanto ja teollisuuden poltto	600	6.3	41.2	2.3	0.0
• Hiili ja koksi	17	1.3	1.4	0.0	0.0
• Turve	45	1.8	4.0	0.1	0.0
• Puu, jäte	216	1.0	19.1	0.6	0.0
• Mustalipeä	173	0.7	9.4	1.3	0.0
• Öljyt	22	0.7	2.4	0.1	0.0
• Kaasut	128	0.7	5.0	0.0	0.0
Teollisuusprosessit	-	11.1	7.8	1.1	0.1
Pienpoltto	85	1.4	10.2	9.7	2.9
• Puun pienkäyttö	67	0.0	8.9	9.1	2.9
Tieliikenne	131	0.0	11.1	0.2	0.1
Työkoneet ja muu liikenne	44	0.2	13.0	0.5	0.2
Katupöly	-	-	-	3.2	0.1
Muut lähteet*	-	0.0	0.0	3.0	0.0
<b>Yhteensä</b>	<b>860</b>	<b>19.0</b>	<b>83.3</b>	<b>20.0</b>	<b>3.4</b>

\*Muut lähteet sisältävät mm. maataloudesta, turpeen tuotannosta, rakennustoiminnasta ym. syntyvät pölypäästöt

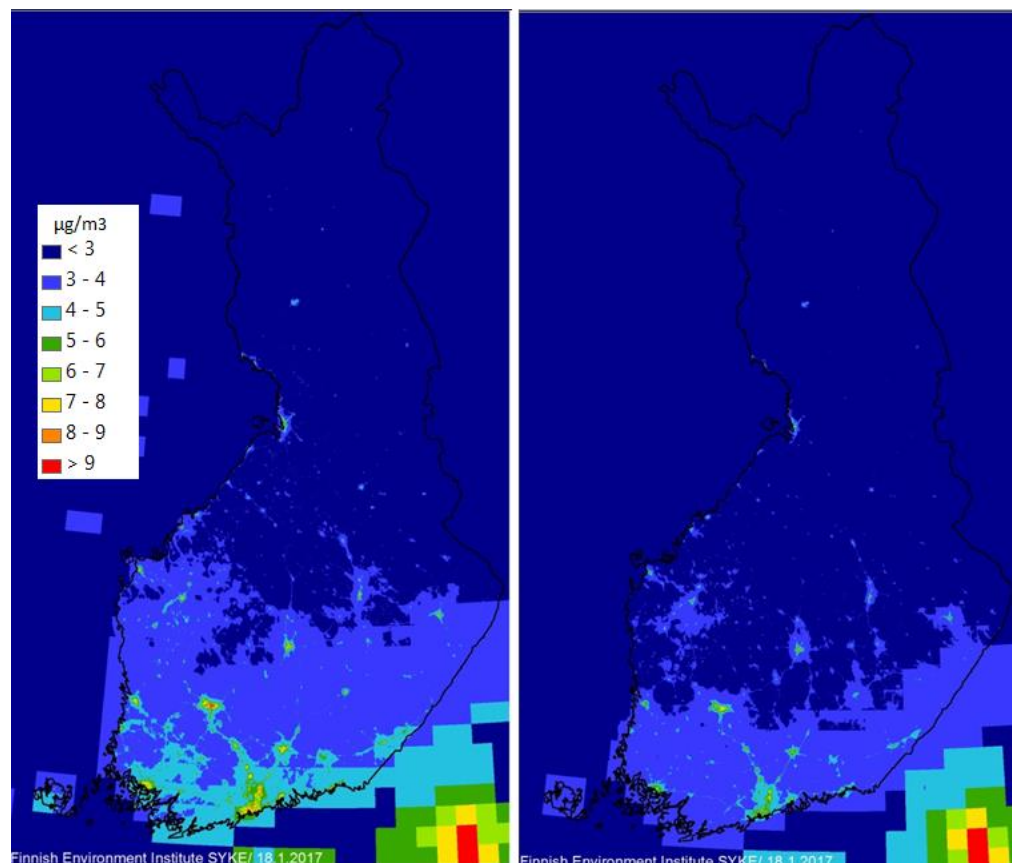
Kaikki tarkastellut ilmansaastepäästöt vähenevät merkittävästi vuodesta 2015 vuoteen 2030, vaikka kokonaisenergiakäyttö nousee. Päästövähennykset ovat pitkälti seurausta voimaantulevasta tai jo voimassa olevasta EU-lainsäädännöstä, joka rajoittaa erityisesti liikenteen ja polttolaitosten päästöjä. Polttoainemuutoksista suurimmat vaikutukset on kivihiilen käytön vähenemisellä, joka laskee merkittävästi rikin- ja typenoksidipäästöjä, ja puun käytön lisäämisellä polttolaitoksissa, mikä kiristyvistä päästörajoituksista huolimatta saattaa kasvattaa jonkin verran typenoksidipäästöjä. Prosessiteollisuuden osalta uuden päästölainsäädännön vaikutusta ei ole arvioitu, joten muutokset päästöissä seuraavat suoraan arviota tuotantovolyymin kehityksestä.

Pienpolttolaitteiden energiatehokkuudelle ja enimmäispäästöille on laadittu EU-tason määräykset, mutta ne muuttuvat sitoviksi vasta vuonna 2022. Silloinkin ne koskevat vain uusia tulisijoja ja puuta polttavia kattiloita eivätkä ollenkaan saunankiukkaita. Ilman muita toimia, uudet määräykset tulevat vaikuttamaan taajamien ilmanlaatuun hyvin hitaasti. Teknisten parannusten lisäksi esimerkiksi valistuskampanjat, joiden yhteydessä takkojen ja kiukaiden käyttäjiä neuvotaan hyvistä polttopuun säilytys- ja käyttötavoista ja kerrotaan puunpolton ilmansaasteiden terveyshaitoista, voisivat vähentää pienhiukkasten päästöjä ja niille altistumista. Paikallisten ilmanlaatuvaikutusten lisäksi myös ilmastoa lämmittävien mustan hiilen ja metaanin päästöt voisivat pienentyä. Strategian mukaisessa arviossa puun pienkäyttö kasvaa nykyisestä ja korvaa muita vastaavia lämmitysmuotoja kuten öljyn käyttöä. Toisaalta talojen energiatehokkuuden paraneminen laskee kokonaisenergiantarvetta. Pienhiukkasten kokonaispäästöt laskevat tarkastelluista päästökomponenteista vähiten, koska puun pienpoltto pysyy selvästi suurimpana pienhiukkasten päästölähteenä eikä sen päästöjä aiota pienentää erillisillä kansallisilla toimilla.

Ilman epäpuhtauksien kannalta erot WEM- ja WAM-skenaarioiden välillä ovat pieniä (Kuva 50). Merkittävimmät muutokset ovat kivihiilen osittainen korvautuminen uusiutuvilla energiamuodoilla ja tieliikenteen alenevat polttoaineen kulutusmäärät, jotka ovat seurausta liikenteen

tehostumisesta ja kulkutapamuutoksista sekä lisääntyvästä sähkö- ja kaasuautojen määrästä. Voimalaitosten korkeista piipuista tulevilla päästöillä on nykyiselläänkin melko vähän vaikutuksia ilmanlaatuun Suomessa. Liikenteellä vaikutus päästöyksikköä kohden on selvästi suurempi. Tämä merkitsee käytännössä, että koko maan mittakaavassa vähäisiltä näyttävillä päästömuutoksilla voi olla merkitystä altistumisen kannalta. Sähköautojen käyttövoiman tuottaminen voimalaitoksissa autojen polttomoottoreiden sijaan, autokannan uusiutumisen nopeuttaminen, kaasuautojen määrän lisääntyminen ja kuljetusten energiatehokkuuden edistäminen parantavat jossain määrin ilmanlaatua kaupunkialueilla, joissa päästöille altistuu suuri määrä ihmisiä. Vaikutus kohdentuu erityisesti pakokaasupäästöjen aiheuttamiin typidioksidin ja pienhiukkasten pitoisuuksiin. Ajoneuvojen pakokaasupäästöt ovat kuitenkin suhteellisen alhaiset vuonna 2030 molemmissa skenaarioissa, ja WAM-skenaarion lisätoimien vaikutus koko maan päästöjen tasolla on vähäinen. Yllä mainitut keinot eivät vaikuta katupölypäästöihin, joiden suhteellinen vaikutus ilmanlaatuun kasvaa siten tulevaisuudessa. Katupöly sisältää myös pienhiukkasia ja aiheuttaa viihtyvyyshaittojen lisäksi myös terveyshaittoja. Sen sijaan kaupunkialueiden liikennesuoritteita vähentävät keinot kuten kulkutapamuutokset pyöräilyyn ja kävelyyn vähentävät katupölypäästöjä. Lisäksi ne vähentävät muun muassa ruuhkia ja melua sekä parantavat yleistä viihtyvyyttä.

**Kuva 50. Mallinnetut pienhiukkaspitoisuudet nykytilassa (vasemmalla) ja vuonna 2030 (oikealla) WAM-skenaariossa.**



Mallinnus sisältää Suomen primääristen pienhiukkaspäästöjen (PM2.5) vaikutuksen (mallinnusjärjestelmä kuvattu Karvosenoja ym.<sup>167</sup>) ja kaukokulkeuman<sup>168</sup>.

<sup>167</sup> Karvosenoja N., Kangas L., Kupiainen K., Kukkonen J., Karpinen A., Sofiev M., Tainio M., Paunu V.-V., Ahtoniemi P., Tuomisto J. T., Porvari P. (2011). Integrated modeling assessments of the population exposure in Finland to primary PM2.5 from traffic and domestic wood combustion on the resolutions of 1 and 10 km. *Air Quality, Atmosphere & Health* 4, 179–188.

<sup>168</sup> Amann, M., Bertok, I., Borken-Kleefeld, J., Cofala, J., Heyes, C., H'oglund-Isaksson, L., Klimont, Z., Nguyen, B., Posch, M., Rafaj, P., Sandler, R., Sch'opp, W., Wagner, F., and Winiwarter, W. (2011). Cost-effective control of air quality and greenhouse gases in Europe: Modeling and policy applications. *Environmental Modelling & Software* 26, 1489–1501.

Yli puolet altistumisesta pienhiukkasille (pitoisuus FRES-mallista) aiheutuu Suomessa alueellisesta ja kaukokulkeumasta (Taulukko 14). Pienpoltto ja katupöly ovat tärkeimmät kotimaiset pienhiukkaslähteet altistumisen kannalta nykytilanteessa. Tulevaisuusskenaarioissa liikenteen (tieliikenne, työkoneet ja muu liikenne) pakokaasupäästöjen aiheuttama altistuminen vähenee voimakkaasti; hieman enemmän WAM- kuin WEM-skenaariossa. Katupölylle altistuminen kasvaa hieman WEM-skenaariossa, mutta pysyy käytännössä samana WAM:issa, kun otetaan huomioon väestömuutokset. Pienpoltton hiukkasille altistuminen vähenee tulevaisuudessa hieman, mutta skenaarioiden välillä ei ole eroa.

**Taulukko 14. Väestöpainotettu altistuminen ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , ka.) kotimaisista päästölähteistä sekä alueellisesta ja kaukokulkeumasta peräisin oleville pienhiukkasille Suomessa vuonna 2015 sekä WEM- ja WAM-skenaarioissa vuonna 2030.**

	2015	WEM 2030		WAM 2030	
		Nykyinen väestö	Ennustettu väestö	Nykyinen väestö	Ennustettu väestö
<b>Energiantuotanto ja teollisuus</b>	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02
<b>Pienpoltto</b>	0,72	0,65	0,66	0,65	0,66
<b>Tieliikenne</b>	0,27	0,04	0,04	0,03	0,03
<b>Työkoneet ja muu liikenne</b>	0,26	0,03	0,04	0,03	0,04
<b>Katupöly</b>	0,72	0,74	0,78	0,68	0,71
<b>Muut lähteet</b>	0,19	0,19	0,20	0,19	0,20
<b>Alueellinen ja kaukokulkeuma</b>	3,38	2,93	2,96	2,93	2,96
<b>Yhteensä</b>	<b>5,6</b>	<b>4,6</b>	<b>4,7</b>	<b>4,5</b>	<b>4,6</b>

Laskelmissa ei ole mukana kotimaisia sekundäärisiä hiukkasia.

Nykytilanteessa suurimmat kuolleisuusvaikutukset aiheutuvat Suomessa pitkäaikaisesta altistumisesta pienpoltton ja katupölyn pienhiukkasille, kummastakin aiheutuu vuosittain noin 200 ennen aikaista kuolemaa (Taulukko 15). Tuloksia tarkasteltaessa on huomioitava, että itse lukuarvoihin sisältyy moniportaisen mallinnuksen ja epidemiologisen taustatiedon rajoitteiden vuoksi väistämättä runsaasti epävarmuutta. Eri lähteille on lisäksi käytetty samaa altistevastefunktiota, joten erot eri lähteistä peräisin olevien hiukkasten haitoissa Suomessa aiheutuvat suoraan eroista mallinnetussa altistumisessa. Eri lähteistä peräisin olevien hiukkasten toksisuudessa on todennäköisesti eroa, mutta tätä ei vielä nykytiedon perusteella pystytä määrällisesti arvioimaan.

Pienpoltton hiukkasten kuolleisuusvaikutus ei tulevaisuudessakaan vähene, kun huomioidaan väestöennusteet (väestönkasvu ja maan sisäinen muuttoliike). Katupölyn ja kategorian ”Muut lähteet” aiheuttamat kuolemat jopa lisääntyvät tulevaisuudessa. Altistumisen vähenemisen mukaisesti liikenteen pakokaasupäästöt lisäävät tulevaisuusskenaarioissa enää hyvin vähän kuolleisuutta. Pakokaasupäästöjen ja katupölyn terveyshaittojen kannalta WAM-skenaario on hieman parempi, muuten tulevaisuusskenaarioissa ei ole eroa. Pienhiukkasista aiheutuu kaikkiaan tulevaisuudessa hieman nykyistä vähemmän kuolemia.

**Taulukko 15. Kotimaisista päästölähteistä sekä alueellisesta ja kaukokulkeumasta peräisin olevien pienhiukkasten aiheuttamat ennenaikaiset kuolemat Suomessa vuonna 2015 sekä WEM- ja WAM-skenaarioissa vuonna 2030.**

	2015	WEM 2030		WAM 2030	
		Nykyinen väestö	Ennustettu väestö	Nykyinen väestö	Ennustettu väestö
<b>Energiantuotanto ja teollisuus</b>	9	7	8	7	8
<b>Pienpoltto</b>	205	186	208	186	208
<b>Tieliikenne</b>	77	11	13	10	11
<b>Työkoneet ja muu liikenne</b>	74	10	12	10	12
<b>Katupöly</b>	207	212	246	194	225
<b>Muut lähteet</b>	53	55	64	55	64
<b><u>Yhteensä</u></b>	<b>625</b>	<b>481</b>	<b>551</b>	<b>462</b>	<b>528</b>
<b>Alueellinen ja kaukokulkeuma</b>	961	834	931	834	931
<b><u>Kaikki Yhteensä</u></b>	<b>1586</b>	<b>1315</b>	<b>1482</b>	<b>1296</b>	<b>1459</b>

Laskelmissa ei ole mukana kotimaisia sekundäärisiä hiukkasia.

Suurin osa pienhiukkasiin yhdistyvistä terveyshaitoista aiheutuu pitkäaikaisesta, vuosia kestävästä altistumisesta. Pitkäaikainen pienhiukkasille altistuminen ei ole yhteydessä ainoastaan lisääntyneeseen kuolleisuuteen vaan myös kroonisista sydän- ja hengityselinsairauksista kärsimiseen ja moniin lievempiin haittoihin. Näiden osalta pienhiukkasille ei kuitenkaan ole olemassa yhtä luotettavia altiste-vastefunktioita, ja siksi vaikutuksia ei ole nyt arvioitu.

Lyhytaikaisen altistumisen kuolemaa vähäisempiä vaikutuksia arvioitiin laskemalla pienhiukkasten vaikutukset sairaaloissa rekisteröityihin, vähintään yön yli kestäneisiin hoitajaksoihin (Taulukko 16). Tulevaisuudessa pienhiukkasten aiheuttamien hoitajaksojen määrä vähenee WEM- ja WAM skenaarioissa kokonaisuudessaan hieman kuten kuolleisuuskin altistumisen vähentyessä. Lyhytaikainen altistuminen kotimaisista lähteistä peräisin oleville pienhiukkasille aiheuttaa suurin piirtein yhtä paljon sairaalahoitajaksoja kuin pitkäaikainen altistuminen kuolemia, tulevaisuudessa noin 500 vuosittain; noin puolet hoitajaksoista aiheutuu sydän- ja verisuonisairauksista ja puolet hengityselinsairauksista.



**Taulukko 16. Lyhytaikaisesta pienhiukkasille altistumisesta aiheutuvat sairaalahoidojaksot Suomessa vuonna 2015 sekä WEM- ja WAM-skenaarioissa vuonna 2030 (ennustettu väestö).**

	2015		WEM 2030		WAM 2030	
	Sydän- ja verisuonisairaudet	Hengityselinsairaudet	Sydän- ja verisuonisairaudet	Hengityselinsairaudet	Sydän- ja verisuonisairaudet	Hengityselinsairaudet
<b>Energiantuotanto ja teollisuus</b>	4	4	3	4	3	4
<b>Pienpoltto</b>	94	103	92	100	92	100
<b>Tieliikenne</b>	36	39	6	6	5	5
<b>Työkoneet ja muu liikenne</b>	35	38	5	6	5	6
<b>Katupöly</b>	97	105	110	120	100	110
<b>Muut lähteet</b>	25	27	29	31	29	31
<b>Yhteensä</b>	<b>291</b>	<b>316</b>	<b>245</b>	<b>267</b>	<b>234</b>	<b>256</b>
<b>Alueellinen ja kaukokulkeuma</b>	439	478	409	445	409	445
<b>Kaikki yhteensä</b>	<b>730</b>	<b>794</b>	<b>654</b>	<b>712</b>	<b>643</b>	<b>701</b>

Laskelmissa ei ole mukana kotimaisia sekundäärisiä hiukkasia.

## 7.8 Yhdyskuntarakenteen muutosten vaikutukset

*Mikael Hildén, Mika Ristimäki, Antti Rehunen, Niko Karvosenoja & Mikko Savolahti, SYKE ja Timo Lanki, THL*

Yhdyskuntarakenteen muutoksiin liittyy myös muita ympäristövaikutuksia kuin kasvihuonekaasupäästöjen väheneminen. Poliitiikkaskenaariossa (WAM) pyritään toimenpiteisiin, jotka luovat nykyistä paremmat edellytykset kehittää julkista ja kevyttä liikennettä ja vähentää erityisesti yksityisautojen liikennesuoritteita. Linjaukset luovat edellytyksiä säästää luonnonvaroja ja vähentävät erityisesti ilmansaasteita (Taulukko 17). Mahdolliset haitalliset vaikutukset liittyvät yhdyskuntarakenteen tiivistymisen kautta mm. viheralueisiin kohdistuviin paineisiin sekä paikoitellen lisääntyvään altistumiseen melulle ja ilmansaasteille. Viheralueet ovat tärkeitä kaupunkiympäristön viihtyvyydelle, mutta tämän lisäksi uudet tutkimukset viittaavat viheralueiden lähellä asumisen olevan yhteydessä parempaan terveyteen<sup>169</sup>. Tätä voivat selittää viherympäristöjen stressiä vähentävät ja virkistysliikuntaa lisäävät vaikutukset. Viheralueiden vähentyminen voi heikentää myös kaupunkien kykyä sietää ilmastonmuutosta, jolloin esim. helleaaltojen ja tulvien aiheuttamat haitat voivat lisääntyä<sup>170</sup>.

Ilmansaasteille ja melulle altistuminen voi lisääntyä merkittävästi alueilla, joissa asuinrakennukset sijoitetaan lähelle vilkkaita teitä. Vilkkaiden teiden lähellä asuminen on yhdistetty lukuisissa tutkimuksissa terveydentilan heikkenemiseen<sup>171,172</sup>. Vaikutusten merkittävyyteen

<sup>169</sup> Hartig T, Mitchell R, de Vries S, Frumkin H. (2014). Nature and health. *Annual Review of Public Health*, 35, 207-28.

<sup>170</sup> Depietri Y, Renaud FG, Kallis G. (2012). Heat waves and floods in urban areas: a policy-oriented review of ecosystem services. *Sustainability Science*, 7, 95-107.

<sup>171</sup> Hoffmann B, Moebus S, Kröger K, Stang A, Möhlenkamp S, Dragano N, Schmermund A, Memmesheimer M, Erbel R, Jöckel KH. (2009). Residential exposure to urban air pollution, ankle-brachial index, and peripheral arterial disease. *Epidemiology*, 20, 280-8.

<sup>172</sup> Lanki T, Hampel R, Tiittanen P, Andrich S, Beelen R, Brunekreef B, Dratva J, de Faire U, Fuks KB, Hoffmann B, Imboden M, Jousilahti P, Koenig W, Mahabadi AA, Künzli N, Pedersen NL, Penell J, Pershagen G, Probst-Hensch NM, Schaffner E, Schindler C, Sugiri D, Swart WJ, Tsai MY, Turunen AW,

vaikuttaa voimakkaasti suunnittelun käytännön toteutus sekä tekninen kehitys. Esimerkiksi autokannan nopea sähköistyminen vähentää sekä pakokaasupäästöjä että melua. Ilman-saasteiden kulkeutumista sisätiloihin esimerkiksi liikennealueilla voi vähentää tehostetulla ilmansuodatuksella, mutta tämä lisää jossain määrin energiankulutusta. Yhdyskuntarakenteen suunnittelulla voidaan vaikuttaa myös yhteiskunnallisen tasa-arvon toteutumiseen, ja samalla kasvihuonekaasupäästöihin ja muihin ympäristövaikutuksiin. Esimerkiksi julkisen liikenteen edellytysten varmistaminen suunnittelulla vaikuttaa palvelun saavutettavuuteen ja ihmisten liikkuvuuteen sekä ilman laatuun.

**Taulukko 17. Yhdyskuntarakenteeseen liittyvät ympäristövaikutukset**

Tarkasteltu toimenpide	Positiivisia ympäristövaikutuksia kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisen lisäksi	Mahdollisia haitallisia ympäristövaikutuksia
Maankäytön, asumisen, liikenteen, palvelujen ja elinkeinoyhteen sovittaminen kaupunkiseuduilla	Logistiikan kehittämisen edellytykset paranevat ja joukkoliikenteen osuus voi kasvaa mikä vähentää ilmansaasteita; jakamatalouden edellytysten parantaminen → luonnonvarojen säästyminen	Infrastruktuurin kehittäminen osittain nykyisten viheralueiden kustannuksella
Uuden rakentamisen ohjaaminen yhdyskuntarakenteessa jalankulku- ja joukkoliikenneväylykkeille	Autoajosuoritteen määrän väheneminen: yleisesti ottaen ilman laatu paranee ja liikennemelutasot alenevat	Tiiviiseen yhdyskuntarakenteeseen liittyen ilmansaasteille ja melulle altistuvien määrä voi paikoitellen kasvaa
Täydennysrakentamisen edistäminen sekä yhdyskuntarakenteellisesti hyvien sijaintien luominen ja hyödyntäminen uudisrakentamisessa	Yhä suurempi osa asuu alueella, jossa arkimatkat ovat lyhyempiä kuin tällä hetkellä keskimäärin ja jossa ne on mahdollista tehdä nykyistä enemmän jalkaisin, pyörällä tai joukkoliikenteellä. Joukkoliikenteen käyttöosuus kasvaa ja henkilöauton vähenee, mikä vähentää ilmansaasteita ja melua. Lisääntynyt kävely ja pyöräily tuovat terveyshyötyjä. Ikääntyneiden mahdollisuudet itsenäiseen asumiseen paranevat. Liikenteen tarvitsema maa-ala asukasta ja kerrosalaa kohden on vähäisempi. Infrastruktuurin rakentamisessa ja ylläpidossa kuluu vähemmän luonnonvaroja ja aiheutuu vähemmän päästöjä.	Kaupunkialueiden kasvun takia osa uudesta yhdyskunta-rakentamisesta tapahtuu nykyisille viheralueille. Tiiviiseen yhdyskuntarakenteeseen liittyvä ilmansaasteille ja melulle altistuvien määrä voi paikoitellen kasvaa. Viheralueisiin kohdistuvat paineet kasvavat, maankäyttökiisat mahdollisesti kärjistyvät, ja puunpolton sa- vuille altistuvien määrä voi lisääntyä.
Työpaikkojen ja palvelujen ohjaaminen keskuksiin, alakeskukseen ja hyvän palvelutason joukkoliikenteen solmukohtiin	Kestävien liikkumismuotojen käyttö lisääntyy, arjen sujuvuus paranee erityisesti autottomilla väestöryhmillä. Henkilöautojen ajosuoritteen määrä vähenee, jolloin ilman laatu paranee ja melun tuotanto vähenee. Kaupunkien keskusta-alueiden elävyys ja elinvoimaisuus paranevat.	Liikenteen solmukohdissa tapahtuva liikenteen määrän kasvu voi kumota osan ympäristöhyödyistä.
Edellytysten luominen kävelyn pyöräilyn ja joukkoliikenteen edistämistavoille sekä henkilöautojen käytön muutoksille	Myönteiset terveysvaikutukset liikunnan lisääntymisen kautta, ajoneuvosuoritteen määrän lasku → luonnonvarojen säästyminen Jalankulku- ja pyöräily- ympäristön viihtyisyyden sekä arjen sujuvuuden parantaminen, matka-ajan parempi hyödyntäminen, jakamatalouden kehittyminen, mm. henkilöautojen yhteiskäytön ja kimppakyytien määrän kasvu	
Yhdyskuntarakenteeseen vaikuttavat taloudelliset ohjauskeinot	Luonnonvarojen säästäminen, liikenteen päästöjen ja meluvaikutusten pienentäminen	

## 7.9 Muut ilmastotavoitteiden saavuttamisen keskeiset vaikutukset elinoloihin

*Mikael Hildén, Hanna Mela & Ari Nissinen, Syke ja Timo Lanki, THL*

Tähänastinen ilmastopolitiikka on muuttanut kansalaisten arkea vain vähän. Esimerkiksi siirtyminen energiasäästölamppuihin, autoveron hiilidioksidipäästöosuus, energiaverotuksen kehittyminen ja kotitalouksien energiansäästötoimenpiteet sekä jätehuollon kehittyminen ovat kaikki olleet pieniä muutoksia arjen käytännöissä. Yksilötasolla jotkut ovat tehneet merkittävämpiä muutoksia henkilökohtaisen elämänsä järjestämisessä, mutta väestötasolla muutokset ovat olleet verrattain pieniä. Merkkiä muutoksesta on, että luonnonvarojen kokonaiskäyttö henkeä kohden on tasaantunut vuoden 2006 jälkeen<sup>173</sup>.

Vuoden 2030 päästövähennystavoitteet ovat niin vaativat, että ilmastonmuutoksen hillintätoimilla voi olla myös merkittäviä ihmisten elinoloihin kohdistuvia vaikutuksia, mukaan lukien tuloeroja korostavia vaikutuksia, jos energian hinta nousee merkittävästi. Liikennekaari<sup>174</sup> voi potentiaalisesti muuttaa merkittävästi tapoja järjestää ja käyttää liikennepalveluita. Erityisesti jakamistalouteen sisältyy suuri sosiokulttuurinen muutos, jonka ymmärtäminen on tärkeää, jotta esimerkiksi autojen yhteiskäyttöä voitaisiin edistää. Yhteiskunnassa, jossa yksilön kokemus yhteisöllisyyden aste ja luottamus toisiin on korkea, edellytykset yhteiskäytölle ovat hyvät. Samaan suuntaan vaikuttaa arvojen muutos, jossa auton omistamista ei enää pidetä yhtä tavoiteltavana. Luottamuksen puute ja henkilökohtaisen valinnanvapauden korostaminen voivat sen sijaan ylläpitää ja jopa vahvistaa yksityisautojen asemaa. Eri väestöryhmät voivat olla hyvin erilaisessa asemassa sen suhteen, kuinka helposti he voivat osallistua jakamistalouteen tai kuinka tehokkaasti he voivat hyödyntää esimerkiksi liikennepalvelujen digitalisaatiota.

Onnistuessaan liikennekaaren tukemat jakamistalouden piirteet voivat vähentää liikenteen kielteisiä ympäristövaikutuksia kasvihuonekaasupäästöjen vähenemisen lisäksi, mutta vaikutusten toteutumiseen vaikuttavat uusien liikennepalveluiden ja ratkaisujen omaksumisen nopeus. Muutosten nopeus ja laajuus riippuvat muun muassa siitä, miten hyvin lainsäädännön, teknologisen muutoksen ja sosiokulttuuristen tekijöiden muutokset tukevat toisiaan. Liikennekaaren osalta on siten kyse myös siitä, miten hyvin esimerkiksi maankäytön ja rakennusten suunnittelu ja näitä koskeva sääntely ohjaa ratkaisuihin, jotka edistävät liikennekaaren tavoitteiden toteutumista.

Toinen elinoloihin suoraan vaikuttava ohjauskeinojen alue on rakentamiseen ja maankäyttöön liittyvä sääntely. Pientalojen energiamääräyksiin liittyen pientalojen energiakorjaukset saattavat jopa parantaa sisäilman laatua, jos samalla huolehditaan hyvästä ilmanvaihdesta. Myös ulkoa sisään kantautuvan melun määrä voi vähentyä. Uusien matalaenergiatalojen herkkyydestä kosteusvaurioille ja sitä kautta sisäilmaongelmille pitkän ajan kuluessa on toisaalta vain vähän tietoa.

Tuulivoimatuotannon lisääminen vähentää terveydelle haitallisia hiukkaspäästöjä niiltä osin kuin tuotannolla korvataan polttoaineiden käyttöä. Melupäästöjen haittavaikutusten ehkäiseminen vaatii kuitenkin huolellista suunnittelua. Uudet tuulivoimalat tulevat myös muuttamaan paikoitellen voimakkaasti maisemaa.

Tavoiteltujen energian ja luonnonvarojen säästötavoitteiden saavuttaminen edellyttää muutoksia käyttäytymisessä. Strategiassa on tavoitteena kehittää edelleen esim. asumisessa ja

<sup>173</sup> [www.findikaattori.fi/fi/88](http://www.findikaattori.fi/fi/88)

<sup>174</sup> Hallituksen esitys liikennekaareksi ja eräksi siihen liittyviksi laeiksi (2016). HE 161/2016 vp.

ravitsemuksessa käytössä olevia ohjauskeinoja. Punaisen lihan osuuden vähentyminen ruokavaliossa paitsi edistäisi ilmastotavoitteita, myös johtaisi terveyshyötyihin kuten syöpien ja sydän- ja verisuonitautien vähenemiseen. Muutoksia käyttäytymisessä edellyttää myös vedenkulutuksen väheneminen, sillä esimerkiksi asuntokohtaisten vedenkulutusmittareiden edellyttäminen uusissa rakennuksissa ja putkistosaneerausten yhteydessä ei automaattisesti johda asukkaiden vedenkulutuksen vähenemiseen. Teknologisen muutoksen edistäminen lainsäädännön kautta edellyttää tuekseen sosiokulttuurisia muutoksia, jotka tukevat ohjauskeinojen vaikuttavuutta. Esimerkiksi omaksutut käytännöt taloyhtiöissä voivat muuttua hitaasti estäen kulutusperusteisen laskutuksen. Yksittäisten asukkaiden osuus ohjauskeinojen toimeenpanossa on usein ratkaiseva, jolloin asukkaiden tottumukset, arvot ja tiedon taso ovat merkittävässä asemassa.

Energia- ja ilmastotavoitteiden saavuttaminen kulutuskäyttäytymisen tuella edellyttää asukkailla aktiivista energiakansalaisuutta, kun taas asukkaat itse ovat pikemminkin tottuneet pitämään itseään energian kuluttajina, eikä aktiivisempi energiakansalaisen rooli ole ollut mahdollinen tai siihen ei ole kannustettu. Energiakansalaisuuden edistäminen edellyttää, että ilmastomuutoksen hillintätoimenpiteiden toimeenpanossa kiinnitetään huomiota myös elinolojen muutoksiin ja muutoksia edistävään ohjaukseen ja sen voimavaroihin.

Yleisesti voidaan todeta, että vuoden 2030 ja sen jälkeiset päästövähennystavoitteet edellyttävät monilta osin kansalaisilta uudenlaista käyttäytymistä, joka tukeutuu muuttuviin elinoloihin. Uusien käytösmallien nopea omaksuminen edellyttää kuitenkin sosiokulttuurisia muutoksia, ja näitä muutoksia tulisi edistää ohjauksen kehittämisen rinnalla, jotta ohjauskeino olisi vaikuttava. Ohjauksen onnistumisen seurannassa tulisi myös seurata ja arvioida elinolojen muuttumisen merkitystä.

## **7.10 Strategian ympäristövaikutusten seuranta**

*Mikael Hildén ja Sampo Soimakallio, Syke*

Energia- ja ilmastostrategian ja keskipitkän aikavälin ilmastosuunnitelmaan kuuluu lukuisia erilaisia toimenpiteitä, joilla voi toteutuessaan olla monenlaisia enemmän ja vähemmän merkittäviä, paikallisia tai globaaleja vaikutuksia. Lisäksi toimenpiteet myös vaikuttavat toisiinsa. Strategialla ja suunnitelmalla on todennäköisesti myös dynaamisia vaikutuksia, joiden seurauksena nousee esiin uusia ratkaisuja, joilla on edelleen vaikutuksia sekä kasvihuonekaasupäästöihin että muihin ympäristövaikutuksiin. Vaikutusten arviointiin liittyy monenlaista epävarmuutta, josta osa aiheutuu linjausten ja toimenpiteiden toteutukseen liittyvästä epävarmuudesta. Tulevien vaikutusten arvioinnin luotettavuutta voidaan parantaa toteutuneiden vaikutusten luotettavalla seurannalla.

EU:n ja kansainväliset raportointivelvoitteet (EU:n direktiivien ja asetusten mukaiset raportoinnit sekä ilmastosopimuksen ja Montrealin pöytäkirjan mukaiset raportoinnit) takaavat tietyn perustiedon keruun toimenpiteistä. Virallinen seuranta ei kuitenkaan edellytä muutoksia selittävien tekijöiden analysointia eikä kerrannaisvaikutusten arviointia. Tämän vuoksi olisi oleellista tarkastella toimenpidekohtaisesti todennäköisesti merkittävimpiä vaikutuksia riittävän monipuolisesti ja varmistaa, että toimenpiteiden toimeenpanon yhteydessä kerätään sellaista tietoa, joka mahdollistaa arvioiden laatimisen ja päivittämisen. Tämä edellyttää käytännössä systemaattista seuranta- ja arviointia, jossa selvitetään:

1) Toteutuvatko linjaukset ja toimenpiteet suunnitelman olettamassa muodossa ja laajuudessa. Kuinka paljon voimavaroja toteutukseen käytetään?

2) Muuttavatko linjaukset ja toimenpiteet kasvihuonekaasupäästöjä aiheuttavia käytäntöjä ja rakenteita jollakin tavalla (tapahtuuko käytännöissä tunnistettava muutos, laajenevatko/supistuvatko käytännöt joiltakin osin)?

3) Opitaanko linjausten ja toimenpiteiden toimeenpanosta jotakin niin, että voidaan tehostaa sitä osaa toiminnasta, joka oletettavasti vähentää kasvihuonekaasupäästöjä?

4) Havaitaanko absoluuttisissa kasvihuonekaasupäästöissä, nieluissa, järjestelmien ominaispäästöissä tai epäsuorissa päästöissä muutoksia? Onko tavoiteltu päästökehitys kiihtyvää vai tasaantuvaa?

5) Havaitaanko muutoksia linjauksiin ja toimenpiteisiin liittyvissä muissa mahdollisissa ympäristövaikutuksissa (luonnonvarojen käyttö, ympäristön pilaantuminen/suojelu, luonnon monimuotoisuus, terveys, elinolot)? Ovatko muutokset ennako-oletusten suuntaisia ja suuria?

6) Mitkä muut tekijät vaikuttavat linjausten ja toimenpiteiden toteutukseen ja niiden edellytyksiin muuttamalla käytäntöjä ja rakenteita?

Seurannan erityisenä tehtävänä on kannustaa oppimisprosessiin, joka auttaa tunnistamaan ja ottamaan huomioon eri tekijöiden positiiviset ja negatiiviset takaisinkytkennät sekä eri ympäristövaikutusten väliset kytkennät. Silloin seuranta myös tukee synergiahyötyjen vahvistamista haitallisia vaikutuksia vähennettäessä.

Seurannassa on myös otettava huomioon, että erilaiset ulkoiset olosuhteet muuttavat jatkuvasti haasteita ja mahdollisuuksia myös ilmastonmuutoksen hillinnässä. Tekniset ja yhteiskunnalliset innovaatiot voivat muuttaa eri linjausten ja toimenpiteiden merkitystä ja edellytyksiä saavuttaa haluttuja muutoksia rakenteissa ja käytännöissä. Kehityssuunta voi muuttua nopeasti, jos esimerkiksi uudet teknologiset ratkaisut yleistyvät ennakoitua nopeammin tai jos yleinen poliittinen ja taloudellinen kehitys muuttuu merkittävästi. Tämän takia on olennaista seurata ennakoitujen (ja vielä ennakoimattomien) vaikutusten kehittymistä, jotta ymmärrettäisiin paremmin toteutuvaa kehitystä ja tunnistettaisiin ne kriittiset tekijät, joiden osalta linjausten muuttaminen tai tarkentaminen voisi olla perusteltua. Tämä edellyttää edustavien seurantaparametrien valintaa eri sektoreilta sekä edellä esitettyä johdonmukaista tiedon keruuta niistä linjausten toimeenpanon aikana. Lisäksi tarvitaan seurantaparametreista kertyvien tulosten säännöllistä ja riittävää monipuolista arviointia.

## 8. JOHTOPÄÄTÖKSET

TIINA KOLJONEN & TOMI J. LINDROOS, VTT, SAMPO SOIMAKALLIO,  
SYKE JA ANTTI ASIKAINEN, LUKE

Energia- ja ilmastostrategian vaikutusarvioiden keskeinen johtopäätös on, että esitetyillä linjauksilla Suomi voisi saavuttaa sekä EU:n asettaman taakanjakosektorin päästövähennystavoitteen että Sipilän hallitusohjelmaan kirjatut tavoitteet uusiutuvan energian lisäämisestä, fossiilisten polttoaineiden käytön vähentämisestä ja energian hankinnan omavaraisuudesta. Merkittävimmät epävarmuudet kohdistunevat kotimaisen toisen sukupolven biojalostamokapasiteetin kehittymiseen riittävässä määrin ja riittävän ajoissa, jotta uusiutuvan energian, tuontiöljyn puolitus päästötavoitteet saavutetaan. Myös EU:n metsien hiilinielulle asettama vertailutaso on Suomelle tärkeä, koska puunkäytön lisääntyessä hiilinielu pienenee ja vertailutaso määrittää mahdollisen laskennallisen lisätaakan tai lisähyvityksen. Kivihiilestä luopuminen asettaa haasteita kaupunkien CHP-tuotannolle. Toisaalta uusiutuvan energian 50 %:n tavoitteen saavuttaminen edellyttää, että jatkossakin panostetaan kaikkiin uusiutuviin energiamuotoihin.

### Kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen

Suomen päästövähennystavoite vuodelle 2020 on taakanjakosektorilla 16 % vuoteen 2005 verrattuna ja vastaava tavoite vuodelle 2030 on EU:n komission heinäkuussa 2016 antaman ehdotuksen mukaan 39 %<sup>175</sup>. Vaikutusarvioiden laskelmissa oletettiin, että Suomi hyödyntää täysimääräisesti ehdotettua one-off -joustokeinoa (2 %/vuosi) ja muiden joustokeinojen yhteisvaikutus on neutraali. Täten vaikutusarvioiden yhtenä keskeisenä lähtökohtana oli taakanjakosektorin 37 % päästövähennystavoite vuoteen 2030 mennessä.

TIMES-VTT-mallitulosten mukaan WEM-skenaariossa taakanjakosektorin päästöt olisivat noin 26 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. vuonna 2030, kun joustoilla korjattu tavoitetaso on 21 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. Energia- ja ilmastostrategian WEM-päästöuraan verrattuna TIMES-malli päättyy hieman alhaisimpiin KHK-päästöihin vuonna 2030, koska laskelmissa otetaan käyttöön kaikki kustannustehokkaat toimet.

Tarkasteltaessa taakanjakosektorin KHK-päästöjen kehitystä sektoreittain huomataan, että Energia- ja ilmastostrategian perusuran ja TIMES-VTT-mallin laskemien KHK-päästövähennysten välillä on pieniä eroavuuksia. Lisätoimien vaikutuksista suurin epävarmuus kohdistuu liikennejärjestelmän energiatehokkuuden parantamiseen ja sitä kautta saataviin päästövähennyksiin. Niiden arvioitiin voivan olla jopa noin 1 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. vuodessa, mutta laskelmissa käytetyt oletukset johtavat hieman varovaisempaan, 0,7 Mt CO<sub>2</sub>-ekv.:n päästövähennykseen. Laskelmissa ainoa ajoneuvojen energiatehokkuuden parantamiseen kohdistuva lisätoimi WAM-skenaariossa oli vähäpäästöisiin käyttövoimiin perustuvien ajoneuvojen lisäys. Muu ajoneuvojen tehostuminen oli huomioitu jo WEM-skenaariossa.

### Uusiutuvan energian käytön lisääminen

TIMES-VTT-mallilaskelmien mukaan uusiutuvan energian osuus kasvaisi jo vuonna 2020 noin 43 %:iin energian loppukulutuksesta, mikä on reilusti yli EU:n Suomelle asettaman 38 %:n tavoitteen. Vuoteen 2030 mennessä uusiutuvan energian osuus kasvoi mallilaskelmissa

<sup>175</sup> European Commission (2016). Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council on the inclusion of greenhouse gas emissions and removals from land use, land use change and forestry into the 2030 climate and energy framework and amending Regulation No 525/2013 of the European Parliament and the Council on a mechanism for monitoring and reporting greenhouse gas emissions and other information relevant to climate change. COM(2016) 479 final.

46 %:iin WEM- ja 50 %:iin WAM-skenaariossa, eli hallitusohjelman tavoite nostaa uusiutuvan energian osuus 50 %:iin 2020-luvun aikana saavutettiin niukasti WAM-skenaariossa.

Tulosten mukaan uusiutuvista energialähteistä eniten kasvaa puuperäisen bioenergian käyttö ja käytön lisäys kohdistuu voimakkaimmin metsähakkeeseen ja metsäteollisuuden jäteliemiin. Kotimaisen metsähakkeen kokonaiskäyttö on TIMES-VTT-mallilaskelmien WEM-skenaariossa 12,7 milj. m<sup>3</sup> ja WAM-skenaariossa 14,2 milj. m<sup>3</sup> vuonna 2030, joten WAM-skenaariossa lisäkäyttö nousee runsaat 1,5 milj. m<sup>3</sup> suuremmaksi. Biopoltonesteiden tuotanto nousee skenaarioissa metsähakkeen merkittäväksi uudeksi käyttökohteeksi. Puuraaka-aineen käyttö biopoltoainejalostamoiden raaka-aineena kasvaa WAM-skenaariossa lähes 5 milj. m<sup>3</sup>:iin vuonna 2030, mutta puun kokonaiskäyttöön nähden määrä on kuitenkin verrattain pieni. Kotimaisen metsähakkeen kokonaiskäyttö nousee 28,4 TWh:iin WAM-skenaariossa vuonna 2030.

Uusiutuvan sähköntuotannon osalta kasvaa erityisesti aurinkosähkön tuotanto, joka mallilaskelmien mukaan olisi noin 2 TWh vuonna 2030. Aurinkosähköntuotannon kehitykseen liittyy kuitenkin merkittävää epävarmuutta ja tuotannon kasvu voi olla arvioitua nopeampaa. Tuuli-voiman kehitys sen sijaan hidastuu, kun tuotantotuki uusille voimaloille poistuu, mutta toisaalta ilman WAM-skenaariossa oletettua 2 TWh:n tuuli-voiman lisäystä hallitusohjelman 50 %:n uusiutuvan energian tavoitetta ei olisi saavutettu.

### **Liikenteen uusiutuvan energian lisääminen**

Hallitusohjelman tavoitteena on lisätä uusiutuvan energian osuutta 40 %:in liikenteen loppuenergiasta. Strategiassa linjattu tieliikenteen polttoaineen bio-osuuden kasvattaminen 30 %:n myydystä polttoaineesta ja lisäksi kaasu- ja sähköautoille asetetut tavoitteet kasvattavat laskelmien mukaan yhteisesti tieliikenteen uusiutuvan energian osuuden noin 32 %:in WAM-skenaariossa. Liikenteen biojalosteesta merkittävä osa on kehittynyttä ns. toisen sukupolven biojalostetta. Mikäli kehittyneelle biojalosteelle sovelletaan ns. tuplalaskentaa, jossa biojalosteen energiamäärä voidaan laskea kaksinkertaisena, hallitusohjelman tavoite ylitetään reilusti.

### **Energian hankinnan omavaraisuuden lisääminen**

Hallitusohjelman tavoitteena on lisätä energiaomavaraisuutta 55 %:in. Energiaomavaraisuutta koskeva kansallinen tavoite lasketaan uusiutuvan energian, turpeen, kierrätyspolttoaineiden ja teollisuuden reaktiolämmön perusteella. Koska mallilaskelmien mukaan turpeen energiakäyttö ei lisääntyisi vaan pikemminkin hitaasti vähenisi, omavaraisuuden kasvu katetaan pelkästään uusiutuvan energian, kierrätyspolttoaineiden ja energiatehokkuuden avulla. Laskelmien mukaan omavaraisuustavoite ylitetäisiin vajaalla prosentilla WAM-skenaariossa, kun WEM-skenaariossa tavoite jää noin 3 %-yksikköä alle tavoitteen.

### **Tuontiöljyn energiankäytön puolittaminen**

Hallitusohjelman tavoitteena on puolittaa tuontiöljyn käyttö kotimaan tarpeisiin 2020-luvun aikana ja verrattuna vuoden 2005 käyttöön. Tuontiöljyn käytöllä tarkoitetaan fossiilisen moottoribensiinin, dieselin, lentobensiinin, kerosiinin sekä kevyen ja raskaan polttoöljyn kokonaisuutena. Mallilaskelmien mukaan WAM-skenaariossa öljyn käyttö vähenisi niukasti yli 50 %:n tavoiterajan, kun WEM-skenaariossa öljyn käyttö vähenisi 39 %.



## Kivihiilen energiakäytöstä luopuminen

Kivihiiltä käytetään energiantuotannossa lähinnä lauhdesähkön ja kaukolämmön tuotantoon. Käytön määrä on vaihdellut huomattavasti lauhdesähkön tuotannon kilpailukyvyn mukaan, mikä johtuu pitkälti vuosittaisista sääolosuhteista, eli lähinnä vesivoimantuotannon määrästä Pohjoismaissa ja toisaalta sähkön kysynnästä lähinnä talviaikaan. Kokonaiskäyttö on kuitenkin selvästi laskenut ja kivihiilikäyttöisiä lauhdevoimalaitoksia on poistettu käytöstä.

Mallilaskelmissa kivihiilen käyttöä ei täysin kielletty, vaan kivihiilen käyttö sallittiin varapolttoaineena myös WAM-skenaariossa. Ilman lisätoimia kivihiilen käyttö laski WEM-skenaariossa tasolle 5 TWh vanhan kivihiililaitoskannan poistuessa käytöstä. WAM-skenaariossa monipolttoainekattiloissa sallittiin bio-osuuden kasvattaminen noin 100 prosenttiin ja lisäksi puuperäisen biopolttoaineen tuonti rannikon CHP-laitoksille. WAM-skenaariossa kivihiilen käyttö laski näillä oletuksilla noin 2 TWh:in vuonna 2030.

## Vaikutukset puun riittävyteen

Energia- ja ilmastostrategian perusskenaariota (WEM) vastaavan hakkuulaskelman mukaan vuoteen 2035 mennessä runkopuun vuotuinen kertymä kasvoi n. 80 milj. m<sup>3</sup>:iin ja pysyi tällä tasolla tarkastelujakson loppuun. Runkopuun hakkuukertymä nousi näin samalle tasolle kuin Kansallisessa metsästrategiassa vuodelle 2025 asetettu 80 milj. m<sup>3</sup>/v tavoite. Samoin energia- ja ilmastostrategian perusskenaariosta johdettu puunkäyttö vastasi hallitusohjelmassa asetettua tavoitetta lisätä vuotuista puun käyttöä 15 milj. m<sup>3</sup>:llä. Energia- ja ilmastostrategian kotimaista puunkäyttöä vastaavan hakkuulaskelman vuosittaisesta runkopuukertymästä teollisuuden ainespuuta (tukkia ja kuitua) oli 68 milj. m<sup>3</sup> ja metsähakkeena ja kotitalouksien polttopuuna käytettävää runkopuuta yhteensä 12 milj. m<sup>3</sup>. Teollisuuden ainespuukertymästä tukkia oli hieman yli 28 ja kuitua vajaat 40 milj. m<sup>3</sup>/v.

Energia- ja ilmastostrategian perusskenaariossa arvioidaan, että vuonna 2030 metsähakkeella tuotettaisiin sähköä ja lämpöä 29 TWh. Tämä vastaa noin 14,5 milj. m<sup>3</sup> metsähaketta. Lisäksi strategiaa varten tehtyjen taustaselvitysten perusteella puubiomassan käyttö liikenteen biopolttoaineiden valmistuksessa voi asettua välille 3–4 milj. m<sup>3</sup>/v. Vaikka suurin osa puupolttoaineista saadaan, kuten nykyisin, puunjalostuksen sivuvirroista (mäntyöljystä, mustalipeästä, kuoresta ja puruista), niin metsähakkeen kokonaiskäyttö voi nousta sähkön, lämmön ja erilaisten nestemäisten biopolttoaineiden tuotannossa tasolle 14–18 milj. m<sup>3</sup>/v. Energia- ja ilmastostrategiaa varten tehtiin lisälaskelmat, jossa metsähakkeen käyttö nousi 15 ja 17 milj. m<sup>3</sup>:iin vuodessa. Metsähakkeen lisäys (1,5 tai 3,5 milj. m<sup>3</sup>/v) koostui laskelmaratkaisuissa pääosin kuitupuukokoisesta runkopuusta, jolloin runkopuun hakkuukertymä kasvoi vastaavasti noin 81 ja 82,5 milj. m<sup>3</sup>:iin vuodessa.

TIMES-VTT-mallin tulosten mukaan metsähakkeen käyttö vuonna 2030 olisi WEM-skenaariossa 13,4 milj. m<sup>3</sup>/v ja WAM-skenaariossa 14,9 milj. m<sup>3</sup>/v. WEM-skenaariossa kokonaiskäytöstä lämmön ja sähkön tuotantoon ohjautuisi 12,1 milj. m<sup>3</sup>/v ja biopolttonesteiden tuotantoon 1,3 milj. m<sup>3</sup>/v. WAM-skenaariossa vastaavat luvut ovat 11,1 milj. m<sup>3</sup>/v ja 3,8 milj. m<sup>3</sup>/v. Kokonaiskäyttömäärästä ulkomaista alkuperää olisi WEM-skenaariossa TIMES-tulosten perusteella 1,0 milj. m<sup>3</sup>/v ja WAM-skenaariossa 1,1 milj. m<sup>3</sup>/v. Mikäli ainespuun mitat täyttävä puu jätettäisiin pääosin potentiaalın ulkopuolelle (potentiaali Pienpuu, < 10,5 cm), olisi pienpuutase valtakunnan tasolla TIMES-WEM-skenaariossa 2,4 milj. m<sup>3</sup>/v ja WAM-skenaariossa 3,1 milj. m<sup>3</sup>/v alijäämäinen, ja maakuntatasolla ainoastaan Pohjois-Karjalassa, Kainuussa ja Lapissa ylijäämäinen (WAM-skenaariossa myös Lappi alijäämäinen). Jos pienpuun kysyntä siis nousee tässä ennakoidulle tasolle, korvautuu puuttuva määrä kuitupuumittaisen puun

käytöllä tai tuonnilla. Toisaalta jakeiden suhteet perustuvat menneisiin käyttömääriin, joten myös jakeiden välillä voi tapahtua siirtymää.

### Vaikutukset nieluihin

Suomen metsät ovat olleet huomattava hiilinielu, joka vuositasolla on vastannut 30–60 % Suomen kokonaispäästöistä. Kioton pöytäkirjassa Suomelle vuosille 2013–2020 asetettu hiilinielun vertailutaso on n. 20 milj. t CO<sub>2</sub>-ekv./v. Kasvihuonekaasuinventaarin mukainen Suomen metsien hiilinielu oli vuosina 2013–2014 vielä 27,7 milj. t CO<sub>2</sub>-ekv., joten Kioton pöytäkirjan vertailutaso pystyttäneen täyttämään viime vuosien kohonneista hakkuista huolimatta. Hakkuulaskelmien mukaan metsien hiilinielu laskee tasolle 13,5 milj. t CO<sub>2</sub>-ekv./v vuosina 2025–2034, kun energia- ilmastostrategiassa ennakoitujen investointien mukaiset runkopuun hakkuut toteutuessaan nousevat vuoteen 2035 mennessä 80 milj. m<sup>3</sup>:iin/v ja olettaen metsähakkeen käyttö TIMES-WEM-arvion mukaan 13,4 milj. m<sup>3</sup>/v. Uutta vertailutasoa vuoden 2020 jälkeen ole vielä määritelty, mutta nykyinen taso saavutettaisiin uudelleen vuoden 2035 jälkeen, mikäli hakkuutaso ei vuoden 2030 jälkeen kasvaisi. Metsähakkeen käytön lisäys 15 ja 17 milj. m<sup>3</sup>:iin vuodessa verrattuna 13,5 milj. m<sup>3</sup>:n tasoon vähensi metsien hiilinielua vuoteen 2035 mennessä vastaavasti 1,5–3,5 milj. t CO<sub>2</sub>-ekv. Strategian WAM-skenaariossa arvioitiin metsähakkeen maksimikäytöksi noin 18 milj. m<sup>3</sup>:iin, jolloin metsien vuosittainen hiilinielu vuosina 2025–2034 olisi noin 10 Mt CO<sub>2</sub>-ekv./v.

### Vaikutukset valtion- ja kansantalouteen

WAM-skenaarion tavoitteiden toteuttaminen vaikuttaa taloudelliseen ohjaukseen ja valtiontalouteen. Energiankulutuksen kasvun hidastuminen ja painottuminen uusiutuvaan energiaan vaikuttaa kansantaloudellisessa tarkastelussa valtiontalouteen ennen kaikkea polttoaineverokertymän kautta, sillä biopolttoaineiden verotus on fossiilisia kevyempää. Myös uusien autojen myynti muuttuu perinteisiä kalliimpien sähköautojen, hybridien ja kaasautojen osuuden kasvaessa. Biojalostamot taas vaativat tarkastelussa ainakin ajoittain investointitukia. Nämä vaikutukset valtiontalouteen neutraloidaan tarkastelussa olettamalla muun hyödykeverotuksen – käytännössä arvonlisäveron – kiristyvän ja kattavan ympäristöperustaisen ohjauksen kautta syntyvän alijäämän. WAM-skenaario on siis budjettineutraali.

WAM-skenaariossa kansantuote jää vuonna 2030 noin 0,6 prosenttia WEM-skenaariota pienemmäksi. Vaikutus syntyy yksityisen kulutuksen ja investointien laskusta WEM-skenaarioon verrattuna ja ulkomaankaupan hidastumisesta. Suuri osa vaikutuksista kansantuotteeseen syntyy viennin supistumisesta, mikä heijastaa toimenpiteiden vaikutusta kotimaiseen kustannustasoon. Toisaalta tuontikin supistuu, mikä kasvattaa kansantuotetta. Työllisyys on 0,15 WEM-skenaariota alempana – mutta kasvaa siis edelleen yli kolme prosenttia vuoteen 2015 verrattuna. Investoinnit laskevat WEM-skenaarioon verrattuna vajaan prosentin vuoteen 2030 mennessä. Yksityinen kulutus laskee noin 0,4 prosenttia WEM-skenaarioon verrattuna, pääasiassa ostovoimaa heikentävän liikennepolttoaineiden ja autojen keskihinnan nousun vuoksi. Kotimaisen hintatason nousu heikentää viennin kilpailukykyä ja laskee vientiä toista prosenttia WEM-skenaarioon verrattuna, mutta vuoteen 2015 verrattuna kasvu on edelleen yli 40 prosenttia. WAM-skenaarion toimenpiteet muuttavat sekä kysynnän että tuotannon rakennetta WEM-skenaarioon verrattuna. Muutokset eivät kuitenkaan ole kovin dramaattisia.

Energian ja liikenteen merkitys vaihtelee toimialojen lisäksi myös alueellisesti sekä toimialarakenteen että kulutusrakenteen alueellisten erojen vuoksi. Pelkästään tällä perusteella on mahdollista arvioida karkeasti WAM- ja WEM-skenaarioiden vaikutusta alueelliseen koko-

naistuotantoon. Alueelliset erot eivät ole kovin suuria, kokonaistuotanto laskee kaikissa maakunnissa noin 0,4 – 0,6 prosenttia WEM-skenaarioon verrattuna.

## Ympäristövaikutusten (SOVA) keskeiset tulokset

Strategian linjaukset vaikuttavat toteutuessaan erikseen ja yhdessä muiden politiikkatoimien kanssa ilmastonmuutokseen, luonnon monimuotoisuuteen ja vesistöihin, ilmansaasteisiin sekä ihmisten terveyteen ja elinoloihin. Puunkäytön lisääntymisen seurauksena pienentyvä metsien hiilinielu aiheuttaa sen, että päästöjen ja nielujen yhteenlaskettu vaikutus ilmakehän hiilidioksidipitoisuuteen pysyy suurin piirtein nykytasolla 2030 saakka. On erittäin todennäköistä, että nieluihin kiinnitetään globaalisti kasvavaa huomiota Pariisin sopimuksen tavoitteiden saavuttamiseksi, mikä korostaa nielujen tulevan kehityksen merkitystä myös Suomessa. Puunkäytön lisäyksen vaikutukset luonnon monimuotoisuudelle ja vesistöihin riippuvat siitä, miten lisähakkuut toteutetaan, minkälaisiin jakeisiin energiapuun korjuu kohdentuu ja minkälaisia toimenpiteitä haitallisten vaikutusten ehkäisemiseksi toteutetaan. Ilmansaasteiden päästöjen arvioidaan vähentyvän merkittävästi vuoteen 2030 mennessä yhdessä muiden jo päätettyjen politiikkatoimien ansiosta. Puun pienpolton pienhiukkaspäästöt eivät kuitenkaan vähene strategiassa esitetyillä toimenpiteillä. Linjaukset luovat paineita kehittää elinoloja ja -tapoja, joiden seurauksena kasvihuonekaasupäästöt liikkumisessa ja asumisessa sekä muussa kulutuksessa vähenevät. Linjausten käytännön toteutuksen yksityiskohdat määräävät, mitä hyvinvointivaikutuksia niillä on eri väestönryhmissä.

## Vaikutusarvioiden epävarmuuksia ja lisätutkimustarpeet

On selvää, että tulevaisuuden ennakointi ja etenkin laskennalliset arviot kehityksestä sisältävät merkittävää epävarmuutta. Tässä raportissa esitetyt vaikutusarviot perustuvatkin parhaaseen tietoon, mikä on ollut käytettävissä arvioita laadittaessa. Olisikin suositeltavaa, että eri laskelmia ja arvioita päivitetäisiin riittävän usein, jotta esimerkiksi seuraavan hallituksen laatimaa energia- ja ilmastostrategiaa varten olisi jo pitkäjänteisesti kerätty poliittista päätöksentekoa tukevaa taustatietoa. Toisaalta myös laatimalla arvioita jo tehtyjen päätösten vaikutuksista (eli ns. ex-post-analyysit) voimme oppia sekä hyvistä että huonommista päätöksistä ja niiden vaikutuksista toteutuneeseen kehitykseen.

Energia- ja ilmastostrategian linjaukset johtavat merkittävässä määrin kotimaisen puuperäisen raaka-aineen käyttöön energian ja liikenteen polttoaineiden hankinnassa. Toisaalta EU:n direktiivit sisältävät kiristyviä kestävyyskriteereitä ja esimerkiksi ehdotus uudeksi uusiutuvan energian direktiiviksi<sup>176</sup> sisältää sitovat EU-tason kestävyyskriteerit myös kiinteille biomassoil- le. Kestävyyskriteerit koskevat jatkossa kiinteiden biomassojen - eli esimerkiksi metsähakkeen - käyttöä sähkön, lämmön ja nestemäisten biopolttoaineiden tuotannossa. Nykyisin voimassa olevassa direktiivissä kriteerit ovat koskeneet vain liikenteen biopolttoaineita ja muita bionesteitä. Suomen näkökulmasta yksi keskeinen kysymys on, millaisia käyttörajoituksia kriteereistä aiheutuu turvemailla kasvaville metsille. Myös maankäytön, eli LULUCF-sektorin (land use, land use change and forestry), käsittely EU:n ilmasto- ja energiapaketissa on vielä kesken. Hiilinielujen pienenemisen merkitys Suomen päästövelvoitteiden täyttämässä ja kansantaloudessa riippuu voimakkaasti LULUCF-asetuksen lopullisesta muodosta.

Taakanjakosektoriin sisältyvä osa teollisuudesta ja energiatuotannosta kattaa lukuisan joukon toimialoja ja toimijoita, joiden päästöistä ei ole saatavilla tarkkaa tilastointia, ja joiden osalta ei muutenkaan ole saatavissa tuoretta analyysiä erityisesti liittyen KHK-päästöjen vähennyspo-

<sup>176</sup> European Commission (2016). Proposal for a directive of the European Parliament and of the Council on the promotion of the use of energy from renewable sources (recast). COM/2016/0767 final - 2016/0382 (COD).

tentiaaleihin ja kustannuksiin. Näin ollen kyseisiä päästövähennyspotentiaaleja on voitu arvioida tässä työssä ainoastaan karkealla tasolla. Epävarmuuksien vähentämiseksi taakanjakosektoriin kuuluvan teollisuuden ja energiantuotannon päästöjä sekä niiden vähennyspotentiaaleja olisi jatkossa selvitettävä tarkemmin.

Energiatehokkuutta on puolestaan tarkasteltu useissa sektorikohtaisissa selvityksissä, mutta kokonaisvaltaista eri energiankäyttösektoreiden ylittävää sekä erityisesti tulevaisuuden kehitystä arvioivaa tietoa on hyvin vähän. Olisi siten suotavaa myös selvittää energiatehokkuuden merkitystä ja potentiaalia toisaalta laajemmin, mutta myös tarkentaen aiempia selvityksiä.

Merkittävää epävarmuutta liittyy myös uusien teknologioiden kehitykseen. Esimerkkeinä mainittakoon kehittyneiden biojalostamoiden kaupallistuminen, aurinkoenergian laajamittainen läpimurto, tuulivoimainvestoinnit Suomessa vuoden 2022 jälkeen, sähköautojen markkinaosuuden kasvu ja energian varastoinnin kehitys. Vielä suurempi epävarmuus liittyy kuitenkin kuluttajien käyttäytymiseen, hyväksyttävyyteen, ja yleisesti sosiaaliseen muutokseen, jonka vaikutuksia on äärimmäisen vaikea arvioida. Tiedon määrä kuitenkin kasvaa etenkin kansainvälisissä tutkimuksissa, joita tulisi myös hyödyntää jatkossa energia- ja ilmastostrategian laadinnassa.

Suuria odotuksia on yleisesti asetettu Suomen cleantech-viennin kasvuun, jota tehdyt energia- ja ilmastopoliittiset linjaukset ja päätökset voisivat osaltaan kiihdyttää. Esimerkiksi tämän tutkimuksen osalta on huomattava, että koska WEM-skenaariossa oletetaan muiden EU-maiden tavoittelevan 2030 tavoitteita, ei vienti WAM-skenaariossa saa vetoapua maailmanmarkkinahintojen noususta ja siten kotimaisten politiikkatoimien vaikutuksia vientiin on vaikea arvioida. Kattavan ja läpinäkyvän arvion laadinta vaatisikin monitieteellistä ja riittävän laaja-alaista tutkimusta sekä tutkimusmenetelmien kehittämistä.

Vaikutusten arvioinnin tulokset ovat aina riippuvaisia valitusta vertailukohdasta, eli perusurasta, jonka osalta tehdään harvoin vaihtoehtoisia skenaarioita tai herkkyystarkasteluja. Poliitik-kaskenaarioiden osalta esitetään usein herkkyystarkasteluja esimerkiksi teknologisen kehityksen suhteen, vaikka merkittävää epävarmuutta liittyy esimerkiksi teollisen ja yhdyskuntarakenteen, väestökehityksen ja koko elinkeinorakenteen kehityksiin. Myös kulutusta ja siihen liittyvää käyttäytymistä tarkastellaan usein hyvin yksipuolisesti, vaikka ihmisten käyttäytymisellä, arvoilla ja asenteilla on suuri merkitys erityisesti taakanjakosektorin tavoitteiden saavuttamiseen. Tässä tutkimuksessa WAM-skenaarioiden toimenpiteiden vaikutuksia on tarkasteltu suhteessa WEM-skenaarioon. Ympäristövaikutusten arvioinnissa on joiltain osin tehty myös tarkasteluja, joissa WAM-skenaariossa olevaa kehitystä on verrattu WEM-skenaariosta poikkeavaan perusuraan. KAISU:n vaikutusarvioissa on tehty joitain herkkyystarkasteluja erityisesti kustannusten ja kulutuksen osalta, jotka raportoidaan keväällä 2017 KEIJU-hankkeen toisessa raportissa. Vertailuskenaarioiden valinta on skenaariotyön ehkä tärkein vaihe ja siihen tulisi jatkossa kiinnittää enemmän huomiota. Erityisesti poliitik-kaskenaarioiden osalta olisi toivottavaa tarkastella myös vaihtoehtoisia kehityspolkuja, jotta pystytään paremmin vastaamaan tulevaisuuden haasteisiin sekä kartoittamaan paitsi mahdollisia riskejä myös uusia mahdollisuuksia.

Lopuksi mainittakoon koko strategiaprosessin kehittäminen. Vaikka sidosryhmien osallistamista on systemaattisesti lisätty, itse skenaarioiden ja niiden lähtökohtien laadinnassa voitaisiin tehokkaammin hyödyntää suurempaa joukkoa asiantuntijoita ja muita tahoja. Osallistaminen on skenaariotyön tärkeä peruselementti, joka edesauttaa yhteisen strategian implementointia sekä hyväksyntää.

## LÄHTEITÄ JA TAUSTA-AINEISTOJA

Airaksinen, M. & Vainio T. (2012). Rakennuskannan korjaamisen ja kunnossapidon energiatehokkuus-toimenpiteiden vaikuttavuuden arviointi energiansäästön, CO<sub>2</sub>-ekv-päästöjen, kustannuksien ja kannat-tavuuden näkökulmista. Asiakasraportti VTT\_CR\_00426-12. VTT, Espoo.

Amann, M., Bertok, I., Borcken-Kleefeld, J., Cofala, J., Heyes, C., Höglund-Isaksson, L., Klimont, Z., Nguyen, B., Posch, M., Rafaj, P., Sandler, R., Schöpp, W., Wagner, F., and Winiwarter, W. (2011). Cost-effective control of air quality and greenhouse gases in Europe: Modeling and policy applications. *Environmental Modelling & Software*, 26, 1489–1501.

Antikainen, R., Tenhunen, J., Ilomäki, M., Mickwitz, P., Punntila, P., Puustinen, M., Seppälä, J. & Kaup-pi, L. (2007). Bioenergian uudet haasteet Suomessa ja niiden ympäristönäkökohdat: nykytilakatsaus. Suomen Ympäristökeskuksen Raportteja, 11.

Anttila, P., Nivala, M., Laitila, J., Flyktman, M., Salminen, O. & Nivala, J. (2014). Metsähakkeen alueelli-nen korjuupotentiaali ja käyttö vuonna 2020. Metlan työraportteja / Working Papers of the Finnish Fo-rest Research Institute 313: 55.

Bouget, C., Lassauce, A. & Jonsell, M. (2012). Effects of fuelwood harvesting on biodiversity — a re-view focused on the situation in Europe. *Canadian Journal of Forest Research*, 42(8), 1421–1432.

Creutzig, F., Ravindranath, N. H., Berndes, G., Bolwig, S., Bright, R., Cherubini, F., ... & Fargione, J. (2015). Bioenergy and climate change mitigation: an assessment. *GCB Bioenergy*, 7(5), 916-944.

Depietri Y, Renaud FG, Kallis G. (2012). Heat waves and floods in urban areas: a policy-oriented review of ecosystem services. *Sustainability Science*. 7, 95-107.

Ekholm, Tommi; Honkatukia, Juha; Koljonen, Tiina; Laturi, Jani; Lintunen, Jussi; Pohjola, Johanna; Uusivuori, Jussi (2015). EU: n 2030 ilmasto- ja energiakehitys - arvio LULUCF-sektorin sisällyttämisen mahdollisuuksista ja ristiriidoista Suomelle. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja: 6/2015. Valtioneuvosto , 43 s. ISBN 978-952-287-178-7.

European Commission (2014). Communication from the Commission to the European Parliament, the council, the European economic and social committee and the committee of the regions. A policy framework for climate and energy in the period from 2020 to 2030. COM(2014) 15 final.

European Commission (2016). Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council on the inclusion of greenhouse gas emissions and removals from land use, land use change and forest-ry into the 2030 climate and energy framework and amending Regulation No 525/2013 of the European Parliament and the Council on a mechanism for monitoring and reporting greenhouse gas emissions and other information relevant to climate change. COM(2016) 479 final.

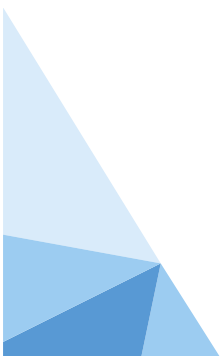
European Commission (2016). Proposal for a directive of the European Parliament and of the Council on the promotion of the use of energy from renewable sources (recast). COM/2016/0767 final - 2016/0382 (COD).

Forsström, J., Pingoud, K., Pohjola, J., Vilen, T., Valsta, L. & Verkerk, H. (2012) Wood-based biodiesel in Finland: Market-mediated impacts on emissions and costs. VTT Technology 7.

Fraunhofer. (2016). Analysis of the European crude oil industry – environmental impact, socio-economic value & downstream potential. Final report, Fraunhofer umsiht 11, May 2016.

Frischknecht R, Althaus HJ, Bauer C, Doka G, Heck T, Jungbluth N, et al. (2007). The environmental relevance of capital goods in life cycle assessments of products and services. *International Journal of Life Cycle Assessment*. 11, 1–11.

Haakana, M., Ollila, P., Regina, K., Riihimäki, H. & Tuomainen, T. (2015). Menetelmä maankäytön kehityksen ennustamiseen. Pinta-alojen kehitys ja kasvihuonekaasupäästöt vuoteen 2040. Luonnonva-ra- ja biotalouden tutkimus 51/2015.



Hartig T, Mitchell R, de Vries S, Frumkin H. (2014). Nature and health. *Annual Review of Public Health*, 35, 207-28.

Heljo, J., Vihola, J. (2012). Energiansäästömahdollisuudet rakennuskannan korjaustoiminnassa. Tampere, Tampereen teknillinen yliopisto. 84 s

Hoffmann B, Moebus S, Kröger K, Stang A, Möhlenkamp S, Dragano N, Schmermund A, Memmesheimer M, Erbel R, Jöckel KH. (2009). Residential exposure to urban air pollution, ankle-brachial index, and peripheral arterial disease. *Epidemiology*. 20, 280-8.

Honkatukia, J. & Lehmus, M. (2016). Suomen talous 2015-2030: Laskelmia politiikkatoimien vaikutuksista. VATT tutkimukset 183. <http://vatt.fi/documents/2956369/3011957/t183.pdf>

Hynynen, J., Salminen, H., Ahtikoski, A., Huuskonen, S., Ojansuu, R., Siipilehto, J., ... & Eerikäinen, K. (2015). Long-term impacts of forest management on biomass supply and forest resource development: a scenario analysis for Finland. *European Journal of Forest Research*, 134(3), 415-431.

Hänninen O., Leino O., Kollanus V. & Jantunen M. (2010). Pienhiukkaset ja sisäilman saasteet suurimpia kansanterveysriskejä. *Ilmansuojelu* 2/2010. s.4-8.

IPCC (2013). Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, US

IPCC, 2014: Summary for policymakers. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1-32.

JEC (2017). JEC Well-to-wheels analyses (WTW). <http://iet.jrc.ec.europa.eu/about-jec/jec-well-wheels-analyses-wtw>

Johansson, V., Felton, A. & Ranius, T. (2016). Long-term landscape scale effects of bioenergy extraction on dead wood-dependent species. *Forest Ecology and Management*, 371, 103–113.

Kaila A., Sarkkola S., Laurén A., Ukonmaanaho L., Koivusalo H., Xiao L., O'Driscoll C., Asam Z., Tervahauta A. & Nieminen M. (2014). Phosphorus export from drained Scots pine mires after clear-felling and bioenergy harvesting. *Forest Ecology and Management*, 325: 99–107.

Kallio, A.M.I. (2010). Accounting for uncertainty in a forest sector model using Monte Carlo simulation. *Forest Policy and Economics*, 12(1), 9-16. <http://dx.doi.org/10.1016/j.forpol.2009.09.014>

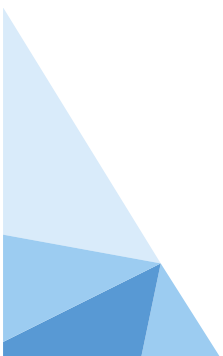
Kallio, A.M.I., Salminen, O. & Sievänen, R. (2013). Sequester or substitute – consequences of increased production of wood based energy on the carbon balance in Finland. *Journal of Forest Economics*, 19(4), 402–415. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfe.2013.05.001>

Kallio, M., Salminen, O., & Sievänen, R. (2014). Low Carbon Finland 2050-platform: skenaariot metsäsektorille. Metlan työraportteja 308. 34 s.

Kallio, M., Salminen, O., Sievänen, R. (2016). Forests in the Finnish low carbon scenarios. *Journal of Forest Economics* 23, 45-62.

Kalliokoski, T. & Repo, A. (2015). Mitä metsämallit kertovat Suomen metsien hiilinielun tulevasta kehityksestä? Ilmastopaneelin raportti 4/2015: Metsien hyödyntäminen ja ilmastonmuutoksen hillintä. Toim. Seppälä, J., Vesala, T. & Kanninen, M.

Kareksela, S., Moilanen, A., Tuominen, S., & Kotiaho, J. S. (2013). Use of inverse spatial conservation prioritization to avoid biological diversity loss outside protected areas. *Conservation Biology*, 27(6), 1294-1303.



Karvosenoja, N. (2008). *Emission scenario model for regional air pollution*. Finnish Environment Institute.

Karvosenoja N., Kangas L., Kupiainen K., Kukkonen J., Karppinen A., Sofiev M., Tainio M., Paunu V.-V., Ahtoniemi P., Tuomisto J. T., Porvari P. (2011). Integrated modeling assessments of the population exposure in Finland to primary PM<sub>2.5</sub> from traffic and domestic wood combustion on the resolutions of 1 and 10 km. *Air Quality, Atmosphere & Health*. 4, 179–188.

Kiikkilä, O., Nieminen, T.M., Starr, M., Mäkilä, M., Loukola-Ruskeeniemi, K., Ukonmaanaho, L. (2014). Leaching of dissolved organic carbon and trace elements after stem-only and whole-tree clear-cut on boreal peatland. *Water, Air, & Soil Pollution*, 255, 1–11.

Koistinen, A., Luro, J-P. & Vanhatalo, K. (toim.) (2016). Metsänhoidon suositukset energiapuun korjuuseen, työopas. Tapion julkaisuja. Saatavilla: [http://tapio.fi/wp-content/uploads/2015/06/MHS-Energiapuun-korjuun-suositukset\\_verkkojulkaisu2.pdf](http://tapio.fi/wp-content/uploads/2015/06/MHS-Energiapuun-korjuun-suositukset_verkkojulkaisu2.pdf)

Koljonen, T., Similä, L., Lehtilä, A. et al. (2014). Low Carbon Finland 2050 -platform: vähähiilipolkujen kiintopisteet ja virstanpylväät. Yhteenveto hankkeen tuloksista ja johtopäätöksistä. VTT TECHNOLOGY 167.

Koljonen, T., Pursiheimo, E., Lehtilä, A., Sipilä, K., Nylund, N.-O., Lindroos, T. & Honkatukia, J. (2014). EU:n 2030 -ilmasto- ja energiapaketin vaikutukset Suomen energiajärjestelmään ja kansantalouteen. Taustaraportti. VTT Technology 170.

Koreneff, Göran; Grandell, L.; Lehtilä, Antti; Koljonen, Tiina; Nylund, Nils-Olof (2014). Energiatehokkuuden kehittyminen Suomessa. Arviot menneisyydestä ja tulevaisuudesta. VTT, Espoo. 70 s. + liitt. 16 s. VTT Technology: 180. ISBN 978-951-38-8262-4

Korhonen, K.T., Auvinen, A-P., Kuusela, S., Punttila, P., Salminen, O., Siitonen, J., Ahlroth, P., Jäppinen, J-P., Kolström, T. (2016). Biotalouskenaarioiden mukaisten hakkuiden vaikutukset metsien monimuotoisuudelle tärkeisiin rakennepiirteisiin. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 51/2016. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-294-2>

Kurki, P., Mutanen, A. & Anttila, P. (2012). Energiapuumarkkinat - käytännön kokemukset ja tilastointimahdollisuudet. Metlan työraportteja / Working Papers of the Finnish Forest Research Institute 228. 64 s. Saatavissa: <http://www.mefla.fi/julkaisut/workingpapers/2012/mwp228.htm>

Lanki T, Hampel R, Tiittanen P, Andrich S, Beelen R, Brunekreef B, Dratva J, de Faire U, Fuks KB, Hoffmann B, Imboden M, Jousilahti P, Koenig W, Mahabadi AA, Künzli N, Pedersen NL, Penell J, Pershagen G, Probst-Hensch NM, Schaffner E, Schindler C, Sugiri D, Swart WJ, Tsai MY, Turunen AW, Weinmayr G, Wolf K, Yli-Tuomi T, Peters A. (2015). Air pollution from road traffic and systemic inflammation in adults: a cross-sectional analysis in the European ESCAPE project. *Environmental Health Perspectives*. 123, 785-791.

Launiainen Samuli, Sarkkola Sakari, Laurén Ari, Puustinen Markku, Tattari Sirkka, Mattsson Tuija, Piirainen Sirpa, Heinonen Jaakko, Alakukku Laura, Finér Leena. (2014). KUSTAA -työkalu valuma-alueen vesistökuormituksen laskentaan. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 33/2014. 55 p.

Lehtomäki, J., (2014). Spatial conservation prioritization for Finnish forest conservation management. Helsingin yliopisto, väitöskirja.

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

Lehtonen, A., Salminen, O., Kallio, M., Tuomainen, T., Sievänen, R. (2016). Skenaariolaskelmiin perustuva puuston ja metsien kasvihuonekaasutaseen kehitys vuoteen 2045: Selvitys maa- ja metsätalousministeriölle vuoden 2016 energia- ja ilmastostrategian valmistelua varten. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 36/2016.

Leskinen, P., Holma, A., Manninen, K., Sinkko, T., Pasanen, K., Rantala, M., Sokka, L. (2014). Uusiutuvan energian tuotannon ja käytön ympäristövaikutukset ja -riskit. Kirjallisuuskatsaus ja asiantuntija-arvio. Ympäristöministeriön raportteja 9/2014.

Lindroos, T. & Ekholm, T. (2016). Taakanjakosektorin päästökehitys ja päästövähennystoimet vuoteen 2030. VTT Technology 245.

Lindroos, T., Koljonen, T., Ekholm, T., & Björnberg, A. (2015). EU:n 2030 ilmasto- ja energiapaketin vaikutusarvioiden yhteenveto ja vertailu. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja: 12/2015. Valtioneuvosto, 44 s.

Loulou, R. & Labriet, M. (2007). ETSAP-TIAM: the TIMES integrated assessment model. Part I: Model structure. *Computational Management Science special issue on Energy and Environment* 5(1–2): 7–40.

Loulou, R. Remme, U., Kanudia, A., Lehtilä, A. & Goldstein, G. (2016). Documentation for the TIMES Model. Energy Technology Systems Analysis Programme (ETSAP).  
<http://iea-etsap.org/index.php/documentation>

Luke (2016). Hakkuumahdollisuudet. Luonnonvarakeskus, tietoa luonnonvaroista.  
<https://www.luke.fi/tietoa-luonnonvaroista/metsa/metsavarat-ja-metsasuunnittelu/hakkuumahdollisuusarviot/>

Mattinen M., Heljo J. & Savolahti M. (2016). Rakennusten energiankulutuksen perusskenaario Suomessa 2015–2050. Suomen ympäristökeskus 10.6.2016.

Minkkinen, K., Laine, J., Shurpali, N., Mäkiranta, P., Alm, J. & Penttilä, T. (2007). Heterotrophic soil respiration in forestry-drained peatlands. *Boreal Environment Research*, 12, 115-126.

NASA (2017). Global Climate Change. Vital Signs of the Planet. Facts. <http://climate.nasa.gov/>

Nivala, M., Anttila, P., Laitila, J., Salminen, O. & Flyktman, M. (2016). A GIS-based methodology to estimate the regional balance of potential and demand of forest chips. *Journal of Geographic Information System*, 8, 633-662.

Nylund, N.-O., Tamminen, S., Sipilä, K., Laurikko, J., Sipilä, E., Mäkelä, K., Hannula, I. & Honkatukia, J. (2015). Tieliikenteen 40 %:n hiilidioksidipäästöjen vähentäminen vuoteen 2030: Käyttövoimavaihtoehdot ja niiden kansantaloudelliset vaikutukset. VTT, tutkimusraportti VTT-R-00752-15.

Ojanen, P., Minkkinen, K., Alm, J. & Penttilä, T. (2010). Soil-atmosphere CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O fluxes in boreal forestry-drained peatlands. *Forest Ecology and Management*, 260(3), 411–421.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2010.04.036>

Peltola, A (toim) (2014). Finnish Statistical Yearbook of Forestry 2014, Vantaa: Metsäntutkimuslaitos.

Pingoud, K., Ekholm, T., Soimakallio, S., & Helin, T. (2016). Carbon balance indicator for forest bioenergy scenarios. *Gcb Bioenergy*, 8(1), 171-182.

Pukkala, T. (2016). Does management improve the carbon balance of forestry? *Forestry* 2016, 1–11.

Pursiheimo, Esa; Koljonen, Tiina; Honkatukia, Juha; Lehtilä, Antti; Airaksinen, Miimu; Flyktman, Martti; Sipilä, Kai; Helynen, Satu. (2013). Tarkennetun perusskenaarion vaikutukset Suomen energiajärjestelmään ja kansantalouteen. Energia- ja ilmastostrategian päivityksen taustaraportti, VTT, Espoo, 41 s

Pöyry Management Consulting (2016a). Suomen metsäteollisuus 2015–2035. Loppuraportti X304203 19.1.2016. [https://www.tem.fi/files/44609/2016\\_Poyry\\_Suomen\\_metsateollisuus\\_2015-2035.pdf](https://www.tem.fi/files/44609/2016_Poyry_Suomen_metsateollisuus_2015-2035.pdf)

Pöyry Management Consulting (2017). Hajautetun uusiutuvan energiantuotannon potentiaali ja potentiaalain toteutuminen markkinaehtoisesti. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 05/2017. <http://tietokayttoon.fi/julkaisu?pubid=16603>

Pöyry Management Consulting (2016c). Metsäbiomassan kustannustehokas käyttö. Alustavien tulosten esittely TEAS hankkeen johtoryhmän kokous 18.10.2016. VNK/1999/48/2015 (pdf).

Pöyry Management Consulting Oy. (2017). Metsäbiomassan kustannustehokas käyttö. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja xx/2017 (painossa).

Rajagopal, D. (2013). The fuel market effects of biofuel policies and implications for regulations based on lifecycle emissions. *Environmental Research Letters*, 8(2), 024013.



Rajagopal, D., & Plevin, R. J. (2013). Implications of market-mediated emissions and uncertainty for biofuel policies. *Energy Policy*, 56, 75-82.

Rassi, P., Hyvärinen, E., Juslén, A., Mannerkoski, I. (toim.) (2010). The 2010 Red List of Finnish Species. Suomen lajien uhanalaisuus – Punainen kirja 2010, Helsinki: Ympäristöministeriö ja Suomen ympäristökeskus.

Redsven, V., Hirvelä, H., Härkönen, K., Salminen, O. & Siitonen, M. (2013). MELA2012 Reference Manual, 2<sup>nd</sup> ed. The Finnish Forest Research Institute.  
[http://mela2.metla.fi/mela/julkaisut/oppaat/mela2012\\_2nd\\_ed.pdf](http://mela2.metla.fi/mela/julkaisut/oppaat/mela2012_2nd_ed.pdf)

Repola, J. (2008). Biomass equations for birch in Finland. *Silva Fennica* 42(4), 605-624.  
<https://doi.org/10.14214/sf.236>

Repola, J. (2009). Biomass equations for Scots pine and Norway spruce in Finland. *Silva Fennica* 43(4), 625-647. <https://doi.org/10.14214/sf.184>

Riffell, S., Verschuyf, J., Miller, D., & Wigley, T. B. (2011). Biofuel harvests, coarse woody debris, and biodiversity—a meta-analysis. *Forest Ecology and Management*, 261(4), 878-887.

Rikkonen, P. (toim.) (2015). Maatalouden energia- ja ilmastopolitiikan suuntia vuoteen 2030. Hillintäkeinojen analyysi tilatason vaikutuksista ja keinojen hyväksyttävyydestä. Helsinki, Luonnonvarakeskus. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 35/2015. 107 s.

Rikkonen, P. & Rintamäki H. (toim.) (2015). Ilmastonmuutoksen hillintävaihtoehtojen ja –skenaarioiden tarkastelu maa- ja elintarviketaloudessa vuoteen 2030. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 12/2015.

Seppälä, J., Kanninen, M., Vesala, T., Uusivuori, J., Kalliokoski, T., Lintunen, J., Saikku, L., Korhonen, R., Repo, A. (2015). Metsien hyödyntämisen ilmastovaikutukset ja hiilinielujen kehittyminen. Ilmasto-paneelin raportti 3/2015.

Sievänen, R., Lehtonen, A., Ojanen, P. & Salminen, O. (2012). Metsien hiilitaseet. In: Asikainen, A., Ilvesniemi, H., Sievänen, R., Vapaavuori, E. & Muhonen, T. (eds.). Bioenergia, ilmastonmuutos ja Suomen metsät. Metlan työraportteja 240, p. 197-204. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-951-40-2378-1>

Sievänen, R., Soimakallio, S., Salminen, O. (2016). Metsät biotalouden raaka-aineena ja hiilinieluna. Metsätieteen aikakauskirja 2, 125-127.

Sievänen, R., Salminen, O., Lehtonen, A., Ojanen, P., Liski, J., Ruosteenoja, K., Tuomi, M. (2014). Carbon stock changes of forest land in Finland under different levels of wood use and climate change. *Annals of Forest Science*, 71, 255–265.

Siitonen, J. (2001). Forest management, coarse woody debris and saproxylic organisms: Fennoscandian boreal forests as an example. *Ecological Bulletins*, 49, 11–41.

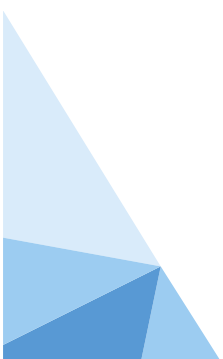
Siitonen J., Hanski I. (2004). Metsälajiston ekologia ja monimuotoisuus. In: Kuuluvainen T., Saaristo L., Keto-Tokoi P., Kostamo J., Kuuluvainen J., Kuusinen M., Ollikainen M., Salpakivi-Salomaa P. (eds.), Metsän kätöksissä - Suomen metsäluonnon monimuotoisuus. Edita Publishing Oy. p. 76-109.

Soimakallio, S. (2014). Toward a More Comprehensive Greenhouse Gas Emissions Assessment of Biofuels: The Case of Forest-Based Fischer–Tropsch Diesel Production in Finland. *Environmental Science & Technology* 48, 3031–3038.

Soimakallio, S., Antikainen, R., Thun, R. (Eds). 2009. Assessing the sustainability of liquid biofuels from evolving technologies - A Finnish approach. VTT Research Notes 2482. Espoo, 2009. 220 p. + app. 41 p.

Soimakallio, S., Saikku, L., Valsta, L., Pingoud, K. (2016). Climate change mitigation challenge for wood utilization – the case of Finland. *Environmental Science & Technology* 50(10), 5127–5134.

Sokka, L., Sinkko, T., Holma, A., Manninen, K., Pasanen, K., Rantala, M., & Leskinen, P. (2016). Environmental impacts of the national renewable energy targets—A case study from Finland. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 59, 1599-1610.



SYKE (2013). Vesistöjen ravinnekuormitus ja luonnon huuhtouma. [http://www.ymparisto.fi/FI/Kartat\\_ja\\_tilastot/Vesistojen\\_ravinnekuormitus\\_ja\\_luonnon\\_huuhtouma](http://www.ymparisto.fi/FI/Kartat_ja_tilastot/Vesistojen_ravinnekuormitus_ja_luonnon_huuhtouma), päivitetty 3.9.2013, viitattu 7.11.2016.

Tattari S, Koskiaho J, Kosunen M, Lepistö A, Linjama J, Puustinen M. (2017). Nutrient loads from agricultural and forested areas in Finland from 1981 up to 2011 – is the efficiency of water protection measures seen? *Environmental Monitoring & Assessment* (in press).

TEM (2013). Kansallinen energia- ja ilmastostrategia: Valtioneuvoston selonteko eduskunnalle 20. päivänä maaliskuuta 2013. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja. Energia ja ilmasto 8/2013.

TEM (2016). Energia- ja ilmastostrategian ja keskipitkän aikavälin ilmastopolitiikan suunnitelman peruskenaarion tausta-oletuksia. 15.6.2016 (versio 1)

Tilastokeskus (2016). Suomen kasvihuonekaasupäästöt 1990-2015. [http://www.stat.fi/static/media/uploads/suominir\\_2016.pdf](http://www.stat.fi/static/media/uploads/suominir_2016.pdf)

Tilastokeskus (2016). Greenhouse gas emissions in Finland 1990-2014. National Inventory Report under the UNFCCC and the Kyoto Protocol. 15 June 2016.

Triviño, M., Pohjanmies, T., Mazziotta, A., Juutinen, A., Podkopaev, D., Le Tortorec, E., & Mönkkönen, M. (2016). Optimizing management to enhance multifunctionality in a boreal forest landscape. *Journal of Applied Ecology*. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12790>

Tuomi, M., Laiho, R., Repo, A. & Liski, J. (2011). Wood decomposition model for boreal forests. *Ecological Modelling*. 222 (3), 709–718. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2010.10.025>

Tuominen, A., Tervonen, J., Järvi, T., Mäkelä, K., Liimatainen, H., Nykänen, L., & Rehunen, A. 2015. Liikenteen energiatehokkuustoimenpiteet osana EU:n 2030 ilmasto- ja energiatavoitteiden saavuttamista: vaikutukset, kustannukset ja työnjako. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja: 14/2015. 60 s.

Uusivuori, J., Hildén, M., Lehtonen, H., Rikkinen, P., Makkonen, M. (toim.) (2015). Poliitiikka ja luonnonvarat. Helsinki, Luonnonvarakeskus. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 20/2015. 57 s.

Valtiovarainministeriö (2016). Taloudellinen katsaus, kevät 2016. Valtiovarainministeriön julkaisu - 12a/2016. <http://vm.fi/documents/10623/2321597/Taloudellinen+katsaus+kevat+2016>.

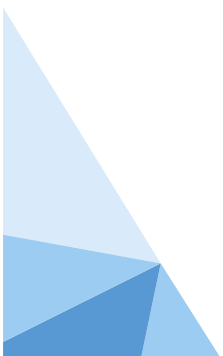
VNK (2016). Valtioneuvoston selonteko kansallisesta energia- ja ilmastostrategiasta vuoteen 2030.

WEC 2004. Comparison of energy systems using life cycle assessment. A Special Report of the world energy council.

WHO (2013). Health risks of air pollution in Europe – HRAPIE project. Recommendations for concentration–response functions for cost–benefit analysis of particulate matter, ozone and nitrogen dioxide. World Health Organization, Regional Office for Europe, Bonn, pp. 60.

Ympäristöministeriö (1994). Suomen metsäluonnon monimuotoisuuden turvaaminen. Ympäristöministeriö, Alueiden käytön osasto. Muistio 3/1994. Painatuskeskus Oy, Helsinki.: 1-90.

Äijälä, O., Koistinen, A., Sved, J., Vanhatalo, K. & Väisänen, P. (toim.) (2014). Metsänhoidon suositukset. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion julkaisuja. [http://www.metsanhoitosuositukses.fi/wp-content/uploads/2016/08/Metsanhoidon\\_suositukses\\_Tapio\\_2014.pdf](http://www.metsanhoitosuosituks.fi/wp-content/uploads/2016/08/Metsanhoidon_suositukses_Tapio_2014.pdf)





VALTIONEUVOSTON  
SELVITYS- JA TUTKIMUSTOIMINTA

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

ISSN 2342-6799 (pdf)  
ISBN 978-952-287-355-2 (pdf)