



Pääministeri Sanna Marinin hallituksen ilmasto- ja energiapoliittisten toimien vaikutusarviot

Hiilineutraali Suomi 2035 (HIISI) -
jatkoselvitys

Tiina Koljonen | Antti Lehtilä | Juha Honkatukia |
Johanna Markkanen

Pääministeri Sanna Marinin hallituksen ilmasto- ja energiapoliittisten toimien vaikutusarviot

Hiilineutraali Suomi 2035 (HIISI) -
jatkoselvitys

Tiina Koljonen

Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy

Antti Lehtilä

Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy

Juha Honkatukia

Merit Economics

Johanna Markkanen

Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy



ISBN 978-951-38-8762-9

VTT Technology 402

ISSN-L 2242-1211

ISSN 2242-122X (Verkkójulkaisu)

DOI: 10.32040/2242-122X.2022.T402

Copyright © VTT 2022

JULKAISIJA – PUBLISHER

VTT

PL 1000

02044 VTT

Puh. 020 722 111

<https://www.vtt.fi>

VTT

P.O. Box 1000

FI-02044 VTT, Finland

Tel. +358 20 722 111

<https://www.vttresearch.com>

Alkusanat

Pääministeri Sanna Marinin hallitusohjelma sisältää kirjausten Suomen vuoden 2035 hiilineutraaliustavoitteesta, mikä vaatii toteutuakseen lisää politiikkatoimia jo päätettyjen toimien lisäksi. Tässä raportissa on esitetty arviot hallituksen ilmasto- ja energiapolitiittisten päätösten riittävydestä saavuttaa Suomen hiilineutraalius vuoteen 2035 mennessä. Lisäksi on arvioitu päästövähennystoimien riittävyttä vuosille 2030, 2035 ja 2040.

Hallituksen syyskuun 2021 neuvotteluissa vuoden 2022 talousarvioesityksestä hyväksyttiin joukko uusia ilmastokirjauksia. Hallituksen 9.9.2021 julkaistuun raporttiin hiilineutraaliuden saavuttamisesta kirjattiin lisäksi *"Hallitus arvioi maaliskuussa 2022, nojautuen ministeriöiden, tutkimuslaitosten ja Ilmastopaneelin arvioihin, ovatko päästövähennystavoitteet saavutettavissa KAISU-suunnitelmassa esitetyin toimin ja päättää tässä yhteydessä mahdollisesti tarvittavista sitovista taloudellisista ja lainsäädännöllisistä ohjauskeinoista tavoitteen saavuttamiseksi."* KAISU-suunnitelmalla viitataan keskipitkän aikavälin ilmastopolitiikan suunnitelmaan, jossa tarkastellaan taakanjakosektorin päästötavoitteita ja niiden saavuttamista. Tässä raportissa esitetyt laskelmat palvelevat edellä esitettyä selvitystarvetta. Raportti on toimitettu myös muiden tutkimuslaitosten sekä Ilmastopaneelin käyttöön helmikuussa 2022.

Hanketta on ohjannut työ- ja elinkeinoministeriön (TEM), ympäristöministeriön (YM), maa- ja metsätalousministeriön (MMM), liikenne- ja viestintäministeriön (LVM) ja valtiovarainministeriön (VM) edustajat ja puheenjohtajana on toiminut Petteri Kuuva TEM:stä. Hanketta ovat rahoittaneet TEM, YM ja LVM.

Sisällys

1. Johdanto	7
2. WEM- ja WAM-skenaarioiden määrittelyt	9
2.1 Skenaarioiden yleiset kuvaukset ja skenaariolaskelmien lähtökohdat.....	9
2.2 WAM-H -skenaarion kuvaus ja lähtöoletukset.....	11
2.2.1 Energian ja polttoaineiden tuotanto.....	11
2.2.2 Teollisuuden kehitys.....	12
2.2.3 Liikenteen kehitys.....	13
2.2.4 Rakennusten erillislämmitys, työkoneet ja päästökaupan ulkopuolinen teollisuus.....	15
3. Energiajärjestelmän ja kasvihuonekaasupäästöjen kehitykset	16
3.1 Energian hankinta.....	16
3.2 Energian kulutus.....	21
3.2.1 Loppuenergian kokonaiskulutus.....	21
3.2.2 Uusiutuva energia loppukulutuksessa.....	23
3.2.3 Sähköenergian kulutus.....	24
3.2.4 Liikenne.....	25
3.2.5 Asuminen ja palvelut.....	27
3.2.6 Muu energian loppukulutus.....	28
3.3 Kasvihuonekaasupäästöjen kokonaiskehitys.....	30
3.4 Taakanjakosektorin päästöjen kehitys.....	33
3.4.1 Taakanjakosektorin päästöjen kokonaiskuva.....	33
3.4.2 Integroidun ja sektoritarkasteluiden eroista.....	36
4. Vaikutukset kansantalouteen ja työllisyyteen	40
4.1 Kansantalouden tasapainolaskelmien lähtöoletukset.....	40
4.2 Vaikutusarviot kansantalouteen.....	41
4.3 Vaikutusarviot työllisyyteen.....	45
4.4 Alueelliset vaikutukset.....	48
4.5 Vaikutukset kotitalouksille.....	50
5. Johtopäätökset	52
5.1 Kasvihuonekaasujen kokonaispäästöt ja vuosien 2030–2050 ilmastotavoitteiden saavuttaminen.....	52
5.2 Taakanjakosektorin kasvihuonekaasupäästötavoitteiden saavuttaminen.....	53
5.3 Energiatavoitteiden saavuttaminen.....	54
5.4 Arvio lisätoimien tarpeesta.....	55

Symboliluettelo

ARA	Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus
AR4	IPCC Fourth Assessment Report
AR5	IPCC Fifth Assessment Report
BECCS	Bioenergy Carbon Capture and Storage, eli hiilidioksidin talteenotto ja varastointi bioperäisestä prosessi- tai savukaasusta.
CCS	Carbon Capture and Storage, eli hiilidioksidin talteenotto ja varastointi
CO ₂ -eq.	Hiilidioksidiekvivalentti
GWP	Global Warming Potential
HIISI	Valtioneuvoston kanslian tilaaman hanke "Hiilineutraali Suomi 2035 -ilmasto- ja energiapolitiikan toimet ja vaikutukset"
IEA	International Energy Agency
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change eli hallitusten välinen ilmastopaneeli
KAISU	Keskipitkän aikavälin ilmastopolitiikan suunnitelma
KHK	Kasvihuonekaasu
LULUCF	Land Use, Land Use Change and Forestry, eli maankäyttö, maankäytön muutos ja metsät
LVM	Liikenne- ja viestintäministeriö
Luke	Luonnonvarakeskus
MMM	Maa- ja metsätalousministeriö
PTT	Pellervon taloustutkimus
Syke	Suomen ympäristökeskus
TEM	Työ- ja elinkeinoministeriö

THL	Terveyden ja hyvinvoinnin laitos
VM	Valtiovarainministeriö
VTT	Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy
WAM	With Additional Measures: politiikkaskenaario, jossa tulevaisuuden kehitysarvioissa on huomioitu uudet politiikkatoimet. Uusilla politiikka toimilla tarkoitetaan 1.1.2020 lähtien tehtyjä päätöksiä.
WAM-H	Tässä raportissa esitetty HIISI-hankkeessa esitetty WAM-skenaariomuunnos, jossa on huomioitu hallituksen ilmasto- ja energia-politiittiset päätökset ja linjaukset.
WAM-H	VTT:n ALIISA liikenteen skenaariomallilla laadittu WAM-skenaario, jonka tuloksia on käytetty WAM-H-skenaariolähtötietoina järjestelmätason mallinnuksissa.
WEM	With Existing Measures: vertailuskenaario, jossa tulevaisuuden kehitystä on arvioitu nykytoimin. Nykytoimilla viitataan 31.12.2019 mennessä tehtyihin päätöksiin.

1. Johdanto

Valtioneuvoston kanslian tilaamassa ja marraskuussa 2021 päättyneessä VN-TEAS -tutkimushankkeessa *Hiilineutraali Suomi 2035 -ilmasto- ja energiapolitiikan toimet ja vaikutukset (HIISI)* laadittiin laskennalliset ja laadulliset vaikutusarviot Suomen hiilineutraalisuustavoitteen saavuttamiseksi vuoteen 2035 mennessä. Vaikutusarvoissa huomioitiin myös Suomen ilmastolakiehdotuksen mukaiset kasvihuonekaasu (KHK) -päästötavoitteet vuosille 2030, 2040 ja 2050 sekä Euroopan komission heinäkuussa 2021 julkaiseman ns. FitFor55-säädösehdotuspaketin¹ mukainen taakanjakosektorin KHK-päästövähennystavoite vuodelle 2030. HIISI-hanketta oli toteuttamassa noin kolmekymmentä tutkijaa viidestä tutkimuslaitoksesta, joten kyse oli varsin laajasta ja monitieteellisestä hankkeesta. HIISI-hanketta koordinoi Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy ja tutkimuspartnereita olivat Suomen ympäristökeskus (Syke), Luonnonvarakeskus (Luke), Terveystieteiden tutkimuskeskus (THL) ja Pellervon taloustutkimus (PTT).

HIISI-hanketta laadittiin ajallisesti rinnan valmisteltujen ilmasto- ja energiastrategian sekä keskipitkän aikavälin ilmastopolitiikan suunnitelman, eli KAISU:n kanssa. HIISI-hanke tuotti taustalaskelmia ja -aineistoja myös hallituksen syyskuussa 2021 pidettyyn budjettiriiheen, jossa hallitus linjasi joukon uusia ilmasto- ja energiapolittisia toimia. Hallitus teki tuolloin kirjauksen ilmastotoimien riittävyden arvioimisesta KAISU-suunnitelmassa esitetyin toimin ilmastotavoitteiden saavuttamiseksi², jotta tiedetään, paljonko uusia toimia pitää päättää vielä myöhemmin. Osa hallituksen esittämistä toimista on kuitenkin esitetty yleisemmällä tasolla kuin muut, joten niiden laskennallista analyysiä varten on tarvittu eri ministeriöiden pohdintaa siitä, mitkä ovat täsmällisemmät mallinnuksen lähtötiedot ja muut oletukset. Tämän vuoksi hallituksen esittämien toimien sisällyttäminen HIISI-hankkeessa laadittuihin laskelmiin ei ollut mahdollista, vaan HIISI-hankkeessa laadittiin ainoastaan yksittäisiä lisälaskelmia, joissa arvioitiin hallituksen päätösten mahdollisia vaikutuksia KHK-päästöihin ja kansantalouteen.

¹ European Green Deal: Commission proposes transformation of EU economy and society to meet climate ambitions. 14 July 2021. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_21_3541

² Hiilineutraaliuden saavuttaminen. Hallituksen neuvottelut vuoden 2022 talousarvioesityksestä. Hallituksen neuvotteluissa hyväksytyt ilmastokirjaukset 9.9.2021. <https://valtioneuvosto.fi/documents/10616/90558267/Hiilineutraaliuden+saavuttaminen.pdf/246c7de1-1794-2a02-20fa-4da158f40b44/Hiilineutraaliuden+saavuttaminen.pdf?t=1631254456232>

Tässä raportissa on esitetty edellä mainitun HIISI-hankkeen jatkoselvitys, jossa tavoitteena on arvioida hallituksen ilmasto- ja energiapolitiittisten päätösten vaikutuksia Suomen KHK-päästöihin sekä energia- ja kansantalouteen. Raportissa on esitetty ainoastaan ne keskeiset lähtöoletukset ja laskelmien tulokset, jotka poikkeavat HIISI-hankkeessa laadituista lähtökohdista sekä liittyvät energia- ja kansantalouden sekä KHK-päästöjen kehityksiin. Muilta osin viitataan HIISI-hankkeen raportteihin ja analyyseihin. Yhteenveto HIISI-hankkeen tuloksista ja johtopäätöksistä on esitetty hankkeen synteesiraportissa (Koljonen ym. 2021). Lisäksi HIISI-analyyysien lähestymistapoja, tietoaineistoa ja tuloksia on esitetty laajemmin hankkeen osaraportteissa liittyen energijärjestelmän ja kasvihuonekaasupäästöjen kehityksiin (Lehtilä ym. 2021), maatalouden ja LULUCF (I. maankäyttö, maankäytön muutokset ja metsätalous) -sektorin kehityksiin (Maanavilja ym. 2021), puun tarjontaan yksityisen metsänomistajan näkökulmasta (Horne ym. 2021), kansantalouden ja toimialakohdittaisiin kehityksiin (Honkatukia 2021), sekä ilmasto- ja energiapolitiikkatoimien ympäristövaikutuksiin (Soimakallio ym. 2021).

Raportissa esitetyt laskennalliset vaikutusarviot on laadittu TIMES-VTT-energiajärjestelmämallilla (ks. Lehtilä ym. 2021) sekä FINAGE-kansantalousmallilla (ks. Honkatukia 2021). Poliittikkatoimien vaikutuksia verrataan WEM (With Existing Measures) -skenaarioon, jonka määrittelyt noudattavat pieniä päivityksiä lukuun ottamatta HIISI-hankkeen WEM-skenaarion määrittelyjä. Tässä raportissa esitetyn WAM (With Additional Measures)-politiikkaskenaarion määrittelyt sen sijaan poikkeavat HIISI-hankkeen WAM-määrittelyistä monilta osin. WEM- ja WAM-skenaarioiden määrittelyjä on kuvattu raportin luvussa kaksi painottuen erityisesti hallituksen budjettiriihessä sovittujen päätösten sekä KAISU-luonnoksessa (YM 2021) esitettyjen päätösten kuvaamiseen mallinnuksen näkökulmasta. Poliittikkaskenaario on nimetty WAM-H-skenaarioksi. Luvussa kolme on esitetty TIMES-VTT -mallinnustulokset liittyen energijärjestelmän ja KHK-päästöjen kehityksiin ja vastaavasti luvussa neljä on esitetty ilmasto- ja energiapolitiikkatoimien vaikutukset kansantalouteen ja työllisyyteen. Luvussa viisi on esitetty mallinnustuloksiin liittyviä epävarmuuksia sekä johtopäätökset toimien riittävydestä ja vaikutuksista.

2. WEM- ja WAM-skenaarioiden määrittelyt

2.1 Skenaarioiden yleiset kuvaukset ja skenaariolaskelmien lähtökohdat

Alla on esitetty yhteenveto WEM- ja WAM-skenaarioiden määrittelyistä perustuen HIISI-hankkeen määrittelyihin siltä osin, kun ne ovat relevantit tässä raportissa esitettyjen laskelmien näkökulmasta. Lisäksi on esitetty Sanna Marinin hallituksen päätösten mukainen politiikkaskenaario, joka on nimetty WAM-h-skenaarioksi. WAM-h-skenaario sisältää myös KAISU-suunnitelmaluonnoksen toimet siltä osin, kuin työtä ohjaavat ministeriöt ovat ne määrittäneet. Tässä tulee kuitenkin huomata, että kaikkia KAISU-suunnitelman toimia ei ole voitu huomioida mallinnusteknisistä syistä, mutta alla on esitetty yhteenveto myös näiden toimien KHK-päästövähennysvaikutuksista KAISU-suunnitelmaluonnoksen mukaisesti.

Keskeinen ero HIISI-hankkeessa laaditun WAM-skenaarion ja tässä raportissa esitetyn WAM-h-skenaarion välillä liittyy KHK-päästötavoitteen määrittämiseen. HIISI-hankkeessa WAM-skenaariolle asetettiin sitovat KHK-päästöjen kokonaistavoitteet vuosille 2030, 2035, 2040 ja 2050 ja lisäksi taakanjakosektorin KHK-päästötavoite vuodesta 2030 eteenpäin. Mallitarkasteluissa KHK-päästötavoitteet toteutuvat minimikustannuksin, kun mallin optimoinnin tuloksena toteutetaan riittävä määrä päästövähennysinvestointeja. WAM-h-skenaariossa sen sijaan KHK-päästötavoitteita ei aseteta, vaan KHK-päästöjen vähenemistä ohjaavat ilmasto- ja energiapolitiittiset ohjaustoimet sekä oletukset hintojen, kuten päästöoikeuden hinnan, kehityksistä. WAM-h-skenaarion laskenta noudattaa siten WEM-skenaarion laskentatapaa. Fossiilisten tuontipolttoaineiden osalta kaikissa skenaarioissa on samat hintaoletukset, jotka noudattavat Euroopan Unionin (EU) hallintomalliasetuksessa esitettyjä hintaoletuksia (ks. Lehtilä ym. 2021). Sähkön, lämmön ja kotimaisten polttoaineiden hinnat muodostuvat endogeenisesti, eli mallin laskemana. Alla (Taulukko 1) on esitetty yhteenveto WEM-, WAM- ja WAM-h-skenaarioiden kuvauksista.

WEM- ja WAM -skenaarioiden tarkemmat kuvaukset löytyvät HIISI-hankkeen raporteista (Koljonen ym. 2021, Lehtilä ym. 2021, Honkatukia 2021, Maanavilja ym. 2021). WEM-skenaarioon on tehty ainoastaan pieniä päivityksiä perustuen uudempaan tietoon turpeenkäytön alasajosta, joka näyttää toteutuvan vieläkin nopeammin, kuin mitä HIISI-skenaariossa oli oletettu. Lisäksi on saatu uutta tietoa liittyen biokaasu- ja -nestepolttoaineiden jalostamoinvestoinneista ja tuulivoimainvestoinneista. Kasviuonekaasupäästöjen laskennan osalta on käytetty IPCC:n viidennessä arviointiraportissa esitettyjä GWP-kertoimia, eli ns. AR5-kertoimia, kun on esitetty KHK-päästöt vertailuvuosina 1990 ja 2005 sekä arvioitu KHK-päästöjen tulevaa kehitystä. AR5-kertoimia käytettiin myös HIISI-hankkeen laskelmissa, mutta eroja esiintyy toistaiseksi esimerkiksi Tilastokeskuksen raportoimissa KHK-päästölukuissa, jotka perustuvat IPCC:n AR4-kertoimiin³.

³ Tilastokeskus. Kasviuonekaasuinventaarion laskennan ja raportoinnin ohjeistus. https://www.tilastokeskus.fi/til/khki/khki_2020_2021-12-16_men_001.pdf

Taulukko 1. WEM-, WAM- ja WAM-H-skenaarioiden kuvaukset.

	WEM	WAM	WAM-H
KHK-päästötavoitteet (vrt. 1990 taso) vuosina 2030, 2035, 2040, 2050	Ei määritetty ¹⁾	60%, n. 70%, 80%, 90% ²⁾	Ei määritetty ¹⁾
Taakanjakosektorin KHK-päästötavoite (vrt. 2005 taso) 2030 ja 2030 jälkeen	Ei määritetty ¹⁾	50% 2030, jonka jälkeen hieman kiristyy ³⁾	Ei määritetty ¹⁾
LULUCF-sektorin nettopäästöt	-17 Mt CO ₂ ekv. 2030 ja -18 CO ₂ ekv. 2035 ⁴⁾	Vahvistetaan netto-nieluja 3 Mt CO ₂ -ekv. vuoteen 2035 mennessä verrattuna WEM-tasoon	Vahvistetaan netto-nieluja 3 Mt CO ₂ -ekv. vuoteen 2035 mennessä verrattuna WEM-tasoon
Päästöoikeuden hinta 2021-2050	30–75 €/t CO ₂ ⁵⁾	50–100 €/t CO ₂	50–100 €/t CO ₂
Jako päästökauppa- ja taakanjakosektoreihin	Nykyinen jako	Nykyinen jako	Nykyinen jako, lisäksi liikenteen päästökauppa ⁶⁾
Sähkön ja polttoaineteiden valmisteverot ja niiden palautukset	Reaaliset verotaset ja -palautukset 31.12.2019 lain-säädännön mukaan	Reaaliset verotaset liikenteen polttoaineille ⁷⁾ . Korotetut lämmityspolttoaineteiden verotaset, kaikista veronpalautuksista luovutaan ennen 2030 ⁸⁾	Reaaliset verotaset kaikille polttoaineille nykyverojen mukaan. Maataloussektorin veronpalautukset säilyvät ja muista luovutaan ennen 2030.

¹⁾ WEM- ja WAM-H-skenaariossa KHK-päästöille ei asetettu tavoitteita, vaan mallitarkasteluiden perusteella arvioitiin KHK-päästöjen kehitystä nykytoimilla ja hallituksen lisätoimilla.

²⁾ WAM-skenaariossa vuosien 2030, 2040 ja 2050 tavoitteet määrittävät KHK-päästöjen maksimimäärät ja perustuvat Suomen ilmastolakiehdotukseen. Vuoden 2035 tavoite vastaa hiilineutraalisuustavoitetta, jossa KHK-päästöt on määritetty WEM-skenaariossa LULUCF-mallinnuksen mukaan ja lisäksi LULUCF-sektorin netto-nieluja vahvistetaan 3 Mt CO₂-ekv., jolloin vuoden 2035 KHK-päästötavoitteeksi saadaan 21 Mt CO₂-ekv.

³⁾ EU ei ole määrittänyt jäsenmailleen taakanjakosektorin tavoitetta vuoden 2030 jälkeen. Taakanjakosektorin KHK-päästötavoite on kuitenkin mallinnuksessa oletettu hieman kiristyvän 2030 jälkeen kokonaispäästötavoitteen kiristytessä.

⁴⁾ Oletukset LULUCF-sektorin kehityksestä perustuvat Luken HIISI-hankkeessa laatimiin laskelmiin (ks. Maanavilja ym. 2021).

⁵⁾ Perustuu EU:n hallintomalliasetuksen WEM-määrittelyihin. WAM- ja WAM-H-skenaariossa hinta- ja päästöoikeuden taustalla on EU:n tiukennetut KHK-päästötavoitteet ja nykyinen päästöoikeuden hintataso.

⁶⁾ WAM-H-skenaariossa liikenteen kehitysarvioiden (käyttövoimat ja suoritteet) taustalla on oletus liikenteen päästökaupasta KAISU-luonnoksen mukaisesti. Sen sijaan rakennusten erillislämmitys- tai työkonesektoreille päästökaupan ei oletettu toteutuvan.

⁷⁾ Sisältää myös 1.8.2020 voimaantulleen valmisteverojen korotuksen, vaikka päätökset olivat olemassa ennen 31.12.2019.

⁸⁾ Sähkön ja polttoaineteiden veronpalautuksista (pl. maatalouden) luovutaan hallituksen päätöksen mukaisesti jo 2025, joka ei ole TIMES-skenaarioiden laskentavuosi, joka vuoksi veronpalautuksista luopuminen toteutuu laskelmissa ennen vuotta 2030.

2.2 WAM-h-skenaarion kuvaus ja lähtöoletukset

WAM-h-skenaarion osalta on keskitytty alla niiden lähtöoletusten kuvaamiseen, jotka perustuvat hallituksen budjettiriihen päätöksiin 9.9.2021, KAISU-luonnoksessa esitettyihin toimiin (YM 2021) ja tämän hankkeen ohjausryhmän esittämiin tarkennuksiin edellä mainituista päätöksistä ja toimista. Maatalouden, LULUCF-sektorin, F-kaasujen, työkonesektorin ja teollisuuden kehitysten osalta WAM-h-laskelmat perustuvat pääosin HIISI-hankkeen aineistoihin, joita on käytetty TIMES-VTT-mallinnuksen lähtötietoina. Asuin- ja palvelurakennusten energiankäytön osalta mallinnus perustuu myös HIISI-hankkeen aineistoihin rakennuskannan kehityksestä sekä rakennusten lämmitysenergian tarpeesta (kWh/m²) kattaen tilojen ja käyttöveden lämmityksen. TIMES-VTT-mallinnuksen WEM- ja WAM-skenaarioiden lähtötietoja on kuvattu tarkemmin raportissa Lehtilä ym. (2021).

WAM-h-politiikkaskenaariossa päivityksiä on erityisesti laadittu liikenteen kehityksen ja energiantuotannon osalta, joita on kuvattu alla. Lisäksi alla on kuvattu taakanjakosektoriin kohdistuvia ilmasto- ja energiapoliittisia toimia perustuen KAISU-luonnokseen sekä TIMES-VTT-mallinnuksen oletuksiin.

2.2.1 Energian ja polttoaineiden tuotanto

HIISI-hankkeen WAM-skenaariossa lähtötiedot päätetyistä tuulivoimainvestoinneista perustuivat vuoden 2020 tietoihin. Tuulivoiman kehitys Suomessa on ollut erittäin nopeaa, joten WAM-h-skenaariossa päivitettiin tiedot rakenteilla olevista tuulivoimaloista ja päätetyistä investoinneista vuoteen 2024 asti. Tiedot perustuvat Suomen Tuulivoimayhdistyksen julkaisemiin tietoihin⁴, joiden mukaan julkisten investointipäätöstietojen perusteella kumulatiivinen tuulivoimakapasiteetti olisi noin 7200 MW vuonna 2024. WAM-h-skenaariossa tuulivoimatuotantoon investoidaan myös mallin optimoinnin tuloksena, mutta 7200 MW on tuulivoimakapasiteetin alaraja vuodesta 2024 eteenpäin.

Toinen nopeasti muuttuva energiantuotantomuoto on ollut polttoturpeen käyttö energiantuotannossa. HIISI-hankkeen WEM- ja WAM-skenaarioissa lähtötiedot turpeen käytöstä luopumisista perustuivat Afryn (2020) selvitykseen ja kaupunkien energiayhtiöiden julkaisemiin tietoihin. HIISI-selvityksen mukaan (Lehtilä ym. 2021) turpeen käytön supistuminen on etenkin vuoteen 2025 mennessä hyvin nopeaa, jolloin se putosi HIISI:n WEM-skenaariossakin alle puoleen 2010-luvun keskimääräisestä tasosta. Viime aikojen päästöoikeuksien hinnan nopea nousu ennakoii kuitenkin vieläkin nopeampaa turpeen käytöstä luopumista. Esimerkiksi Tampereen sähkölaitos ilmoitti luopuvansa turpeen käytöstä jo vuonna 2024, kun aikaisempi tavoite oli asetettu vuodelle 2030⁵. Neova (entinen Vapo) ilmoitti vuoden 2021 lopussa, ettei tuota enää lainkaan jyrsinpolttoturvetta kysynnän voimakkaan laskun

⁴ Suomen Tuulivoimayhdistys 12.1.2022. Rakenteilla olevat hankkeet. <https://tuulivoimayhdistys.fi/tuulivoima-suomessa/rakenteilla-olevat-hankkeet>

⁵ Tampereen sähkölaitos, 11.1.2022. Turpeen poltto loppuu Tampereella. <https://www.sahkolaitos.fi/blogiarkisto/turpeenpolto-loppuu-tampereella/>

seurauksena⁶. Afryn (2021a) selvitys myös tukee tätä kehitystä ja WAM-H-oletukset ovat rinnastettavissa Afryn arvioihin.

Turpeen nopeutetun alasajon lisäksi myös kivihiilen käytöstä luopuminen on nopeampaa uusimpien tietojen perusteella kuin mitä HIISI-skenaarioissa oli oletettu. Helen ilmoitti nopeuttavansa kivihiilen korvaamista ja sulkevansa Hanasaaren voimalaitoksen vuoden 2024 loppuun mennessä⁷. Kannattaa kuitenkin huomata, että kivihiilen käytöstä energiantuotannossa luovutaan vuonna 2029 jo WEM-skenaariossa perustuen nykyilmaisäädäntöön, joten edellä mainitulla muutoksella on vain vähäinen vaikutus vuoden 2030 tuloksiin, joka on mallinnustulosten osalta ensimmäinen raportointivuosi.

Kuten jo edellä esitettiin, pieniä päivityksiä on myös huomioitu biojalostamoiden osalta perustuen päätettyihin investointeihin. WAM-H-skenaarion taustalla on käytetty muun muassa Afryn (2021b) selvitystä. Toisaalta kannatta huomata, että isojen biojalostamoinvestointien osalta sekä WEM- että WAM-skenaarioissa oletettiin, että Suomeen investoidaan yksi laitos vuoteen 2030 mennessä, joka ei käyttäisi raaka-aineenaan kiinteää puubiomassaa. HIISI-hankkeen aikana Neste Oy jo ilmoitti, että heidän uuden biojalostamon sijoituspaikka on Hollannin Rotterdam. Tätä raporttia kirjoitettaessa UPM ilmoitti jatkavansa uuden biojalostamon suunnittelua Rotterdammassa Kotkan sijasta. Tältä osin sekä WEM- että WAM-H-skenaarioon liittyy merkittävää epävarmuutta.

2.2.2 Teollisuuden kehitys

Energiaintensiivisen teollisuuden osalta WAM-H-skenaarion oletukset vastaavat HIISI:n WAM-skenaarion lähtöoletuksia (Lehtilä ym. 2021). KHK-päästöjen vähentämisen kannalta keskeisiä lähtöoletuksia ovat erityisesti teollisten prosessien sähköistyminen ja uusiutuvan vedyn hyödyntäminen sekä oletukset liittyen hiilidioksidin talteenottoon ja varastointiin, eli CCS:än (carbon capture and storage). Suurimmat teollisuusprosessien KHK-päästöt liittyvät hiiliteräksen valmistukseen ja fossiilisen öljyn jalostukseen, joten alla on kuvattu, mitä keskeisiä WAM-H-skenaarion oletuksia näihin teollisuusprosesseihin liittyy.

Kuten HIISI:n WAM-skenaariossa, myös WAM-H-skenaariossa oletettiin, että hiiliteräksen tuotannossa siirrytään vetypelkistykseen siten, että 1. masuuni korvautuu vetypelkistykseen perustuvalla tuotantotekniikalla vuoden 2035 jälkeen ja toinen vastaavasti vuoden 2040 jälkeen. Tätä raporttia kirjoittaessa SSAB ilmoitti suunnittelewansa uutta tuotantojärjestelmää pohjoismaisille toimintoilleen ja aikaistavansa

⁶ Neova Group. 26.11.2021. Neova tekee 16,2 milj. euron alaskirjauksen Suomen energiaturvetuotannon lopettamisen takia. [Neova tekee 16,2 milj. euron alaskirjauksen Suomen energiaturvetuotannon lopettamisen takia - Neova Group \(neova-group.com\)](https://www.neova-group.com)

⁷ Helen 27.1.2022. Helen nopeuttaa kivihiilen korvaamista. <https://www.helen.fi/uutiset/2020/helen-nopeuttaa-kivihiilen-korvaamista>

vihreää siirtymää tavoitteenaan siirtyä suurelta osin fossiilivapaaseen teräksentuotantoon noin vuonna 2030. SSAB:n uutisessa⁸ kuitenkin kerrottiin, että Raahen tehtaiden uusiminen perustuisi minimimills-tuotantoon, johon sisältyvät valokaariuunit ja valssaamot, eikä WAM-H-skenaariossa oletettu vetypelkistykseen perustuva prosessi.

Fossiilinen öljynjalostus tuottaa hiiliteräksen valmistuksen jälkeen toiseksi suurimmat KHK-päästöt. Neste Oy on ilmoittanut tavoittelevansa hiilineutraalia tuotantoa vuoteen 2035 mennessä. WAM-H-skenaariossa, samoin kuin WAM-skenaariossa, mallitarkasteluissa on sallittu CCS-investoinnit maakaasun höyryreformointilaitoksen yhteyteen ennen vuotta 2035, eli niin sanottuun siniseen vedyntuotantoon. Uusiutuvaan sähköön ja elektrolyysiin pohjautuvaan vedyntuotantoon liittyvät investoinnit on sen sijaan oletettu toteutuvan, eli kyseiset investoinnit ovat mallinuksen lähtötietona. Marraskuussa 2021 EU:n innovaatorahasto myönsi 88 miljoonaa euroa Nesteen CCS- ja vihreän vedyn tuotannon demonstraatioprojektille Porvoon jalostamolla⁹. Demonstraation toteutettavuutta parhaillaan selvitetään ja investointipäätös tehdään vuonna 2023. Vihreän vedyn tuotantoon on suunniteltu 50 MW elektrolyyseri ja hiilidioksidi kuljetettaisiin johonkin Pohjanmeren geologiseen varastoon¹⁰.

Fossiilisen hiilidioksidin talteenoton lisäksi WAM-H-skenaariossa TIMES-VTT-malli voi optimoinnin tuloksena investoida ns. BECCS (bioenergy CCS) -teknologiaan vuodesta 2035 eteenpäin. BECCS-teknologia mahdollistaa teknisin keinoin poistaa hiilidioksidia ilmakehästä, eli saavuttaa negatiivisia KHK-päästöjä. BECCS-teknologiaa voisi Suomessa soveltaa erityisesti toisen sukupolven biojalostamoiden ja metsäteollisuuden prosesseihin integroituneina.

2.2.3 Liikenteen kehitys

Liikenteen TIMES-VTT-mallinnus perustuu VTT:n marraskuussa 2021 LVM:lle laatimaan politiikkaskenaarioon, joka laadittiin VTT:n ALIISA-mallilla. Liikenteen WAM-H-skenaarioon on sisällytetty toimenpiteet, jotka sisältyvät Fossiilittoman liikenteen tiekarttaan (LVM 2021) ja/tai EU:n heinäkuussa 2021 julkaistuun 55-valmiuspakettiin. Alla on esitetty keskeiset WAM-H-skenaariotaustalla olevat oletukset, joita on raportoitu KAISU-luonnoksessa (YM 2021).

- Biokaasun ja sähköpolttoaineiden sisällyttäminen jakeluvaihtoehtoon: WAM-H-skenaariossa nestemäisten biojalosteiden jakeluvaihtoehtona tieliikenteessä on sama 30 prosenttia vuonna 2030, kuin WEM-skenaariossa. Bio-

⁸ SSAB 28.1.2022. SSAB suunnittelee uutta tuotantojärjestelmää pohjoismaisille toiminnoilleen ja aikaistaa vihreää siirtymäänsä. <https://www.ssab.fi/uutiset/2022/01/ssab-suunnittelee-uutta-tuotantojarjestelm-pohjoismaisille-toiminnoilleen-ja-aikaistaa-vihre-siirtymyn>

⁹ Neste 17.11.2021. Neste to receive funding from the EU Innovation Fund to develop its Porvoo refinery through green hydrogen production and carbon capture & storage. <https://www.neste.com/releases-and-news/innovation/neste-receive-funding-eu-innovation-fund-develop-its-porvoo-refinery-through-green-hydrogen>

¹⁰ Outi Ervasti, Neste 24.11.2021. Ilmastotekoja nyt! -seminaari Finlandialatossa. <https://ilmastotekoja-nyt-seminaari-2411.sourcehub.fi/#/page=1>

kaasun liikennekäytön osalta jakeluvaihtoehtoon on lisätty 2,5 TWh bio-kaasua, jolloin jakeluvaihtoehto nousee 34 prosenttiin. LVM:n (2021) arvion mukaan jakeluvaihtoehtoon noston KHK-päästövaikutus olisi 0,21 Mt. Jakeluvaihtoehtoon myötä biokaasulle asetetaan myös energiasisältövero.

- Liikennesähkön ja -kaasun julkisen jakeluinfrastruktuurin tuki: Infrastruktuuria ei ole mallinnettu TIMES-VTT-laskelmissa, vaan tukien vaikutukset näkyvät ALIISA-mallin tuottamista muutoksista tieliikenteen käyttövoimissa. LVM:n (2021) mukaan KHK-päästövähennysvaikutus olisi 0,013-0,026 Mt.
- Sähköautojen latausinfrastruktuurin tuet ja hallituksen syksyn 2021 budjettiriihessä päättämät sähköautojen hankintatuet sekä täyssähköautojen autoveron poisto ja vastaavasti täyssähköautojen ajoneuvoveron perusveron korotus: Sähköautojen infrastruktuuria ei ole mallinnettu TIMES-VTT-laskelmissa, vaan tukien vaikutukset näkyvät ALIISA-mallin tuottamista muutoksista tieliikenteen käyttövoimissa. LVM:n (2021) mukaan yksityisen latausinfrastruktuurin KHK-päästövähennysvaikutus olisi 0,02-0,1 Mt ja sähköautojen hankintatuen ja autoveron poiston vaikutus noin 0,02 Mt.
- Autokannan uudistaminen: WAM-H-skenaariossa sähköisten henkilöautojen määrä nousee 750 000 kappaleeseen vuonna 2030, joka vastaa myös HIISI-hankkeen WAM-oletuksia sähköisten henkilöautojen määrästä. Jakeluvaihtoehtoon nosto biokaasun osalta näkyy sen sijaan WAM-H-skenaariossa oletuksissa kaasuhenkilöautojen määrässä, joiden oletetaan nousevan 130 000 kappaleeseen vuonna 2030, kun HIISI-hankkeen WAM-skenaariossa vastaavat määrät olivat 24 000 kappaletta. Vuonna 2045 vastaavat luvut ovat noin 2,5 miljoonaa sähköautoa ja noin 50 000 kaasuautoa. Kaasuautojen määrä laskee, koska on oletettu, että uusia kaasuautoja ei enää tule markkinoille 2030 jälkeen. Bensiini- ja dieselkäyttöisiä autoja on WAM-H-skenaariossa vuonna 2045 jäljellä enää noin 332 000 kappaletta. Merkittävä tekijä autokannan uudistamiseksi on oletus EU:n henkilö- ja pakettiautojen CO₂-raja-arvojen tiukentamisesta. LVM:n (2021) mukaan päästövähennysvaikutus olisi 0,106 Mt, jos uusien henkilöautojen keskimääräiset CO₂-päästöt olisivat jatkossa 40 % pienemmät vuonna 2030 kuin vuonna 2021.
- Liikennejärjestelmän tehostaminen: WAM-H-skenaariossa henkilöautojen suorite ei enää kasva vuosien 2017-2019 tasosta (noin 41 Mrd km/a), joten se on perusennusteeseen verrattuna noin 13 % pienempi vuonna 2030. Kuorma-autojen suoritteet kasvavat samoin kuin WEM-skenaariossa. Suoritteen osalta on huomioitu muun muassa etätyön lisääntyminen WAM-H-skenaariossa, jolta osin WAM-H-skenaario eroaa HIISI-hankkeen WAM-skenaariosta. Etätyön KHK-päästövaikutus on tosin KAISU-luonnoksessa arvioitu verrattain pieneksi, eli 0,08-0,125 Mt CO₂ (YM 2021), mutta epävarmuus tämänkin osalta on suuri.
- FitFor55-säädösehdotuspaketin vaikutukset: Euroopan komissio on ehdottanut liikenteen kytkemistä päästökauppaan ja myös kansallista liikenteen päästökauppaa on selvitelty. Toisin kuin HIISI-hankkeen WAM-skenaariossa, WAM-H ALIISA-mallinnukseen on sisällytetty myös liikenteen

päästökauppa. Liikenteen päästökauppaa ei kuitenkaan ole mallinnettu TIMES-VTT-laskelmissa, joten se tulee ainoastaan epäsuorasti huomioiduksi ALIISA:n tuottamien lähtötietojen kautta. KAISU-luonnoksessa (YM 2021) on arvioitu liikenteen päästökaupan KHK-päästövähennyksiksi 0,3-0,4 Mt CO₂.

2.2.4 Rakennusten erillislämmitys, työkoneet ja päästökaupan ulkopuolinen teollisuus

Kuten edellä esitettiin, rakennusten erillislämmityksen ja työkoneiden osalta WAM-H-skenaarion oletukset ovat hyvin pitkälti samat kuin HIISI-hankkeen WAM-skenaariossa, jossa keskeinen toimi liittyy fossiilisen öljynkäytön vähentämiseen. WAM-H-skenaariossa on oletettu KAISU-luonnoksen mukaisesti, että kevyen polttoöljyn bio-osuuden jakeluvaihte nostetaan WEM-skenaarion 10 prosentista 30 prosenttiin vuoteen 2030 mennessä. Biopolttoöljyn jakeluvaihteen nosto ulotetaan rakennusten erillislämmityksen lisäksi työkoneisiin ja päästökaupan ulkopuoliseen teollisuuteen.

Bio-osuuden jakeluvaihteen noston lisäksi WAM-H-skenaariossa on oletettu, että asuinrakennuksissa sekä palvelu- ja julkisen sektorin kiinteistöissä luovutaan 95 prosenttisesti fossiilisen lämmitysöljyn käytöstä vuoteen 2030 mennessä. KAISU-luonnoksessa on esitetty useita avustus- ja tukitoimia tämän tavoitteen saavuttamiseksi, joiden vaikuttavuutta KHK-päästöjen vähentämisessä ei kuitenkaan pysty mallintamaan TIMES-VTT-mallilla.

Työkoneiden osalta KHK-päästöt vähenevät paitsi kevyen polttoöljyn bio-osuuden kasvun myötä myös oletetun sähköistymisen kautta, joka on oletettu lähes samaksi WAM-H-skenaariossa kuin HIISI-hankkeen WAM-skenaariossa. Pieniä muutoksia on kuitenkin tehty perustuen ministeriöiden tuottamiin aineistoihin.

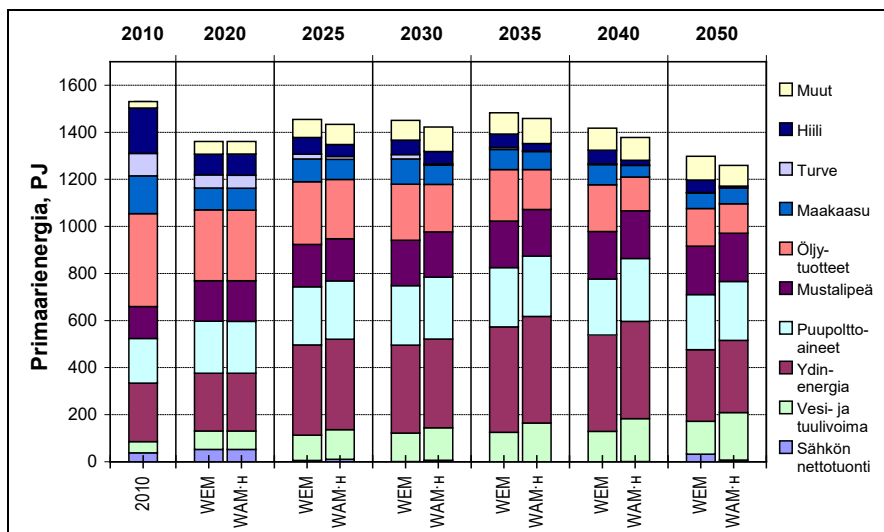
Toisin kuin KAISU-luonnoksessa (YM 2021), WAM-H-skenaariossa ei oletettu rakennusten erillislämmityksen ja työkonesektorien liittämistä päästökauppaan. KAISU-raportissa näille molemmille oli arvioitu 0,1 Mt päästövähennyksiä. Sen sijaan 2,7 €/MWh valmisteveron korotukset, jotka tulivat voimaan vuoden 2021 alusta, ovat luonnollisesti huomioitu WAM-H-skenaariossa.

3. Energiajärjestelmän ja kasvihuonekaasupäästöjen kehitykset

3.1 Energian hankinta

Primaarienergian kokonaiskulutus on mallinnettu ja raportoitu yhdenmukaisesti IEA:n (International Energy Agency) energiataseiden kanssa, joten luvut eivät ole täysin vertailukelpoisia kansallisen energiatilastoinnin kanssa. Mallinnuksessa vuotta 2020, joka oli monessa suhteessa hyvin poikkeuksellinen, ei ollut kalibroitu kuin osittain toteutuneiden lukujen mukaan, joista ei yhdenmukaisia IEA:n julkaisemia tilastoja ollut vielä käytettävissä. Kokonaiskulutus on WEM-skenaariossa korkeimmillaan vajaat 1500 PJ (runsaat 400 TWh) vuonna 2035, jonka jälkeen kulutus alkaa pienentyä (Kuva 1). Oletetut uudet ydinvoimalaitokset, jotka tulevat käyttöön vuosina 2022 ja 2032, ovat suurin yksittäinen primaarienergian kulutusta lisäävä tekijä. WAM-H-skenaariossa kokonaiskulutus on lisätehostumisen myötä 2030-2040 noin 2 % WEM-skenaariota pienempi.

Kasvihuonekaasujen kokonaispäästöistä (LULUCF-sektori pois lukien) energiaeräisten päästöjen osuus on Suomessa lähes 80 %, joten energian kokonaiskulutus ja sen jakaantuminen eri energialähteisiin vaikuttavat keskeisesti päästöjen kehitykseen. Primaarienergian kokonaiskulutuksesta fossiilisten polttoaineiden ja turpeen osuus oli vuonna 2019 noin 42 %, kun niiden osuus oli vielä vuonna 2010 noin 54 % (TK 2021). Niiden osuus laskee WEM-tulosten mukaan vuonna 2030 edelleen noin 30 %:iin, vuonna 2040 noin 25 %:iin ja 2050 noin 20 %:iin. Ydinenergian ja uusiutuvan energian osuudet vastaavasti kasvavat.

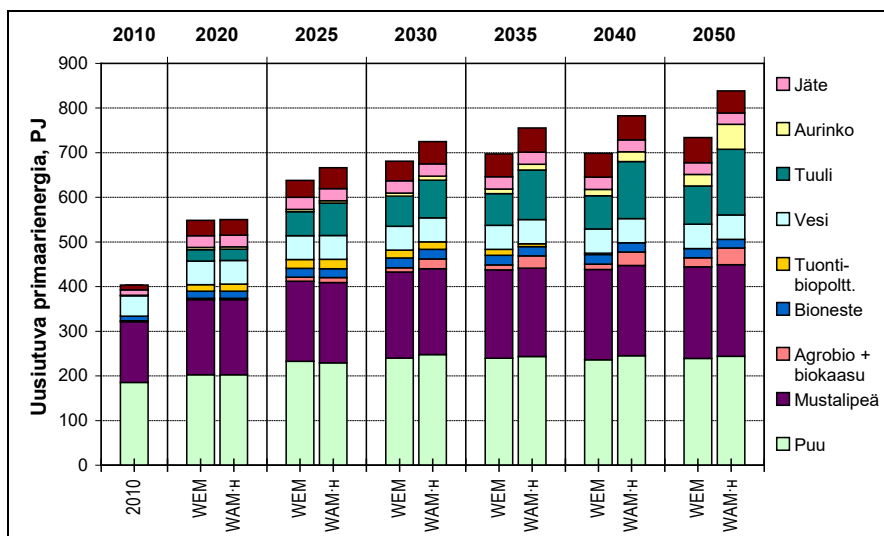


Kuva 1. Primaarienergian kokonaiskulutuksen kehitys energialähteittäin WEM- ja WAM-H -skenaariossa vuoteen 2050.

Vuoteen 2030 mennessä eniten vähenevät turpeen ja kivihiilen energiankäytöt, mutta maakaasun kokonaiskäyttö sen sijaan voisi tulosten mukaan WEM-skenaariossa jopa hieman kasvaa vuoden 2020 tasosta. WAM-H-skenaariossa fossiilisten polttoaineiden käytön supistuminen voimistuu, ja tällöin myös maakaasun käyttö vähenee huomattavasti jo 2030 mennessä. Turpeen ja kivihiilen käytön väheneminen heijastuu toisaalta kummassakin skenaariossa bioenergian, etenkin puupolttoaineiden käytön kasvuna.

Uusiutuvan energian osuus oli vuonna 2019 noin 34 % primaarienergiasta, ja osuuden kasvu jatkuu kummassakin skenaariossa huomattavana. WEM-skenaariossa se nousee vuoteen 2030 mennessä 43 %:iin ja 2050 mennessä 51 %:iin, WAM-H-skenaariossa 2030 mennessä 47 %:iin ja 2050 mennessä 57 %:iin. Uusiutuvan energian ja jätepolttoaineiden kokonaiskäyttö ylittää WAM-H-skenaariossa 700 PJ:n määrän vuonna 2030 (Kuva 2). Vaikka puuenergian kysyntä kasvaa tulosten mukaan skenaarioissa tuntuvasti vuoteen 2030 mennessä, kasvusta suuri osa syntyy suoraan metsäteollisuuden tuotannon ja raaka-ainepuun kasvun myötä sivutuotevirtoina (Kuva 3). Koska runkopuuta ei ainespuuksi huonosti soveltuvaa harvennusten pienpuuta lukuun ottamatta oletettu voitavan käyttää primaarisesti energiaksi, WAM-H-skenaariossa kotimaisen puun energiakäyttö on korkeintaan runsaat 10 PJ WEM-skenaariota suurempi. Energiapuun lisätuonnilla puun energiakäyttöä voitaisiin kasvattaa, mutta kestävyysnäkökohtien perusteella tuonti oli tarkastelussa rajoitettu korkeintaan noin 5 TWh:n määrään, kun se oli vuonna 2020 vajaat 4 TWh.

Aiemmin muun muassa kansallisessa metsästrategiassa esillä olleita tavoitteita metsähakkeen käytön lisäämisestä 25 TWh:iin (12,5 milj. m³, 90 PJ) sähkön ja lämmön tuotannossa vuonna 2020 ja edelleen 15 milj. m³:iin eli noin 30 TWh:iin vuonna



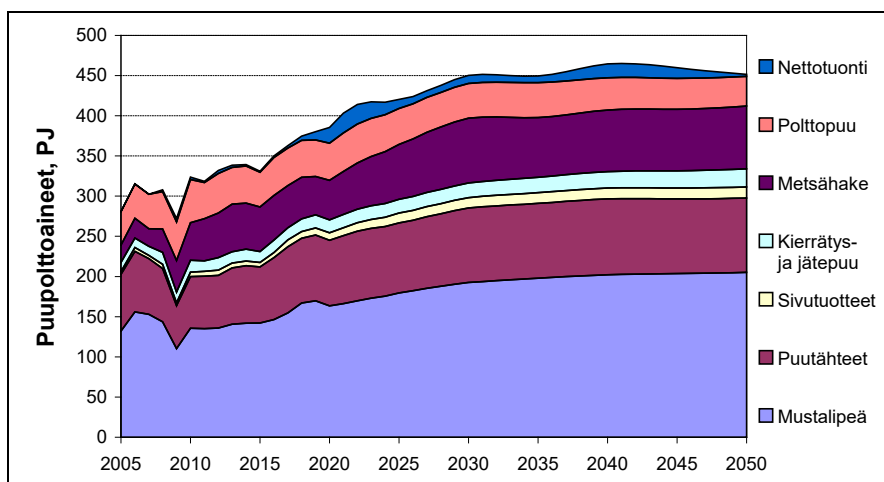
Kuva 2. Uusiutuvan primaarienergian ja jätepolttoaineiden hyödyntämisen kehitys WEM- ja WAM-H-skenaariossa 2010–2050.

2025 (MMM 2015) ei saavuteta kotimaisen hakkeen osalta kummassakaan skenaariossa vuoteen 2050 mennessä. Vuonna 2030 käyttö kasvaa WEM-tulosten mukaan noin 10,5 milj. kuutiometriin (21 TWh) ja WAM-H-skenaariossa noin 11 Mm³:iin (22 TWh). Lähitulevaisuuden kehitystä tarkasteltaessa on kuitenkin huomattava, että viime vuosina lisääntynyt tuontihakkeen käyttö korvaa osittain kotimaista metsähaketta sähkö- ja lämpölaitoksissa.

Tuuli- ja aurinkoenergia nousevat erityisesti WAM-H-skenaariossa merkittävään asemaan uusiutuvan energian hankinnassa. Vielä vuonna 2019 niiden osuus oli vain 4,4 % uusiutuvasta energiasta (TK 2021), mutta WAM-tulosten mukaan osuus nousee vuoteen 2030 mennessä 13 %:iin ja vuonna 2050 suunnilleen kuusinkertaiseksi, 26 %:iin. Tuulivoiman osalta on kuitenkin hyvä pitää mielessä, että uusien voimalainvestointien kohdentumista Pohjoismaisilla markkinoilla on vaikea arvioida, minkä vuoksi myös tuloksiin sisältyy tältä osin epävarmuutta. WAM-H-skenaariossa laskentaoletuksissa on huomioitu julkisiin lähteisiin perustuvat tiedot suomalaisista investointipäätöksistä vuoteen 2024 asti (ks. luku 2.2.1).

Sähkön ja lämmön tuotanto on maailmanlaajuisesti tärkein hiilidioksidia polttoaineiden poltosta tuottava sektori, ja Suomessa sen osuus polttoaineiden polton hiilidioksidipäästöistä on ollut lisäksi kansainvälistä keskiarvoa suurempi, joten sähkön ja lämmön tuotannon kehityksellä on keskeinen merkitys etenkin tulevissa hiilineutraalisuuteen tähtäävissä WAM-ilmastotoimissa. Mallilaskelmien mukainen sähkön kokonaishankinnan kehitys on esitetty energialähteittäin kuvassa 4.

Vuonna 2010 sähkön kokonaiskulutus oli noin 88 TWh, jonka jälkeen 2011-2019 kulutus on vaihdellut 83 ja 87 TWh:n välillä. Vuosi 2020 puolestaan oli Suomessa toisaalta mittaushistorian kaikkien aikojen lämpimin ja toisaalta myös koronavirusepidemian vuoksi taloudellisen toimeliaisuuden osalta taantumakuopan vuosi, joista syistä myös sähkön kokonaiskulutus laski poikkeuksellisen alas. Mallinnetut

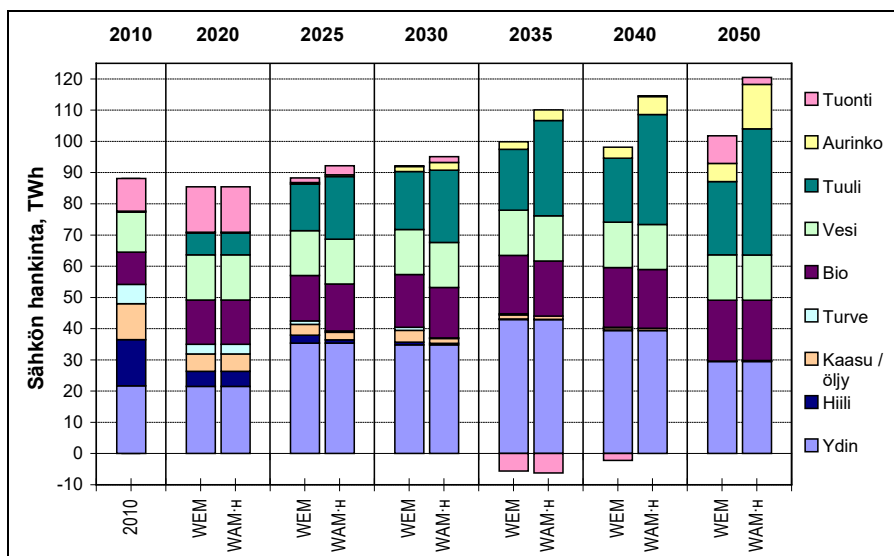


Kuva 3. Puupolttoaineiden ja metsäteollisuuden sivuvirtojen energiakäytön kehitys WAM-H-skenaariossa päälajeittain.

skenaariot sen sijaan perustuvat tulevaisuuden osalta ilmaston tasaista lämpenemistä lukuun ottamatta normaalivuosiin, eikä vuoden 2020 erityisluonnetta ole voitu ottaa huomioon kuin pieneltä osin. Oletusten mukaan Suomen talous palautuu koronalamasta varsin nopeasti, ja tulosten mukaan sähkön kokonaiskulutus nousee vuonna 2030 jo yli 92 TWh:n tason, WAM-H-skenaariossa 95 TWh:iin. Sähkön kulutus ja tuotanto ovat tällöin lähes tasapainossa uuden ydinvoimalaitoksen ja nopeasti kasvaneen tuulivoimakapasiteetin ansiosta. Sähköistyminen on näkyvää jo 2020-luvulla muun muassa liikenteen sähköajoneuvojen markkinaosuuden voimakkaana kasvuna. Energiatalouden sähköistyminen jatkuu tämän jälkeenkin voimakkaana, ja sähkön kulutus kasvaa vuoteen 2050 mennessä WEM-skenaariossakin noin 100 TWh:n tasolle ja WAM-H-skenaariossa noin 120 TWh:n tasolle.

Sähkön tuotantorakenteesta tapahtuu jo vuoteen 2030 mennessä suuria muutoksia. Sekä hiilivoiman että turvevoiman tuotannot putoavat kumpikin murto-osaan vuoden 2010 tasosta, ja melkein yhtä voimakkaasti vähenee myös maakaasuvoiman tuotanto. Fossiilisiin tuontipolttoaineisiin ja turpeeseen perustuvasta sähköntuotannosta voidaan siten lähes luopua jo vuoteen 2030 mennessä. WEM- ja WAM-H-skenaarioissa ei ole tässä suhteessa kovin suurta eroa.

Sähköntuotannon omavaraisuus paranee tulosten mukaan 2020-luvulla voimakkaasti erityisesti ydinvoiman ja tuulivoiman tuntuvan lisäyksen myötä. Vuoden 2030 tilanteessa sähkötase on kummassakin skenaariossa suunnilleen tasapainossa, ja sen jälkeen Suomi muuttuu sähkön nettoviejäksi noin vuoteen 2040 asti. WAM-H-skenaariossa nopeampi energiatalouden sähköistyminen ja fossiilisista polttoaineista luopuminen heijastuvat samalla erityisesti tuuli- mutta myös aurinkovoiman

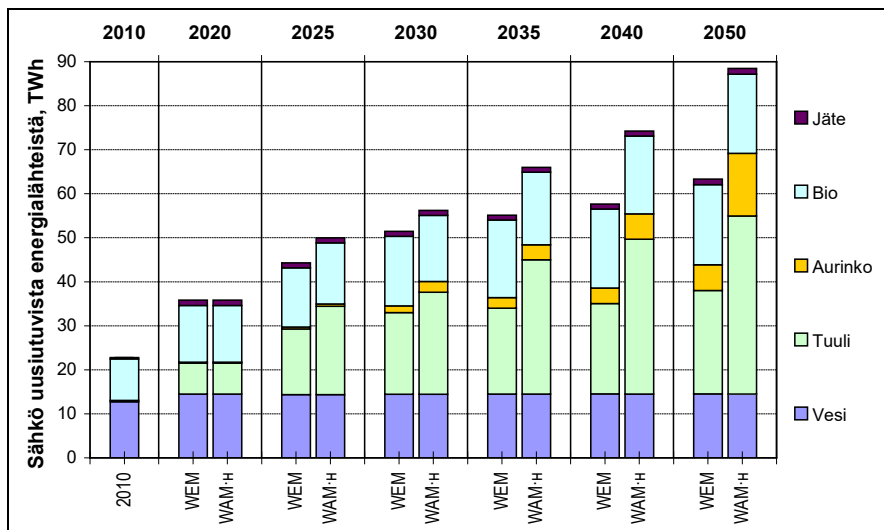


Kuva 4. Sähköenergian kokonaishankinnan kehitys WEM- ja WAM-H-skenaariossa.

voimakkaampana kasvuna, eikä sähkön tuontitarve nouse vuoteen 2050 mennessäkään merkittäväksi. Sähkötaseen tasapaino voi toki melko herkästi muuttua sen mukaan, kun tuuli- ja aurinkovoiman lisäinvestointeja suuntautuu joko Suomen rajojen sisäpuolelle tai lähialueille. Runsaat investoinnit kulutuksen ylittävään kapasiteettiin tuskin kuitenkaan muodostuvat kannattaviksi, mutta toisaalta myös sähkön kysynnän kehitykseen liittyy epävarmuutta.

Kaikkiaan sähkön tuotanto uusiutuville energialähteillä ja jätepolttoaineilla yli kaksinkertaistuu vuoteen 2030 mennessä vuoden 2010 tasosta (Kuva 5). Suurinta kasvu on 2020-luvulla tuulivoiman tuotannon laajenemisen ansiosta, joka jatkuu WAM-H-skenaariossa myös seuraavina vuosikymmeninä. Vuosina 2040-2050 WAM-H-skenaariossa tuulivoiman rinnalla tapahtuu myös aurinkosähkön selvä läpimurto. Vesivoiman tuotannossa ei ole otettu huomioon ilmastonmuutoksen mahdollista vaikutusta tuotannoissa olevien vesistöjen valumiin, joten tuotantotaso kasvaa mallinnustuloksissa hyvin maltillisesti lähinnä vanhojen laitosten kunnostuksen kautta.

Yhdyskuntien yhdistetty sähkön tuotanto lämmöntuotannon yhteydessä (CHP) supistuu kummassakin skenaariossa hitaasti 6-7 TWh:n tasolle vuonna 2050. WAM-H-skenaariossa supistuminen on aluksi nopeampaa vuosina 2020-2040, mutta vuonna 2050 CHP-tuotannon taso on suunnilleen sama kuin WEM-skenaariossa. Laajaan käyttöön jää jäljelle pääasiassa vain bioenergiapohjainen yhteistuotanto, joka sijoittuu tulevaisuudessa usein myös integroituihin biojalostamoihin. Biosähkön kokonaistuotanto nousee sekä turpeen ja kivihiilen käytöstä luopumisen vastapainona että jonkin verran myös metsäteollisuuden sellutuotannon kasvavia lämpöyljäämiä hyödyntämällä, koska paperin tuotannon aleneminen pienentää myös merkittävästi paperiteollisuuden lämmönkulutusta.



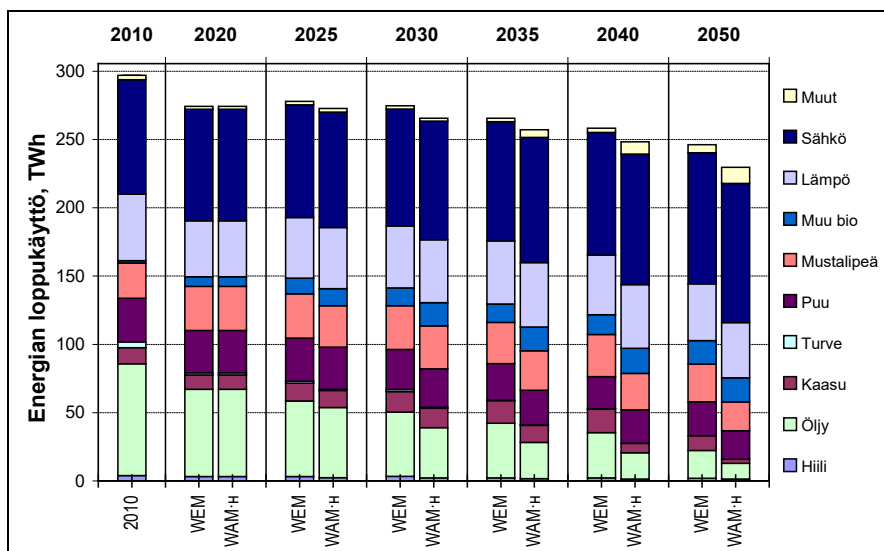
Kuva 5. Sähkön tuotanto uusiutuvista energialähteistä ja jätepolttoaineista WEM- ja WAM-H-skenaariossa.

Vaikka bioenergian hinnat nousevat skenaarioissa tuntuvasti vuoteen 2030 saakka kysynnän kasvaessa, kaukolämpöverkkojen olemassa olevan infrastruktuurin vuoksi yhdyskuntien kaukolämpöön perustuva lämmöntuotantojärjestelmä ei kuitenkaan dramaattisesti supistu. Kaukolämmön erillistuotannossa lämpöpumppujen käyttö toisaalta laajenee huomattavasti, mikä lisää osaltaan energiasektorin omaa sähkön kulutusta. WAM-H-skenaariossa kaukolämpöpumppujen sisällyttäminen alempaan sähköveroluokkaan hallituksen päätöksen mukaisesti tukee lisäksi siirtymää tulevaisuuden joustaviin kaukolämpöjärjestelmiin. Sähköntuotanto jätepolttolaitoksissa hyödyntävissä laitoksissa pysyy sekä WEM- että WAM-H-skenaariossa lähes nykyisellä tasolla vuoteen 2050 saakka.

3.2 Energian kulutus

3.2.1 Loppuenergian kokonaiskulutus

Muun muassa IEA:n noudattaman määritelmän mukainen energian loppukulutus oli Suomessa vuonna 2010 yhteensä noin 300 TWh, josta sähköä oli 28 %, lämpöä noin 13 % ja suoraa polttoainekäyttöä 59 % (IEA 2020, TK 2021). Mallilaskelmien tulosten mukaan loppukäytön kokonaismäärä pysyy WEM-skenaariossa vuoteen 2030 saakka lähellä vuoden 2015 tasoa, mutta kääntyy sen jälkeen selvemmin laskusuuntaan (Kuva 6). Kokonaiskulutuksen vähentyessä sähkön kulutus kuitenkin kasvaa, eli loppukulutuksen tehostuminen kohdistuu erityisesti polttoaineisiin ja lämpöön, joita samalla korvataan ainakin osittain sähköllä. IEA:n käytäntöjen mukaisesti esitetyt loppukulutusluvut eivät kuitenkaan määritelmiltään täysin vastaa

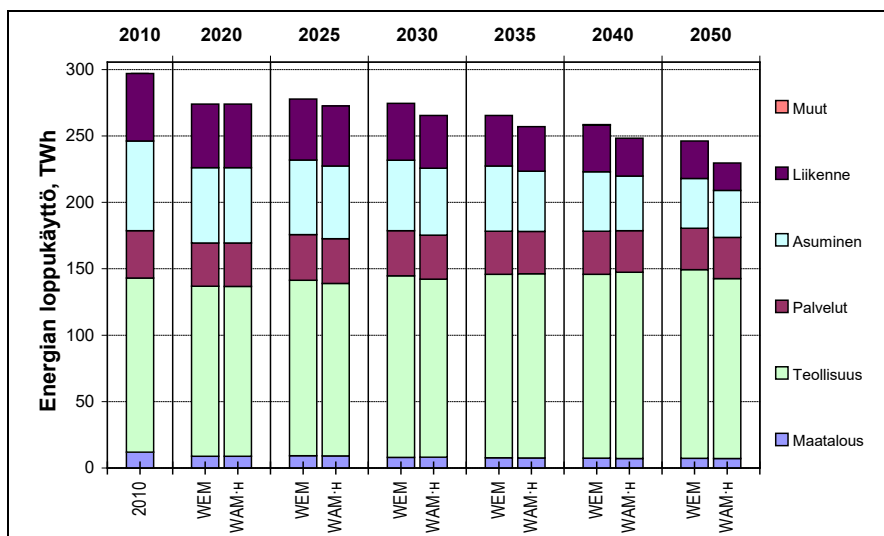


Kuva 6. Energian loppukulutus energialähteittäin WEM- ja WAM-H-skenaariossa.

EU:n energiatehokkuustavoitteen mukaista loppukulutusta, sillä muun muassa kansainvälisen lentoliikenteen energialähteitä ei IEA:n tilastojen mukaan lueta loppuenergiaan. IEA:n määritelmä poikkeaa myös EU:n uusiutuvan energian direktiivin mukaisesta loppukulutuksesta, jossa on mukana myös lämpöpumppujen kokonaisenergia, voimaloiden omakäyttösähkö ja sähkön siirtohäviöt. Lisäksi voidaan mainita, että sekä IEA:n että Eurostatin käytäntöjen mukaan teollisuuslaitosten välittömässä yhteydessä, mutta erillisen yhtiön omistuksessa olevien energiantuotantolaitosten prosessilämmön tuotannon polttoaineita ei lasketa teollisuuden loppukulutukseen, vaan ainoastaan niistä tuotettu lämpö.

Vuonna 2030 energian loppukulutus on WAM-H-skenaariossa yhteensä 956 PJ (266 TWh). Kun EU:n energiatehokkuusdirektiivin mukaan energian loppukäyttöön luetaan IEA:n tilastoinnista poiketen lisäksi kansainvälisen lentoliikenteen energiankäyttö, saadaan jonkin verran suurempi lukuarvo. Liikenteen ilmastopolitiikan työryhmän loppuraportissa (LVM 2018) arvioitiin, että kansainvälisen lentoliikenteen tarpeisiin käytetyn polttoaineen kulutus voisi olla ilman tehostumista 41 PJ vuonna 2030, mutta mallinnuksessa lentokalusto tehostuu ja kulutus asettuu 33 PJ:n tasolle. Näin ollen energiatehokkuusdirektiivin laskentasääntöjen mukainen energian loppukulutus olisi WAM-H-skenaariossa 275 TWh vuonna 2030.

Sähköistyminen on kummassakin skenaariossa keskeinen muutostrendi kaikilla sektoreilla, ja se johtaa samalla energian loppukäytön tehostumiseen. Myös uutta sähköenergian kulutusta kuitenkin syntyy muun muassa digitalisaation, energian varastoinnin ja hiilineutraalien sähköpolttoaineiden jalostuksen laajenemisen myötä. Syviin päästönvähennyksiin tarvitaan tulosten mukaan silti WEM-skenaariota vielä paljon huomattavampaa sähköistymistä kaikilla energian käyttösektoreilla, sillä fossiilisia polttoaineita ei voida kokonaan korvata kestävästi esimerkiksi bioenergialla tai sähköpolttoaineilla riittävän laajassa mitassa ja riittävän nopeasti.



Kuva 7. Energian loppukulutus sektoreittain WEM- ja WAM-H-skenaariossa.

Sekä energiatehokkuuden paranemisen että kaukolämmityksen yleisen kilpailukyvyyn heikkenemisen vuoksi kaukolämmön kulutus vähenee, tosin melko hitaasti vuoteen 2040 saakka. Vuoteen 2050 mennessä kulutus putoaa kummassakin skenaariossa noin puoleen nykytasosta, mikä samalla vähentää yhdyskuntien yhdistetyn sähkön ja lämmön tuotannon potentiaalia. Oletettu uudisrakentamisen painottuminen kerrostaloihin ja kaukolämpöpumppujen alennettu sähköveroluokka tukevat kaukolämmön asemaa taajamien kiinteistöjen lämmityksessä.

Sektorikohtaista energian loppukulutusta tarkasteltaessa merkille pantavaa on erityisesti liikenteen ja asumisen kulutuksen tehostuminen voimakkaasti, kun taas palveluissa ja teollisuudessa hyötyenergian kysynnän kasvu kompensoi tehostumisen aikaansaamaa kulutuksen vähentymistä (Kuva 7). Teollisuuden ja palvelujen loppuenergian kulutuksessa ei siten esimerkiksi WEM-skenaariossa tapahdu merkittävää määrällistä muutosta. Sähkön loppukulutus kasvaa erityisen merkittävästi liikenteessä ja teollisuudessa. Liikenteen sähkönkulutus nousee WEM-skenaariossa vuonna 2030 jo 3–3,5 TWh:iin ja vuoteen 2050 mennessä 8 TWh:iin ja WAM-h:ssa noin 9 TWh:iin. WEM-skenaariossa oletetut sähköautojen kasvavat vuotuiset ajokilometrimäärät nostavat siten kulutuksen lähelle WAM-h-skenaariota.

Asumisen ja palvelujen loppukulutuksessa sähköä lukuun ottamatta kaikki muu energian käyttö vähenee lämmityksen ominaiskulutusten putoamisen myötä, joka on huomattavaa sekä uudisrakennuksissa että verrattain laajan energiakorjaustoiminnan ansiosta myös vanhassa rakennuskannassa, oletusten mukaan parhaimmillaan lähes 60 % vuoden 2015 tasosta. Teollisuudessa keskeisiä vaikutuksia ovat kaikissa skenaarioissa sähköistymisen prosessilämmön tuotannossa ja fossiilisten polttoaineiden korvaaminen biopolttoaineilla. Prosessiteollisuudessa sähkön kulu- tusta merkittävästi lisääviä muutoksia ovat hybridisähköuunien käyttö mineraaliteollisuudessa, raudan suorapelkistys vedyllä sekä elektrolyyttinen vedyn valmistus petrokemian teollisuudessa.

3.2.2 Uusiutuva energia loppukulutuksessa

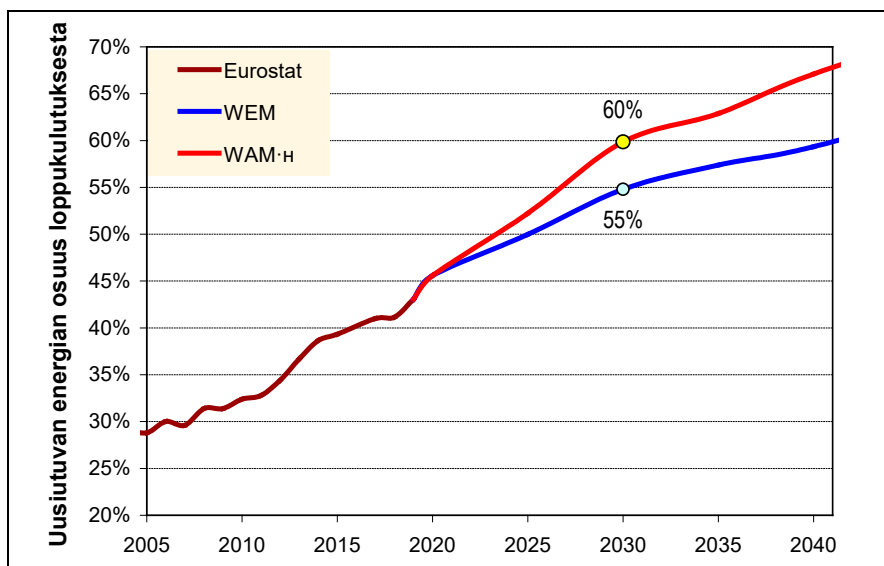
Uusiutuvan energian osuus loppukulutuksesta on esitetty kuvassa 8. EU:n laskentasääntöjen mukaan laskettu energian loppukulutus nousee jo WEM-skenaariossa varsin tasaisesti ja saavuttaa noin 55 %:n tason vuonna 2030. Osuus ylittää siten jo WEM-skenaariossa aiemman tavoitteen, jonka mukaan uusiutuvan energian osuuden tulee nousta 2020-luvulla yli 51 %:iin energian loppukulutuksesta. WAM-h-skenaarioissa osuus nousee huomattavasti WEM-skenaariota nopeammin, sillä vuonna 2030 se saavuttaa 60 %:n tason ja nousee vuoteen 2050 mennessä noin 75 %:iin. EU:n uusiutuvan energian direktiivin luonnoksessa, joka on osa EU:n FitFor55-säädöspakettia, on esitetty periaate, jolla laskettaisiin jäsenvaltioiden ohjeelliset tavoitteet uusiutuvan energian osuudelle osana EU:n sitovaa tavoitetta. Suomen osuudeksi arvioitu 60 % vuodelle 2030 saavutettaneen siten WAM-h-skenaariossa. Vuoden 2030 jälkeen uusiutuvan osuus kasvaa hitaammin, koska uusia politiikkatoimia liikennettä lukuun ottamatta ei sen jälkeen juuri oletettu.

Uusiutuvista energialähteistä määrällisesti eniten kasvaa puuperäisen bioenergian käyttö, ja lisäys kohdistuu voimakkaimmin metsähakkeeseen ja metsäteollisuuden jäteliemiin. Bioenergiaa aletaan tuottaa lisäksi nykyistä laajemmin maatalouden sivutuotteista, suurelta osin biokaasuna, mutta jonkin verran myös energia-kasveista. Tuulivoiman tuotannon lisäys jatkuu WAM-H-skenaariossa voimakkaana vuoteen 2040 asti, jonka jälkeen aurinkoenergia nousee nopeimmin uusiutuvan energian osuutta kasvattavaksi energialähteeksi. Näiden lisäksi lämpöpumppujen ympäristöstä tuottama lämmitys- ja jäähdytysenergia tuovat merkittävän osan uusiutuvan energian lisäyksestä, kuten voitiin nähdä edellä kuvasta 2. Uusiutuvan energian käytön voimakas lisääntyminen heijastuu lähes suoraan myös energiaomavaraisuuteen, jolloin omavaraisuus on joitakin prosenttiyksikköjä uusiutuvan osuutta korkeampi.

3.2.3 Sähköenergian kulutus

Sähkönenergian kokonaiskulutus (häviöt mukaan lukien) oli vuonna 2010 noin 88 TWh, jonka jälkeen 2011–2021 kulutus on pysytellyt 82 ja 87 TWh:n välillä, eli tilastojen perusteella selvää kulutuksen kasvutrendiä ei ole ilmennyt vuoden 2007 jälkeen. Tarkastelluissa skenaarioissa sähkön kokonaiskulutus kääntyy 2020-luvulla uudelleen noususuuntaan ja ylittää vuoteen 2030 mennessä selvästi 90 TWh:n, WAM-H-skenaariossa kulutus nousee tällöin jo 95 TWh:iin.

Sähkön loppukulutus kasvaa merkittävästi erityisesti voimakkaammin sähköistyvässä WAM-H-skenaariossa (Kuva 9). Kotitalouksien ja palvelusektorin sähkön lop-



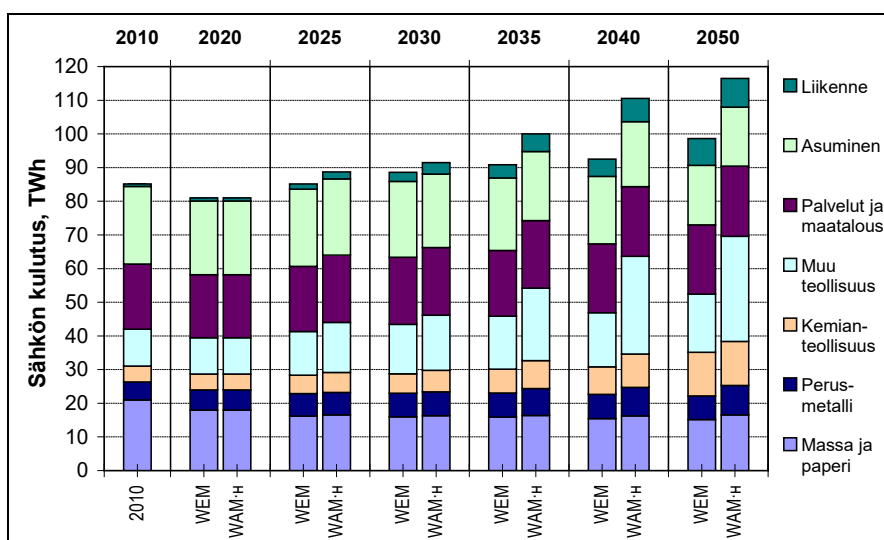
Kuva 8. Uusiutuvan energian laskennallinen osuus energian loppukulutuksesta WEM- ja WAM-H-skenaarioissa 2000–2050.

pukutus pysyy kuitenkin tulosten mukaan vuoteen 2040 saakka suunnilleen nykytasolla, sillä vaikka rakennusten lämmityksessä sähkön osuus ostoenergiasta kasvaa edelleen, lämmityksen energiankulutus tehostuu lämpöpumppujen yhä laajenevan hyödyntämisen ja teknisen kehityksen ansiosta. Sähkön kulutuksen suhteellinen kasvu on suurinta liikenteessä, jossa WAM-H-skenaarioiden tulosten mukaan loppukulutus nousee lähes 10 TWh:n tasolle vuoteen 2050 mennessä. Myös kemianteollisuudessa ja varsinkin energiateollisuudessa sähkön kulutus kasvaa voimakkaasti, jälkimmäisessä pääosin uusien polttoaineiden jalostus- ja varastointitekniologian käyttöönoton sekä kaukolämpöpumppujen hyödyntämisen myötä (muun muassa Power-to-X- ja vetyteknologiat).

3.2.4 Liikenne

Liikenteen osalta WEM-skenaario perustuu LVM:n vuonna 2021 päivitettyyn perusennusteeseen, joka on lähtökohtana myös tarkasteltaessa lisätoimia liikenteen tavoitteiden saavuttamiseksi WAM-H-skenaariossa. Vuonna 2050 yli puolet henkilöautoista on oletusten mukaan kummassakin skenaariossa täyssähköautoja, WAM-H-skenaariossa jopa yli 80 %. Voimakas sähköistyminen näkyy suoraan liikenteessä kulutetun kokonaisenergian vähenemisenä (Kuva 10). Liikennesuoritteissa WAM-H-skenaariossa oletetaan ALIISA-WAM-H-laskelmien mukaisesti huomattavasti WEM-skenaariota alhaisemmat ajoneuvosuoritteet.

Liikenteen ALIISA-laskelmien oletusten mukaan vuoteen bensiinin ja dieselin biosuuden jakeluvelvoitetta nostetaan 2030 mennessä nykyisen lain mukaisesti 30 prosenttiin, eikä osuutta nosteta tämän jälkeenkään korkeammalle. Osuuden kasvu

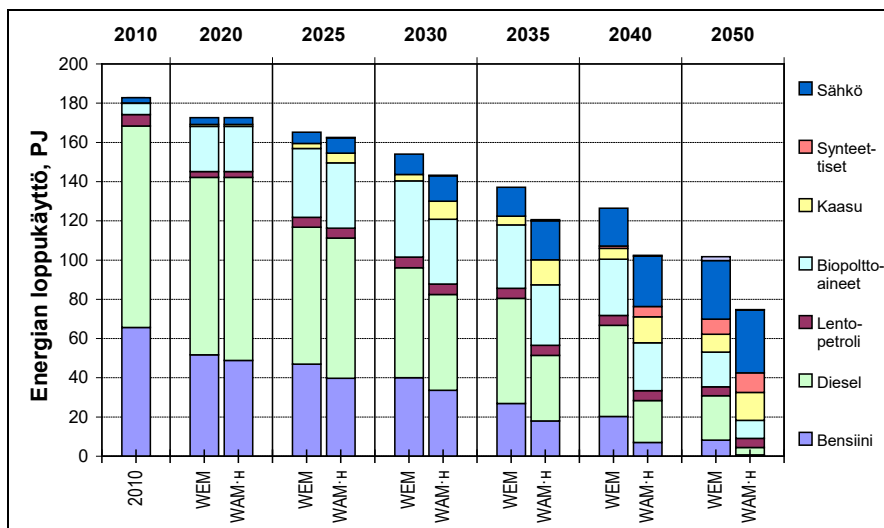


Kuva 9. Sähköenergian loppukulutus sektoreittain WEM- ja WAM-H-skenaariossa (energiateollisuus sisältyy muuhun teollisuuteen, siirtohäviöt eivät ole mukana loppukulutuksessa).

rajattiin siis myös TIMES-mallinnuksessa noin 30 %:iin koko tarkasteluajavälin loppuun eli vuoteen 2050 saakka. Oletus biokaasun lisäyksestä jakeluelvoitteeseen kasvattaa kuitenkin bio-osuuden 34 %:iin vuonna 2030. WAM-H-skenaariossa biokaasun käytön kasvun ja liikenteen sähköistymisen voimistumisen oletettiin vähentävän polttomoottoriajoneuvojen KHK-päästöjä siinä määrin, että ilman biopolttoaineiden jakeluelvoitteen kasvuakin saavutetaan liikenteen päästöjen vähennystavoitteet.

Keskeiset nykyisten ja uusien politiikkatoimien avulla saavutettaviksi oletetut muutokset ajoneuvokannassa perustuvat fossiilittoman liikenteen tiekartan (LVM 2020, 2021) tavoitteisiin sekä niiden pohjalta laadittuun ALIISA-WAM-H-skenaarioon. Keskeisimmät ALIISA-WAM-H-skenaarioiden oletukset koskivat sähköhenkilöautojen määrää koko henkilöautokannassa (750 000 vuonna 2030; 2,9 milj. vuonna 2050), kaasukäyttöisten ajoneuvojen määriä (henkilöautoja vähintään 130 000, kuorma-autoja vähintään 7 000 vuonna 2030 ja vähintään 35 000 vuonna 2050) sekä kaasun kokonaiskäytön määrää tieliikenteessä (vuonna 2030 vähintään 2,5 TWh, josta biokaasua vähintään 80 %, vuonna 2050 vähintään 5,4 TWh).

Skenaariotulosten mukaan kotimaanliikenteen loppuenergian kulutus kääntyy vuodesta 2020 alkaen selvään laskuun siten, että vuonna 2030 se on noin 14-20 % pienempi ja vuonna 2045 peräti 40-50 % pienempi kuin vuonna 2018 (kuva 10). Energiankulutuksen väheneminen on suurelta osin sähköistymisen ansiota, mutta myös hybridiajoneuvot sekä raskaassa liikenteessä vuoden 2035 jälkeen vetyajoneuvot parantavat tieliikenteen energiatehokkuutta. Lisäksi WAM-H-skenaariossa kulutus vähenee myös koko liikennejärjestelmän oletetun tehostumisen ja pienempien ajoneuvosuoritteiden ansiosta. Lentoliikenteessä lyhyillä reiteillä sähkölentokoneet ja pitkillä reiteillä ammoniakkaa käyttövoimanaan käyttävät koneet tulevat



Kuva 10. Kotimaanliikenteen loppuenergian kulutus WEM- ja WAM-H-skenaariossa.

kaupalliseen käyttöön tulosten mukaan vuodesta 2040 alkaen, minkä voi arvioida olevan lentoliikenteen kiristyvän päästökaupan ja uuden teknologian nopean kehityksen puolesta realististakin. Kannattaa kuitenkin huomata, että kasvihuonekaasuinventaarion mukaiset kotimaan lentoliikenteen hiilidioksidipäästöt eivät kuulu taakanjakosektorille, mutta toisaalta tulee huomioida kokonaispäästökehityksessä ja -päästötavoitteissa. Ammoniakin käyttöönottoon lentoliikenteessä liittyy toisaalta myös muita epävarmuustekijöitä.

Selityksenä perusennustetta nopeammalle energiankäytön ja päästöjen alenemiselle ovat WAM-H-skenaariossa toisaalta mallin tulosten mukainen sähkö- ja vetäjoneuvojen kustannustehokkuuden paraneminen vuoteen 2040 mennessä siinä määrin, että niiden markkinaosuus alkaa nousta perusennustetta korkeammaksi ilman uusia taloudellisia ohjaustoimia, ja toisaalta se, että ALIISA-mallissa neste-mäisten liikennepolttoaineiden keskimääräisen 30 %:n bio-osuuden lisäksi oli asetettu biokaasun liikennekäytölle varsin kunnianhimoiset vähimmäistavoitteet.

3.2.5 Asuminen ja palvelut

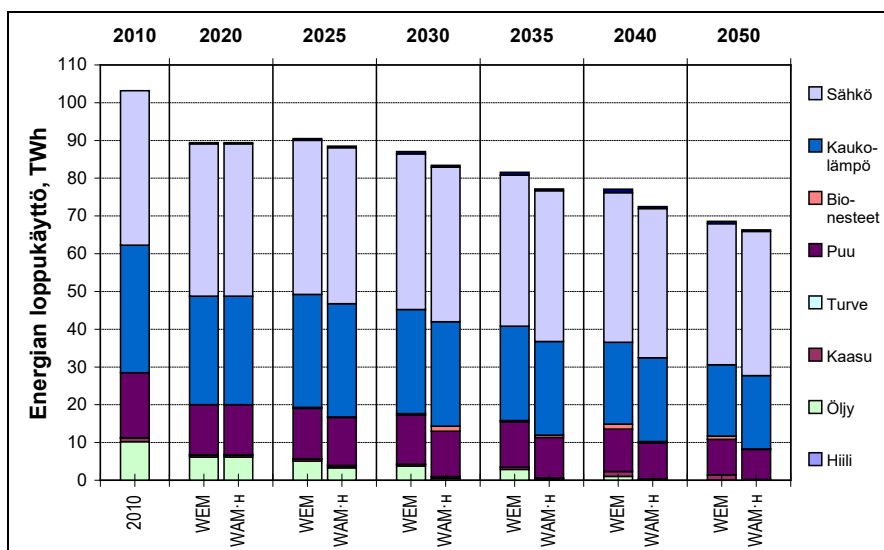
Asumisen ja palveluiden energian loppukulutus laskee tulosten mukaan merkittävästi vuoteen 2050 mennessä (Kuva 11). Vähennykseen vaikuttavina tekijöinä ovat erityisesti rakennuskannan varsin maltillinen kasvu (Vainio 2020), korjausrakentamisella saavutettava energiatehokkuuden paraneminen sekä uudisrakentamisen energiatehokkuusstandardit. Rakennuskannan laajuus on sama WEM- ja WAM-skenaarioissa, mutta skenaariot eroavat toisistaan rakennusten energiatehokkuuden osalta. WAM-H-skenaariossa tehostumista on energiatehokkuusstandardien oletetun tiukentumisen myötä hieman enemmän, jolloin skenaarion tuloksissa loppukulutuksen tehostumista näkyy huomattavimmin jo 2030-2040. Vuoteen 2050 mennessä tehokkuusparannukset WEM-skenaarioon verrattuna kuitenkin hieman tasoittuvat. Viime vuosien kehityksen osalta on muistettava, että vuosi 2010 oli poikkeuksellisen kylmä vuosi ja 2020 puolestaan ennätyslämmin. Kummassakin skenaariossa on oletettu kuitenkin myös lämmitystarpeen asteittainen väheneminen ilmaston lämpenemisen myötä, jonka vaikutus ominaiskulutuksiin on FineBuild-sektorimallista saadun arvion mukaan noin 10 % vuonna 2030.

Rakennusten tilojen lämmityksen ja lämpimän käyttöveden energiankulutuksen mallinnuksen lähtökohtana olivat uudisrakentamisen ja korjausrakentamisen toimeenpannut energiatehokkuusvaatimukset ja -tuet. Vanhan rakennuskannan nykyinen, Tilastokeskuksen tietojen mukainen hyötyenergiankulutus on laskelmissa kohdistettu tilastojen mukaisille rakennuskannan kerrosaloille. Tilastojen mukainen käyttöveden lämmitysenergia on jaettu rakennuksille asuntoväestön suhteessa.

Vanhojen rakennusten arvioiduissa hyötyenergian ominaiskulutuksen muutoksissa on otettu huomioon korjauksilla ja kunnossapidolla saatava energiatehokkuuden parannus sekä ilmastonmuutoksesta johtuva tilojen lämmitystarpeen vähentyminen. Korjausten vaikuttavuudessa on otettu lisäksi huomioon mm. korjausrakentamisen energiatehokkuusvaatimukset sekä energiatehokkuuskorjauksiin osoitettu ARA:n kautta jaettava tuki. Ominaiskulutusten oletetut muutokset olivat samat kuin Suomen korjausrakentamisen strategiassa. Uudisrakennusten osalta ominaiskulutusten lähtökohtana olivat energiatodistusrekisteristä poimittujen, vuoden 2020 tai sen jälkeen valmistuviksi ilmoitettujen uudisrakennusten lämmitysenergian kulutus, sekä ilmaston lämpeneminen. Käyttöveden lämmityksen osuus on arvioitu standardikulutuksen mukaan. Jäähdytyksen tarve kasvaa, mutta ei kompensoi lämmitystarpeen laskua. WAM-H-skenaariossa energiatehokkuudelle asetettuja vaatimuksia on oletettu jonkin verran entisestään tiukennettavan.

3.2.6 Muu energian loppukulutus

Taakanjakosektorilla myös maa- ja metsätalouden, rakennustoiminnan ja muiden työkoneiden energiakäytöstä aiheutuu huomattavat kasvihuonekaasujen päästöt.



Kuva 11. Asumisen ja palveluiden energian loppukulutus WEM- ja WAM-H-skenaariossa.

Näiden sektorien energiankulutus on nykyisin valtaosin työkoneiden moottoripolttoaineita. Esimerkiksi vuonna 2017 maatalousrakennusten lämmitykseen ja viljan-kuivaukseen kului lämmitysöljyä noin 1,1 TWh, maatalouden työkoneisiin noin 3,8 TWh, rakennustoiminnan työkoneisiin noin 4 TWh ja muihin työkoneisiin noin 2 TWh. Fossiilisten polttoaineiden ja turpeen kulutuksen aiheuttamat hiilidioksidin kokonaispäästöt ovat olleet näillä sektoreilla yhteensä noin 3 Mt:n tasolla.

Työkoneiden päästöt käsittävät monenlaisten ajettavien ja siirrettävien työkoneiden dieselöljyn ja bensiinin kulutuksen aiheuttamat päästöt. Työkoneista suurin osa sijoittuu maa- ja metsätalouteen ja rakennustoiminnan sektoreille. WEM- ja WAM-H-skenaarioiden mallilaskelmissa sekä maa- ja metsätalouden että rakennustoiminnan työkonekäytön kysynnän oletettiin kehittyvän näiden sektorien tuotannon volyymin kehitykseen sidottujen muutuskertoimien mukaan. Maatalouskoneiden osalta mallinnuksessa otettiin lisäksi erikseen huomioon energiatehokkuuden paraneminen moottori- ja voimansiirtotekniikan tavanomaisen kehityksen myötä.

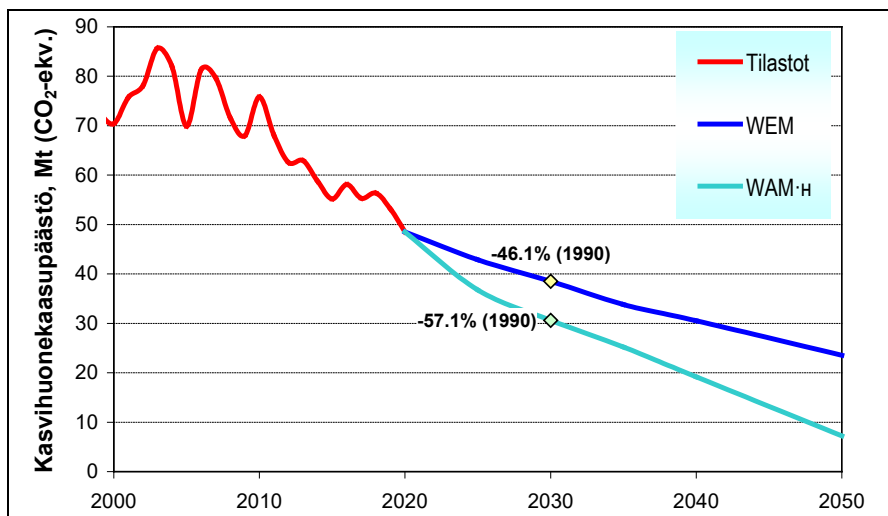
Työkoneiden mallinnuksessa on mukana dieselpolttoaineen jakeluelvoite, joka nousee WEM-skenaariossa lain mukaisesti 10 %:iin ja WAM-H-skenaariossa uusien politiikkaoletusten mukaan 30 %:iin vuoteen 2030 mennessä. Lisäksi WAM-H-skenaariossa oletettiin vuoden 2021 korkeammat valmisteverotaset. Työkoneiden energiatehokkuutta voidaan lisäksi parantaa muun muassa niiden käytön optimoinnilla, hybridiratkaisuilla ja sähköistämällä. Pelkästään työmenetelmät ja ajotavat vaikuttavat merkittävästi energian kulutukseen, ja hybridikäytössä polttomoottoria voidaan käyttää parhaalla mahdollisella toiminta-alueella ja hyödyntää myös monesti pääosin hukkaan menevää potentiaalienergiaa.

Laaditussa WAM-H-skenaariossa otettiin kuitenkin luontaisen tehostumisen ohella huomioon ainoastaan jakeluelvoitteen ja energiaverotuksen tason nousut sekä oletettu markkinaehtoisen sähköistymisen potentiaali tai siirtyminen biokaasukäyttöisiin polttomoottorikoneisiin. Sähköistymisen potentiaali rajattiin pääosin muihin kuin maa- ja metsätalouden työkoneisiin.

3.3 Kasvihuonekaasupäästöjen kokonaiskehitys

Kasvihuonekaasupäästöjen kokonaismäärä vähenee WEM-skenaariossa vuoden 2020 jälkeen suunnilleen samassa tahdissa kuin 2000-luvun alkuvuosikymmeninä keskimäärin, mutta WAM-H-skenaariossa vielä selvästi nopeammin (Kuva 12). Tilastokeskuksen ennakkotietojen mukaan KHK-päästöjen kokonaismäärä oli vuonna 2020 runsaat 48 Mt (SVT 2021, AR4), mikä on jo 32 % vähemmän kuin vertailuvuonna 1990. WAM-H-skenaarion päästöura alkaa erkaantua WEM-skenaariosta selvästi jo 2020-luvulla siten, että kokonaispäästöjen vähennys on vuonna 2030 WEM-skenaariossa noin 46 % ja WAM-H-skenaariossa 57 % vuoden 1990 tasosta. WEM-skenaariossa siis saavutetaan hyvin EU:n yhteinen vuotta 2030 koskeva nykyinen tavoite, eli 40 %:n päästönvähennys. Koska oletetut päästöoikeuksien hinnat nousevat myös WEM-skenaariossa, päästöt vähenevät siinäkin vuoden 2030 jälkeen verrattain tasaisesti ja päättyvät noin 23 miljoonan tonnin tasolle (AR5) vuoteen 2050 mennessä.

WAM-H-skenaariossa vuodelle 2030 ilmastolaissa ehdotettua uutta päästötavoitetta (60 %:n vähennys) ei siis tulosten mukaan aivan saavuteta, vaan tavoitteesta jäädään runsaat 2 Mt CO₂-ekv. Vuoden 2035 tavoitteen (21 Mt) päästökiluksi jää vastaavasti 4,2 Mt. Mikäli SSAB siirtyy tammikuussa 2022 julkaistun tiedotteen mukaisesti Raahessa fossiilivapaaseen teräksentuotantoon jo vuonna 2030, kokonaispäästöjen voidaan arvioida vähenevän suunnilleen KHK-päästötavoitteiden mukaisesti vuoden 2030 tavoitteisiin verrattuna, sillä WAM-H-skenaariossa oletettiin, että terästehtaan ensimmäinen masuuni poistuu vasta noin vuonna 2035 ja toinen vuoden 2040 jälkeen. Vuodelle 2050 asetetusta päästöjen vähentämisen vähimmäistavoitteesta jäädään tulosten mukaan enää vain 0,1 Mt, eli käytännössä tuo 90 %:n

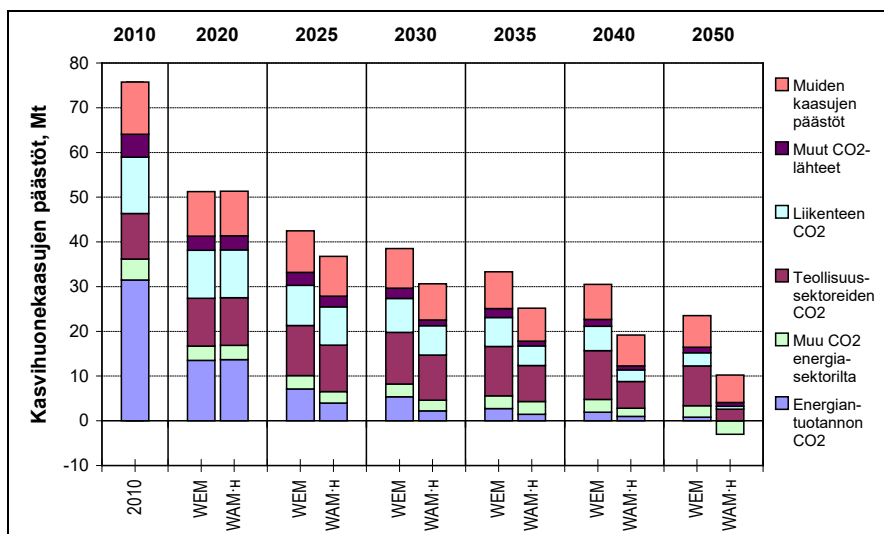


Kuva 12. Kasvihuonekaasujen kokonaispäästöjen kehitys WEM- ja WAM-H-skenaarioissa (LULUCF pois lukien).

vähimmäistavoite silti saavutettaisiin kotimaisin toimin. Tämä onnistuisi soveltamalla kohtuullisessa määrin hiilidioksidin talteenottoa ja varastointia (CCS), mukaan lukien negatiivisia päästöjä tuottava BECCS-tekniologia. Vuonna 2050 CCS:n tuoma vähennys on kaikkiaan noin 9 Mt, ja pitkälti sen ansiosta päästöjä vähennetään tulosten mukaan noin 90 % vuonna 2050 (tasolle 7,2 Mt AR5). Päästöoikeuksien korkea hinta tekee tällöin vähimmäistavoitetta vastaavat lisävähennykset kannattaviksi. CCS:n vaikutus päästöihin tulee kuitenkin tuntuvaksi vasta vuodesta 2040 alkaen.

Kasvihuonekaasupäästöjen pääluokkien mukaisesta jaottelusta (Kuva 13) nähdään vuoteen 2035 saakka päästönvähennysten voimakasta painottumista energiantuotannon sektorille, pääosin sähkön ja lämmön tuotantoon, joissa tehokkaana taloudellisena ohjaustekijänä on päästökauppa ja siinä määräytyvä päästöoikeuksien hinta. Tuntuvia suhteellisia vähennyksiä saadaan kuitenkin myös rakennusten erillislämmityksessä, jossa energiaverotus on ohjaavana tekijänä, sekä F-kaasupäästöissä, joiden vähennyksiin ohjaavat EU-tason haitallisten aineiden käyttörajoitukset ja standardit. WAM-h-skenaariossa sekä näiden sektorien että myös liikenteen ja työkoneiden päästöt vähenevät WEM-skenaariota selvästi voimakkaammin. Työkoneiden ja lämmityksen irtautumista fossiilisista polttoaineista vauhdittavat WAM-h-skenaariossa korkeammat valmisteverotaset ja oletetut biopolttoaineiden jakeluvolvoitteiden korotukset.

Sähköistyminen ja uusiutuva energia ovat päästöjen vähennysten kannalta avainasemassa. Mallin tulosten mukaan esimerkiksi liikenteen sähköistyminen on voimakasta paitsi henkilöautoliikenteessä myös kaksipyöräisissä ajoneuvoissa, sekä vuoden 2040 jälkeen raskaassa tieliikenteessä ja lentoliikenteessä. Kotimaan



Kuva 13. Kasvihuonekaasupäästöjen kehitys pääluokittain WEM ja WAM-h -skenaariossa 2010–2050.

Taulukko 2. Kasvihuonekaasupäästöjen tase (pl. LULUCF) vuosina 2010–2050 pääluokittain, WEM ja WAM-H.

Mt (CO ₂ -ekv.)		WEM-skenaario					
Päästöluokka	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
1A Polttoaineiden polton päästöt	60.09	40.45	34.91	29.27	25.40	21.74	18.96
1A1 Energiateollisuus	30.94	17.75	14.03	9.39	7.76	6.72	6.01
1A2 Teollisuus ja rakentaminen	10.25	6.74	6.19	6.68	6.37	5.42	4.94
1A3 Kotimaan liikenne	12.71	10.85	10.40	9.12	7.65	6.53	5.53
1A4 Muut sektorit	4.98	4.09	3.15	3.01	2.50	2.07	1.50
1A5 Muu polttoainekäyttö	1.20	1.02	1.13	1.08	1.12	1.00	0.97
1B Polttoaineiden haihtumapäästöt	0.14	0.15	0.10	0.08	0.08	0.07	0.07
2 Teollisuusprosessit ja tuotekäyttö	6.13	5.77	5.41	5.63	5.50	4.25	4.36
3 Maatalous	6.54	6.46	6.31	6.31	6.28	6.19	6.11
5 Jätteiden käsittely	2.84	2.32	1.70	1.26	1.20	0.97	0.83
Epäsuorat CO ₂ päästöt	0.07	0.05	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
Yhteensä pl. LULUCF-sektori	75.80	55.20	48.50	42.63	38.52	33.30	30.39
Mt (CO ₂ -ekv.)		WAM-H-skenaario					
Päästöluokka	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
1A Polttoaineiden polton päästöt	60.09	40.45	34.91	23.97	18.35	15.31	9.97
1A1 Energiateollisuus	30.94	17.75	14.03	6.31	4.42	4.62	2.48
1A2 Teollisuus ja rakentaminen	10.25	6.74	6.19	5.52	5.03	4.33	3.16
1A3 Kotimaan liikenne	12.71	10.85	10.40	8.70	6.65	4.44	2.65
1A4 Muut sektorit	4.98	4.09	3.15	2.46	1.35	1.09	0.91
1A5 Muu polttoainekäyttö	1.20	1.02	1.13	0.98	0.90	0.82	0.77
1B Polttoaineiden haihtumapäästöt	0.14	0.15	0.10	0.08	0.07	0.07	0.06
2 Teollisuusprosessit ja tuotekäyttö	6.13	5.77	5.41	5.19	5.04	3.15	2.82
3 Maatalous	6.54	6.46	6.31	6.14	5.92	5.67	5.46
5 Jätteiden käsittely	2.84	2.32	1.70	1.26	1.18	0.95	0.81
Epäsuorat CO ₂ päästöt	0.07	0.05	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
Yhteensä pl. LULUCF-sektori	75.80	55.20	48.50	36.71	30.64	25.22	19.20

laiva- ja lentoliikenteessä saadaan lisäksi päästöjen vähennyksiä korvaamalla fossiilisten polttoaineiden käyttöä biopolttoaineilla. Sähköistyminen ja vetyteknologia ovat kuitenkin ne keskeiset teknologiset muutokset, jotka saavat liikenteen päästöt perusennustetta selvästi alemmalle tasolle vuoden 2040 jälkeen. Hiilidioksidipäästöjen lisäksi liikenteen polttoprosesseissa syntyy toki myös metaani- ja N₂O-päästöjä, myös biopolttoaineista, mutta niiden osuus kotimaanliikenteen kokonaispäästöistä on vain noin prosentin luokkaa.

Skenaarioiden tulokset osoittavat, että teollisuussektoreilla hiilidioksidipäästöjen vähentäminen on huomattavasti hankalampaa kuin energiatuotannossa siitäkin huolimatta, että suuri osa teollisuuden päästöistä kuuluu päästökaupan piiriin. WEM-skenaariossa tämä johtuu osin energiaverojen palautuksista energiaintensiiviselle teollisuudelle (jotka poistuvat WAM-H-skenaariossa hallituksen päätöksen mukaisesti), jotka heikentävät energiaverojen ohjaavaa vaikutusta suuressa osassa teollisuuden energiankulutuksesta, mutta osin myös teollisuuden vaikeasti vähennettävistä prosessipäästöistä. Energiaintensiivinen teollisuus käyttää fossiilisia polttoaineita myös raaka-aineina, ja suuri osa näistä prosessiperäisistä polttoainekäy-

töistä ei ole energiaverotuksen piirissä. WAM-H-skenaariossa oletetut prosessiteollisuuden teknologiset muutokset, kuten terästeollisuuden vetypelkistys ja petrokeemian teollisuuden siirtyminen enemmän uusiutuviin raaka-aineisiin, tuovat helpo-
tusta päästötavoitteiden saavuttamiseen.

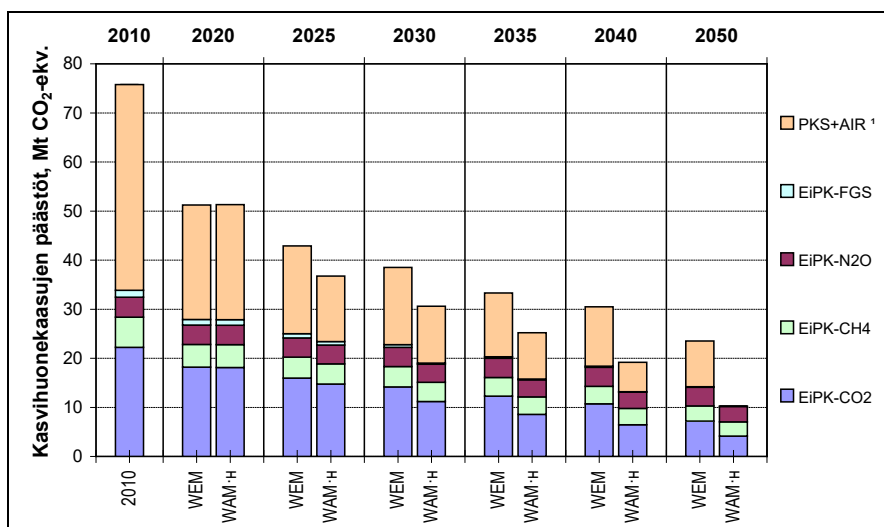
Muita päästöjen voimakkaiden vähennysten kannalta hankalia ja merkityksellisiä sektoreita ovat liikenne ja maatalous, joiden päästökehitystä on käsitelty tarkemmin jäljempänä taakanjakosektorin osana.

3.4 Taakanjakosektorin päästöjen kehitys

3.4.1 Taakanjakosektorin päästöjen kokonaiskuva

Taakanjakosektorin päästökehitys kuuluu WEM- ja WAM-H-skenaarioiden keskeisimpiin tarkastelukohteisiin, sillä siihen voidaan erityisesti vaikuttaa kotimaisin politiikkatoimin ja ohjauskeinoin. Kuva 14 havainnollistaa kasvihuonekaasujen kokonaispäästöjen jakaantumisen päästökauppasektorin ja taakanjakosektorin päästöihin sekä lisäksi päästölajeittain. Kuvassa 15 on puolestaan esitetty taakanjakosektorin päästöt jaettuna Tilastokeskuksen käyttämällä jaottelulla alasektoreihin, ja taulukko 3 esittää vastaavan jaottelun numeroina.

Mallilaskelmien tulosten mukaan taakanjakosektorin hiilidioksidipäästöt alenevat kummassakin skenaariossa verrattain tasaisesti vuodesta 2020 aina vuoteen 2050 saakka. Poliittikkatoimien ohjausvaikutus, joka syntyy pääosin energiaveroista ja jakeluvivoitteista, näyttää siten pysyvän pitkään kohtuullisen hyvänä. Toki on huomattava, että taakanjakosektorin hiilidioksidipäästöistä noin 40 % syntyy nykyisin

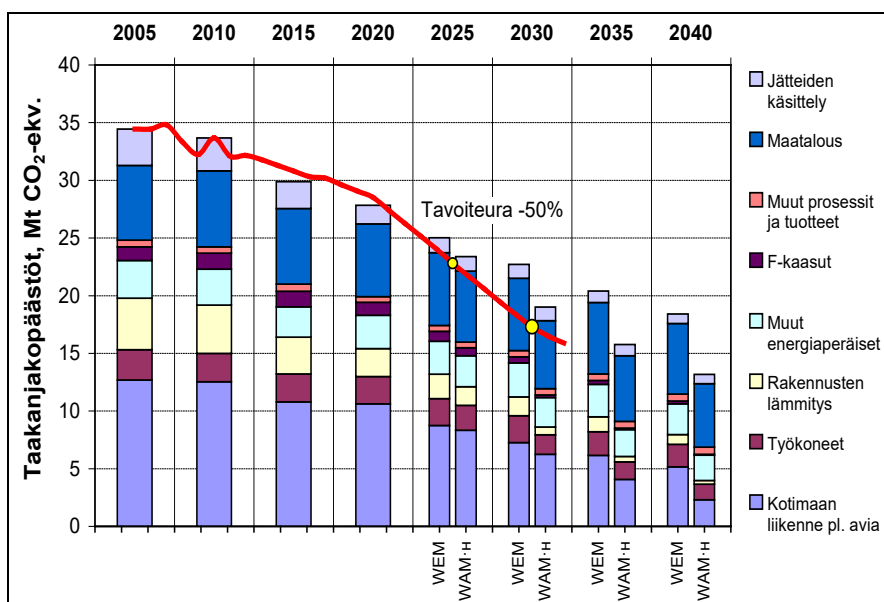


Kuva 14. Kasvihuonekaasupäästöjen kehitys päästökauppasektorilla sekä taakanjakosektorilla päästölajeittain WEM- ja WAM-H-skenaarioissa 2010–2050. ¹⁾AIR: kotimaan lentoliikenne

kotimaanliikenteestä, joten liikenteen vaikutus taakanjakosektorin päästöjen kehitykseen on keskeinen.

Taakanjakosektorin kokonaispäästöt alenevat WEM-skenaariossa vuoteen 2030 mennessä 22,7 Mt:n tasolle, joka on noin 5,5 Mt suurempi kuin arvioitu uusi taakanjakosektorin 50 %:n vähennystavoite (vertailuvuosi 2005) edellyttäisi. Vuoteen 2005 verrattuna päästöt vähenevät ylivoimaisesti eniten kotimaan liikenteessä, jossa vähennys on WEM-skenaariossa 5,4 Mt (43 %) ja WAM-H-skenaariossa 6,4 Mt (51 %). Liikenteen lisäpäästönvähennys on siten WAM-H-skenaariossa melko mallillinen, mikä johtuu oletetusta varsin voimakkaasta sähköistymisestä jo WEM-skenaariossa. Vuoden 2030 jälkeen liikenteen päästöt alkavat kuitenkin vähentyä WEM-skenaariota selvästi nopeammin, mikä johtuu oletetusta markkinaehtoisesta sähköistymisen voimistumisesta sekä raskaassa liikenteessä myös biokaasun käytön oletetusta lisäyksestä ja vetyajoneuvojen kaupallistumisesta.

Liikenteen jälkeen suurimmat päästönvähennykset saadaan WEM-skenaariossa aikaan rakennusten lämmityksessä 2,8 Mt ja jätteiden käsittelyssä 1,9 Mt vuoteen 2005 verrattuna. WAM-H-skenaariossa vähennykset kasvavat vastaavasti 3,8 Mt:n ja 2,0 Mt:n määriin. Työkoneiden osalta vuoden 2030 vähennys kasvaa puolestaan WEM-skenaariosta 0,4 Mt:n määrästä WAM-H-skenaariosta 1,0 Mt:n määrään verrattuna vuoden 2005 päästöihin. Tulokset osoittavat varsin hyvin öljyn käyttöön kohdistuvien politiikkatoimien merkityksen, joka syntyy pääosin jakeluvelvoitteen tason huomattavasta nostosta ja energiaverojen korotuksista.



Kuva 15. Kasvihuonekaasupäästöjen kehitys taakanjakosektorilla WEM- ja WAM-H -skenaariossa 2005–2040.

Kuvassa 15 ja taulukossa 3 esitetty jaottelu osoittaa, että mallinnettujen WEM- ja WAM-H-skenaarioiden tuottamat päästöurat ovat pääosin hyvin sopusoinnussa HIISI-hankkeessa laadittujen sektorikohtaisten arvioiden kanssa:

- Kotimaan liikenteen päästöt kehittyvät WEM-skenaariossa suunnilleen ALIISA-perusennusteen mukaisesti vuoteen 2035 saakka ja WAM-H-skenaariossa ALIISA-WAM-H-skenaarion mukaisesti vuoteen 2030 saakka.
- Rakennusten lämmityksen päästöt vähenevät vuoteen 2035 mennessä WEM-skenaariossa 60 % vuoden 2005 tasosta 1,3 Mt:n tasolle ja WAM-H-skenaariossa noin 85 % noin 0,5 Mt:n tasolle.
- Työkoneiden päästöt kehittyvät WEM-skenaariossa suunnilleen VTT:n TYKO-mallin mukaisesti siten, että päästöt ovat vuonna 2040 likimain TYKO-2019 perusskenaarion mukaisia (hieman alle 2,0 Mt). WAM-H-skenaariossa päästöt vähenevät vuodesta 2030 alkaen selvästi nopeammin sekä korotetun jakeluvelvoitteen että sähköistymisen myötä, ja ovat noin 1,4 Mt vuonna 2040.
- Jätehuollon päästöt kehittyvät WEM-skenaariossa Syken arvioiman perusskenaarion mukaisesti ja WAM-H-skenaariossa hieman tätä pienemmiksi.
- F-kaasupäästöt vähenevät WEM-skenaariossa hieman lievemmin kuin Syken WEM-kehitysarviossa ja WAM-H-skenaariossa kuten Syken arvioima WAM-kehitys (ks. Lehtilä ym. 2021).
- Maatalouden päästöt kehittyvät sekä WEM- että WAM-H-skenaariossa suunnilleen Luke:n vastaavien kehitysarvioiden mukaisesti (ks. Maanavilja ym. 2021), vaikkakin hieman suuremmin päästönvähennyksin TIMES-mallin valitsemien lannankäsittelymuutoksien.

WAM-H-skenaarioon sisältyneiden politiikkatoimien kokonaisvaikutus taakanjakosektorin päästöihin on tulosten mukaan vuonna 2030 noin 3,7 Mt CO₂-ekv. ja vuonna 2035 noin 4,5 Mt CO₂-ekv. Olettaen taakanjakosektorin uudeksi vuoden 2030 vähennystavoitteeksi 50 %, päästökulukuksi tulee ilman joustoja noin 1,8 Mt.

Taulukko 3. Taakanjakosektorin alasektorien kasvihuonekaasupäästöt WEM- ja WAM-H-skenaariossa (Mt CO₂-ekv.).

WEM – Sektorit	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
Kotimaan liikenne pl. lentoliik.	12.7	12.5	10.8	10.4	8.8	7.3	6.2	5.2
Työkoneet	2.6	2.5	2.4	2.4	2.3	2.2	2.1	2.0
Rakennusten lämmitys	4.5	4.2	3.2	2.4	2.2	1.7	1.3	0.7
Muut energiaperäiset	3.3	3.1	2.6	2.9	2.9	2.9	2.7	2.6
F-kaasut	1.2	1.4	1.4	1.0	0.9	0.5	0.3	0.2
Muut prosessit ja tuotteet	0.6	0.5	0.6	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6
Maatalous	6.5	6.6	6.5	6.3	6.3	6.3	6.2	6.1
Jätteiden käsittely	3.1	2.9	2.3	1.7	1.3	1.2	1.0	0.8
Taakanjakosektori yhteensä	34.4	33.7	29.9	27.8	25.0	22.7	20.3	18.3
Päästökauppasektori	35.5	42.1	25.3	20.7	17.6	15.8	13.0	12.2
Kaikki yhteensä	69.9	75.8	55.2	48.5	42.6	38.5	33.3	30.4
WAM-H – Sektorit	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
Kotimaan liikenne pl. avia	12.7	12.5	10.8	10.4	8.3	6.3	4.1	2.3
Työkoneet	2.6	2.5	2.4	2.4	2.2	1.7	1.5	1.4
Rakennusten lämmitys	4.5	4.2	3.2	2.4	1.6	0.7	0.5	0.3
Muut energiaperäiset	3.3	3.1	2.6	2.9	2.7	2.5	2.3	2.2
F-kaasut	1.2	1.4	1.4	1.0	0.7	0.2	0.1	0.1
Muut prosessit ja tuotteet	0.6	0.5	0.6	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6
Maatalous	6.5	6.6	6.5	6.3	6.1	5.9	5.7	5.5
Jätteiden käsittely	3.1	2.9	2.3	1.7	1.3	1.2	1.0	0.8
Taakanjakosektori yhteensä	34.4	33.7	29.9	27.8	23.4	19.0	15.8	13.2

3.4.2 Integroidun ja sektoritarkasteluiden eroista

HIISI-hankkeessa tehtiin yksityiskohtaisia sektorikohtaisia analyysejä, joiden lähtöoletuksia ja tuloksia hyödynnettiin hankkeen integroidussa järjestelmätarkastelussa sekä käsillä olevassa HIISI-hankkeen jatkoselvityksessä. Sektorikohtaisten analyysien päästötulokset poikkeavat kuitenkin jossain määrin integroidun tarkastelun vastaavista, ja poikkeamat luonnollisesti tuovat esiin tarkastelujen epävarmuuksia. Koska sektorimallit ovat varsin yksityiskohtaisia, niiden tulosten voi lähtökohtaisesti odottaa olevan sektorin kehityksen osalta luotettavampia kuin eri sektorit jonkin verran karkeammin kuvaava integroitu kokonaismalli. Toisaalta sektorimallit eivät kykene ottamaan huomioon kytkentöjä muihin sektoreihin ja siten muun muassa energian hintojen kehitystä kussakin politiikkaskenaariossa, joten integroidun mallin tulokset ovat kokonaisoptimoinnin kannalta perustellumpia. Lisäksi integroitu malli kykenee valitsemaan kustannustehokkaimmat päästönvähennyskeinot, jotka voivat siten kohdistua sektoreille eri tavalla kuin sektorimalleissa on oletettu.

Liikenteen osalta yksityiskohtaiset skenaariolaskelmat on tehty VTT:n ALIISA-malliin avulla (ks. Lehtilä ym. 2021). Integroidussa tarkastelussa käytettiin samoja

lähtötietoja muun muassa liikennesuoritteiden kysynnästä, sähkö- ja kaasuajoneuvojen markkinaosuuksien oletetuista vähimmäistasoista ja sähköhenkilöautojen ajokilometreistä. ALIISA-mallin ja integroidun tarkastelun päästötulosten välillä on kuitenkin selviä eroja, jotka ovat tiivistetysti seuraavat (kotimaanliikenne ilman lentoliikennettä ja kalastusaluksia):

- WEM-skenaariossa kotimaanliikenteen päästöt ovat ALIISA-mallin mukaan 7,4 Mt vuonna 2030 ja 6,6 Mt vuonna 2035, ja vastaavasti TIMES-VTT-mallin tuloksissa ne ovat 7,3 Mt vuonna 2030 ja 6,2 Mt vuonna 2035. Päästötason ero on siten noin 0,1 Mt vuonna 2030 ja noin 0,4 Mt vuonna 2035.
- WAM-H-skenaariossa kotimaanliikenteen päästöt ovat ALIISA-mallissa 6,3 Mt vuonna 2030 ja 4,5 Mt vuonna 2035, ja vastaavasti TIMES-VTT-mallissa ne ovat 6,3 Mt vuonna 2030 ja 4,1 Mt vuonna 2035. Päästötason ero on siten noin 0,0 Mt vuonna 2030 ja 0,4 Mt vuonna 2035.

Päästöjen erot aiheutuvat monista eri tekijöistä, mutta vuoteen 2035 mennessä ne ovat melko pieniä. Esimerkiksi tieliikenteen sähköistyminen on TIMES-VTT-tuloksissa vuoden 2030 jälkeen jonkin verran nopeampaa ja alkaa näkyä huomattavana myös muussa, kuin henkilöautoliikenteessä (esimerkiksi bussit, kaksipyöräiset ja kevyt tavaraliikenne). WEM-skenaariossa sähköhenkilöautojen asemaa parantaa myös erityisesti vuoden 2030 jälkeen uudessa perusennusteessa oletettu polttomootoriautoja huomattavasti suurempi vuotuinen ajokilometrimäärä. Lisäksi WAM-H-skenaarion osalta on huomattava, että TIMES-mallissa ALIISA-WAM-H-skenaarion sähköistymistä ja biokaasun käytön laajenemista koskevat oletukset asetettiin vähimmäismääräksi, jotka toteutuivat sellaisenaan vuoteen 2030 saakka. Sen jälkeen sähköistyminen alkaa voimistua markkinaehtoisesti ja tuottaa tällöin ALIISA-skenaariossa arvioituja suuremmat päästönvähennykset vuodesta 2035 lähtien.

ALIISA-mallin WAM-H-laskelman tulosten mukaan kotimaanliikenteen päästöt jäävätkin vuoden 2030 jälkeen *Hiiletön liikenne 2045* -tavoiteuraa suuremmiksi (LVM 2018) ja ovat vuonna 2045 yhä noin 2,2 miljoonaa tonnia, minkä ei voida katsoa aivan vielä vastaavan fossiilitonnan liikenteen tavoitteita. LVM:n (2018) arvioissa oli oletettu, että biobensiinin ja uusiutuvaan sähköön perustuvien synteettisten polttoaineiden markkinoille tulo ennen vuotta 2045 johtaa liikenteen päästöjen vähenemisen lähelle nollaa. HIISI-hankkeen WAM-skenaariossa (Lehtilä ym. 2021) biobensiini ja synteettiset polttoaineet johtivatkin hiiletön liikenne tavoiteuran mukaisesti KHK-päästöihin.

Työkoneiden osalta VTT:n TYKO-mallin (ks. Markkanen & Lauhkonen 2020) avulla on tehty yksityiskohtaisia laskelmia työkoneiden energiakäytön ja päästöjen kehityksestä perusurassa sekä maltillisessa sähköistymisvaihtoehdossa, ottaen huomioon nykylain mukainen jakeluvaihtoehto. TYKO-mallin tulosten ja integroidun tarkastelun päästötulosten keskeisimmät erot ovat seuraavat:

- TYKO-mallin perusskenaariossa työkoneiden kokonaispäästöt ovat 2,1 Mt/a vuosina 2030-2035 sekä mallin perus-sähköistymisskenaariossa 2,0 Mt

vuonna 2030 ja 1,9 Mt vuonna 2035. TIMES-mallin WEM-skenaariossa työ-koneiden päästöt ovat 2,2 Mt vuonna 2030 ja vuonna 2,1 Mt vuonna 2035. Sähköistymisen perusskenaarioon verrattuna TIMES-tulosten päästötason ero on siten noin 0,2 Mt vuonna 2030-2035.

- TYKO-mallilla ei ole varsinaisesti laskettu WAM-h-skenaariota, mutta vertailukohdaksi otetaan suuremman biojakeluelvoitteen variantti (20%-34% vuosina 2030–2035), jossa päästöt ovat vuonna 2030 1,8 Mt ja vuonna 2035 1,4 Mt. TIMES-mallin WAM-h-skenaariossa päästöt ovat 1,7 Mt vuonna 2030 ja 1,5 Mt vuonna 2035. Päästötasoissa on siten 0,1 Mt:n ero vuosina 2030-2035.

Kuten yllä olevista luvuista nähdään, integroidussa tarkastelussa työ-koneiden WEM-päästöt ovat vuonna 2030 hieman TYKO-perusskenaariota suuremmat, mutta vuonna 2035 päästöt ovat samalla tasolla. TYKO-perusskenaariion sähköis-tymisvarianttiin verrattuna eroa on 2030-2035 hieman enemmän, noin 0,2–0,3 Mt.

Integroidun tarkastelun WAM-h-skenaariossa työ-koneiden päästöt alenevat suunnilleen samoin, kuin TYKO-mallin suuremman jakeluelvoitteen variantissa, mikä johtuu WAM-h-skenaariion lähes saman tasoisesta jakeluelvoiteoletuksesta sekä työ-konekannan sähköistymisestä integroidussa WAM-h-skenaariossa. Vuonna 2040 TYKO-mallin suuremman biojakeluelvoitteen ja perussähköistymi-sen variantissa päästötaso on 1,3 Mt. Integroidussa tarkastelussa puolestaan työ-koneiden päästöt ovat WAM-h-skenaariossa 1,4 Mt vuonna 2040, joka on suunnil-leen sama, kuin TYKO-mallin suuremman biojakeluelvoitteen ja perussähköisty-misen variantissa.

TYKO-mallilla on tehty myös yhdistetty suuremman jakeluelvoitteen ja nopeam-man sähköistymisen variantti, jossa päästöt alenevat 1,0 Mt:n tasolle vuonna 2040 (Markkanen & Lauhkonen 2021). Sitä vastaavia tuloksia saatiin alkuperäisessä HIISI-WAM-skenaariossa, mutta käsillä olevan jatkohankkeen WAM-h-skena-riossa ohjaukskeinot eivät siihen enää riitä, vaan jäädään 1,4 Mt:n tasolle.

Maataloudessa merkittäviin kasvihuonekaasupäästövähenyksiin pääseminen edellyttäisi muun muassa voimakkaita turvepeltojen käytön, kotieläinten ruokinnan ja lannoitteiden käytön muutoksia sekä viime kädessä lähinnä vähentämällä karja-taloutta. Maataloussektorin KHK-päästökehitystä on kuvattu tarkemmin Luke:n HIISI-raportissa (Maanavilja ym. 2021). Integroidussa tarkastelussa käytettiin lähtö-tietoina Luken maatalouden Dremfia-mallia (maataloustuotanto, kotieläinten mää-rät) sekä soveltuvin osin sen kanssa synkronoitua Luken maatalousmaan käytön ja maatalouden kokonaispäästöjen laskentaa. Myös TIMES-mallissa on kuitenkin mal-linnettu maatalouden päästöjen muodostuminen kohtalaisen yksityiskohtaisesti, lähtien eläinmääristä ja viljelyalasta sekä sisältäen muun muassa lannankäsittelyn eri vaihtoehtoja, biokaasutuksen laajentamisen ja kotieläinten ruokinnan muutostoi-mia. Luken mallien ja integroidun tarkastelun päästötulosten keskeisimmät erot ovat seuraavat:

- WEM-skenaariossa maatalouden päästöt ovat Luken laskentamallien mu-kaan 6,3 Mt vuonna 2030, 6,2 Mt vuonna 2035, ja 6,1 Mt vuonna 2040. Vas-taavasti TIMES-mallin tuloksissa päästöt ovat 6,3 Mt vuonna 2030, 6,2 Mt

vuonna 2035 ja 6,1 Mt vuonna 2040. Päästötasojen erot ovat siten noin 0,0 Mt vuosina 2030–2040.

- WAM-skenaariossa maatalouden päästöt ovat Luken laskentamallien mukaan 5,9 Mt vuonna 2030, 5,8 Mt vuonna 2035, ja 5,6 Mt vuonna 2040. Vastaavasti TIMES-mallissa ne ovat 5,9 Mt vuonna 2030, 5,7 Mt vuonna 2035 ja 5,5 Mt vuonna 2040. Päästötasojen erot ovat siten noin 0,1 Mt vuosina 2030-2040.

WEM-skenaariossa päästötasoissa ei siis ole käytännössä eroja maatalouden sektorianalyysin ja integroidun tarkastelun välillä. WAM-H-skenaariossa päästöt ovat kuitenkin integroidussa tarkastelussa noin 0,1 Mt pienemmät vuosina 2030-2040, mikä johtuu pääosin integroidun mallin lannankäsittelymuutoksista ja bio-kaasutuksen lisäämisestä.

Kaikkiaan WEM-skenaariossa liikenteen, työkoneiden ja maatalouden sektori-kohtaisten laskentamallien ja integroidun tarkastelun päästötasojen erotus on yhteensä noin -0,1 Mt vuonna 2030 ja noin +0,2 Mt vuonna 2035, missä positiivinen luku tarkoittaa sektoritarkasteluiden suurempia päästöjä. WAM-H-skenaariossa vastaavat päästötasojen erot ovat +0,2 Mt ja +0,4 Mt. Rakennusten energiakäytön osalta sektorianalyysi ei tuottanut päästöjen kehitysarvioita, vaan ainoastaan lähtötietoja integroidulle tarkastelulle, joten päästöjen kehitysarvioiden mahdollisia eroja ei voida siltä osin arvioida.

4. Vaikutukset kansantalouteen ja työllisyyteen

4.1 Kansantalouden tasapainolaskelmien lähtöoletukset

Tässä luvussa raportoidaan kansantaloutta koskevat WAM-h-skenaarion vaikutusarviot. Skenaariota tarkastellaan suhteessa kansantalouden WEM-skenaarioon, jonka lähtökohdat ovat pitkän aikavälin toimialakehitystä arvioineen ENKO-hankkeeseen (Honkatukia ym. 2021) perustuvan perusskenaarion mukaiset. HIISI-hankkeessa päivitettiin toimialakehityksiä monien toimialojen vähähiilietikarttatyön tuloksilla ja niihin perustuvilla energianjärjestelmän TIMES-VTT-mallinnuksilla. WEM-skenaariota on kuvattu lähemmin HIISI-hankkeen kansantalousraportin yhteydessä (Honkatukia 2021).

WAM-h-skenaario koostuu WEM-skenaarioon nähden uusista toimenpiteistä energiantuotannossa ja teollisuudessa sekä liikenteessä ja rakennusten lämmityksessä. WAM-h-skenaariossa vaikutukset kansantalouteen syntyvät ennen kaikkea lisäinvestoinneista energiateknologiaan, mutta myös energiatehokkuuden lisäämiseen ja tuotantoprosesseihin sekä muun muassa liikenteen sähköistymiseen. Tässä oletetaan, että kansantalous rahoittaa investointeja paitsi kotimaisella säästämällä myös velkaantumalla, jolloin vaihtotaseen vaje kasvaa investointien rahoittamiseksi.

Kansantaloudellisessa arvioinnissa otetaan lähtökohdaksi TIMES-VTT-mallilla tehtyjen laskelmien tulokset polttoaineiden ja energiantuotannon sekä -kulutuksen muutoksista eri sektoreilla sekä ne investoinnit, joita muutoksen toteuttaminen vaatii. Keskeiset lähtökohta-oletukset, joita on kuvattu edellä luvussa 3 ovat siten:

- TIMES-VTT-mallin arviot energiantuotannon uusiutumisesta (polttoaineiden käyttö, investoinnit uusiutuvaan energiaan ja ydinvoimaan).
- TIMES-VTT-mallin arviot rakennussektorin ja keskeisten teollisuudenalojen energiankäytön uusiutumisesta (polttoaineet, investoinnit).

Liikenteen osalta arvio käyttää LVM:n laatimaa perusennustetta WEM-skenaariossa ja edellä esitettyä ALIISA-mallinnuksen WAM-H-skenaarion oletuksia, joissa keskeinen muutos on ajoneuvokannan sähköistyminen jo 2020-luvun kuluessa siten, että WEM-skenaariossa sähköautojen määrä saavuttaa 600 000 vuoteen 2030 mennessä ja WAM-h-skenaariossa jo 750 000. Kuten edellä on esitetty, WAM-h-skenaarion oletukset sähköisten autojen määrästä vastaavat HIISI-hankkeen WAM-skenaarion määrittelyä.

Kansantaloudelliset kustannukset syntyvät tarvittavien toimien aiheuttamista lisäinvestoinneista, jotka kasvavat päästöjen vähennystavoitteen myötä. Investoinnit uudistavat kuitenkin talouden kulutus- ja tuotantorakenteita, mistä syntyy merkittävää tehostumista ja myös uusia mahdollisuuksia, kun talous sähköistyy, ja sähkön tuotanto muuttuu päästöttömäksi. Uudet teknologiat korvaavat fossiilisia myös tuotannossa, jolloin tuotannon energia- ja materiaalitehokkuus kasvaa.

WAM-h-skenaariossa oletetaan, että lisäinvestoinnit toteutuvat pääosin markkinaehtoisesti. Tällöin investoinnit eivät välttämättä toteudu täydessä mitassaan,

vaan ainoastaan kannattavuuden puitteissa. Tältä osin WAM-H-skenaario eroaa HIISI-hankkeen aiemmasta WAM-skenaariosta, jossa oletettiin, että päästöjen vähennyksen vaatimat investoinnit toteutuisivat, vaikka ne eivät olisikaan taloudellisesti kannattavia ilman lisätukitoimia tai regulaatiota. Tässä oletetaan myös, että taloudellinen ohjaus toteutuu vain energiaverojen indeksoinnin ja päästökaupan ajamana.

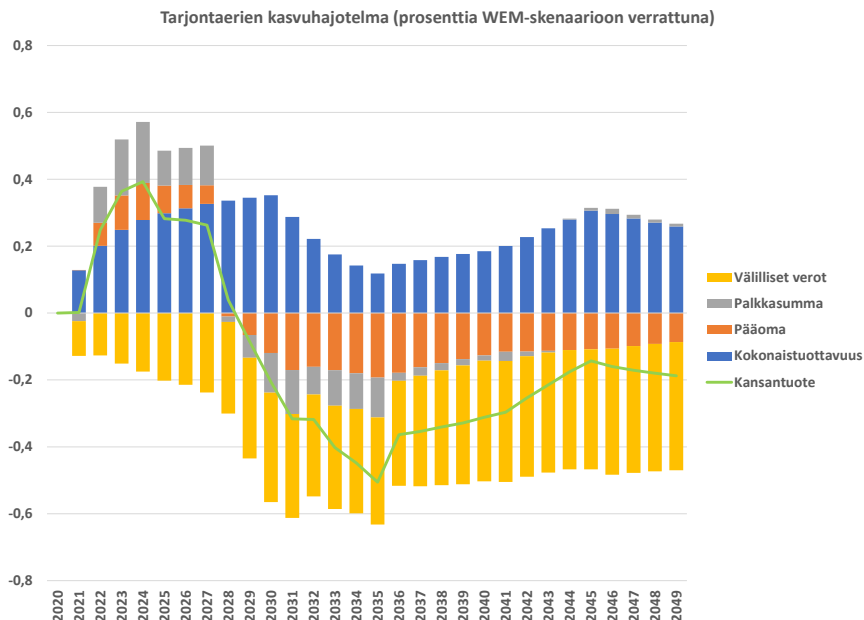
4.2 Vaikutusarviot kansantalouteen

Vaikutuksia kuvataan tässä kansantuotteen kasvuhajotelmien avulla. Kasvuhajotelmat kuvaavat kansantuotteen erien vaikutusta kokonaismuutokseen, ne ovat siis kansantuote-erien osuuksilla painotettuja muutoksia, jotka kertovat siitä, miltä kansantalouden sektoreilta arvioidut muutokset ovat peräisin.

Alla (Kuva 16 ja Taulukko 4) on esitetty WAM-H-skenaarion tulokset kansantuotteen tarjontaerien kasvuhajotelmana. Kuviosta näkyy, että 2020-luvulla sekä työllisyys että pääomakanta kasvavat WEM-skenaariota nopeammin. Pääasiallin kasvun lähde on investointien mahdollistama kokonaistuottavuuden kasvu. 2030-luvulla tämä vaikutus jää kuitenkin aiempaa HIISI-hankkeen WAM-skenaarion arviota pienemmäksi, kun investoinnit toteutuvat myöhemmin ja pienempinä. Välillisten verojen vaikutus kansantuotteen kasvuun on negatiivinen, kun päästöjen vähentämisen ja sähköistymisen myötä energiaverotuksen veropohja kapenee.

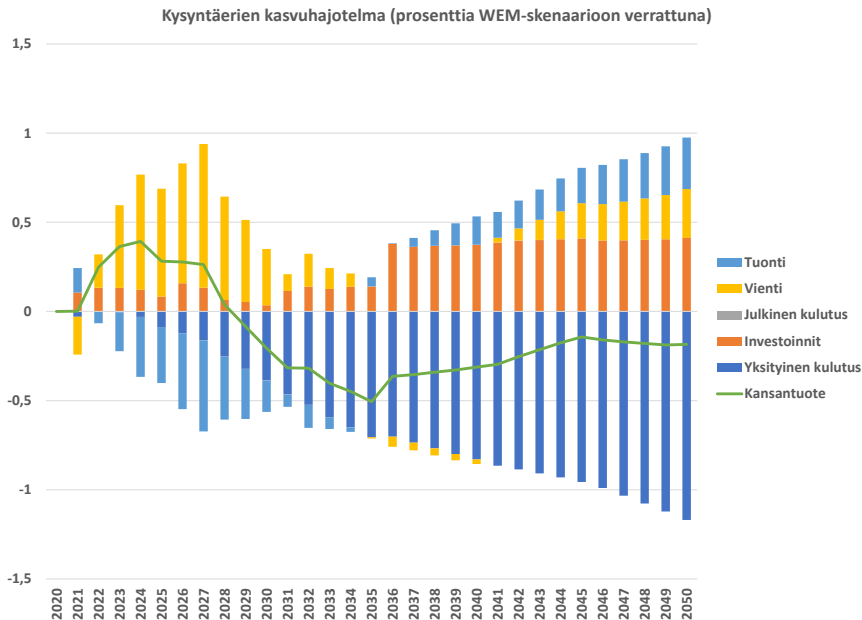
Taulukko 4. WAM-H-skenaarion tarjontaerien kasvuhajotelma WEM-skenaarioon verrattuna.

% WEM-skenaarioon verrattuna	2030	2040	2050
Kokonaistuottavuus	0,4	0,2	0,3
Pääoma	-0,1	-0,1	-0,1
Palkkasumma	-0,1	0,0	0,0
Välilliset verot	-0,3	-0,4	-0,4
Kansantuote	-0,2	-0,3	-0,2



Kuva 16. WAM-H-skenaarioiden tarjontaerien kasvuhajotelma (prosenttia WEM-skenaarioon verrattuna).

Alla (Kuva 17) on kuvattu kysyntäerien kasvuhajotelma WAM-H-skenaariossa. Vaikutukset kansantuotteeseen ovat monilta osin positiivisia tällä tavoitetasolla, kun lisäinvestoinnit kasvattavat kansantuotetta etenkin teollisuuden viennin kasvaessa. Päästöjen vähennysten lisähinta leikkaa kuitenkin ajan mittaan kotitalouksien ostovoimaa, jolloin kulutuskysyntä laskee. Tuonnin pienentyessä talouden omavaraisuus myös kasvaa. Vaikutukset ovat samansuuntaisia kuin HIISI-hankkeen WAM-arviossa (Honkatukia 2021), mutta ne jäävät pienemmiksi, koska investoinnit jäävät WAM-H-skenaariossa pienemmiksi tai ne toteutuvat myöhemmin kuin HIISI-hankkeen WAM-skenaariossa. Vuoteen 2030 mennessä kulutuskysyntä laskee noin 0,5 prosenttia WEM-skenaarioon verrattuna ja vuoteen 2050 mennessä noin 1,7 prosenttia. Investoinnit ja nettoviennin kasvu kasvattavat kansantuotetta 2020- ja 2040-luvuilla, mutta kansantuote laskee kulutuskysynnän laskun vuoksi noin 0,2 prosenttia WEM-skenaarioon verrattuna.

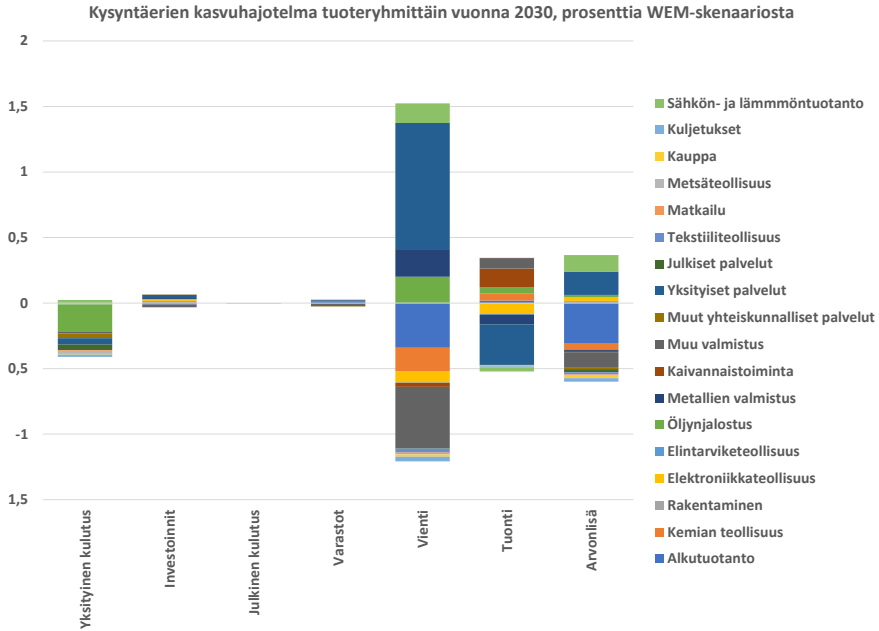


Kuva 17. WAM-H-skenaarion kysyntäerien kasvuhajotelma (prosenttia WEM-skenaarioon verrattuna).

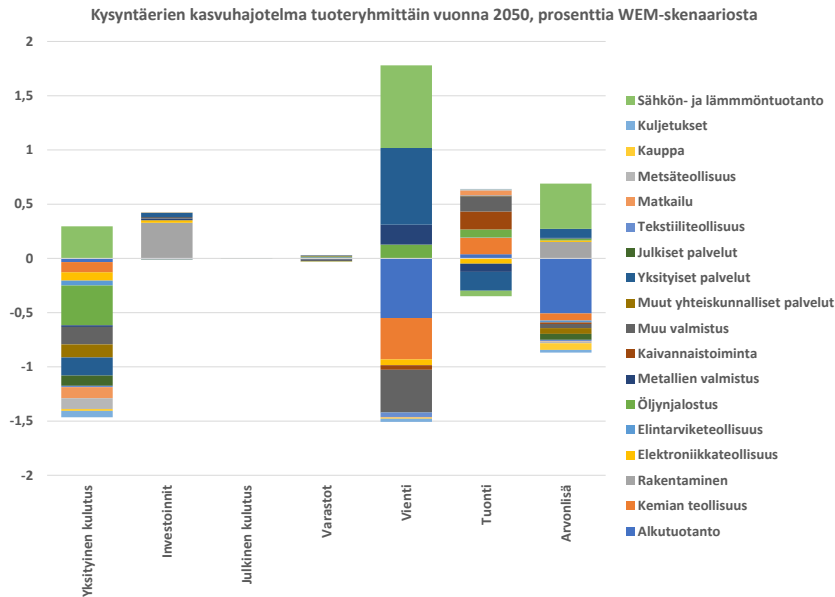
Seuraavaksi (Kuva 18) tarkastellaan talouden rakennemuutoksesta aiheutuvia kasvuvaiikutuksia WEM-skenaarioon verrattuna vuonna 2030. Suuret investoinnit kohdistuvat raskaaseen teollisuuteen, liikenteeseen ja energiasektorille, ja ne mahdollistavat näiden toimialojen kasvun WEM-skenaarioon verrattuna. Teollisuuden kasvu toteutuu lähinnä viennin kautta. WAM-H-skenaariossa on oletettu miljardikokoluokan investointien toteutumiset. Jos kuitenkin edellä esitetyt terästuotannon vetytelkistys- ja biojalostamoinvestoinnit jäävät toteutumatta siinä mittakaavassa, kuin mitä laskelmissa on oletettu, pienenee investointien ja näiden toimialojen viennin kautta syntyvä kasvuvaiikutus. Tällöin päästöjen vähentämisestä aiheutuisi suurempi kansantuotteen supistuminen, kuin mitä WAM-H-skenaarion tulokset esittävät. Kotitalouksien kulutuksen kautta suurin muutos syntyy öljytuotteiden kulutuksen laskusta (kasvuvaiikutus -0,2 prosenttiyksikköä). Kotitalouksien ostovoiman heikkeneminen näkyy myös muiden kulutustavaroiden kysynnän laskuna. Lisäksi monien palveluiden kysyntä jää perusskenaariota pienemmäksi. Viennin rakenteessa muutos näkyy yksityisten palvelujen viennin kasvuna (vaiikutus vajaa prosentti), sekä metallien valmistuksen, öljyjalosteiden ja sähkön viennin kasvuna, jotka yhteensä kasvattavat kansantuotetta noin 0,6 prosentilla.

Alla (Kuva 19) kuvataan vastaavasti rakennemuutosta WAM-H-skenaariossa vuonna 2050. Yksityisten palvelujen viennistä syntyy noin 0,7 prosentin kasvuvaiikutus, kun taas öljynjalostuksen ja metallien viennin kasvuvaiikutus supistuu hieman

vuodesta 2030. Yksityinen kulutus sen sijaan supistaa kansantuotetta noin 1,1 prosentilla, eikä kotitalouksien kulutusta kasvata muu kuin sähkön kysynnän kasvu. Nettoviennin kasvuvaikutus on WAM-H-skenaariossa WEM-skenaariota suurempi koko tarkastelujakson ajan sekä vuonna 2030 että vuonna 2050, jolloin kansantalous pystyy maksamaan energiahuollon uudistamisen vaatimat investoinnit.



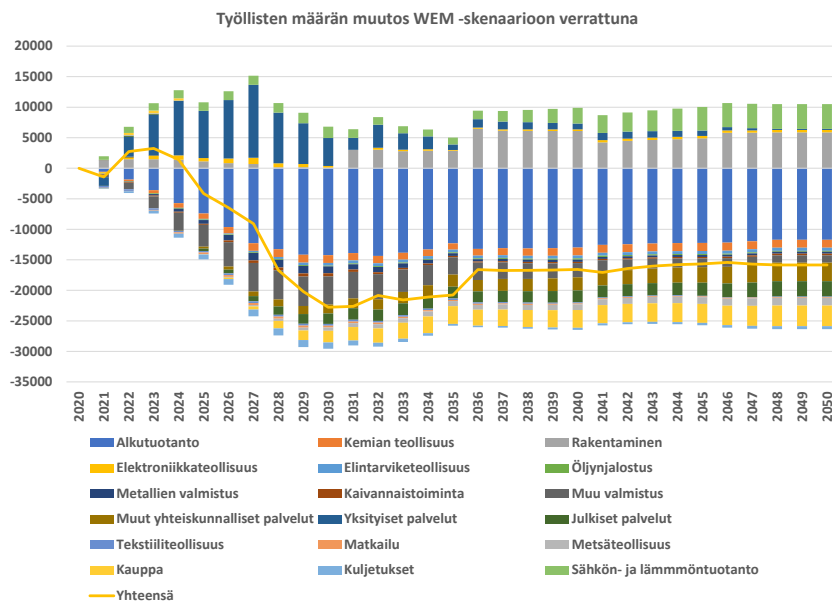
Kuva 18. WAM-H-skenaariion kysyntäerien kasvuhajotelma tuoteryhmittäin vuonna 2030 (prosenttia WEM-skenaariioon verrattuna).



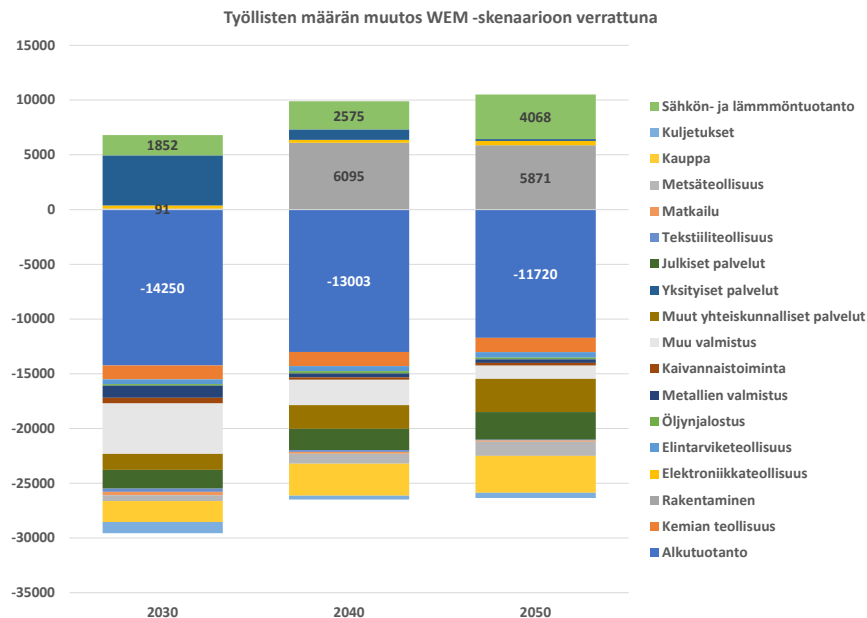
Kuva 19. WAM-H-skenaariion kysyntäerien kasvuhajotelma tuoteryhmittäin vuonna 2050 (prosenttia WEM-skenaariioon verrattuna).

4.3 Vaikutusarviot työllisyyteen

Rakennemuutos näkyy myös työllisyydessä, jonka muutosta WAM-H-skenaariossa kuvataan alla (Kuva 20, Kuva 21 ja Taulukko 5). Kuvista näkyy, että kokonaistyöllisyys pienenee, mutta investoinnit kasvattavat rakentamisen investointeja sekä työllisyyttä koko tarkastelujakson ajan, ja 2030- ja 2040-luvulla investointivauhdin kiihtyessä vielä 2020-lukua enemmän. Myös energiantuotantotoimialan työllisyys kasvaa. 2020-luvulla palveluvienti kasvaa WAM-H-skenaariossa hieman WEM-skenaariota enemmän, mikä kasvattaa yksityisten palvelujen työllisyyttä. 2030- ja 2040-luvuilla teollisuuden viennin kasvu suuntaa työvoimaa palveluista teollisuuteen, jolloin palvelujen työllisten määrä alkaa pienentyä. Tämä vaikutus myöhentyy verrattuna aiempiin arvioihin, koska teollisuuden investoinnit toteutuvat tässä markkinaehtoisina myöhemmin, kuin mitä aiemmassa HIISI WAM-skenaariossa.

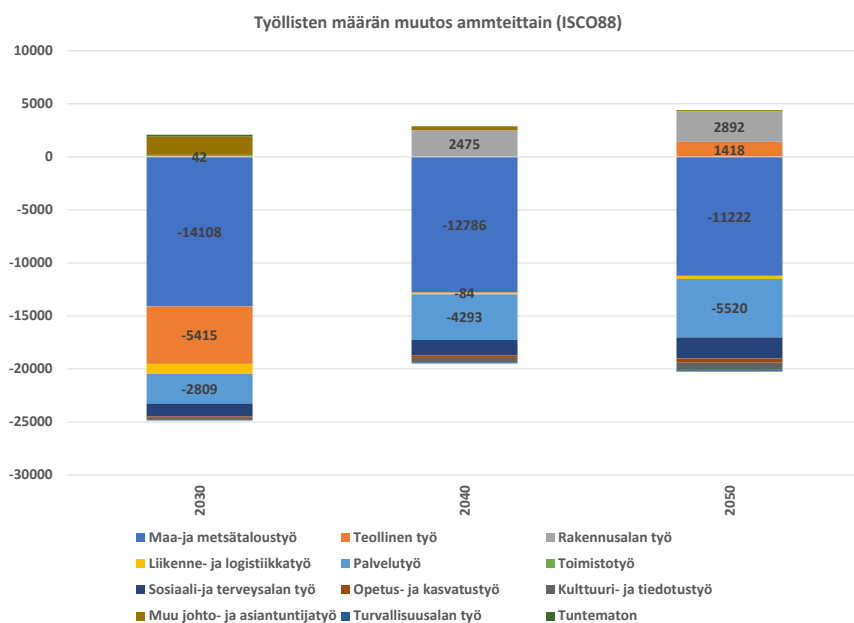


Kuva 20. WAM-H-skenaarion työllisten määrän muutos WEM-skenaarioon verrattuna.



Kuva 21. WAM-H-skenaarion työllisten määrän muutos WEM-skenaarioon verrattuna.

Rakennemuutos näkyy lisäksi työvoiman kysynnän kohdentumisena eri ammatteihin. Alla (Kuva 22 ja Taulukko 5) on koottu WAM-h-skenaarion työllisten määrän erot WEM-skenaarioon nähden ISCO-ammattiluokituksen mukaisella jaottelulla. Kuvasta näkyy, että alkutuotannon työpaikkojen määrä laskee eniten, mutta 2030- ja 2040-luvulla lasku pysähtyy, kun teollisuuden kasvu heijastuu myös alkutuotantoon. Kasvu näkyy myös teollisten työpaikkojen ja rakentamisen työpaikkojen kasvuna etenkin 2040-luvulla. Alkutuotannon ja palvelutöiden työpaikkojen määrä kuitenkin laskee tätä enemmän, jolloin kaikkiaan työllisten määrä laskee verrattuna WEM-skenaarioon.



Kuva 22. Työllisten määrän muutos WAM-h-skenaariossa verrattuna WEM-skenaarioon ISCO88-ammattiluokittelun mukaisesti.

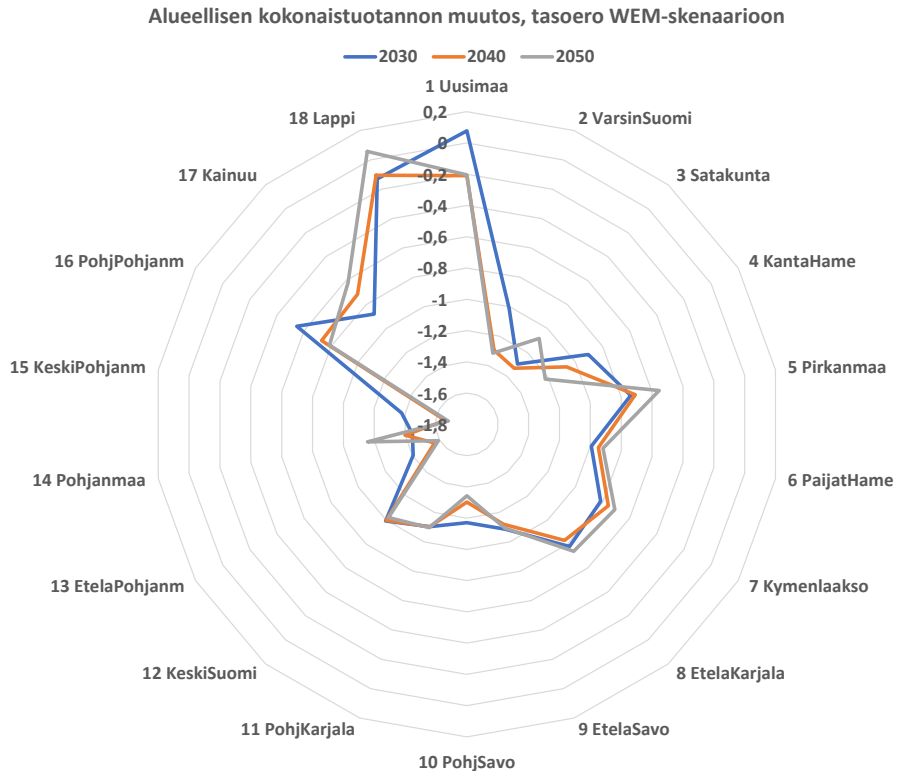
Taulukko 5. Työllisten määrän muutos WAM-h-skenaariossa WEM-skenaarioon verrattuna ammateittain.

	2030	2030	2050
Maa- ja metsätaloustyö	-14108	-12 786	-11222
Teollinen työ	-5415	-84	1418
Rakennusalan työ	42	2475	2892
Liikenne- ja logistiikkatyö	-930	-102	-282
Palvelutyö	-2809	-4 293	-5520
Toimistotyö	147	34	9
Sosiaali- ja terveysalan työ	-1228	-1 458	-1997
Opetus- ja kasvatustyö	-122	-237	-385
Kulttuuri- ja tiedotustyö	-189	-413	-623
Muu johto- ja asiantuntijatyö	1720	368	92
Turvallisuusalan työ	-60	-108	-151
Tunteamaton	181	17	-72

4.4 Alueelliset vaikutukset

Ilmastopolitiikan käynnistämä rakennemuutos vaikuttaa alue-eroihin, joita arvioidaan tässä alueellisen toimialarakenteen avulla. Arvio perustuu koko maan toimialakohtaisten vaikutusten kohdentamiseen maakuntiin niiden toimialarakenteen mukaisesti. Alla (Kuva 23 ja Taulukko 6) on koottu vaikutukset alueelliseen kokonaistuotantoon vuosina 2030-2050. Vuoteen 2025 mennessä vaikutuksia ei juurikaan ehdi kertyä, mutta 2030 mennessä niitä on jo syntynyt. WEM-skenaarioon verrattuna uusia kasvun mahdollisuuksia syntyy biojalosteiden ja metallien valmistukseen sekä sähkötuotantoon. Näille toimialoille kohdistuvat suuret investoinnit näkyvät myös rakentamisen kasvuna, mutta toisaalta juuri näihin investointeihin liittyy myös epävarmuutta. Monien palvelujen kotimainen kysyntä sen sijaan pienenee, kun ostovoima laskee, mitä palveluviennin kasvu kompensoi. Alueelliset vaikutukset heijastavat näiden toimialojen osuutta aluetaloudessa. Vuonna 2030 palveluviennin ero WAM-h-skenaariossa WEM-skenaarioon verrattuna on suurimmillaan, ja tämä näkyy kasvukeskuksissa, joissa väestöpohja on laaja (Uusimaa, Varsinais-Suomi, Pirkanmaa ja Pohjois-Pohjanmaa). Tämän jälkeen kasvu suuntautuu enemmän maakuntiin, joiden kasvua investoinnit vauhdittavat – ennen kaikkea metalliteollisuutta ja myös elektroniikkateollisuutta. Vuoteen 2050 mennessä teollisuuden ja energiahuollon rakenneuudistus on suurimmalta osin ohi. Vaikutukset ovat suhteellisesti selvästi suurempia koko maan tasoon verrattuna sellaisissa maakunnissa, joissa kasvusysäyksen saavaa teollisuutta ei ole, ja joissa alkutuotannon (maatalouden) osuus on keskimääräistä suurempi. Näissä maakunnissa alueellinen kokonaisarvonlisä jää toista prosenttia WEM-skenaariota alemmaksi vuoteen 2050 men-

nessä. On kuitenkin huomattava, että aluetalous kasvaa WEM-skenaariossa kaikissa maakunnissa vähintään neljänneksen ja useimmissa noin kolmanneksen vuodesta 2021. Tulos ei siis tarkoita kasvun tyrehtymistä missään maakunnassa.



Kuva 23. Alueellisen kokonaistuotannon muutos WAM-H-skenaariossa, tasoero WEM-skenaarioon verrattuna.

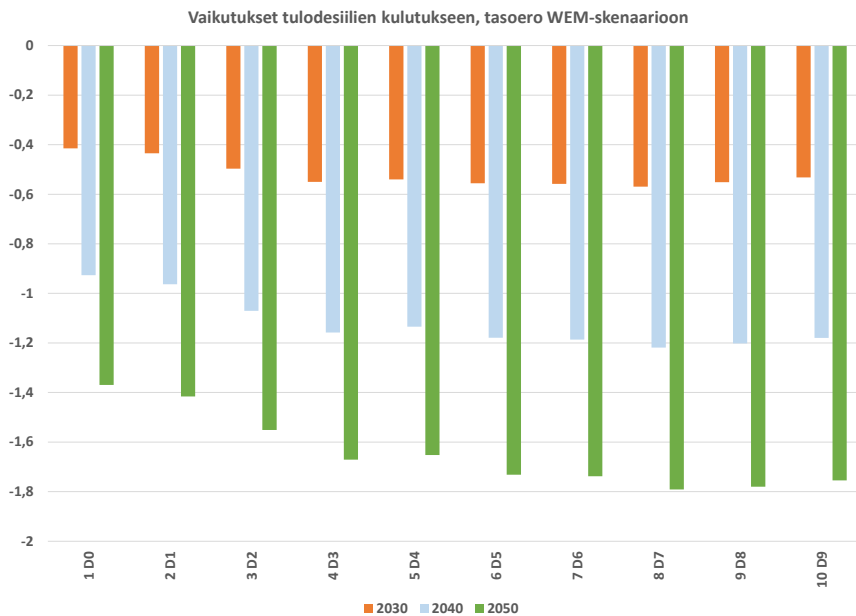
Taulukko 6. Alueellisen kokonaistuotannon muutos WAM-h-skenaariossa, tasoero WEM-skenaarioon verrattuna.

	2030	2040	2050
1 Uusimaa	0,1	-0,2	-0,2
2 Varsinais-Suomi	-1,0	-1,3	-1,3
3 Satakunta	-1,3	-1,3	-1,1
4 Kanta-Häme	-0,9	-1,1	-1,2
5 Pirkanmaa	-0,7	-0,7	-0,6
6 Päijät-Häme	-1,0	-0,9	-0,9
7 Kymenlaakso	-0,8	-0,8	-0,7
8 Etelä-Karjala	-0,8	-0,8	-0,7
9 Etelä-Savo	-1,1	-1,1	-1,1
10 Pohjois-Savo	-1,2	-1,3	-1,3
11 Pohjois-Karjala	-1,1	-1,1	-1,1
12 Keski-Suomi	-1,0	-1,0	-1,0
13 Etelä-Pohjanmaa	-1,4	-1,6	-1,6
14 Pohjanmaa	-1,4	-1,4	-1,2
15 Keski-Pohjanmaa	-1,4	-1,7	-1,7
16 Pohjois-Pohjanmaa	-0,5	-0,7	-0,8
17 Kainuu	-0,9	-0,7	-0,6
18 Lappi	-0,1	-0,1	0,1

4.5 Vaikutukset kotitalouksille

WAM-h-skenaarion toimenpiteet kohdistuvat kotitalouksien kulutuskorissa suoraan ennen kaikkea asumisen ja liikenteen palvelujen kulutukseen, mutta välillisesti vaikutukset näkyvät myös muiden tuotteiden ja palveluiden hinnassa sen mukaan, kuinka energia- ja päästöintensiivisiä niiden tuotanto on. Tulonjakovaikutuksia tarkastellaan tässä kulutuskorin kallistumisen näkökulmasta kohdentamalla tuoteryhmäkohtaiset vaikutukset kotitalouksien kulutukseen tulodesiilleille, eli tulokymmenyksittäin¹¹, niiden kulutusrakenteen mukaisesti. Laskelmien tulokset on esitetty koottuna alla kuvaan ja taulukkoon (Kuva 24 ja Taulukko 7), joista näkyy, että vaikutukset ovat suhteellisesti suurempia keski- ja suurituloisissa desiilleissä kuin alimmissa tulodesiilleissä. Tämä johtuu siitä, että suurempituloiset kotitaloudet kuluttavat energiaa ja etenkin energiantensiivisiä palveluja sekä absoluuttisesti että suhteellisesti enemmän kuin pienempituloiset kotitaloudet. Erot ovat kuitenkin pienet ja myös pienemmät WAM-h-skenaariossa, kuin mitä HIISI-WAM-skenaarion osalta esitettiin (Honkatukia 2021).

¹¹ Tulokymmenysten eli tulodesiilien muodostamista on kuvattu osoitteessa https://www.stat.fi/meta/kas/desiiliryhmat_e.html



Kuva 24. Vaikutukset kotitalouksien tulodesiilien (D0-D9) kulutukseen WAM-H-skenaariossa, tasoero WEM-skenaarioon verrattuna.

Taulukko 7. Vaikutukset kotitalouksien tulodesiilien (D0-D9) kulutukseen WAM-H-skenaariossa, tasoero WEM-skenaarioon verrattuna.

Tulodesiili	2030	2040	2050
1 D0	-0,4	-0,9	-1,4
2 D1	-0,4	-1,0	-1,4
3 D2	-0,5	-1,1	-1,6
4 D3	-0,6	-1,2	-1,7
5 D4	-0,5	-1,1	-1,7
6 D5	-0,6	-1,2	-1,7
7 D6	-0,6	-1,2	-1,7
8 D7	-0,6	-1,2	-1,8
9 D8	-0,6	-1,2	-1,8
10 D9	-0,5	-1,2	-1,8

5. Johtopäätökset

Alla on esitetty WAM-H-skenaariotarkasteluiden johtopäätöksiä keskittyen Suomen ilmasto- ja energiavoitteiden saavuttamiseen, kun kehityksiä arvioidaan hallituksen päätöksiensä vaikuttavuuden näkökulmasta, joita on täydennetty muun muassa KAISU-luonnoksessa (YM 2021) esitetyillä toimilla. HIISSI-jatkoselvityksen erityisenä tavoitteena oli täyttää hallituksen neuvotteluissa vuoden 2022 talousarvioesityksestä 9.9.2021 tehty kirjaus, jonka mukaan tutkimustahot arvioivat hallituksen neuvotteluissa hyväksytyjen ilmastokirjausten ja toimien riittävyttä KAISU-luonnoksessa esitetyin toimin ja taakanjakosektorin ilmastotavoitteiden kannalta, jotta tiedetään, paljonko uusia toimia pitää päättää vielä myöhemmin. Tämä raportti on lähetetty tausta-aineistoksi Suomen ilmastopaneelille, Suomen ympäristökeskukselle, Luonnonvarakeskukselle ja Ilmatieteen laitokselle, joilta on VTT:n lisäksi pyydetty lausuntoa toimien riittävydestä 11.2.2022 mennessä. Vaikka pyydettyssä lausunnossa keskitytään ainoastaan KAISU:n toimien arviointiin, tässä raportissa on tarkasteltu myös Suomen ilmastolakiehdotuksen mukaisten KHK-päästötavoitteiden saavuttamista vuosina 2030, 2040 ja 2050 sekä hiilineutraalisuuden saavuttamista vuoteen 2035 mennessä. Lisäksi on arvioitu, kuinka hyvin hallituksen ilmasto- ja energiapolitiittiset päätökset ovat linjassa EU:n FitFor55-säädösehdotuspaketin mahdollisten tavoitteiden saavuttamisen kanssa liittyen taakanjakosektorin vuoden 2030 KHK-päästötavoitteeseen sekä uusiutuvan energian osuuteen loppuenergiankulutuksesta ja arvioon loppuenergiankulutuksesta.

5.1 Kasvihuonekaasujen kokonaispäästöt ja vuosien 2030–2050 ilmastotavoitteiden saavuttaminen

Alla on esitetty yhteenveto KHK-päästötavoitteista mukaan lukien vuoden 2035 hiilineutraalisuustavoite, jonka taustalla on oletus LULUCF-sektorin 21 Mt CO₂-ekv. nettonielusta. Päästökuilulaskelmissa vertailuvuosi on 1990, jolloin AR5-kertoimin KHK-päästöt olivat 71,5 Mt CO₂-ekv.

- *Tavoite:* Vähennys vähintään 60 % vuoteen 2030, jolloin päästöjä jää jäljelle korkeintaan 28 Mt CO₂-ekv. *WAM-H-skenaario:* KHK-päästöt ovat vajaat 31 Mt, joten päästökuilu on runsaat 2 Mt.
- *Tavoite:* Vähennys vähintään 70 % vuoteen 2035, jolloin päästöjä jää jäljelle korkeintaan 21 Mt CO₂-ekv. *WAM-H-skenaario:* KHK-päästöt ovat noin 25 Mt, joten päästökuilu on runsaat 4 Mt.
- *Tavoite:* Vähennys vähintään 80 % vuoteen 2040 mennessä, jolloin päästöjä jää jäljelle korkeintaan 14 Mt CO₂-ekv. *WAM-H-skenaario:* KHK-päästöt ovat noin 19 Mt, joten päästökuilu on noin 5 Mt.
- *Tavoite:* Vähennys vähintään 90 %, mutta pyrkien tasoon 95 % vuoteen 2050 mennessä. Tällöin päästöjä jää jäljelle korkeintaan 7 Mt, mutta pyrkien rajoittamaan päästöjen määrän korkeintaan tasolle 3,5 Mt CO₂-ekv.

WAM-H-skenaario: KHK-päästöt ovat noin 7 Mt ja päästökuilu lähes nolla. Tavoitteen saavuttaminen edellyttää laajamittaista CCS:n ja BECCS:n käyttöä. Jälkimäinen viittaa hiilidioksidin poistoon ilmakehästä teknisillä keinoin.

KHK-päästöjen kokonaistavoitteen saavuttamiseen liittyy luonnollisesti merkittäviä epävarmuuksia ja kehitys voi edetä myös suotuisammin, kuin mitä WAM-H-skenaario antaa ymmärtää. Kokonaispäästöjen vähenemisen kannalta on tärkeää muistaa, että kaikkien päästösektoreiden tulee merkittävästi vähentää päästöjään, jotta hiilineutraalisuustavoite saavutetaan vuoteen 2035 mennessä. WAM-H-laskelmien perusteella päästökuilu näyttäisi kasvavan vuoteen 2040 asti, jonka jälkeen mallinnuksessa oletetut uudet teknologiat mahdollistavat jopa 90 % KHK-päästövähennyksen vuonna 2050. Toisaalta kannattaa huomata, että WAM-H-skenaariossa oletettiin muun muassa teollisuuden suurien investointien toteutuvan liittyen sähköistykseen ja vetyyn perustuviin prosesseihin. Viimeaikainen kehitys antaakin positiivisia signaaleja kehityksen suhteen. Kuten luvussa 3.3 esitettiin, SSAB:n siirtyminen Raahessa fossiilivapaaseen teräksentuotantoon jo vuonna 2030 mahdollistaisi Suomen kokonaispäästötavoitteiden toteutumisen vuonna 2030. Vuoden 2030 jälkeen päästökuilu pienenesi SSAB:n investoinnin myötä edelleen, mutta lisätoimia tarvitaan vuosien 2035 ja 2040 päästötavoitteiden saavuttamiseksi. Tilanteen kehitystä on siten syytä seurata, jotta tarvittavalla KHK-päästöuralla pysytään.

5.2 Taakanjakosektorin kasvihuonekaasupäästötavoitteiden saavuttaminen

KAISU-luonnoksessa (YM 2021) vuoden 2030 KHK-päästötavoitteet on asetettu EU:n taakanjakoehdotuksen mukaisesti 50 prosenttiin vuoden 2005 päästöihin verrattuna. Komission laskema Suomen vuoden 2005 päästöjen vertailulukko on 34,4 Mt CO₂-ekv., jonka mukaan Suomen KHK-päästötavoite vuodelle 2030 olisi 17,2 Mt CO₂-ekv. WEM-skenaarioon oletetun 39 prosentin päästövähennystavoitteeseen verrattuna taakanjakosektorin tavoite kiristyy siten 3,8 miljoonaa tonnia vuonna 2030.

KAISU-luonnoksessa on esitetty suuri joukko kansallisia toimia, joiden avulla vuoden 2030 taakanjakosektorin tavoite saavutetaan. Toisaalta KAISU-luonnoksessa on myös huomioitu EU:n ehdotukset liikenteen, rakennusten erillislämmityksen ja osittainen työkonesektorin sisällyttämisistä päästökauppaan. Näihin liittyy kuitenkin hyvin suurta epävarmuutta, joten WAM-H-skenaariossa päästökaupan laajennuksia ei lähtökohtaisesti huomioitu. Poikkeuksena on liikenteen mallinnus, jossa päästökaupan vaikutukset on mallinnettu epäsuorasti¹².

Vuoden 2030 tavoitteen lisäksi KAISU-luonnoksessa on määritetty taakanjakosektorin tavoite vuodelle 2035 perustuen HIISI-hankkeen arvioon KHK-päästöjen ja

¹² TIMES-VTT-energiajärjestelmämallinnus käyttää lähtötietoinaan VTT:n ALIISA-mallinnuksen tuloksia käyttövoimien ja liikenteen suoritteiden kehityksistä ja ALIISA-mallinnuksen taustalla oli oletus liikenteen päästökaupan toteutumisesta.

kautumisesta päästökauppa- ja taakanjakosektorien välille WAM-skenaariossa. Tavoitetasoksi vuodelle 2035 on asetettu siten 14,5 Mt CO₂-ekv. HIISI-hankkeen WEM-skenaarion tuloksia on myös hyödynnetty arvioissa lisätoimien tarpeesta, joilla vuosien 2030 ja 2035 tavoitteet saavutettaisiin. Toisaalta KAISU-luonnokseen on kirjattu myös joustojen käytön mahdollisuus, jotka olisivat yhteensä 1,1 Mt vuonna 2030¹³ KAISU-luonnoksen mukaan (YM 2021).

Alla on esitetty yhteenveto taakanjakosektorin KHK-päästötavoitteista (vertailuvuosi 2005) siten, kuin ne on KAISU-luonnoksessa (YM 2021) esitetty sekä WAM-H-skenaarion mukaiset arviot päästöistä ja päästökulusta (AR5-kertoimin):

- *Tavoite:* Vähennys vähintään 50 % vuoteen 2030, jolloin päästöjä jää jäljelle korkeintaan 17,2 Mt CO₂-ekv. *WAM-H-skenaario:* KHK-päästöt ovat 19,0 Mt, joten päästökululu on 1,8 Mt. Mikäli joustoja käytetään täysimääräisesti, päästökululu olisi 0,7 Mt.
- *Tavoite:* Vähennys vähintään 58 % vuoteen 2035, jolloin päästöjä jää jäljelle korkeintaan 14,5 Mt CO₂-ekv. *WAM-H-skenaario:* KHK-päästöt ovat 15,8 Mt, joten päästökululuksi jää 1,3 Mt.

Kuten luvussa 2 esitettiin, WAM-H-skenaarioon on sisälletty taakanjakosektorille esitettyjä kansallisia toimia ns. pakotettuna, eli näiden toimien toteutumista esitetyn ohjaukskeinoin ei ole mallinnettu. Toisaalta vuoden 2030 päästökululu osalta ei ole huomioitu myöskään kaikkia FitFor55-säädöspaketin aloitteita, jotka voisivat tuoda helpotusta Suomen taakanjakosektorin tavoitteeseen. Keskeisin epävarmuus liittyy liikenteen kehitykseen, jonka KHK-päästöt tulisi vähintään puolittaa vuoden 2005 tasosta, jotta taakanjakosektorin tavoite saavutettaisiin. WAM-H-skenaariossa tämä myös toteutuu, koska TIMES-VTT-mallinnuksen taustalla oleva ALIISA WAM-H-mallinnus tämän tavoitteen myös täyttää. Toisaalta Luke on parhaillaan laatimassa arvioita siitä, miten syksyn 2021 budjettiriihessä tehdyt maatalouden kasvihuonekaasupäästöjä koskevat linjaukset vaikuttavat maatalouden päästöihin. Tuloksia tästä on odotettavissa aikaisintaan helmikuun 2022 lopussa. Maataloussektori on liikenteen jälkeen toiseksi suurin taakanjakosektorin KHK-päästölähde, joten maatalouden KHK-päästövähennysten lisäys helpottaisi muiden taakanjakosektoreiden taakkaa ja varmistaisi KHK-päästötavoitteiden saavuttamisen.

5.3 Energiatavoitteiden saavuttaminen

Lopuksi tarkastellaan, kuinka WAM-H-skenaarion mukainen kehitys toteuttaisi EU:n mahdolliset tavoitteet Suomelle liittyen uusiutuvan energian osuuteen loppukulutuksesta sekä loppuenergiankäyttöön. Arviot tavoitteen kiristymisestä Suomelle perustuvat TEM:n laatimiin laskelmiin, joita verrataan WAM-H-skenaarion tuloksiin.

Uusiutuvan energian osalta TEM on arvioinut, että ohjeellinen EU:n uusiutuvan energian tavoite Suomelle voisi nousta 60 prosenttiin energian loppukulutuksesta. TIMES-VTT-mallinnuksen perusteella WAM-H-skenaarioissa uusiutuvan energian

¹³ Taakanjakosektorin joustot sisältävät ns. one-off -joustopäästökaupparektorilta 0,7 Mt/a 2021-2030 ja LULUCF-joustopäästöjä 0,45 Mt/a 2026-2030.

osuus nousee huomattavasti WEM-skenaariota nopeammin, ja vuonna 2030 se saavuttaa 60 prosentin tason. Tämä on kuitenkin hieman alahaisempi, kuin HIISI-hankkeen WAM-skenaariossa, jossa vuoden 2030 KHK-päästötavoitteet saavutettiin ja uusiutuvan energian osuus loppukulutuksesta nousi noin 63 prosenttiin vuonna 2030.

Vastaavasti TEM on arvioinut, että EU:n ohjeellinen tavoite energiankäytön tehostamisesta energiatehokkuusdirektiivi (I. EED) -ehdotuksen mukaan johtaisi Suomelle noin 250 TWh tavoitteeseen vuonna 2030. WAM-h-skenaariossa EU:n laskentasaäntöjen mukainen loppuenergiankulutus Suomelle olisi 266 TWh (ilman kv. lentoliikennettä) tai 275 TWh (kv. lentoliikenne mukana), joten tätä tavoitetta ei saavutettaisi WAM-h-skenaariossa oletuksilla. Onkin oletettavaa, että hiilineutraalisuustavoitteet ovat vaikeasti sovitettavissa yhteen energiatehokkuusvaatimusten kanssa siitä huolimatta, että energiankäyttö tehostuu merkittävästi kaikilla energia-sektoreilla.

5.4 Arvio lisätoimien tarpeesta

Kuten edellä on esitetty, WAM-h-skenaarioon sisällytetyt toimet johtavat merkittävään KHK-päästöjen vähennykseen, uusiutuvan energian lisääntymiseen ja energiankäytön tehostumiseen. Hiilineutraalisuustavoitteen saavuttaminen ja EU:n ehdotuksen mukainen taakanjakosektorin tavoitteen saavuttaminen edellyttävät kuitenkin lisätoimia ja lisätoimien tarve kasvaa kaikilla päästösektoreilla päästötavoitteiden kiristytessä vuosien 2030 ja 2035 jälkeen. Lisäksi tulee huomata, että WAM-h-skenaarioon on sisällytetty joukko toimia, joista ei ole joko poliittisia tai yritysten investointipäätöksiä. Siten on hyvin haastavaa esittää mitään tarkkoja arvioita ns. päästökulusta. Kannattaa myös huomata, että tässä hankkeessa käytetty lähestymistapa ja laskentamenetelmä perustuvat integroituun mallinnukseen energia- ja KHK-päästösektoreiden tai kansantalouden tasoilla. Kuten luvussa 3.4.2 esitettiin, integroidut tarkastelut johtavat usein eri tuloksiin kuin sektorikohtaiset tarkastelut, joita on esimerkiksi KAISU-luonnoksessa esitetty toimien ja niiden KHK-päästövähennysvaikutusten osalta.

Tulevaisuuden kehityksen arviointiin liittyy lukuisia epävarmuustekijöitä, jonka vuoksi esitetyt laskemat ja arviot eivät ole ennusteita. Tämä koskee myös laskelmissa käytettyä vertailu- eli WEM-skenaariota, jossa eri toimialojen, teknologioiden ja kustannusten on oletettu noudattavan nykytrendejä tai julkisiin lähteisiin perustuvia kehitysarvioita. Esimerkkinä mainittakoon, että yhden yrityksen investointipäätös voi johtaa suureen KHK-päästövähennykseen esimerkiksi valmistavassa teollisuudessa. Toisaalta liikenteen KHK-päästötavoitteiden saavuttaminen edellyttää lukuisia investointipäätöksiä suurelta joukolta toimijoita, joiden yhteenlaskettu KHK-päästövähennys johtaa päästötavoitteen saavuttamiseen.

Suomen hiilineutraalisuustavoitteen saavuttaminen vuoteen 2035 mennessä sekä EU:n esittämän taakanjakosektorin päästötavoitteen saavuttaminen vuoteen 2030 mennessä edellyttävät merkittäviä KHK-päästövähennyksiä kymmenen vuoden sisällä. Hallituksen laatimat poliittiset päätökset johtavat jo oikealle päästövä-

hennysuralle, mutta toimien toteutuminen tulisi varmistaa ja lisäksi tultaneen tarvitsemaan lisätoimia tässä raportissa esitetyn arvion perusteella. Kehitystä tulisikin arvioida systemaattisesti ja säännöllisesti. Lisätoimien tarvetta tulisi tarkastella uudelleen viimeistään silloin, kun EU:n uusista ilmasto- ja energiapoliittisista päätöksistä on parempaa tietoa. Lisäksi FitFor55-paketin kokonaisarvio Suomen näkökulmasta olisi tärkeä toteuttaa yhteistyössä muiden tutkimuslaitosten kanssa, jotka kukin tarkastelevat 55-säädösehdotuspaketin eri osia ja direktiiviehdotuksia.

Kirjallisuusviitteet

- Afry 2020. Selvitys turpeen energiakäytön kehityksestä Suomessa. Raportti työ- ja elinkeinoministeriölle 8/2020. Pöyry Management Consulting Oy/Afry Management Consulting. https://afry.com/sites/default/files/2020-08/tem_turpeen_kayton_analyysi_loppuraportti_0.pdf
- Afry 2021a. Metsähakkeen kysynnän kehitys ja riittävyys Suomessa. Raportti työ- ja elinkeinoministeriölle ja Huoltovarmuuskeskukselle. 4/2021. Afry Management Consulting Oy. https://afry.com/sites/default/files/2021-05/metsahakkeen_kysynnän_kehitys_ja_riittävyys_suomessa_loppuraportti.pdf
- Afry 2021b. Liikenteen jakeluvuoroitustason nosto - uusiutuvien polttoaineiden riittävyys ja vaikutusarvioinnit. VN/13807/2021. Afry Management Consulting Oy. https://tem.fi/documents/1410877/53440649/AFRY_jakeluvuoroitus_selvitys_joulukuu2021.pdf/2409f3ce-89d2-5178-7cb7-6a5ad3931ca1/AFRY_jakeluvuoroitus_selvitys_joulukuu2021.pdf?t=1638529141014
- EC 2020. Recommended parameters for reporting on GHG projections in 2021. Draft for consultation in CCC WG2, 25/06/2020.
- EC 2021. EU Reference Scenario 2020: REF2020 Technology Assumptions – Transport. https://energy.ec.europa.eu/data-and-analysis/energy-modeling/eu-reference-scenario-2020_en
- Honkatukia, J. 2021. Kansantalouden skenaariot. Hiilineutraali Suomi 2035 – ilmasto- ja energiapolitiikan toimet ja vaikutukset. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 65/2021. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/163637>
- Honkatukia, J., Ruuskanen, O-P., Lehtosalo, H., Heinämäki, J., Mäkilä, K. Millaista osaamista Suomi tarvitsee 2040? PTT raportteja 269. <https://www.ptt.fi/media/julkaisut/ptt-raportteja-269-enko1.pdf>
- Horne, P., Korhonen, O., Ruuskanen, O-P. Metsiin kohdistuvien ilmastopoliittisten toimenpiteiden toteutettavuus ja puun tarjonta yksityisen metsänomistajan näkökulmasta. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 66/2021. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/163644>
- Kangas, H-L., Vainio, T., Sankelo, P., Vesanen, S. & Karhinen, S. 2020. Suomen korjausrakentamisen strategia 2020–2050 tavoitteiden laskenta ja ai-neisto. Ympäristöministeriö.

- Koljonen, T, Honkatukia, J., Maanavilja, L., Ruuskanen, O-P., Similä, L. Soimakallio, S. 2021. Hiilineutraali Suomi 2035 – ilmasto- ja energiapolitiikan toimet ja vaikutukset (HIISI). Synteesiraportti – Johtopäätökset ja suositukset. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 62/2021. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/163638>
- Lehtilä, A., Koljonen, T., Laurikko J., Markkanen, J. & Vainio, T. 2021. Energiajärjestelmän ja kasvihuonekaasujen kehitykset. Hiilineutraali Suomi 2035 - ilmasto- ja energiapolitiikan toimet ja vaikutukset. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 67/2021. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/163645>
- LVM 2018. Toimenpideohjelma hiilettömään liikenteeseen 2045. Liikenteen ilmastopolitiikan työryhmän loppuraportti. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 13/2018. ISBN 978-952-243-559-0
- LVM 2020. Fossiilittoman liikenteen tiekartta -työryhmän loppuraportti. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 2020:18.
- LVM 2021. Fossiilittoman liikenteen tiekartta. Valtioneuvoston periaatepäätös kotimaan liikenteen kasvihuonepäästöjen vähentämisestä. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 2021:15. https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/163258/LVM_2021_15.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Maanavilja, L., Tuomainen, T., Aakkula, J., Haakana, M., Heikkinen, J., Hirvelä, H., Kilpeläinen, H., Koikkalainen, K., Kärkkäinen, L., Lehtonen, H., Miettinen, A., Mutanen, A., Myllykangas, J.-P., Ollila, P., Viitanen, J., Vikfors, S., Wall, A. Hiilineutraali Suomi 2035 –Maankäyttö- ja maataloussektorin skenaariot. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 63/2021. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/163641>
- Markkanen, J., & Lauhkonen, A. 2021. Työkoneiden päästöjen perusennuste ja sähköistymisen vaikutus päästöihin. VTT Technical Research Centre of Finland. VTT Asiakasraportti No. VTT-CR-00245-21
- Soimakallio, S., Tikkakoski, P., Niemistö, J., Savolahti, M., Rehunen, A., Seppälä, J., Hildén, M. 2021. Hiilineutraali Suomi 2035 – ilmasto- ja energiapolitiikan toimien ympäristövaikutusten arviointi. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 64/2021. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/163642>
- SVT 2021. Kasvihuonekaasupäästöt. Suomen virallinen tilasto (SVT): Kasvihuonekaasut [verkkójulkaisu]. ISSN 1797-6049. Helsinki: Tilastokeskus. http://www.stat.fi/til/khki/2020/khki_2020_12-16_tie_001_fi.html

Särkijärvi, J., Jääskeläinen, S., Lohko-Soner, K. (toim.) 2018. Hiiletön liikenne 2045 – polkuja päästöttömään tulevaisuuteen. Liikenteen ilmastopolitiikan työryhmän väliraportti. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisu 9/2018. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-243-555-2>

TK 2021. Energia 2020 -taulukkopalvelu. Tilastokeskus, julkaisujen taulukkopalvelut.

Vainio, T. 2020. Asuntotuotantotarve 2020–2040. VTT Technology 377.

YM 2021. Keskipitkän aikavälin ilmastopolitiikan suunnitelma. Kohti hiilineutraalia yhteiskuntaa 2035. Ympäristöministeriön julkaisu 2021:xx

Nimeke	Pääministeri Sanna Marinin hallituksen ilmasto- ja energiapolitiittisten toimien vaikutusarviot Hiilineutraali Suomi 2035 (HIISI) -jatkoselvitys
Tekijä(t)	Tiina Koljonen, Antti Lehtilä, Juha Honkatukia ja Johanna Markkanen
Tiivistelmä	<p>Raportissa on esitetty HIISI-jatkoselvityksen laskennalliset analyysit pohjautuen vuoden 2021 lopussa päätyneeseen VN TEAS -hankkeeseen Hiilineutraali Suomi 2035 - Ilmasto- ja energiapolitiikan toimet ja vaikutukset (HIISI). HIISI-jatkoselvityksen erityisenä tavoitteena oli täyttää hallituksen kirjaus, jonka mukaan tutkimustahot arvioivat hallituksen syyskuun 2021 budjettineuvotteluissa hyväksytyjen ilmastokirjausten ja -toimien riittävyttä. Kirjaus koskee keskipitkän aikavälin ilmastopolitiikan suunnitelmaa, eli KAISU:a ja tässä työssä on arvioitu KAISU-luonnoksessa esitytettyjen toimien riittävyttä taakanjakosektorin ilmastotavoitteiden kannalta. Lisäksi raportissa on arvioitu hallituksen päätösten vaikutuksia Suomen kasviuonekaasupäästöjen kokonaiskehitykseen sekä energia- ja kansantalouteen, ja tarkasteltu päästötavoitteiden toteutumista vuosina 2030, 2035, 2040 ja 2050.</p> <p>Laskelmien perusteella hallituksen päätökset johtavat merkittävään päästöjen vähenemiseen. Lisätoimia kuitenkin tarvitaan sekä taakanjakosektorin tavoitteiden että valmisteilla olevan ilmastolain mukaisten päästötavoitteiden saavuttamiseksi. Vuonna 2030 lisätoimien tarve taakanjakosektorilla on laskelmien mukaan 1,8 Mt CO₂-ekv. ilman joustokeinojen käyttöä, mutta täysimääräisesti joustot huomioiden pienenee 0,7 Mt CO₂-ekv. tasolle. Vuodelle 2035 asetettu hiilineutraalisuustavoite edellyttäisi lisätoimia 2-4 Mt verran riippuen muun muassa teräs- ja muun teollisuuden investointien toteutumisesta.</p>
ISBN, ISSN, URN	ISBN 978-951-38-8762-9 ISSN-L 2242-1211 ISSN 2242-122X (Verkkójulkaisu) DOI: 10.32040/2242-122X.2022.T402
Julkaisuaika	Helmikuu 2022
Kieli	Suomi
Sivumäärä	59 s.
Projektin nimi	
Rahoittajat	
Avainsanat	
Julkaisija	Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy PL 1000, 02044 VTT, puh. 020 722 111, https://www.vtt.fi/

Pääministeri Sanna Marinin hallituksen ilmasto- ja energiapoliittisten toimien vaikutusarviot Hiilineutraali Suomi 2035 (HIISI) -jatkoselvitys

Pääministeri Sanna Marinin hallitusohjelma sisältää kirjauksen Suomen vuoden 2035 hiilineutraaliustavoitteesta, mikä vaatii toteutuakseen lisää politiikkatoimia jo päätettyjen toimien lisäksi. Tässä raportissa on esitetty arviot hallituksen ilmasto- ja energiapoliittisten päätösten riittävydestä saavuttaa Suomen hiilineutraalius vuoteen 2035 mennessä. Lisäksi on arvioitu päästövähennystoimien riittävyttä vuosille 2030, 2035 ja 2040.

Hallituksen syyskuun 2021 neuvotteluissa vuoden 2022 talousarvioesityksestä hyväksyttiin joukko uusia ilmastokirjauksia. Hallituksen 9.9.2021 julkaistuun raporttiin hiilineutraaliuden saavuttamisesta kirjattiin lisäksi *"Hallitus arvioi maaliskuussa 2022, nojautuen ministeriöiden, tutkimuslaitosten ja Ilmastopaneelin arvioihin, ovatko päästövähennystavoitteet saavutettavissa KAISU-suunnitelmassa esitetyin toimin ja päättää tässä yhteydessä mahdollisesti tarvittavista sitovista taloudellisista ja lainsäädännöllisistä ohjauskeinoista tavoitteen saavuttamiseksi."* KAISU-suunnitelmalla viitataan keskipitkän aikavälin ilmastopolitiikan suunnitelmaan, jossa tarkastellaan taakanjakosektorin päästötavoitteita ja niiden saavuttamista. Tässä raportissa esitetyt laskelmat palvelevat myös edellä esitettyä selvitystarvetta.

ISBN 978-951-38-8762-9
ISSN-L 2242-1211
ISSN 2242-122X (Verkkajulkaisu)
DOI: 10.32040/2242-122X.2022.T402