

Hiilineutraali Suomi 2035 – Maankäyttö- ja maataloussektorin skenaariot

Liisa Maanavilja, Tarja Tuomainen, Jyrki Aakkula, Markus Haakana,
Jaakko Heikkinen, Hannu Hirvelä, Harri Kilpeläinen, Kauko Koikkalainen,
Leena Kärkkäinen, Heikki Lehtonen, Antti Miettinen, Antti Mutanen,
Jukka-Pekka Myllykangas, Paula Ollila, Jari Viitanen, Sofia Vikfors, Antti Wall

VALTIONEUVOSTON SELVITYS- JA
TUTKIMUSTOIMINNAN JULKAISUSARJA 2021:63

tietokayttoon.fi

Hiilineutraali Suomi 2035 – Maankäyttö- ja maataloussektorin skenaariot

Liisa Maanavilja, Tarja Tuomainen, Jyrki Aakkula,
Markus Haakana, Jaakko Heikkinen, Hannu Hirvelä,
Harri Kilpeläinen, Kauko Koikkalainen, Leena Kärkkäinen,
Heikki Lehtonen, Antti Miettinen, Antti Mutanen,
Jukka-Pekka Myllykangas, Paula Ollila, Jari Viitanen,
Sofia Vikfors, Antti Wall

Julkaisujen jakelu

Distribution av publikationer

**Valtioneuvoston
julkaisuarkisto Valto**

Publikations-
arkivet Valto

julkaisut.valtioneuvosto.fi

Julkaisumyynti

Beställningar av publikationer

**Valtioneuvoston
verkkokirjakauppa**

Statsrådets
nätbokhandel

vnjulkaisumyynti.fi

Valtioneuvoston kanslia

© 2021 tekijät ja valtioneuvoston kanslia

ISBN pdf: 978-952-383-263-3

ISSN pdf: 2342-6799

Taitto: Valtioneuvoston hallintoyksikkö, Julkaisutuotanto

Helsinki 2021

Hiilineutraali Suomi 2035 – maankäyttö- ja maataloussektorin skenaariot

Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2021:63

Julkaisija	Valtioneuvoston kanslia		
Tekijä/t	Liisa Maanavilja, Tarja Tuomainen, Jyrki Aakkula, Markus Haakana, Jaakko Heikkinen, Hannu Hirvelä, Harri Kilpeläinen, Kauko Koikkalainen, Leena Kärkkäinen, Heikki Lehtonen, Antti Miettinen, Antti Mutanen, Jukka-Pekka Myllykangas, Paula Ollila, Jari Viitanen, Sofia Vikfors, Antti Wall		
Kieli	suomi	Sivumäärä	102
Tiivistelmä	<p>Raportissa esitetyt maatalous- ja LULUCF-sektoria (maankäyttö, maankäytön muutokset ja metsätalous) käsittelevät perusskenaario (WEM) ja politiikkaskenaario (WAM) ovat osa laajempaa, VN-TEAS-rahoitteista <i>Hiilineutraali Suomi 2035 – ilmasto- ja energiapolitiikan toimet ja vaikutukset -hanketta (HIISI)</i>. Skenaarioissa toimintaympäristön kysyntä ja tarjonta säätelevät metsäteollisuuden tuotantoa ja pellonkäyttöä ja sitä kautta metsien hiilinielua ja maatalousmaiden päästöjä. LULUCF-sektorin vuoden 2035 nettonielu on WEM-skenaariossa 18 milj. t CO₂-ekv. (miljoonaa hiilidioksidiekvivalenttitonnia), WAM-skenaariossa politiikkatoimet kasvattavat nielun 23 milj. tonniin CO₂-ekv. Maataloussektorin päästöt vuonna 2035 ovat WEM-skenaariossa 6,2 milj. t CO₂-ekv., WAM-skenaariossa 5,8 milj. t CO₂-ekv.</p> <p>Maatalouden politiikkatoimet aiheuttavat WAM-skenaariossa muutoksia maankäyttöön, pellonkäyttöön, viljelyyn ja lypsylehmiä ruokintaan. Toimien päästövähennysvaikutukset painottuvat LULUCF-sektorille, jonka viljelysmaiden ja ruohikkoalueiden päästöt ovat WAM-skenaariossa vuonna 2035 1,0 milj. t CO₂-ekv. pienemmät kuin WEM-skenaariossa. Maataloussektorilla vähennys on 0,4 milj. t CO₂-ekv.</p> <p>Metsien lannoitukset kasvattavat WAM-skenaariossa LULUCF-sektorin metsien nettonielua. LULUCF-sektorin tulokseen vaikuttavat metsänielun ja maatalouden toimien lisäksi energiaratkaisut ja rakentamisen kohdentuminen.</p>		
Klausuuli	Tämä julkaisu on toteutettu osana valtioneuvoston selvitys- ja tutkimussuunnitelman toimeenpanoa. (tietokayttoon.fi) Julkaisun sisällöstä vastaavat tiedon tuottajat, eikä tekstisisältö välttämättä edusta valtioneuvoston näkemystä.		
Asiasanat	tutkimus, tutkimustoiminta, kasvihuonekaasut, hiilinielut, ilmastomuutokset, maatalous, metsäteollisuus, metsätalous		
ISBN PDF	978-952-383-263-3	ISSN PDF	2342-6799
Julkaisun osoite	https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-263-3		

Kolneutralt Finland 2035 – scenarier för LULUCF- och jordbrukssektorn

Publikationsserie för statsrådets utrednings- och forskningsverksamhet 2021:63

Utgivare Statsrådets kansli

Författare Liisa Maanavilja, Tarja Tuomainen, Jyrki Aakkula, Markus Haakana, Jaakko Heikkinen, Hannu Hirvelä, Harri Kilpeläinen, Kauko Koikkalainen, Leena Kärkkäinen, Heikki Lehtonen, Antti Miettinen, Antti Mutanen, Jukka-Pekka Myllykangas, Paula Ollila, Jari Viitanen, Sofia Vikfors, Antti Wall

Språk finska **Sidantal** 102

Referat I denna rapport presenteras ett scenario med nuvarande åtgärder (WEM) och ett scenario med ytterligare åtgärder (WAM) för Finlands jordbruks- och LULUCF-sektorer (markanvändning, förändrad markanvändning och skogsbruk). Arbetet är en del av projektet *Kolneutralt Finland 2035 – effekter av klimat- och energipolitiska åtgärder (HIISI)*, som finansieras av VN-TEAS. I scenarierna regleras skogsproduktionen och jordbruksmarkanvändningen, och därmed skogarnas kolsänka och utsläppen från jordbruksmarkerna, av utbudet och efterfrågan inom verksamhetsmiljön. År 2035 är LULUCF-sektorns nettosänka 18 mn ton CO₂-ekv. (miljoner ton koldioxidekvivalenter) i WEM-scenariot, och 23 mn ton CO₂-ekv. i WAM-scenariot. Jordbrukssektorns utsläpp är år 2035 6,2 mn ton CO₂-ekv. i WEM-scenariot och 5,8 mn ton CO₂-ekv. i WAM-scenariot.

I WAM -scenariot orsakar politiska åtgärder inom jordbruket förändringar i markanvändning, odlingsmetoder och utfodring av mjölkkor. Åtgärdernas utsläppsminskningar tillfaller främst LULUCF-sektorn, i vilken åker- och betesmarkernas utsläpp år 2035 är 1,0 mn ton CO₂-ekv. mindre i WAM-scenariot än i WEM-scenariot. Jordbrukssektorns utsläppsminskning är 0,4 mn ton CO₂-ekv.

Inom LULUCF-sektorn ökar skogsgödsling skogarnas nettosänka i WAM-scenariot. Förutom skogssänkan och jordbruksförändringarna påverkas LULUCF-sektorns resultat av energilösningar och tilldelning av nybyggen.

Klausul Den här publikationen är en del i genomförandet av statsrådets utrednings- och forskningsplan. (tietokaytoon.fi) De som producerar informationen ansvarar för innehållet i publikationen. Textinnehållet återspeglar inte nödvändigtvis statsrådets ståndpunkt.

Nyckelord forskning, forskningsverksamhet, växthusgaser, kolsänkor, klimatförändringar, jordbruk, skogsindustri, skogsbruk

ISBN PDF 978-952-383-263-3

ISSN PDF 2342-6799

URN-adress <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-263-3>

Carbon neutral Finland 2035 – scenarios for LULUCF and agriculture sectors

Publications of the Government's analysis, assessment and research activities 2021:63

Publisher Prime Minister's Office

Author(s) Liisa Maanavilja, Tarja Tuomainen, Jyrki Aakkula, Markus Haakana, Jaakko Heikkinen, Hannu Hirvelä, Harri Kilpeläinen, Kauko Koikkalainen, Leena Kärkkäinen, Heikki Lehtonen, Antti Miettinen, Antti Mutanen, Jukka-Pekka Myllykangas, Paula Ollila, Jari Viitanen, Sofia Vikfors, Antti Wall

Language Finnish **Pages** 102

Abstract This report presents scenarios "with existing measures" (WEM) and "with additional measures" (WAM) concerning the agriculture and LULUCF (Land use, land-use change and forestry) sectors in Finland. The report is part of the project Carbon neutral Finland 2035 – impact assessments of climate and energy policies and measures (HIISI), funded by the Prime Minister's Office. In the scenarios, supply and demand within the operational environment govern forestry production and agricultural land use, and thus forest carbon sink and greenhouse gas emissions from agricultural lands. In 2035, the LULUCF net sink in the WEM and WAM scenarios will be 18 and 23 Mt CO₂-eq (million tonnes of carbon dioxide equivalent), respectively. Agriculture sector emissions in the WEM and WAM scenarios will be 6.2 and 5.8 Mt CO₂-eq, respectively.

In the WAM scenario, policy measures in agriculture cause changes in land use, farming practices, and the feeding of cattle. By 2035, this reduces cropland and grassland emissions in the LULUCF sector by 1.0 Mt CO₂-eq and agriculture sector emissions by 0.4 Mt CO₂-eq compared to the WEM scenario.

Forest fertilization will increase the forest net sink of LULUCF sector in the WAM scenario. In addition to this and the agricultural changes, the LULUCF balance is affected by energy production and the allocation of new construction.

Provision This publication is part of the implementation of the Government Plan for Analysis, Assessment and Research. (tietokayttoon.fi) The content is the responsibility of the producers of the information and does not necessarily represent the view of the Government.

Keywords research, research activities, greenhouse gases, carbon sinks, climate changes, agriculture, forest industry, forestry

ISBN PDF 978-952-383-263-3 **ISSN PDF** 2342-6799

URN address <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-263-3>

Sisältö

1	Johdanto	8
2	Maa- ja metsätalouden toimintaympäristö	10
2.1	Maataloustuotanto.....	10
2.2	Metsäteollisuuden tuotanto	11
3	Laskentamenetelmät	16
3.1	Maatalouden osittaistasapainomalli DREMFIA	16
3.2	Puunkäytön, hakkuiden ja metsävarojen kehityksen mallinnusprosessit	18
3.3	Maankäytön ja maankäytön muutosten pinta-alojen määrittäminen	21
3.4	Kasvihuonekaasupäästöjen ja poistumien laskenta.....	22
3.4.1	Laskentamenetelmä ja lämmitysvaikutusarvot (GWP)	22
3.4.2	Maataloussektorin päästölaskenta	23
3.4.3	LULUCF-sektorin päästölaskenta.....	24
4	Skenaarioiden kuvaus	26
4.1	Maatalouden pellonkäyttö ja sadot perusskenaariossa (WEM)	26
4.2	Maatalouden toimet politiikkaskenaariossa (WAM).....	28
4.2.1	Maankäyttöä ohjaavat maatalouden toimet.....	29
4.2.2	Pellonkäytön toimet.....	33
4.2.3	Rypsipuristeruokinta ja täsmäviljely.....	38
4.2.4	Maataloustuotannon ja pellonkäytön kehitys.....	39
4.2.5	Kustannusarvio HIISI-WAM toimista maataloudessa	40
4.3	Metsäteollisuuden tuotantomäärät ja metsähakkeen sekä pientalojen polttopuun käyttö 50	
4.4	Hakkuut ja metsien kehitys	53
4.5	Maankäytön kehittyminen	60
5	Skenaarioiden kasvihuonekaasuvaikutukset	65
5.1	Maataloussektorin päästöt	65
5.2	LULUCF-sektorin päästöt ja poistumat	68
6	Tulosten tarkastelu	74

Liitteet	76
L1 Puuta jalostavan teollisuuden ja energiantuotannon puuntarve sekä hakkuukertymätavoite	76
L2 Metsikkösimuloinnin kuvaus MELA2016-ohjelmistolla	78
L2.1 Metsiköiden kehityspolkujen simulointi WEM skenaariossa	78
L2.2 Kasvuntason kalibrointi	79
L2.3 Puutavaralajeittainen tilavuuksien laskenta	80
L2.4 Hintaoletukset	80
L3 Metsien kehityksen ennustamisen erot MALUSEPO- ja HIISI-laskelmien välillä	85
L4 Metsä- ja kitumaan pinta-alat, puuston kehitys ja metsien käsittely WEM- ja WAM-skenaarioissa	86
L5 Maankäytön muutokset WEM-skenaariossa	92
L6 Maankäytön muutokset WAM-skenaariossa	93
Lähteet	94

Lisämateriaali erillisinä tiedostoina

Lisämateriaali 1: Maakunnittaiset metsälaskennan tulokset HIISI-WEM-skenaariossa

Lisämateriaali 2: Maakunnittaiset metsälaskennan tulokset HIISI-WAM-skenaariossa

1 Johdanto

Jyrki Aakkula

Ilmastonmuutoksen hillintä kasvihuonekaasupäästöjä vähentämällä ja hiilinieluja lisäämällä on tällä hetkellä ilmastopolitiikan ytimessä niin kansainvälisesti kuin kansallistekin. Marraskuussa 2021 Yhdistyneiden kansakuntien (YK) Glasgow'n COP26-ilmastokokouksessa maailman valtioilta odotettiin entistä pidemmälle meneviä sitoumuksia sen varmistamiseksi, että hiilineutraalius saavutettaisiin globaalissa mitta-kaavassa vuoteen 2050 mennessä. Päätökset Glasgow'ssa jäivät melko vähäisiksi, mutta ilmastokokous kuitenkin kehotti maita päivittämään päästövähennystavoitteensa ja pitkän tähtäimen vähähiilisyysuunnitelmansa jo vuoden 2022 aikana. Lisäksi etenemistä kohti Pariisin 2015 ilmastopimuksen 1,5 asteen tavoitetta päätettiin tarkastella jatkossa vuosittain.

Euroopan unionin (EU) komission heinäkuussa 2021 julkaiseman ehdotuksen ilmasto- ja energiapoliittisiksi toimenpiteiksi (Fit for 55 -paketti) tavoitteena on hiilineutraaliuden saavuttaminen EU-tasolla vuoteen 2050 mennessä kiristämällä kasvihuonekaasujen (KHK) nettopäästöjen vähentämistavoitetta siten, että vuoteen 2030 mennessä KHK-nettopäästöt olisivat vähentyneet 55 % vuoden 1990 tasosta.

Suomi on omassa kansallisessa ilmastopolitiikassaan asettanut tavoitteeksi hiilineutraaliuden jo vuoteen 2035 mennessä. Sitä tuetaan käynnissä olevalla ilmastolain uudistamisella ja uusilla politiikkaohjelmilla. Keskeisimmässä asemassa ilmastopolitiikan ohjauksessa ovat uusi *Ilmasto- ja energiastrategia*, *Maankäyttösektorin ilmastosuunnitelma* (MISU) sekä järjestyksessä toinen *Keskipitkän aikavälin ilmastopolitiikan suunnitelma* (KAISU), jotka pyritään saamaan valmiiksi vuoden 2021 aikana.

Ilmastopoliittisessa valmistelussa tarvitaan EU-säädösten edellyttämiä nk. WEM (*With Existing Measures*) ja WAM (*With Additional Measures*) -skenaarioita, joiden avulla arvioidaan ja seurataan ilmastopoliittisten toimien vaikuttavuutta. WEM-skenaario kertoo KHK-nettopäästöt tilanteessa, jossa tulevaisuudessa sovellettaisiin pelkästään entuudestaan voimassa olevia politiikkatoimia. WAM-skenaario puolestaan kertoo, mikä

KHK-nettopäästöjen kehitys olisi tilanteessa, jossa käyttöön otettaisiin uusia politiikka-toimia.

Tässä raportissa esitetyt maatalouden, metsätalouden ja maankäytön WEM- ja WAM-skenaariot ovat osa laajempaa WEM- ja WAM-skenaariokokonaisuutta, jota on työstetty Teknologian tutkimuskeskus VTT:n koordinoimassa, VN TEAS -rahoitteisessa *Hiilineutraali Suomi 2035 – ilmasto- ja energiapolitiikan toimet ja vaikutukset* -hankkeessa (HIISI).

2 Maa- ja metsätalouden toimintaympäristö

2.1 Maataloustuotanto

Heikki Lehtonen

HIISI-skenaariotyössä väestökehityksen vuoteen 2050 on oletettu noudattavan Tilastokeskuksen vuoden 2019 ennustetta, jonka mukaan Suomen väkiluku on noin 5,567 miljoonaa henkilöä vuonna 2030 (Suomen virallinen tilasto 2019). Tämä on hyvin pieni, runsaan 0,6 % muutos vuodesta 2020, jolle Tilastokeskuksen ennuste on 5,531 milj. henkilöä (0,9 % muutos verrattuna vuoteen 2018, jolloin väkiluku oli 5,518 milj. henkilöä). Vuoden 2040 väkilukuennuste on 5,526 milj. (muutos -0,1 % vuoteen 2018 verrattuna) ja vuodelle 2050 5,422 milj. henkilöä (muutos -1,7 %).

Elintarvikkeiden kotimaisen kysynnän arvioidaan muuttuvan näiden muutosprosenttien mukaisesti eli hyvin vähän, kun WEM-skenaariossa elintarvikkeiden kulutuksen henkilöä kohden oletetaan pysyvän vuoden 2019 tasolla ajanjaksolla 2019–2050. Poikkeuksena on siipikarjanlihan kulutus, jonka oletetaan yltävän 150 milj. kg tasolle vuodesta 2020 alkaen ja pysyvän tällä tasolla vuoteen 2050. Vuonna 2019 kulutus oli 147 milj. kg ja tuotanto 139 milj. kg (Suomen virallinen tilasto 2021).

Energian hinnat noudattavat annettuja hintoja eri energiatuotteille (EC 2020), joista Suomen maatalouden kannalta tärkeimpiä ovat polttonesteet ja sähkö. Energian hintojen nopea nousu 2020-luvulla on oletuksena mukana myös OECD-FAO:n Agricultural Outlook 2020 -raportin arvioissa, ja se nostaa etenkin polttoainekustannuksia. Arvion mukaan polttoaineiden hinta nousee maataloudessa yli 20 % v. 2020–2029. Myös sähköön liittyvät kustannukset kasvavat merkittävästi. Lannoitteiden hinnat nousevat 14 % v. 2020–2029. Nämä kustannusnousut vaikuttavat välillisesti myös muiden panosten hintoihin maataloudessa, jota on WEM-urassa myös otettu huomioon. Esimerkkinä tästä ovat rahti- ja yleiskustannukset, joihin energian hinnannousu vähäisessä määrin vaikuttaa.

Maataloustuotteiden tuotehintojen maailmanmarkkinoilla ja Euroopassa on oletettu kehittyvän kuten arvioidaan julkaisussa OECD-FAO Agricultural Outlook 2020–2029, jossa oletetaan mm. IEA (2020) mukaiset energian hinnat. Tuotehintojen on WEM-skenaariossa oletettu pysyvän entisellään 2029 jälkeen. Koska maataloustuotteiden ja elintarvikkeiden kysyntä on lähivuosikymmeninä globaalisti vahvaa, tuotantopanosten

hinnannousut voidaan hinnoitella maataloustuotteiden hintoihin. Näin ollen maataloustuotteiden reaali hinnat pysyvät likimain ennallaan useimmissa tuotteissa. Pientä reaali hintojen nousua tapahtuu eräissä yksittäisissä maitotaloustuotteissa kuten maitojauheissa, mutta kokonaisuutena maitosektorillakin on hyvin maltillinen ja reaalisesti vakaa hintakehitys. Taustalla OECD-FAO (2020) hintaennusteissa vuoteen 2029 on oletuksia ja globaalitason mallinnustuloksia siitä, että maailman elintarviketalous pystyy edelleen vastaamaan ruuan kysynnän kasvuun eri tavoin 2020-luvulla.

Maatalouspolitiikka on oletettu WEM-skenaariossa samanlaiseksi kuin 2014–2020 kauden maatalouspolitiikka. Mahdollisia EU-tukien muutoksia ei ole huomioitu vuoden 2020 jälkeen. Pinta-alalle maksettavien tukien pienillä muutoksilla olisi hyvin vähäinen vaikutus maatalouden tuotantomääriin. Tuottavuus kasvaa maataloudessa etenkin lypsykarjataloudessa, jossa toteutuu laajamittainen siirtyminen yhden lypsyrobotin yksiköistä kahden tai useamman robotin yksiköihin 2020–2030-luvuilla. Tämä muutos on jo käynnissä ja se lisää työn käytön tehokkuutta tuotannossa (Lehtonen ym. 2017). Myös muussa kotieläintaloudessa tuottavuuden kasvu jatkuu lähinnä työn tuottavuuden osalta, mutta vähemmän kasvintuotannossa, jossa satotasojen oletetaan säilyvän likimain ennallaan ilman muutostrendiä.

2.2 Metsäteollisuuden tuotanto

Antti Mutanen, Jari Viitanen

Metsäteollisuustuotteiden maailmanmarkkinanäkymiin ja tuotantoon Suomessa vaikuttavat tulevana vuosikymmeninä normaalien suhdannevaihteluiden lisäksi niin sanottu globaalit megatrendit, kuten väestönkasvu, elintason nousu, kaupungistuminen, ilmastonmuutos, maailmantalouden painopisteiden muuttuminen, luonnonvarojen niukkeneminen, biodiversiteetin heikkeneminen, ympäristötietoisuuden lisääntyminen ja digitalisaatio. Useat megatrendit ovat jo heijastuneet metsäteollisuustuotteiden kilpailuasemaan ja kysyntään. Digitalisaatio ja printtimedian korvautuminen sähköisellä viestinnällä on näkynyt paino- ja kirjoituspaperien kulutuksen globaalina pienenemisenä. Toisaalta verkkokaupan lisääntyminen ja pyrkimys lisätä uusiutuvasta raaka-aineesta valmistettujen tuotteiden käyttöä fossiilisten raaka-aineiden korvaajana on lisännyt erityisesti pehmo- ja hygieniapaperien sekä pakkauskartonkien kysyntää (Viitanen ym. 2020).

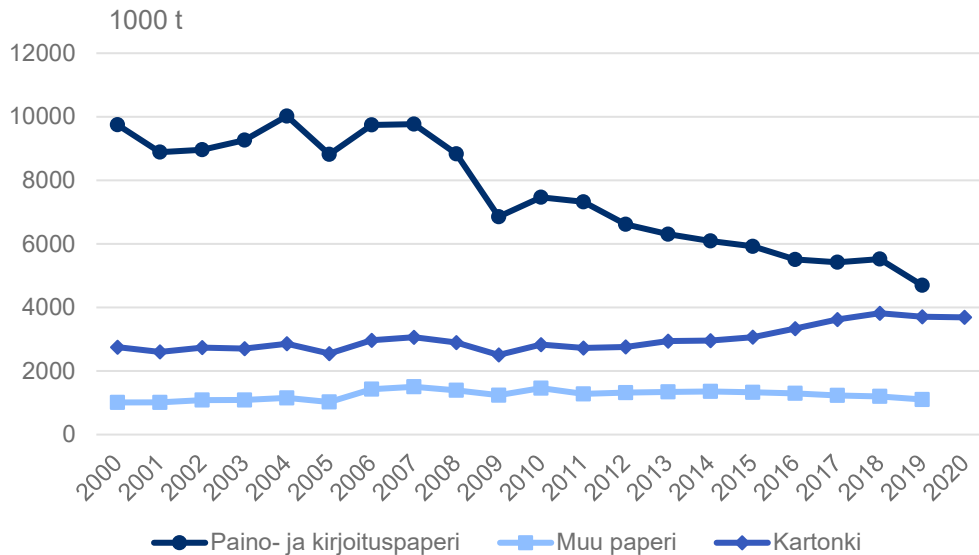
Suomessa megatrendit ovat heijastuneet etenkin massa- ja paperiteollisuuteen, jossa paperin tuotanto on laskenut voimakkaasti vuoden 2007 jälkeen. Vuonna 2020 paperia tuotettiin Suomessa 4,5 miljoonaa tonnia, mikä oli lähes 60 prosenttia vähemmän

kuin keskimäärin vuosina 2000–2008 ennen finanssikriisiä ja sitä seurannutta globaalia taloustaantumaa. Lasku on kohdistunut erityisesti paino- ja kirjoituspaperiin muiden paperien (esim. pehmo-, tarra-, laminaatti-, ja pakkauspaperit) tuotannon pysyessä suhteellisen vakaana.

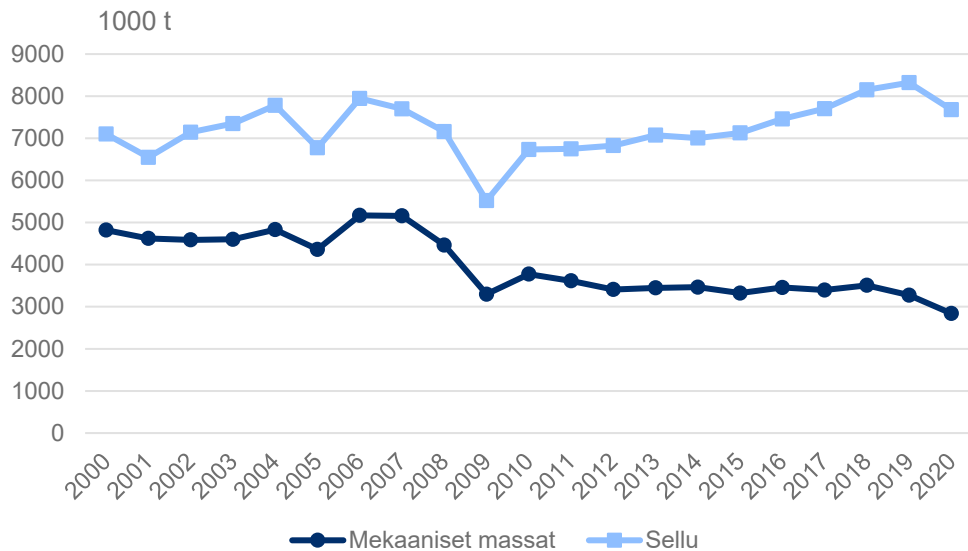
Tuoreimpia paperikapasiteetin leikkauksia ovat aikakauslehtipaperikoneen sulkeminen UPM:n Rauman tehtaalla vuonna 2019, UPM:n sanomalehti- ja mekaanista painopaperia tuottaneen Kaipolan tehtaan sulkeminen Jämsässä vuonna 2020 sekä Stora Enson Oulun tehtaan kahden hienopaperikoneen sulkeminen samoin vuonna 2020. Yhteensä edellä mainitut koneiden sulkemiset leikkasivat paperien tuotantokapasiteettia lähes kahdella miljoonalla tonnilla vuodessa. Lisäksi Stora Enso lopetti Kemin Veitsiluodon tehtaan vuoden 2021 syksyllä. Tehtaan kolmella paperikoneella on tuotettu päällystettyä aikakauslehtipaperia sekä toimistopaperia yhteensä noin 800 000 tonnia. Kartonkien kysyntä maailmalla on sen sijaan kasvanut verkkokaupan ja pakkaamistarpeen nopean kasvun myötä. Suomessa kartongin tuotanto on noussut selvästi vuodesta 2015 alkaen, kun kartonkikoneisiin investoitiin Kotkassa ja Varkaudessa. Tuorein kartonki-investointi on Stora Enson Oulun tehtaalla vuoden 2021 alussa valmistunut hienopaperikoneen muutos kraftlainerikoneeksi. Oulun tehtaalla on myös optio muuttaa toinen käytöstä poistettu hienopaperikone kartongin tuotantoon. Vuoden 2021 helmikuussa Metsä Board ilmoitti uudistavansa Kemin kartonkitehtaansa, jolloin sen tuotantokapasiteetti kasvaa.

Paperin tuotannon väheneminen on heijastunut erityisesti mekaanisten massojen tuotantoon. Vuonna 2020 Suomessa tuotettiin mekaanisia massoja noin 2,3 miljoonaa tonnia ja määrä oli noin kolmanneksen pienempi kuin keskimäärin vuosina 2015–2019 (kuvio 1). Mekaanisesta massasta yli 90 prosenttia kulutetaan paperin ja kartongin raaka-aineena kotimaassa. Sen sijaan sellun tuotanto on viime vuosina kasvanut ripeästi (kuvio 2). Kehityksen taustalla ovat investoinnit markkinasellun tuotantoon. Entistä suurempi osa sellusta viedään jalostettavaksi Suomen rajojen ulkopuolelle, erityisesti Kiinaan. Vuonna 2020 viennin osuus oli jo puolet kaikesta Suomessa tuotetusta sellusta. Kartongin tuotannon kasvu on toisaalta ylläpitänyt sellun kysyntää kotimaassa, ja 2010-luvulla sellun kulutus Suomessa on pysynyt vakaana. Vaikka Stora Enso ilmoitti lopettavansa syksyn 2021 kuluessa Kemin Veitsiluodon kemiallisen sellun ja hiokkeen tuotannon, sellun tuotanto kasvaa Suomessa myös jatkossa, sillä helmikuussa 2021 Metsä Fibre ilmoitti rakentavansa uuden biotuotetehtaan Kemiin. Laitoksen tuotantokapasiteetti on 1,5 miljoonaa tonnia sellua vuodessa. Tuotannosta osa jalostetaan kartongiksi Metsä Boardin kartonkitehtaalla Kemissä, mutta suurin osa päättyy vientiin.

Kuvio 1. Paperin ja kartongin tuotannon kehitys Suomessa 2000–2020. Vuonna 2020 ei ole julkaistu paperin tuotannon jakoa paino- ja kirjoituspaperiin. Yhteensä paperia tuotettiin 4 520 tonnia vuonna 2020. Lähde: Luke 2021a.



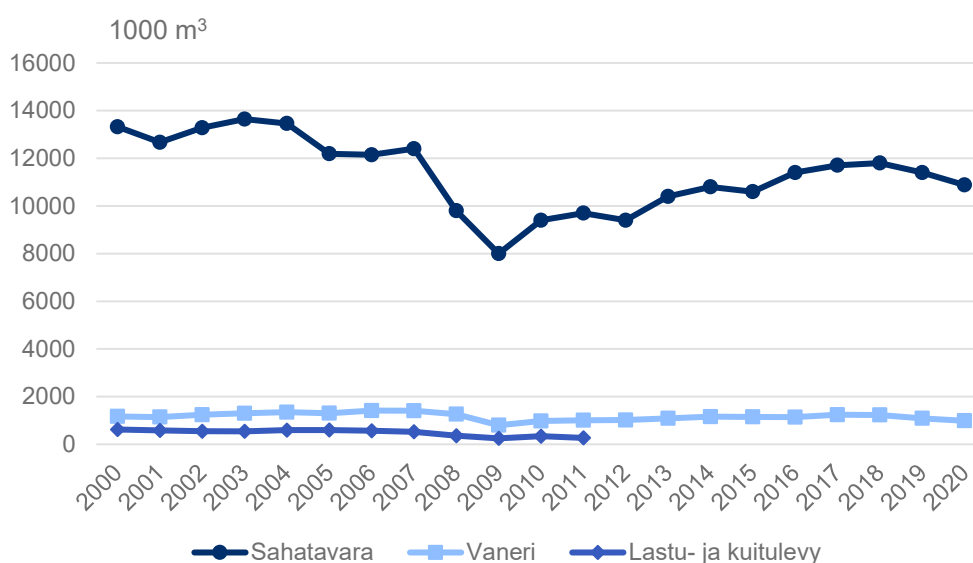
Kuvio 2. Mekaanisten massojen ja sellun tuotanto Suomessa 2000–2020. Lähde: Luke 2021a.



Puutuoteteollisuudessa sahatavaran tuotantomäärät notkahtivat kansainvälisen finanssikriisin vuosina 2008 ja 2009. Vaikka sahatavaran tuotantomäärät ovat elpyneet

vuodesta 2010, eivät ne ole yltäneet 2000-luvun alkuvuosien tasolle (kuvio 3). Sahatavaran vientimäärä nousi kuitenkin vuonna 2017 kaikkien aikojen ennätykseen, lähes 9,4 miljoonaan kuutiometriin, kansainvälisen huippusuhdanteen vetämänä.

Kuvio 3. Sahatavaran, vanerin sekä kuitu- ja lastulevyn tuotanto Suomessa 2000–2020. Tietoturvasyistä lastulevyn tuotantomääriä ei ole julkaistu vuoden 2011 jälkeen ja kuitulevyn tuotantomääriä vuoden 2012 jälkeen. Lähde: Luke 2021a.



Sahateollisuuden kehitykseen on vaikuttanut sahatavaran kysynnän hiipuminen kotimaassa, kilpailun kiristyminen vientimarkkinoilla ja Venäjän raakapuun vientitullit. Vuosina 2000–2008 sahatavaraa kulutettiin Suomessa keskimäärin runsaat 5 miljoonaa kuutiometriä vuodessa, kun viime vuosina kulutus on ollut noin 3 miljoonaa kuutiometriä. Kulutuksen laskuun on vaikuttanut etenkin omakotirakentamisen väheneminen. Ennen kesäkuussa 2007 voimaan tullutta Venäjän raakapuun vientitullien korotusohjelmaa Suomessa sahattiin vuosittain myös huomattavia määriä tuontihavutuksia. Huippuvuonna 2004 Suomen sahatteollisuus käytti 3,7 miljoonaa kuutiometriä tuontipuuta, kun viime vuosina tuontipuun käyttö on jäänyt alle 0,3 miljoonaan kuutiometriin. Sahatavaran tuotannon kasvu ja kilpailun kiristyminen Euroopassa on pakottanut suomalaisia sahoja etsimään markkinoita Euroopan ulkopuolelta. Tämän seurauksena etenkin Aasian merkitys sahatavaran viennin kohdemarkkinana on korostunut 2010-luvulla.

Investoinnit sahatavaran tuotantoon ovat kokoluokaltaan olleet suhteellisen vaatimatomia verrattuna esimerkiksi investointeihin sellun tuotantoon. Toisaalta sahainves-

toinneissa on havaittavissa jossain määrin pirstymistä. Viime vuosina sahat ovat investoineet esimerkiksi kuivaamokapasiteettiin, tukkien lajitteluun sekä sahalinjojen uudistamiseen. Lisäksi Metsä Wood päätti kesällä 2020 rakentaa kokonaan uuden suursahan Raumalle. Investointipäätös liittyy Metsä Fibren Kemin sellutehdasinvestointiin, johon liittyen myös jotkut Pohjois-Suomessa toimivista sahoista ovat ilmoittaneet investointipäätöksistä ja sahauksen lisäyssuunnitelmista. Etelä-Suomessa etenkin kuu-situkin sahauksen kasvua rajoittaa raaka-aineen saatavuus.

Puulevyjen tuotannossa vanerin (ml. viilupuu) merkitys on korostunut 2010-luvulla muiden puulevyjen tuotannon hiipuessa. Kuitu- ja lastulevyjen yhteenlaskettu tuotanto oli 2000-luvun alkuvuosina noin 600 000 kuutiometriä vuodessa, mutta nykyisin tuotantoa on enää yhdessä lastu- ja yhdessä kuitulevytehtaassa. Levyteollisuudessa investoinnit ovat viime vuosina kohdistuneet viilupuun tuotantoon sekä koivuviulun sorvauskapasiteettiin. Koivuviuluinvestoinneissa liiketoimintamallina on viedä viilu jatkojalostettavaksi maihin, kuten Viroon ja Latviaan, joiden kustannustaso erityisesti työvoiman osalta on Suomea alhaisempi. Kesällä 2020 perinteisen ristiliimatun vanerin tuotantokapasiteetti supistui Suomessa jälleen 100 000 kuutiomerillä, kun UPM sulki vaneritehtaansa Jyväskylässä.

Pyrkimys ilmastonmuutoksen vaikutusten hillitsemiseen sekä terveelliseen asumiseen parantaa puun asemaa kaupunkirakentamisessa, jossa perinteisten sahatavaran ja vanerin rinnalle ovat vahvasti nousemassa modernit rakennepuutuotteet CLT ja LVL. Myös puupohjaisiin biopolttoaineisiin, komposiitteihin, selluntuotannon sivutuotteista jalostettaviin liimoihin ja kemikaaleihin sekä tekstiilikuituihin kohdistuu runsaasti odotuksia metsäalan arvonnäkökulman ja resurssitehokkuuden kohottamisen näkökulmista. Selunvalmistuksen yhteydessä syntyy vuosittain noin 4–5 miljoonaa tonnia ligniiniä, josta noin miljoona tonnia olisi mahdollista hyödyntää biomateriaaleihin (Arasto ym. 2021). Myös hemiselluloosaa on mahdollista hyödyntää biokemikaalien valmistuksessa. Tämän raportin skenaariossa niin sanottujen uusien tuotteiden mahdollinen valmistus oletetaan perustuvan metsäteollisuuden sivuvirtoihin, jolloin ne eivät lisää ainespuun hakkuumääriä.

3 Laskentamenetelmät

3.1 Maatalouden osittaistasapainomalli DREMFIA

Heikki Lehtonen

DREMFIA (Dynamic multiREgional sector Model of Finnish Agriculture; Lehtonen 2001, 2015) on Suomen maatalouden päätuotantosunnat, pellonkäytön, kotimaisen kysynnän ja ulkomaankaupan kattava taloudellinen osittaistasapainomalli, jossa on neljä suuraluetta: Etelä-Suomi, Sisä-Suomi, Pohjanmaa ja Pohjois-Suomi (Lehtonen 2015). Suuralueet jakautuvat pienempiin tuotannollisiin alueisiin tukivyyöhykejaon mukaisesti. Näin saavutetaan varsin tarkka tukipolitiikan kuvaus. Poro-, hevos- ja lam-mastaloutta ei ole DREMFIA-mallissa mukana ja näiden eläinten määrien on oletettu maatalouden skenaariotarkasteluissa pysyvän lähellä vuoden 2019 tasoa vuoteen 2050. Myöskään turkistarhausta ja puutarhataloutta ei ole mallissa mukana. Malli kuitenkin kattaa yli 95 % maatalousmaan käytöstä.

Suomen maatalouden rakennekehitys on mallinnettu endogeenisesti niin, että lypsy-lehmien lukumäärän havaittu kasvu suurimmissa tilakokoluokissa ja tärkeimmillä tuotantoalueilla Suomessa toteutuu. Sen seurauksena muuttuva rehun tarve alueittain otetaan pellonkäytössä huomioon. Malli on validoitu siten, että vuosien 1995–2019 toteutunut kehitys kotieläintuotannon kokonaismäärissä ja pellonkäytössä likimain toteutuu. Samalla huomioidaan Suomessa tuotettujen maataloustuotteiden kulutus kotimaassa yhtä aikaa tuonnin ja viennin muutosten kanssa. Kotimainen kulutus voidaan tyydyttää kotimaisella tuotannolla tai kilpailevilla tuontituotteilla. Vuosina 1995–2019 kulutus noudattaa toteutunutta kehitystä. Vuosina 2020–2050 kulutus on vuoden 2019 tasolla (WEM-skenaario), ellei erillisissä skenaarioissa toisin määritellä (WAM-skenaario).

Maatalouden tuote- ja panoshinnat määräytyvät pääosin EU- ja globaalilla tasolla, ja siten ulkoiset panos- ja tuotehinnat pätevät ulkomaankaupassa eli viennissä ja tuonnissa. Kotimaan markkinoilla maataloustuotteiden hintataso voi kuitenkin vähäisessä määrin poiketa EU:n keskihinnosta. Tuotekohtaiset hintapoikkeamat vastaavat viimeisen 20 vuoden aikana toteutuneita poikkeamia ja ne toteutuvat mallin maidon ja lihan tuottajahinnoissa siten, että kotimaiset ja ulkomaiset tuotteet ovat epätäydellisiä substituutteja keskenään. Ne voivat siten korvata toisiaan eräissä tuotteissa varsin pitkälle, mutta toisissa taas rajallisesti ollen laadullisesti erilaisia. Esimerkiksi Suomeen

tuodaan ja Suomesta viedään osin erilaista lihaa (eri ruhonosia) ja eri maitotuotteita (joita mallissa mukana yhteensä 18 erilaista).

Eläinten rehunkulutus muuttuu hintasuhteiden ohjaamana ruokintasuositusten antamisissa puitteissa eri tuotostasoille. Eläintuotanto vaikuttaa vahvasti rehun tuotantoon ja pellonkäyttöön. Eri kasvien pinta-alojen kehitykseen vaikuttavat myös lannoitteiden ja maataloustuotteiden hinnat sekä maataloustuet. Näin ollen DREMFIAMalli toistaa pääpiirteissään 1995–2019 kehityksen Suomen maatalouden tuotannossa ja maankäytössä ja sisältää keskeiset tarvittavat muuttujat arvioitaessa maatalouden kehitysuria ja maatalouden kasvihuonekaasupäästöjen kehitystä vuoteen 2050. Maatalouden kehitysuria sisältää vuosittaisen kehityksen vuoteen 2050.

Malli on alun perin suunniteltu ja toteutettu siten, että sen avulla on mahdollista arvioida erityisesti CAP:in (Common Agricultural Policy, Euroopan Unionin yhteinen maatalouspolitiikka) muutosten vaikutuksia: EU:n maataloustuet tukiehtoineen ja Suomen kansalliset maataloustuet vaikuttavat maataloustuotannon määrään, sijoittumiseen ja maataloustuloon Suomessa (Lehtonen & Niemi 2018). DREMFIAMallia on sovellettu myös arvioitaessa markkinamuutosten, ympäristötukijärjestelmän (Lehtonen & Rankinen 2015) ja muuttuvan ilmaston vaikutuksia maatalouden tuotantoon, pellonkäyttöön ja tuloihin (Lehtonen 2015).

DREMFIAMallinnus huomioi Tilastokeskuksen väkilukuennusteet (Suomen virallinen tilasto 2019) ja energian ennustetun hintakehityksen vuosisadan puoliväliin asti. DREMFIAMallinnukseen on mahdollista sisällyttää eri skenaarioissa määriteltyjä muutoksia kasvien sadoissa, maatalouden tuottavuudessa, panoskäytössä ja maataloustuotetuissa sekä maatalouden lopputuotteiden ja panoshintojen EU-hinnoissa. Esimerkiksi epäorgaanisten lannoitteiden hintojen nousu, joka aiheutuu fossiilisen energian hintojen noususta, vaikuttaa mallissa suoraan kasvin lannoitusta ja satotasoa vähentävästi. Nousevat epäorgaanisten lannoitteiden hinnat kannustavat tyyppeä sitovien apilanurmiseosten käyttöön. Tämä toteutuu mallissa siten, että voimakkaaseen epäorgaaniseen typpilannoitukseen perustuvan säilörehunurmen tuotanto vähenee ja korvautuu osittain matalamman lannoituksen ja satotason nurmituotannolla (Lehtonen & Niskanen 2016). Biokaasutuotannon vaikutukset kotieläintuotantoon voidaan ottaa huomioon olettamalla pieni energia- ja lantakustannusten väheneminen kotieläintaloudessa. Näillä on kuitenkin kotieläintuotantoon hyvin vähäinen vaikutus.

DREMFIAMalli tuottaa tässä tutkimuksessa kasvihuonekaasulaskennan lähtötiedoiksi keinolannoituksen typpimäärän, pellonkäytön ja eläinmäärät tärkeimmille eläinluokille: naudoille, sioille ja siipikarjalle.

3.2 Puunkäytön, hakkuiden ja metsävarojen kehityksen mallinnusprosessit

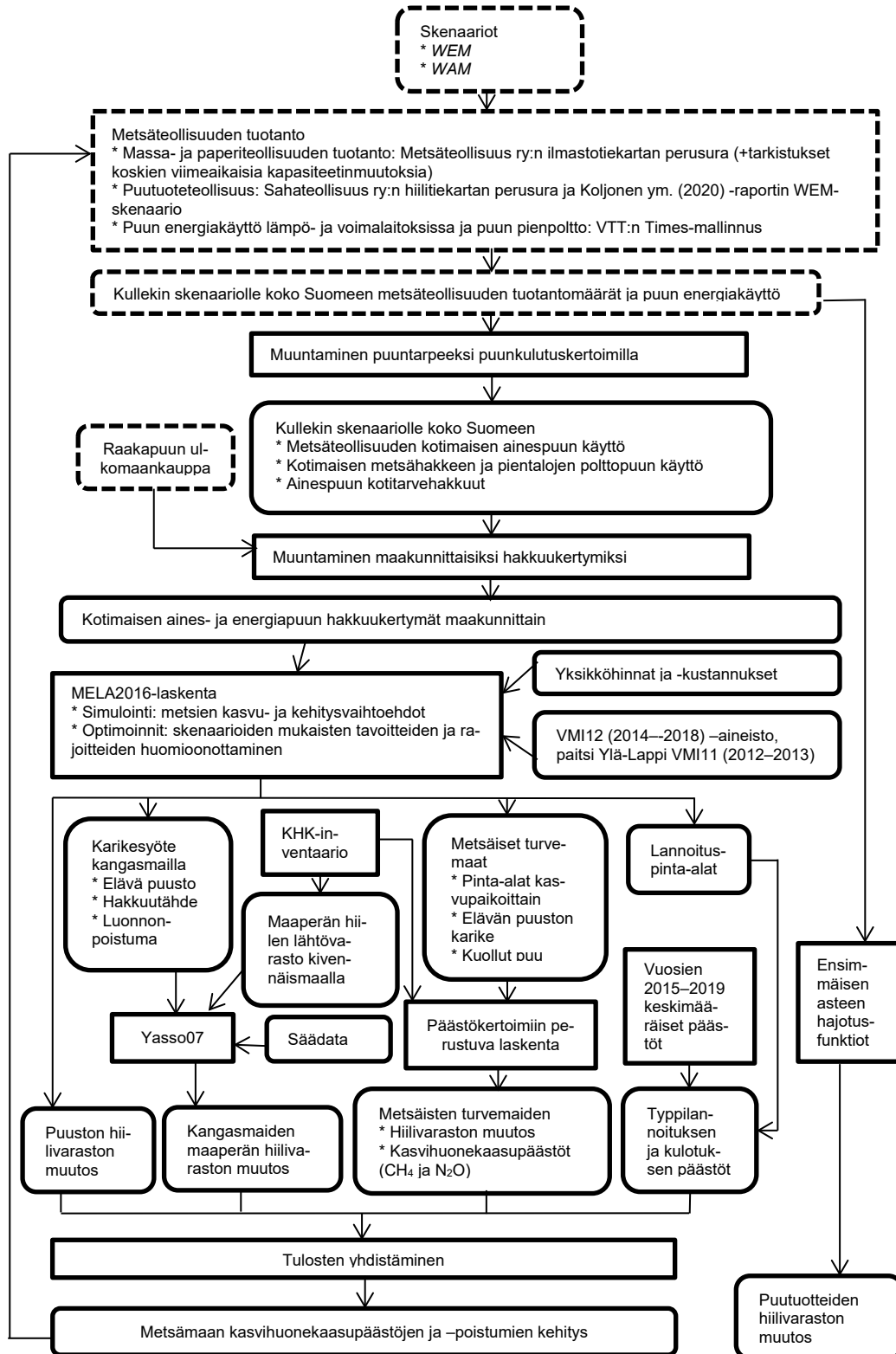
Hannu Hirvelä, Harri Kilpeläinen, Leena Kärkkäinen, Antti Mutanen, Jari Viitanen

Puun hakkuumäärien, metsävarojen kehityksen sekä metsien kasvihuonekaasujen päästöjen ja poistumien kehityksen kuvaamisen eri vaiheet on esitetty kuviossa 4. Laskelmien taustalla olivat arviot metsäteollisuuden sekä energiantuotannon puunkäyttömääristä. Metsäteollisuuden puunkäyttöarvio pohjautui Metsäteollisuus ry:n sekä Sahateollisuus ry:n hiilitiekartoissa esitettyihin perusuriin sekä näihin tehtyihin investointi- ja kapasiteetin lopettamispäätöksiin perustuviin tarkistuksiin eri metsäteollisuustuotteiden tuotantomäärien kehityksestä. Metsähakkeen sekä pientalojen polttopuun käyttömäärät perustuivat puolestaan VTT:n TIMES-mallinnuksen tuloksiin. Metsäteollisuuden puunkäytöstä johdettiin metsäteollisuuden kotimaisen ainespuun tarve, ja metsähakkeen sekä pientalojen polttopuun käyttömääristä näiden raaka-ainetarpeet (ks. luku 4.3). Kotimaisen ainespuun sekä energiapuun tarvearviot toimivat puolestaan seuraavan vaiheen MELA-skenaariolaskelmien hakkuukertymätavoitteina.

Kotimaisen ainespuun, metsähakkeen ja polttopuun käyttöä vastaava hakkuuprojektio sekä sille ehdollinen metsävarojen kehitys laskettiin koko Suomelle MELA-ohjelmistolla (Siitonen ym. 1996, Hirvelä ym. 2017), joka on metsien tuotanto- ja käyttömahdollisuuksien analysointiin sekä metsien käytön suunnitteluun kehitetty laskentaväline. Suomen oloihin laadittua ohjelmistoa voidaan käyttää erilaisissa metsiä koskevissa valtakunnallisissa ja alueellisissa vaihtoehtolaskelmissa ja vaikutusarvioiden laadinnassa. MELA-ohjelmiston avulla lasketaan valtakunnan metsien inventoinnin (VMI) aineistoihin perustuen alueellisia tuotanto- ja käyttömahdollisuusarvioita, joiden tuloksia esitetään MELA Tulospalvelussa (Luke 2021d). Nykyisin käytössä oleva ohjelmiston versio on MELA2016 (Hirvelä ym. 2017).

Maakunnittaiset hakkuukertymätavoitteet huomioiva laskenta tuotti tietoa hakkuukertymien lisäksi mm. puuston tilavuudesta ja biomassasta, kasvusta, poistumasta sekä niiden kehityksestä ajanjakson 2016–2045 aikana. Kotimaisen aines- ja energiapuun hakkuukertymätavoitteet ohjasivat metsävarojen kehitysennusteiden laadintaa MELA-ohjelmistolla, jolla laskettuja tuloksia hyödynnettiin edelleen kangasmaiden maaperän ja metsäisten turvemaiden hiilivaraston muutoksen arvioinnissa.

Kuvio 4. Metsien kasvihuonekaasupäästöjen ja -poistumien sekä puutuotteiden hiilivara-
ston muutoksen laskennan vaiheet.



Laskennan lähtötilanteen metsävaratietona käytettiin valtakunnan metsien 12. inventoinnin (VMI12) maastoaineistoa mittausvuosilta 2014–2018 (Valtakunnan ... 2018). Ylä-Lapin osalta laskenta perustui vuosina 2012–2013 mitattuun VMI11:n maastoaineistoon (Valtakunnan ... 2013). Aineisto edusti keskimäärin vuoden 2016 metsävarojen tilannetta ja vuosi 2016 oli myös metsien skenaariolaskennassa aloitusvuosi. Metsä- ja kitumaan koealoihin perustuvia laskentayksiköitä oli yhteensä 57 720 (Luke 2021d). Metsänkäytön rajoitusten kuvaamiseksi laskentayksiköt jaettiin kolmeen käsittelyluokkaan: ensisijaisesti puuntuotannossa, rajoitetussa puuntuotannossa ja puuntuotannon ulkopuolella oleviin. Puuntuotannossa olevalla maalla tarkoitetaan jatkossa kahta ensimmäistä luokkaa yhteensä. Laskentayksikön käsittelyluokka rajaa kohteelle sallitut metsikkökohtaiset hakkuu- ja metsänhoitotoimenpiteet. Metsävaroja koskevat tulokset kattavat kaikki kolme luokkaa yhteensä, vaikka puuntuotannon ulkopuolisille alueille ei kohdistettu toimenpiteitä. Laskennassa oli oletuksena, että metsäpinta-ala, suojelupinta-alat ja rajoitetun puuntuotannon pinta-alat eivät muutu laskennan aikana.

MELA-metsikkösimulaattori tuotti jokaiselle laskentayksikölle automaattisesti joukon käsittely- ja kehitysvaihtoehtoja, jotka koostuivat luonnonprosesseista (puiden synty, kasvu ja kuoleminen), hakkuista ja metsänhoitotoimista. Metsien käsittely noudatti Tapijon metsänhoidon suosituksia (Äijälä ym. 2019, Koistinen ym. 2019). Metsiköiden kehityspolkujen tuottaminen MELA2016-ohjelmistolla on kuvattu tarkemmin liitteessä L2 ja MELA Tulospalvelussa (Luke 2021d).

Hakkuuprojektiot määritettiin maakuntakohtaisesti laadituissa optimointilaskelmissa, joissa tavoitteena oli maksimoida puuntuotannon taloudellista tulosta (nettotulojen nykyarvoa) maakunnassa neljän prosentin tuottovaatimuksella ja rajoitteina käytettiin maakunnalle metsäteollisuuden ennustetun puunkäyttötarpeen pohjalta asetetut tavoitteet aines- ja energiapuun hakkuukertymälle ajanjakson 2016–2045 aikana. Ainespuulle kertymätavoitteet määritettiin puutavaralajeittain ja energiapuulle ositteittain erikseen kutakin kymmenvuotiskautta kohden. Puuntuotannon taloudellinen tulos laskettiin ainespuulle tienvarsihintoihin ja energiapuulle käyttöpisteessä hakkeelle maksettuihin hintoihin perustuen. Optimoinnissa puutavaralajikohtaisille hakkuukertymätavoitteille annettiin oletusarvoisesti $\pm 0,5$ prosentin vaihteluvälit laskelman teknisen toteutettavuuden varmistamiseksi.

Tienvarsihinnat saatiin lisäämällä tilastoituihin kantohintoihin keskimääräiset toteutuneet korjuukustannukset. Metsähakkeen käyttöpistehinnat noudattivat tilastoituja keskihintoja. Kustannusten laskenta perustui työlajien tilastoituihin yksikköhintoihin ja tuottavuusmallien mukaisiin ajanmenekkeihin, jotka ottivat huomioon esim. puunkorjuussa poistettavien puiden järeyden, hehtaarikohtaisen poistuman, jätettävän puuston määrän ja maaperän kantavuuden. Tarkemmat kuvaukset maakunnittain laadittujen laskelmien hintaoletuksista aluekohtaisine hinta- ja kustannustietoineen on esitetty liitteessä L2 ja MELA Tulospalvelussa (Luke 2021d).

MELA2016-ohjelmistossa puun pohjapinta-alan kasvumallit on kalibroitu VMI11-aineiston läpimitan kasvunmittausten perusteella ja lisäksi näin tuotettua tilavuuskasvun arviota tarkennettiin ottamalla huomioon kalibrointijakson keskivuodesta 1999 vuoteen 2017 tapahtunut ilman keskilämpötilan ja hiilidioksidipitoisuuden nousun vaikutus puuston kasvuun (ks. tarkemmin liite L2). Vastaavaa menetelmää kasvuvarvion osalta on käytetty Maatalous- ja LULUCF-sektorien päästö- ja nielukehitys vuoteen 2050-raportissa (Aakkula ym. 2019), Hiilineutraali Suomi 2035 – Skenaariot ja vaikutusarviot -raportissa (Koljonen ym. 2020) ja MELA Tulospalvelussa (Luke 2021d) esitettyjen arvioiden laadinnassa.

3.3 Maankäytön ja maankäytön muutosten pinta-alojen määrittäminen

Markus Haakana, Jukka-Pekka Myllykangas, Tarja Tuomainen

LULUCF-sektorin päästöt ja poistumat lasketaan kuudessa maankäyttöluokassa, jotka kattavat Suomen maa-alan ja sisävedet. Merivedet jäävät tarkastelun ulkopuolelle. Maankäyttöluokat ovat metsämaa, viljelysmaa, ruohikkoalueet, kosteikot, rakennettu maa ja muu maa. Kukin maankäyttöluokka jakautuu skenaariolaskennassa kahteen osaan siten, että tietyn vuoden päästöihin/poistumiin sisältyvät: 1) kyseisenä vuonna tapahtuvista maankäytön muutoksista aiheutuvat päästöt sekä tätä vuotta edeltävien 19 vuoden muutosalueiden päästöt ja poistumat, 2) alueiden päästöt/poistumat, joilla ei ole tapahtunut maankäytön muutoksia tai muutoksesta on yli 20 vuotta. Päästölaskentaan tarvitaan molempien ryhmien pinta-alat jokaiselle kuudelle maankäyttöluokalle, sekä ryhmässä 1 vuotuinen maankäytönmuutosmatriisi kaikille muutoksille. Käytetty maankäyttöluokitus vastaa Suomen kasvihuonekaasuinventaarion (KHK-inventaario) luokitusta (Tilastokeskus 2021), ja on kuvattu raportissa Maatalous- ja LULUCF-sektorien päästö- ja nielukehitys vuoteen 2050 (Aakkula ym. 2019).

Maankäytön ja maankäytön muutosten pinta-alat tuotettiin Haakanan ym. (2015) kuvaamalla menetelmällä, jossa maankäytön muutosskenaarioiden taustalla ovat vuosina 2012–2016 tapahtuneista maankäytön muutoksista lasketut trendit ja keskiarvot vuotuisista muutospinta-aloista. Menetelmässä historiatietoihin yhdistetään kunkin skenaarion maankäyttöä koskevat lähtöoletukset. WEM-skenaario perustuu pitkälti tapahtuneisiin muutoksiin, joiden annettiin mallinnuksessa jatkua melko vapaasti, kun taas WAM-skenaariossa päästövähennystavoitteet enemmän ohjasivat maankäytön muutoksia. Metsämaan pinta-alan kehitykselle ei asetettu tavoitetta kummassakaan skenaariossa. Maatalousmaan pinta-alaa ohjaa DREMFI-mallin tulos viljelyalan kehitymisestä, joka sovitetaan laskentakokonaisuuteen. Times-VTT-mallin energijärjestelmän kehityksestä (Lehtilä ym. 2021) johdetaan turpeen energiakäytön, aurinkovoiman,

tuulivoiman sekä kasviperäisen bioenergian vaikutukset maankäyttöön. Rakennuskannan kehitysennustetta ohjataan Suomen ympäristökeskuksen (SYKE) rakennetun maan mallin tuloksesta lasketulla rakennetun maan suhteellisella kehityskululla vuoteen 2020 nähden. SYKEN mallinnus kattaa yhdyskuntarakentamisen, vapaa-ajan asunnot ja muun rakennetun maan (liikennealueet, maa-ainesten otto, kaatopaikat, ym.) ja huomioi poistuvan rakennuskannan ja väestöennusteen (Tiitu ym. 2015). HIISI-skenaarioissa käytettiin SYKEN vuonna 2021 päivittämää rakennetun maan kehitystä, jossa taustalla on Tilastokeskuksen väkilukuennuste (Suomen virallinen tilasto 2019).

Maankäytön lähtötilanne vuonna 2019 määritettiin Suomen KHK-inventaarion tiedoilla (Tilastokeskus 2021). Suomen maa-alan ja sisävesien yhteenlasketun pinta-alan oletettiin pysyvän vakiona 33,8 miljoonassa hehtaarissa vuoteen 2050. Vakioitua kokonaispinta-alaa käytetään myös KHK-inventaariossa, vaikka tiedetään, että muutosta tapahtuu merivedestä maaksi. Vakioipinta-alan käytöllä ei ole skenaarioissa suurta merkitystä.

3.4 Kasvihuonekaasupäästöjen ja poistumien laskenta

Liisa Maanavilja, Paula Ollila, Jukka-Pekka Myllykangas, Tarja Tuomainen

3.4.1 Laskentamenetelmä ja lämmitysvaikutusarvot (GWP)

Kasvihuonekaasujen päästöt ja poistumat pyrittiin laskemaan mahdollisimman yhdenmukaisesti Suomen kasvihuonekaasuinventaarion (KHK-inventaario) luokitusten ja menetelmien kanssa (Tilastokeskus 2021). Inventaarion luokitukset ja menetelmät perustuvat YK:n ilmastopimuksen ja IPCC:n laatimiin raportointiohjeisiin. Laskennat noudattavat 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories -ohjeita (IPCC 2006). Eloperäisten maiden päästöjen laskennassa on käytetty myös ohjeen kosteikkoliitettä (IPCC 2014). Turvemaan korotetun vedenpinnan nurmiviljelyn sekä ruokohelven ja järviruo'on kosteikkoviljelyn päästölaskennassa käytettiin kosteikkoliitteen grassland, shallow-drained -päästökertoimia, ilmastokosteikon ja rahkasammalen kasvatuksen päästöissä ennallistetun suon rewetted organic soils, nutrient status: rich -kertoimia (IPCC 2014), Bianchi ym. 2021 tarkasteluun nojaten. Maanparannus- ja saneerauskasvien biomassalisäys arvioitiin kolminkertaiseksi kerääjäkasveihin nähden (Känkänen & Heikkinen 2021).

Aineen, kuten biomassan, hiilisisältönä on joitakin poikkeuksia lukuun ottamatta käytetty 50 prosenttia. Hiili on muunnettu hiilidioksidiksi (CO₂) kertoimella (-44/12). Kasvihuonekaasut on yhteismitallistettu hiilidioksidiekvivalenteiksi KHK-inventaariosta poiketen IPCC:n viidennen arviointiraportin (IPCC AR5 WG1 Ch8 2013) GWP (Global Warming Potential) -kertoimilla, jotka ovat hiilidioksidille (CO₂) 1, metaanille (CH₄) 28 ja dityppioksidille (N₂O) 265. KHK-inventaariossa käytetään neljännen arviointiportin kertoimia (CO₂ 1, CH₄ 25, N₂O 298, IPCC AR4 WG1 Ch2 2007).

3.4.2 Maataloussektorin päästölaskenta

Maataloussektorilla raportoitaviin päästöihin kuuluvat tuotantoeläinten ruoansulatuksen metaanipäästöt, lannankäsittelyn metaani- ja dityppioksidipäästöt, maatalousmaidan dityppioksidipäästöt epäorgaanisista ja orgaanisista lannoitteista, laidunlannasta, eloperäisten maiden viljelystä ja orgaanisen aineen hajoamisesta kivennäismailla, sekä vähäiset päästöt kalkituksesta (CO₂), urean lannoitekäytöstä (CO₂) ja kasvintähteiden poltosta (CH₄, N₂O). Laskennassa on käytetty vuoden 2021 inventaariolähetyksen laskentamenetelmiä (Tilastokeskus 2021).

Maataloussektorin päästölaskenta saa lähtötietoina DREMFIA-mallista maataloustuotannon kehityksen: keinolannoituksen typpimäärän, pellonkäytön ja eläinmäärät tärkeimmille eläinluokille, eli naudoille, sioille ja siipikarjalle. Laskenta huomioi niiden lisäksi myös porojen, lampaiden, hevosten sekä turkiseläinten lukumäärät, jotka pysyvät vuoden 2019 tasolla. Kalkitus ja urean käyttö pysyvät nykyisellä tasolla. DREMFIA-mallista tulevat pellonkäytön pinta-alat sovitetaan yhteen muun maankäytön kanssa (luku 3.3), ja päästöt lasketaan näillä muokatuilla pinta-aloilla, jotka ovat samat kuin LULUCF-sektorin laskennassa.

Lypsylehmien maidontuotto kasvaa kasvihuonekaasuinventaariorissa raportoidun kehityksen mukaisesti myös tulevaisuudessa. Lypsylehmien paino kasvaa vuoteen 2030 asti, mutta tasaantuu sitten. Muiden nautojen painot ja eläinten typeritys pysyvät skenaariossa vuoden 2019 tasolla. Lantajärjestelmien kehitys on sama kuin aiemmissa MALULU- ja MALUSEPO-skenaarioissa: siihen on arvioitu tulevan pieniä muutoksia tulevaisuudessa aiemman kehityksen perusteella (Aakkula ym. 2019).

3.4.3 LULUCF-sektorin päästölaskenta

LULUCF-skenaarion kasvihuonekaasujen päästöt ja poistumat koostuvat hiilivarastojen (elävä biomassa, kuollut puuaines, karike ja maaperä) muutoksista (CO₂) sekä metaani- (CH₄) ja dityppioksidipäästöistä (N₂O). Skenaariossa ei oletettu tapahtuvan ilmastonmuutosta. Laskennoissa käytetty säädata (esim. Yasso-mallinnuksessa) vuodesta 2020 vuoteen 2050 on vuosien 1990–2019 keskiarvo.

Metsämaan (ollut metsämaata yli 20 vuotta) puuston hiilivaraston muutokset laskettiin MELA-mallinnuksen tuottamien puuston biomassavarastojen hehtaarikohtaisista erotuksista 10-vuotiskausittain, jotka kerrottiin pinta-alaskenaarioiden metsämaan pinta-alalla. Kansallisen määritelmän mukaiselle metsä- ja kitumaan pinta-alalle lasketut MELA-tulokset skaalattiin näin vastaamaan KHK-inventaariossa käytettyä metsäpinta-alaa (Tilastokeskus 2021). Maaperälaskentaan elävästä ja luonnonpoistumapuustosta sekä ja hakkuissa metsään jäävästä hakkuutähteestä syntyvän karikkeen syötteet ovat MELA-laskennan tuloksia. Metsitetyille alueille (ollut metsämaata korkeintaan 20 vuotta) puuston hiilivaraston muutos laskettiin kuten KHK-inventaariossa metsitysalueiden keskimääräisillä puuston kasvu- ja poistuma-arvioilla (Tilastokeskus 2021). Kivennäismaiden maaperän hiilivaraston muutokset estimoitiin Yasso07-maamallilla ja ojitettujen turvemaiden CO₂-, CH₄- ja N₂O-päästöt laskettiin kasvihuonekaasuinventaarion kasvupaikkatyyppisillä päästökertoimilla (Tilastokeskus 2021). Typpilannoituksen N₂O-päästöt ja kulotuksen CH₄- ja N₂O-päästöt laskettiin vuosille 2015–2019 raportoitujen päästöjen keskiarvona, ja metsitysalueille laskettiin myös maankäytön muutoksesta aiheutuva typen mineralisaation N₂O-päästö (Tilastokeskus 2021). Metsäisten turvemaiden kasvupaikkajakaumat saatiin MELA-laskennan tuloksena.

Viljelysmaan kivennäismaiden hiilivaraston muutos estimoitiin Yasso07-maamallilla. Menetelmä on sama kuin kasvihuonekaasuinventaariorissa (Tilastokeskus 2021), mutta skenaarioissa tilastotietojen sijaan käytettiin DREMFA-mallin tuottamia satotasoja ja eläinmääriä. Ruohikkoalueilla sen sijaan oletettiin, ettei kivennäismaan hiilivarastossa tapahdu muutosta. Viljelysmaan ja ruohikkoalueiden turvemaiden CO₂-päästöt laskettiin KHK-inventaarion päästökertoimilla. Kasvien biomassat ja kasvilajikohtainen karikesyöte laskettiin KHK-inventaarion mukaisesti kuten myös biomassan ja kuolleen puuaineksen hiilivarastojen muutokset sekä typen mineralisaatiosta ja typen huuhtoumasta aiheutuvat N₂O-päästöt (Tilastokeskus 2021). Kosteikot jakautuvat toisistaan poikkeaviin alaluokkiin: turvetuotantoalueet, vähäpuustoiset metsämaasta taantuneet suot ja rakennetut sisävedet, joille päästöt laskettiin KHK-inventaarion menetelmillä ja kertoimilla (Tilastokeskus 2021). Rakennettujen alueiden tulokset sisältävät ainoastaan maankäytön muutosalueilta aiheutuvat päästöt ja poistumat. Kun muutoksesta on kulunut 20 vuotta, alue siirtyy rakennettuna maana vähintään 20 vuotta pysyneiden alueiden luokkaan, joilla KHK-inventaarion mukaisesti ei oletettu tapahtuvan hiilivarastojen muutoksia (Tilastokeskus 2021).

Puutuotteiden vaikutus laskettiin käyttäen tuotantoon perustuvaa lähestymistapaa ja menetelmä oli ensimmäisen asteen hajoamisfunktio käyttäen tuotteiden puoliintumisaikoja ja tuoteryhmäkohtaisia muuntokertoimia (Tilastokeskus 2021). Puutuotteiden pääryhmät ovat sahatavara, puulevyt, paperi ja kartonki. Sahatavaraalle käytettiin 35 vuoden puoliintumisaikaa, puulevyille 25 vuoden ja paperille ja kartongille 2 vuoden puoliintumisaikaa. Metsäteollisuuden tuotannon kehityksen on kuvattu luvussa 4.3 (taulukko 9). Tuotantoluvut päivitettiin vuoteen 2020 siltä osin ja sillä tarkkuudella, kun ennakkotietoja oli saatavilla (Luke 2021a). Käytetty menetelmä perustuu IPCC 2006 -ohjeeseen ja on kuvattu Suomen inventaarioraportissa (IPCC 2006, Tilastokeskus 2021, Hamberg ym. 2016).

4 Skenaarioiden kuvaus

4.1 Maatalouden pellonkäyttö ja sadot perusskenaariossa (WEM)

Heikki Lehtonen

Lannoitteiden kallistuminen yli 10 prosentilla 2020-luvulla vähentää viljelykasvien lannoitusta ja tästä seuraa satotasojen aleneminen 0–4 % eri kasveilla. Eniten satotaso alenee suoraan epäorgaanisesta typpilannoituksesta riippuvaisilla timoteinurmilla, vähiten taas apilanurmilla, öljykasveilla ja kevätiljoilla. Nousevat energiakustannukset johtavat yhdessä pienen satotason alenemisen kanssa viljan viljelyalan vähenemiseen 10 prosentilla vajaasta 1,1 milj. hehtaarista vajaaseen miljoonaan hehtaariin vuoteen 2040 ja 2050. Tuotantonurmien ala vähenee konekustannusten noustessa ja tällöin säilörehu kannattaa korjata entistä pienemmältä peltoalalta, vaikka satotaso aleneekin yksittäisillä kasveilla. Nurmiviljely keskittyy korkean lannoitus- ja satotason timoteivaltaisiin nurmiin ja kasvavassa määrin apilanurmiin, kun taas laajaperäinen säilörehunurmi vähenee. Vastaavasti kesantoala lisääntyy. Viljan viljely vähenee eniten maan keski- ja pohjoisosissa. Viljelyn keskittyessä paremman satotason maille keskisadot pysyvät kuitenkin vakaina ja nousevat eräillä kasveilla muutaman prosentin. Tällöin yli 10 % vilja-alan vähenemistä seuraa alle 10 % väheneminen viljan kokonaistuotannossa.

Maidontuotanto alenee tulosten mukaan noin 6 % 2019–2040 ja noin 7 % 2019–2050. Tämä johtuu em. kustannusnousuista ja pienistä satojen alenemisistä. Voimakkaan rakennekehityksen ja lehmien keskituotoksen nousun ansiosta maidontuotannon taso vähenee hyvin hitaasti. Naudanlihantuotanto vähenee selvästi nopeammin, noin 88 milj. kg tasolta (2019) noin 72 milj. kg:aan vuoteen 2040 ja vähän alle 70 milj. kg:aan vuoteen 2050. Tämä yli 20 % väheneminen johtuu siitä, että nautakarjan lukumäärä vähenee samalla kun lypsylehmien keskituotos nousee ja vasikoiden määrä vähenee, eivätkä naudanlihan reaalihintojen hidaskasvu aleneminen ja vakioksi oletettu nautakarjalouteen suunnattu maataloustuki anna mahdollisuuksia kuin vähäiseen emolehmätuotannon kasvattamiseen.

Sianlihantuotanto (171 milj. kg vuonna 2019) vähenee hitaasti noin 10 milj. kg alle kotimaisen kulutuksen (169 milj. kg / vuosi), noin 160 milj. kg:aan vuoteen 2040. Eri ru-

honosien kauppa eli sianlihan samanaikainen tuonti ja vienti jatkuu. Siipikarjanlihan tuotanto jatkuu myös lähellä kotimaista kulutusta, noin 150 milj. kg:n vuositasolla. Kanamunien tuotanto jatkuu myös likimain ennallaan WEM-skenaariossa.

Maataloudesta vapautuu peltoalaa WEM-skenaariossa viljan ja nurmen viljelystä yhteensä noin 300 000 ha vuoteen 2040. Suurin osa tästä alasta menee kesannoksi ja pysyy siten tukien piirissä ja maatalousmaana WEM-skenaariossa. Kaikki tämä ala ei kuitenkaan jää kesantoalaksi, koska pelkkä kesannointi ei vuosikymmenien mittakaavassa kata maatalon kustannuksia, joita aiheutuu koneista ja laitteista sekä mm. kallistuvista polttoaineista. Maatilojen lukumäärän vähentyessä rakennekehityksen (tilakoon kasvu ja lukumäärän väheneminen pyrittäessä mittakaava- ja erikoistumisetuihin) edetessä peltoa jää maataloustuista huolimatta pieniä aloja käyttämättä eri osissa Suomea, kuitenkin pääasiassa heikon tuottavuuden alueilla maan keski-, itä- ja pohjoisosissa.

WEM-skenaario ottaa huomioon maatalouspolitiikan kokonaisuuden, joka kannustaa suoraan ja epäsuorasti peltojen nurmipeitteisyyteen. Tämä ilmenee siten, että Suomessa nimenomaan tuotantonurmien (rehunurmien) pinta-ala on kasvanut viime vuosina, vaikka nautojen kokonaismäärä on alentunut. Näin on käynyt etenkin maan keski- ja eteläosissa, jossa viljan tuotantoalat ovat vastaavasti lievästi vähentyneet 2010–2020. WEM-skenaariossa pellonkäyttö säilyy lähes ennallaan nurmien osalta. Nautakarjan väijäämätön hidus väheneminen jatkuu koska lypsylehmien keskituotoksen noustessa tarvitaan entistä vähemmän lypsylehmiä ja muuta nautakarjaa saman maitomäärän tuottamiseen. Vaikka tämä kehitys johtaakin tuotantonurmien alan vähenemiseen, se korvautuu nurmipeitteisen kesantoalan kasvulla. Tällöin myös turvemaiden likimain entinen osuus on nurmipeitteistä.

Ympäristökorvauksen kasvilajin, saavutettujen satotasojen sekä maan multavuuden ja viljavuuden mukaan määräytyvät lannoitusrajat ja mm. niiden noudattamisen vastineeksi viljelijälle maksettava ympäristökorvaus kannustavat muun maataloustukijärjestelmän kokonaisuudessa siihen, että kaikki viljelijät eivät tavoittele suuria satoja eivätkä panosta paljoakaan maan kasvukuntoon ja hiilensidontaan. Näin ollen kivennäismaiden hiilipitoisuudessa ja hiilensidonnassa ei odoteta merkittäviä muutoksia WEM-skenaariossa, koska pellonkäyttö pysynee pääosin entisellään eivätkä satotasot nouse.

4.2 Maatalouden toimet politiikkaskenaariossa (WAM)

Kauko Koikkalainen, Heikki Lehtonen, Liisa Maanavilja, Antti Miettinen

Politiikkaskenaario (WAM) sisältää lisätoimia maatalousperäisten kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi. Lisätoimet perustuvat suurelta osin CAP27-suunnitelmaluonnoksessa (Luonnos Suomen CAP-suunnitelmaksi 2021) ja maatalouden ilmasto-tiekartassa (Lehtonen ym. 2020) esitettyihin toimenpiteisiin.

CAP27-suunnitelmaluonnoksen toimenpiteet ovat HIISI-WAM-skenaariossa siinä muodossa ja niillä tavoitepinta-aloilla, kuin mitä ne olivat kesän 2021 lausuntokierroksen materiaaleissa (Luonnos Suomen CAP-suunnitelmaksi 2021). Muut kuin CAP27-suunnitelmaluonnoksen toimet ja jo käytössä oleva joutoalueiden metsitystuki (Laki metsityksen määräaikaisesta tukemisesta 1114/2020, Valtioneuvoston asetus metsityksen määräaikaisesta tukemisesta 103/2021) ovat hankkeen tutkijoiden näkemyksiä mahdollisista toimista. HIISI-hankkeen WAM-skenaarion perusajatuksena on tuottaa päästövaikutusarviointi sellaisille lisätoimille, joille on ajateltavissa realistinen politiikkaohjaus. Voimaan tulevat todelliset tulevaisuuden politiikkatoimet valmistellaan asianomaisissa ministeriöissä.

WAM-skenaarion lisätoimet painottuvat maankäyttösektorille, jolta tulee lisätoimien seurauksena enemmän päästövähennyksiä kuin taakanjakosektorilta. Jotta päästövähennykset toteutuvat, viljelijät tarvitsevat taloudellisia kannustimia lisätoimien toteuttamiseen ja päästöjen vähentämiseen. Poliittikkaskenaarion lisätoimien seurauksena tulevat muutokset maankäytössä, peltojen käytössä ja viljelyssä ovat pääpiirteissään seuraavanlaisia.

Uuden pellon raivauksesta luovutaan käytännössä kokonaan. Tämän lisäksi huonotuottoisia turvemaita jätetään viljelemättä ja muutetaan kosteikoiksi tai metsitetään. Viljelyyn jäävillä turvepelloilla vähennetään yksivuotisten kasvien viljelyä ja lisätään nurmialaa. Osalla turvepelloista on nurmiviljelyä korotetulla vedenpinnalla ja kosteikkoviljelyä. Kivennäismaapelloilla tehostetaan hiilen sidontaa maaperään, mikä edellyttää viljelyn ja viljelykiertojen monipuolistamista. Turvetuotannosta vapautuvia alueita ei oteta peltoviljelyyn.

Metaanipäästövähennyksiä saadaan käyttämällä lypsylehmien ruokinnassa valkuaisrehuna kotimaista rypsipuristetta ja ottamalla käyttöön uusia metaanintuottoa vähentäviä rehun lisäaineita. Uusia rehun lisäaineita ovat esimerkiksi punalevät ja 3-nitrooksiopropanoli (3-NOP), mutta niiden tehokkuudesta Suomen oloissa tarvitaan vielä li-

sätutkimusta. Lisäksi täsmäviljelyn avulla vähennetään typpilannoituksen dityppioksidipäästöjä. Lannan ravinteiden sijoittamista sadontuoton ja ympäristön kannalta optimaalisesti edistetään kiertotalousratkaisujen avulla, jotka myös vähentävät lannoituksen päästöjä.

Politiikkaskenaariossa väestönkehitys sekä maataloustuotteiden kysyntä ja hinnat ovat yhtenäiset WEM-skenaarion kanssa. Myös energian ja muiden tuotantopanosten hintojen oletetaan kehittyvän samalla tavalla kuin WEM-skenaariossa.

4.2.1 Maankäyttöä ohjaavat maatalouden toimet

Maatalousmaan ala vähenee HIISI-WAM-skenaariossa raivauksen vähenemisen ja lisääntyneen metsittämisen vuoksi. Lisätoimien seurauksena syntyvät pinta-alamuutokset maankäytössä on esitetty taulukossa 1. Skenaariomallinnuksessa on oletettu, että CAP-toimet alkavat vaikuttaa vuodesta 2023 alkaen. Maankäyttöön vaikuttavat maatalouden politiikkatoimet ja ohjauskeinot on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 1. WAM-skenaarion lisätoimien tuloksena syntyvät maankäytön muutokset, joissa muista maankäyttöluokista siirtyy maata maatalousmaaksi tai maatalousmaata siirtyy muuhun maankäyttöön.

Maankäytön muutos	Muutosala 2019 (ha)	Muutosala 2023 (ha)	Muutosala 2030 (ha)	Muutosala 2040 (ha)	Yhteensä 2023–40 (ha)
Turvepellon raivaus	2 112	1 177	294	50	5 639
Kivennäismaapellon raivaus	1 918	1 188	297	50	5 694
Hylätyn turvepellon metsitys	183	650	650	650	11 716
Hylätyn kivennäismaapellon metsitys	204	2 286	2 285	2 285	41 127
Turvepellon metsitys	0	0	666	666	11 322
Kivennäismaapellon metsitys	0	319	1 200	1 200	20 719
Turvepeltoa ilmasto-kosteikoksi (vedenpinta -5–10 cm)	0	556	556	556	10 000
Turvepeltoa vesiensuojelukosteikoksi	23	10	10	10	180
Kivennäismaapeltoa vesiensuojelukosteikoksi	207	90	90	90	1 620

Taulukko 2. Maankäytön muutosten politiikkatoimet.

Toimi	CAP27 / Joutoalueiden metsitystuki	HIISI-WAM-skenaariossa lisäksi
Pellonraivauksen hillintä	CAP27-ehto: metsän raivaus maatalouskäyttöön sallittua ainoastaan pysyväksi nurmeksi	Maankäytön muutosmaksu kaikelle metsästä muuksi maankäytöksi raivaamiselle 2024 alkaen, nousee neljän vuoden välein
Entisten turvetuotanto-alueiden maatalouskäyttöön siirtymisen rajoittaminen	Joutoalueiden metsitystuki: metsityskorvaus + hoitopalkkio	Maankäytön muutosmaksu turvetuotannosta vapautuvien alojen siirtämiselle muuhun kuin metsitykseen tai vettämiseen 2024 alkaen, nousee vuosittain
Hylättyjen peltojen metsitys	Joutoalueiden metsitystuki: metsityskorvaus + hoitopalkkio	Seurataan, onko tuki riittävä pinta-alatavoitteiden saavuttamiseksi, tarvittaessa lisää tukea
Huonotuottoisten peltojen metsitys	Hylätylle pellolle jouto-alueiden metsityskorvaus + hoitopalkkio	Tukea 2024 alkaen, tarjouskilpailu
Turvepeltojen vettäminen	CAP27-ympäristökorvaus: kosteikkojen hoito -sopimus. CAP27-Ei-tuotannollinen investointituki: Kosteikkoinvestoinnit.	Lisätukea 2023 alkaen, tarjouskilpailu

Raivaus

Pellonraivausta on Suomessa pyritty hillitsemään siten, että raivatuille lohkoille ei ole myönnetty uusia tukioikeuksia vuoden 2004 jälkeen. Olemassa olevia suorien tukien perusteena olevia CAP-tukioikeuksia on kuitenkin ollut mahdollista siirtää, ostaa tai vuokrata myös vuoden 2004 jälkeen raivatuille pelloille. Sen sijaan vuoden 2004 jälkeen raivatut peltolohkot eivät pääsääntöisesti ole korvauskelpoisia. Peltolohkon korvauskelpoisuus on tuen maksun perusteena ympäristö- ja luonnonhaittakorvauksissa sekä luonnonmukaisen tuotannon korvauksessa ja kansallisissa hehtaaruissa. Toisin kuin tukioikeus, peltolohkon korvauskelpoisuus on lohkon pysyvä ominaisuus. Jo käytössä olevien toimien lisäksi WAM-skenaariossa on oletettu, että suorat tuet jätetään ympäristö- ja ilmastosyistä maksamatta uusille metsästä raivattaville peltoaloille. Lisäksi metsän raivaaminen pelloksi vähenee WAM-skenaariossa WEM-skenaarioon verrattuna raivatun alan käytön rajoittamisella nurmeksi sekä maankäytön muutosmaksun seurauksena.

Luonnoksessa Suomen CAP27-suunnitelmaksi raivausta rajoitetaan vuonna 2023 alkavalla tukikaudella myös rajoittamalla raivatun alan käyttöä. Ehdollisuuteen esitetyn vaatimuksen mukaan maatalousmaaksi muusta käytöstä raivaamalla tai muilla keinoilla otettu turvemaa- tai kivennäismaa-alue on oltava pysyvästi nurmella. Nurmiväa- timus ei koske peltolohkon muotoa parantavia pieniä kulmien oikaisuja. Raivauksen nurmiehdon vaikutukseksi arvioitiin HIISI-laskennassa 60 % vuotuinen vähenemä verrattuna vuosien 2013–2019 tasoon, noin 1600 ha, josta suunnilleen puolet kohdistuu turvemaille ja puolet kivennäismaille. Arvio perustuu Niskasen ja Lehtosen (2014) peltolohkoaineistotarkasteluun, jonka mukaan noin 60 % pellonraivauksesta on 2000-luvulla liittynyt nautakarjatalouteen, ja VMI-aineistoon, jonka perusteella 60 % raivausaloista vuonna 2019 raivattiin nurmelle.

HIISI-WAM-skenaariossa on lisäksi oletettu, että vuodesta 2024 lähtien käytössä on maankäyttömuutosmaksu kaikelle metsän raivaamiselle muuhun maankäyttöön. Maksu asetetaan metsänraivauksesta aiheutuvan ilmastollisen haitan suuruiseksi niin, että maksu ei kokonaan lopeta yhteiskunnan kehittämisen kannalta hyödyllistä maankäytön muutosta, kuten merkittävien rakentamishankkeiden toteutumista. WAM-skenaariossa maankäyttömuutosmaksu nousee neljän vuoden välein. Vuodesta 2040 alkaen metsää raivataan maatalousmaaksi vuosittain ainoastaan 50 hehtaaria, joka mahdollistaa peltolohkojen järjeistämisen. Maankäyttömuutosmaksun ja muiden metsäkatoa hillitsevien ohjaukeinojen soveltuvuutta, suuruutta ja vaikuttavuutta metsäkadon ehkäisyyn tutkitaan parhaillaan Metsäkadon ehkäisy -hankkeessa, jonka tulokset valmistuvat vuoden 2022 alussa. Myös turvetuotantoalueiden ottamiseen muuhun käyttöön kuin metsittämiseen tai vettämiseen on oletettu perittävän maankäytön muutosmaksu. HIISI-WAM skenaariossa vettäminen on rahkasammalen kasvatusta kivi- ja kasvualuekäyttöön. Maankäytön muutoksia käsitellään yksityiskohtaisemmin luvussa 4.5 Maankäytön kehittyminen.

Metsitys

Hylätyn pellon metsitys on kivennäismailla WAM-skenaariossa WEM:iin verrattuna suurempaa (luku 4.5). Joutoalueiden metsitystuki on käytössä vuodesta 2021 lähtien ja skenaarioissa oletetaan, että nykyistä määräaikaista tukijärjestelmää jatketaan vuoden 2023 jälkeen. Tukea voidaan myöntää yksityisille maanomistajille joutoalueiden, kuten maatalouskäytön ulkopuolelle jääneiden peltolohkojen ja entisten turvetuotantoalueiden metsittämiseen (Laki metsityksen määräaikaista tukemisesta 1114/2020 ja Valtioneuvoston asetus metsityksen määräaikaista tukemisesta 103/2021). Tuki joutoalueiden metsittämiseen ei koske maataloustukea saavia viljelysmaita. Metsitystuki muodostuu kiinteästä kustannuskorvauksesta ja hoitopalkkiosta, jotka perustuvat keskimääräisiin laskennallisiin hehtaariohtaisiin kustannuksiin. Maatalouskäytön ulkopuolelle jääneiden peltolohkojen osalta kustannuskorvaus on suurempi, jos metsi-

tettava alue sijaitsee turvemaalla. HIISI-WAM-skenaariossa on oletettu, että palkkioiden suuruudet tarkistetaan vuosittain niin, että WAM-skenaariossa esitetyt metsitystavoitteet toteutuvat.

Joutoalueiden metsitystuen lisäksi HIISI-WAM:issa on tehty oletus, että Suomessa tuettaisiin myös viljelykäytössä olevien, maataloustukikelpoisten mutta huonotuottoisten turve- ja kivennäismaapeltojen metsittämistä kansallisella metsittämistuella, joka ei sisälly CAP-suunnitelmaan. Metsitys on hidasvaikutteinen keino kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseen, sillä metsitys tuottaa merkittäviä päästövähennyksiä vasta 20 vuoden kuluttua taimikon perustamisesta. Lisäksi maataloustukikelpoisten peltojen metsitystuen pitää olla suurempi kuin joutoalueiden metsitystuen, koska viljelijä menettää peltojen metsityksen myötä alueelle maksettavat maataloustuet.

Maataloustukikelpoisten peltojen metsitystukijärjestelmän ympäristöllisen vaikuttavuuden ja kustannustehokkuuden parantamiseksi WAM-skenaariossa on tehty oletus, että Suomessa otettaisiin käyttöön vapaaehtoinen tarjouskilpailu, jossa viljelijät tekisivät tarjoukset huonotuottoisten peltojen metsittämisestä ja ilmoittaisivat samalla kuinka suuren korvauksen he vaativat peltoalueen metsittämisestä. Valtiovalta tai muu rahoituslähde järjestäisi annetut tarjoukset saavutettavien kasvihuonekaasupäästövähennysten ja kustannusten mukaiseen järjestykseen ja rahoittaisi kustannusvaikuttavuusjärjestyksessä niin monen kohteen metsittämisen kuin peltojen metsittämiseen varattu budjetti mahdollistaa.

Maatalousmaata kosteikoiksi

CAP27-suunnitelmaluonnoksessa ympäristösopimukseksi on ehdotettu kosteikkojen hoito -toimenpidettä. Toimenpiteen kohteina ovat laajat kosteikot tai pienten kosteikkojen ketjut, monimuotoisuuskosteikot, luonnonmukaistetut uomat, tulva-alueet ja -tasanteet, tulvapellot sekä vesiensuojelu- ja monimuotoisuuskosteikkojen lisäksi myös turvepellolle kasvihuonekaasupäästöjen hillitsemiseksi perustetut ilmastokosteikot, joilla voidaan hidastaa turpeen maatumista. Ilmastokosteikot ovat ohjelmakautteen 2014–2020 verrattuna uusi toimenpide. Sopimuksen vähimmäispinta-ala on 0,3 hehtaaria. Ympäristösopimuksen tekeminen ei edellytä ympäristökorvausta koskevan sitoumuksen voimassaoloa. Kosteikkojen perustamista tuetaan CAP27-suunnitelmaluonnoksessa ei-tuotannollisiin investointeihin kuuluvalla kosteikkoinvestoinnit-toimenpiteellä. Ohjelmakaudella 2014–2020 kosteikkojen hoitosopimuksia oli tehty noin 900 hehtaarille. Ei-tuotannollisissa kosteikkoinvestoinneissa korvauksen määrä oli enintään 11 669 €/ha. Pienille 0,3–0,5 hehtaarin suuruisille kohteille maksettava korvaus oli enintään 3 225 €/kohde. Vuotuinen korvaus kosteikkojen hoidosta oli 450 €/ha. Maksettavien korvausten suuruutta arvioitaessa on huomioitava, että kosteikot eivät ole maatalousmaata, joten niille ei makseta pinta-alaperusteisia suorita tukia eikä myöskään pinta-alaperusteisia viljelijäkorvauksia. Näin ollen erityisesti turvepelloille

perustettaville ilmastokosteikoille maksettavien korvausten on oltava melko suuria, jotta ne kompensoivat viljelijälle tulonmenetysten lisäksi myös tukien menetyksen.

4.2.2 Pellonkäytön toimet

Pellonkäyttöä muuttavilla toimilla säilytetään turvetta ja sidotaan hiiltä kivennäismaahan. Lisätoimien seurauksena syntyvät pinta-alamuutokset peltojen käytössä on esitetty taulukossa 3. Skenaariomallinnuksessa on oletettu, että CAP-toimet alkavat vaikuttaa vuodesta 2023 alkaen. Pellonkäyttöön vaikuttavat politiikkatoimet ja ohjauskeinot on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 3. WAM-skenaarion lisätoimien tuloksena syntyvä pellonkäyttö vuosina 2019, 2023, 2030 ja 2040.

Toimi	Ala 2019 (ha)	Ala 2023 (ha)	Ala 2030 (ha)	Ala 2040 (ha)
Turvemaan nurmiviljely korotetulla -30 cm vedenpinnalla	0	0	17 500	42 500
Turvemaan kosteikkoviljely (ruokohelppi, järviruoko)	0	0	5 833	13 333
Kerääjäkasvit	122 775	300 000	620 000	620 000
Maanparannus- ja saneerauskasvit	3 098	100 000	100 000	100 000
Turvepellon nurmi, joka korvaa yksivuotisten kasvien viljelyä	0	20 000	20 000	20 000
Viherlannoitusnurmi kivennäismailla	12 294	20 000	24 545	70 000
Biokaasunurmi kivennäismailla	0	4 138	33 103	74 483

Taulukko 4. Pellonkäytön muutoksen politiikkatoimet.

Toimi	CAP27	HIISI-WAM-skenaariossa lisäksi
Turvemaan nurmiviljely korotetulla vedenpinnalla	CAP27-ympäristökorvaus: Valumavesien käsittely	Hoitosopimukseen mukaan vedenpinnan tason seuranta. Viljelijälle kompensatiota märkyyden aiheuttamasta taloudellisesta riskistä.
Turvemaan kosteikkoviljely (ruokohelpi, järviruoko)	–	Tukea turvetta korvaavien kuivike- ja kasvualustakasvien viljelyyn korkealla vedenpinnalla.
Kerääjäkasvit	CAP27-ympäristökorvaus: Kerääjäkasvien viljely, tavoiteala 2027 300 000 ha.	Kerääjäkasviala 620 000 hehtaariksi vuodesta 2029 eteenpäin.
Maanparannus- ja saneerauskasvit	CAP27-ympäristökorvaus: Maanparannus- ja saneerauskasvit, tavoiteala 2027 100 000 ha.	Alan säilyttäminen 100 000 hehtaarissa.
Turvepellon nurmi, joka korvaa yksivuotisten kasvien viljelyä	CAP27-ympäristökorvaus: Suojavyöhykkeet ja turvepeltojen nurmet, tavoiteala 2027 20 000 ha.	
Viherlannoitusnurmi kivennäismailla	CAP27-ekojärjestelmä: Viherlannoitusnurmet, tavoiteala 2027 20 000 ha.	Lisää hehtaarikohtaista tukea, että 70 000 ha:n tavoiteala saavutetaan vuonna 2040
Biokaasunurmi kivennäismailla	CAP27-ekojärjestelmä: tukea nurmille, mutta ei nimenomaan biokaasunurmille. CAP27-investointituet: maa-tilojen energiainvestoinnit.	Tukea biokaasunurmille Etelä-Suomessa

Korkean vedenpinnan viljely turvemailla

Suomen CAP27-suunnitelmaluonnoksessa pohjaveden pinnan nostamista eloperäisillä mailla tuetaan sääätosalajoituksen investoinneilla ja ympäristökorvauksen valumavesien hallinnan toimenpiteellä. Valumavesien hallinnan toimenpiteellä säädellään pellolta lähtevien valumavesien määrää sääätosalajoitetuilla lohkoilla tai sellaisilla peltolohkoilla, joilla on sääätökastelu- tai kuivatusvesien kierrätysjärjestelmä. Pohjaveden pintaa voidaan nostaa ympärivuotisesti tai vain sadonkorjuun jälkeen. Toimenpiteet parantavat pellon vesitaloutta ja sadontuottokykyä. Vaikutus kasvihuonekaasupäästöihin riippuu noston tehokkuudesta ja pituudesta. Nurmillä pysyvä pohjaveden pinnan nosto on helpompi toteuttaa kuin yksivuotisilla kasveilla. Sääätosalajoituksen perustamista varten voi saada investointitukea 40 % hyväksytyistä kustannuksista. Ohjelma-kaudella 2014–2020 sääätosalajoituksen ympäristökorvaus oli 70 €/ha ja sääätökastelun tai kuivatusvesien kierrätyksen 250 €/ha. Korvausta sääätosalajoituksen hoidosta on maksettu vuosittain hieman yli 40 000 hehtaarille. Valumavesien hallintaan sitoutuneiden lohkojen yhteispinta-ala vuonna 2018 oli 52 901 ha.

HIISI-WAM-skenaariossa on oletettu, että pohjaveden pinnan nostaminen normaalia ojasyvyyttä korkeammalle (-30 cm maanpinnan tasosta) voidaan toteuttaa myös avo-ojiin tehtävillä sääätöpatoilla, jolloin investointikustannus on pienempi kuin sääätosalajoituksessa. Avo-ojiin asennettavia sääätöpatoja on oletettu käytettävän kosteikkoviljelyssä. Säätöpatoja voidaan käyttää myös korkean vedenpinnan nurmiviljelyssä orgaanisilla mailla, mutta suurimmalla osalla rehunurmialasta on käytössä sääätosalajoitus.

Kosteikkoviljeltyjen tuotteiden markkinat ovat toistaiseksi kehittymättömiä, mutta ruokohelvestä ja järviruo'osta valmistetut kasvualustat voivat korvata turpeesta tehtyjä kasvualustoja avomaa- ja kasvihuoneviljelyssä (Särkkä ym. 2016, Lamminen 2020). Ruokohelvelle on myös kuivikekäyttöä (Pulkka 2021). Turvetuotannon alasajosta huolimatta kosteikkoviljely tarvitsee investointitukea pohjaveden pinnan nostamiseen sekä vuosittain maksettavaa hehtaaritukea, koska kosteikkoviljely ei ainakaan alkuvaiheessa ole kilpailukykyinen nykyisten pellonkäyttömuotojen kanssa. Kosteikkoviljelyyn sisältyy myös riski korjuunaikaisesta märkyydestä, jolloin satoa ei saada korjattua.

CAP27-suunnitelmaluonnokseen sisältyvän politiikkaohjauksen lisäksi pohjaveden pinnan korkealla pitämiseen tarvitaan mittauksiin perustuva vedenpinnan tason seuranta. Korkea vedenpinta turvepellolla säilyttää maan eloperäistä ainesta, mutta siihen sisältyy myös riski märkyydestä väärän aikaan, joten märkyydestä johtuvat kustannus- ja tulonmenetyksriskit tulee kompensoida viljelijälle. Tarvittavat taloudelliset kannustimet ja vaatimus vedenpinnan korkealla pitämiseen voidaan sisällyttää viljelijän kanssa tehtävään hoitosopimukseen.

Kerääjäkasvit

CAP27-suunnitelmaluonnoksessa ympäristökorvauksen lohkokohtaiseksi toimenpiteeksi on ehdotettu kerääjäkasvien viljelyä viljelykasvin aluskasvina tai sadonkorjuun jälkeen. Toimenpide edistää hiilen sidontaa ja vesiensuojelua ja parantaa peltomaan rakennetta. Vuonna 2015 kerääjäkasveja viljeltiin noin 250 000 ha:n suuruisella alalla, mutta pinta-ala väheni kerääjäkasveille varatun budjettikatkon takia seuraavina vuosina noin 120 000 ha:n tasolle (Lehtonen ym. 2020). Näin ollen kerääjäkasvialan merkittävä kasvattaminen on mahdollista. WAM-skenaariossa on arvioitu, että kerääjäkasviala on 300 000 ha vuosina 2023–2028 (joka on myös CAP27-suunnitelmaluonnoksessa esitetty pinta-alatavoite vuosina 2026–2027) ja 620 000 ha vuodesta 2029 lähtien. Kerääjäkasvialalle ohjelmakaudella 2014–2020 maksettu korvaus on ollut 100 €/ha. Ympäristökorvausta on maksettu enintään neljäsosalle ympäristösitoumuksen kohteena olevasta korvauskelpoisesta peltoalasta. Kerääjäkasvialan kasvattaminen vaatii pinta-alarajoitteen väljentämistä ja korvaustason nostoa. Kerääjäkasvialalle maksettava osuus ympäristökorvaukseen käytettävissä olevista varoista tulee olemaan merkittävä, sillä jo 100 €/ha korvaustasolla vuosittain maksettava summa on yli 60 milj. euroa vuodesta 2029 lähtien.

Maanparannus- ja saneerauskasvit

Ympäristökorvauksen lohkokohtaisessa maanparannus- ja saneerauskasvit -toimenpiteessä maanparannus- tai saneerauskasveja kasvatetaan edellisenä vuonna yksivuotisten tuotantokasvien viljelyssä olleilla peltolohkoilla. Sama kasvulohko voi olla maanparannus- tai saneerauskasveilla kylvettynä enintään kaksi vuotta peräkkäin. Toimenpiteellä edistetään ilmaston- ja vesiensuojelua sekä monipuolistetaan viljelykiertoa.

Ohjelmakaudella 2014–2020 ympäristökorvausta on maksettu ainoastaan saneerauskasveista sellaiselle peruslohkon alalle, jolle on ilmoitettu perunaa, sokerijuurikasta tai avomaan puutarhakasveja jonakin kolmena tukihakua edeltävänä vuonna. Saneerauskasveille maksettu korvaus on ollut 300 €/ha. Vuonna 2017 saneerauskasviala oli hieman yli 10 000 ha, mutta nykyinen toteutusala on vain runsaat 5 000 ha.

Suomen CAP27-suunnitelmaluonnoksessa toimenpiteeseen on sisällytetty saneerauskasvien lisäksi myös maanparannuskasvit. HIISI-WAM-skenaariossa on arvioitu CAP27-luonnoksen mukaisesti, että toteutusala on vuodesta 2023 lähtien 100 000 ha. Tavoitealan saavuttamiseksi hehtaarikohtaisen korvauksen ei tarvitse olla aiemmin saneerauskasveille maksetun suuruinen, sillä hehtaarikohtaiset tulonmenetykset muiden yksivuotisten kasvien viljelyssä ovat huomattavasti pienemmät kuin perunalla ja sokerijuurikkaalla.

Turvepeltojen nurmet, viherlannoitusnurmet ja biokaasunurmet

CAP27-suunnitelmaluonnoksessa ympäristökorvausjärjestelmään on ehdotettu lohko-kohtaista toimenpidettä suojavyohykkeet ja turvepeltojen nurmet. Suojavyohyke tai turvepellon nurmi on pellolle perustettu, monivuotisen nurmikasvillisuuden peittämä hoidettu peltolohko. Suojavyohykelohkon on sijaittava vesistön varrella, vesistön tulva-alueella, pohjavesialueella tai Natura 2000 –alueella tai ympäristösopimuksella hoidettavan kosteikon reunalla. Kohdentamisalueella oleville suojavyohykkeille on maksettu ympäristökorvausta 500 €/ha. Muulla alueella suojavyohykkeille maksettu ympäristökorvaus on ollut 450 €/ha. Vesistöjen varsille perustettuja suojavyohykkeitä on koko Suomessa ollut viime vuosina noin 55 000 ha, mutta ei ole tiedossa, kuinka paljon niitä on ollut turvepeltolohkoilla. Turvepellon nurmi on uusi toimi. Turvepellolle perustetun nurmen ei tarvitse sijaita vesistön varrella, mutta jos nurmi perustetaan turvepellolle, lohkoilla on pitänyt viljellä yksivuotista viljelykasvia edellisellä vuonna. Turvepeltojen nurmilla tavoitellaan ennen kaikkea kasvihuonekaasupäästöjen vähentämistä, koska päästökerroin pienenee huomattavasti, kun yksivuotisen kasvin sijaan turvepeltolohkolla viljellään suojavyohykkeen hoitoehtojen mukaan hoidettua monivuotista nurmea. WAM-skenaariossa on arvioitu, että turvepeltojen nurmien toteutusala vuodesta 2023 lähtien on 20 000 ha. Pinta-ala-arvio on suhteellisen pieni siksi, että pellon on pitänyt olla ainakin edeltävä vuosi yksivuotisen kasvin viljelyssä.

Viherlannoitusnurmet on ekojärjestelmään ehdotettu toimenpide, joka lisää hiilisyötettä peltoon ja vähentää keinolannoitetyypen käyttöä, koska viljelykierron välikasvina käytetyn viherlannoitusnurmen siemenseoksen painosta vähintään viidesosan on oltava typensitojakasveja. Viherlannoitusnurmelle voi hakea viherlannoitusnurmien tuen lisäksi ekojärjestelmän talviaikaisen kasvipeitteisyyden tukea. WAM-skenaariossa yksivuotisia viljelykasveja korvaavaa viherlannoitusnurmea on oletettu olevan kivennäismailla vuonna 2023 yhteensä 20 000 ha ja vuonna 2040 yhteensä 70 000 ha. Ohjelmakauden 2014–2020 loppupuolella ympäristökorvauksen viherlannoitusala on ollut alle 15 000 ha. Ohjelmakaudella 2014–2020 viherlannoitusnurmille maksettu ympäristökorvaus on ollut 54 €/ha, mutta korvauksen tulee olla suurempi, jotta viherlannoitusala lisääntyisi.

Biokaasulaitoksiin ohjautuvan nurmen tuotantoalat sijoittuvat pääasiassa Etelä-Suomen savi- ja kivennäismailla, joille tarvitaan hiilisyötettä ja joiden läheisyydessä nurmelle ei ole rehukäyttöä. Biokaasunurmi on enimmäkseen apilanurmea tai jotain muuta palkokasvia sisältävää nurmiseosta, jolloin tehostuva ravinnekierto vähentää epäorgaanisen typpilannoitteen tarvetta. Yksivuotisia viljelykasveja korvaavan, biokaasutuotantoon päätyvän nurmen tuotantopinta-alan arvioitiin olevan biokaasutuotannon kannustimia sisältävässä WAM-skenaariossa 4 138 ha vuonna 2023, 33 103 ha vuonna 2030 ja 74 483 ha vuonna 2040. Biokaasulaitosten rakentaminen ja ravinnekierrätyksen järjestäminen edellyttää runsasta tukea investointiavustuksiin.

4.2.3 Rypsipuristeruokinta ja täsmäviljely

Lypsylehmien rypsipuristeruokinnan on ruokintakokeissa todettu vähentävän lehmien päiväkohtaisia metaanipäästöjä noin 5 % (Sairanen 2021) rypsirouheruokintaan verrattuna. Tämän suuruinen päästövähennys saadaan keskimääräisellä lypsylehmien ruokinnalla, jossa karkearehun osuus on noin 52 % ja väkirehun noin 48 % (Huhtamäki 2021). Rypsirouheen ja rypsipuristeiden hintojen perusteella voidaan päästövähennyksen hinnaksi laskea noin 150 €/t CO₂-ekv. (Luken toistaiseksi julkaisematon laskelma). Osalla lypsylehmistä, joilla karkearehun osuus on selvästi suurempi, rypsipuristeiden mukaan ottaminen ruokintaa rypsirouheen sijasta voidaan päästä 10 % metaanipäästöjen vähennykseen maitolitran kohden. Koska keskimääräisellä lypsylehmien ruokinnalla päästään siis vain noin 5 % metaanipäästöjen vähennykseen, tarvitaan muita myös muita rehun lisäaineita, joita tutkitaan Euroopassa ja Pohjois-Amerikassa. Uusilla lähi-vuosina markkinoille tulevilla rehujen lisäaineilla voidaan päästä selvästi yli 10 % vähennykseen lypsylehmien metaanipäästöissä (Arndt ym. 2021). Tällaisten rehun lisäaineiden tulee kuitenkin olla hinnaltaan edullisia, jotta päästövähennyskustannus ei nousisi korkeaksi. Lisäaine, kuten lehmien ruokintaan hyvin soveltuva rypsipuriste, voi kuitenkin lisätä lehmäkohtaisen ruokinnan kustannusta merkittävästi. Se tulisi korvata viljelijöille, jotta lisäaineen käyttö olisi taloudellisesti mahdollista. Taakanjakosektorin päästöjen vähentäminen rehun lisäaineilla, kuten rypsipuristeiden käytöllä, ei toistaiseksi vaikuta taloudellisesti eikä tuotannollisesti järkevältä korkeiden päästövähennyskustannusten vuoksi. Rehun lisäaineiden käyttö voi kuitenkin olla yksi keino vähentää maataloussektorin kasvihuonekaasupäästöjä (osana taakanjakosektorin päästöjä), koska siihen käytettävissä olevat keinot ovat hyvin rajalliset maataloustuotantoa vähentämättä.

Täsmäviljelyssä keskeistä on viljelytoimenpiteiden säätäminen peltolohkon vaihtelevien sadontuotanto-ominaisuuksien ja paikkakohtaisen satopotentialin mukaan. Täsmäviljelyn avulla voidaan tehostaa keinolannoitteiden ja lannan ravinteiden käyttöä, jolloin aiemmat sadot on mahdollista saada vähäisemmällä lannoituksella. Samalla täsmäviljelyn avulla vähennetään lannoituksen dityppioksidipäästöjä. On olemassa viitteitä siitä, että elintarviketeollisuus kannustaa viljelijöitä yllannoituksen ehkäisyyn ja lannoitteiden tarkkaan käyttöön sopimusehdoissaan osana vastuullisuusohjelmiaan. Tätä kautta täsmäviljely saattaa yleistyä nopeastikin, vaikka se alkuvaiheessa aiheuttaa lisäkustannuksia viljelijöille. CAP27-suunnitelmassa täsmäviljelyyn siirtymistä edistetään ympäristökorvauksen tilakohtaisen toimenpiteen valinnaisilla vaatimuksilla, joita ovat muun muassa satokartoitus, tuotantopanosten paikkakohtaisen levityksen mahdollistava automatiikka ajo-opastiminen ja kasvustosensoirit sekä automaattiohjauksella varustetut liikkuvat työkoneet. Tilakohtaisen toimenpiteen korvaustasoiksi on suunniteltu peltokasveille 46 €/ha ja puutarhakasveille 66 €/ha. Valinnaisia toimenpiteitä on valittava kaksi ja niistä maksettava korvaus sisältyy edellä mainittuihin korvauksiin. Lisäksi WAM-skenaariossa on oletettu, että täsmäviljelyn lisääntymistä edistetään investointituilla.

4.2.4 Maataloustuotannon ja pellonkäytön kehitys

Lisätoimien seurauksena maataloustukien piirissä oleva ala pienenee WAM-skenaariossa vuoteen 2030 mennessä 64 000 ha enemmän kuin WEM-skenaariossa, jossa maataloustukikelpoinen peltoala pysyy likimain ennallaan. Turvemaidilla tukikelpoisen maatalousmaa-alan vähennys on WAM-skenaariossa 39 000 ha ja kivennäismailla 24 000 ha.

Viljan viljelyala vähenee noin 10 % molemmissa (WEM ja WAM) skenaarioissa, mutta viljan kokonaistuotanto ei kuitenkaan vähene yhtä paljon koska viljanviljely keskittyy paremmin tuottaville peltolohkoille. Todellisen lohkoakohtaisen viljelykierron lisääntymisen ja uusiin kasvilajikkeisiin siirtymisen yhteisvaikutuksena viljelykasvien satotasot nousevat WAM-skenaariossa 2,5 % vuoteen 2035 mennessä ja 5 % vuoteen 2050 mennessä.

Maidontuotanto hyötyy paremmasta satotasosta. Maidontuotannon kokonaismäärä vähenee WAM-skenaariossa 2 % vuodesta 2020 vuoteen 2050, kun vähennys WEM-skenaariossa oli noin 7 %. Lypsylehmien lukumäärä vähenee WAM-skenaariossa vuoden 2019 262 000 lypsylehmän tasolta tasolle 196 000 lypsylehmää vuoteen 2050. WEM-skenaariossa lypsylehmien lukumäärä vähenee 187 000 lypsylehmään vuoteen 2050. WAM-skenaariossa on siten lypsylehmiä noin 5 % enemmän kuin WEM-skenaariossa vuosina 2035 ja 2050, mutta emolehmiä on WAM-skenaariossa noin 5 000 vähemmän kuin WEM-skenaariossa. Nautoja on kokonaisuudessaan vuosina 2035 ja 2050 vain vähän enemmän WAM-skenaariossa kuin WEM-skenaariossa.

WAM-skenaariossa maataloustulo koko maan tasolla on 1,5 % korkeampi kuin WEM-skenaariossa 2050. Tämä johtuu pitkälti paremman satotason tuomasta tuottavuushyödyistä. Maataloustulon kehityksessä ei ole otettu huomioon sitä, että osalla maataloista lisätoimista maksettava korvaus kattaa toimiin kuluvan viljelijän työn kustannuksen ja muut välittömät kustannukset. Kun ilmastotoimissa korvataan viljelijän omaa työtä, se lisää maataloustuloa. Maataloustulo on määritelmänsä mukaan viljelijän omalle työlle ja omalle pääomalle jäävä korvaus, kun tuotoista on vähennetty kaikki kustannukset, ml. ulkopuolisen pääoman kustannukset. Koska WAM-skenaariossa tehdään enemmän ilmastotoimia kuin WEM-skenaariossa, myös toimista aiheutuvia kustannuksia ja tulonmenetyksiä korvataan viljelijöille WAM-skenaariossa enemmän kuin WEM-skenaariossa. Tähän liittyvät laskelmat voidaan tehdä vasta lisätoimia vastaavien korvaustasojen täsmentyessä.

Typen käytön tehokkuus kasvaa ja typpilannoitusta tarvitaan täsmäviljelyn ansiosta 10 % vähemmän vuonna 2040 kuin 2019. Samalla satotaso nousee noin 5 % osin myös uusien tyyppä aiempaa paremmin hyödyntävien kasvilajikkeiden avulla vuoteen

2050 mennessä. Sekä keinolannoitetytyn että lannan ja muiden orgaanisten lannoitteiden tyypin käyttö tehostuu, minkä tuloksena keinolannoitetytpeä ei enää tarvita yhtä paljon kuin aiemmin. Täsmäviljelyn tuloksena keinolannoitteiden käyttö vähenee WAM-skenaariossa 14 %. Maataloussektorilla saadaan rypsipuristeen sekä 3-nitro-oksipropanolin (3-NOP) ja punalevälisäaineiden käytöllä lypsylehmien ruokinnassa lisävähennys metaanipäästöihin vuoteen 2035 mennessä WEM-skenaarioon verrattuna.

Kesantoala nousee WEM-skenaariossa lähes 400 000 hehtaarin tasolle vuoteen 2050 mennessä, mutta WAM-skenaariossa kesantoalan kasvu pysähtyy noin 300 000 hehtaarin tasolle. Tämä johtuu biokaasunurmien alan lisäyksestä ja siitä, että WAM-skenaariossa peltoa poistuu viljelyksestä ja maataloustukien piiristä 64 000 ha, jolloin kesannolle jää vähemmän tilaa, vaikka sitä kannustetaan viherlannoitusnurmien ja saneerauskasvien tuilla. Näiden tukien tavoitteena on pellon kasvukunnon parantaminen, hiilen sidonnan lisääminen ja ne myötävaikuttavat myös satotason pieneen kasvuun. Pellon hylkääminen on WAM-skenaariossa WEM-skenaarioon verrattuna vähäisempää: WEM-skenaariossa hylättyjen peltojen määrä kasvaa, WAM-skenaariossa vähenee, mikä näkyy ruohikkoalueiden pinta-alan kehityksessä (luku 4.5, kuvio 12). Ruohikkoalueet ovat enimmäkseen hylättyjä peltoja.

4.2.5 Kustannusarvio HIISI-WAM toimista maataloudessa

Maatalouteen ja sen maankäyttöön liittyvien toimenpiteiden kannustimien kustannukset laskettiin HIISI-WAM-skenaariossa muutosalojen ja alustavasti arvioitujen palkkiotulojen perusteella. Näin saadaan arvioitua myös HIISI-WAM -ohjausten kustannusta.

Kustannusarviossa keskityttiin suoriin pinta-alamuutosten kustannuksiin, tiettyihin peltoaloilla tehtäviin toimiin, joille maksetaan esim. hoitopalkkiota, sekä täsmäviljelyn kannustimiin ja lisäksi nautojen metaanipäästöjen vähentämiseen liittyviin kustannuksiin.

Turvepeltojen raivauksen vähentämistä ei lasketa tai huomioida politiikkatoimien kustannukseksi, vaikka siihen liittyvät toimet todellisuudessa aiheuttavat hallinnollisia kustannuksia. Niiden selvittämiseen ei ollut käytettävissä aineistoa tai arvioita. Turvepeltojen raivauksen vähentämisellä on myös vaikutuksia toimijoihin ja heidän investointipäätöksiinsä, joiden vaikutuksia mm. investointien kohdentumiselle pääsääntöisesti kivennäismaalajia oleville alueille ei voitu tässä ottaa huomioon.

Laskelmat tehtiin Excel-pohjaisina laskelmina hyödyntäen Suomen CAP-suunnitelmassa esitettyjä tietoja nykyisen vastaavanlaisen ohjauksen (esim. tuet kerääjäkasveilla ja maanparannus- ja saneerauskasveille) korvaustasosta sekä arvioita tarvittavasta aiempaa korkeammasta korvaustasosta, jos toimenpiteen laajuutta eli ”suosiota” viljelijöiden keskuudessa pyritään lisäämään. Joissain tapauksissa, kuten maanparannus- ja saneerauskasvien kohdalla, aiempaa korvaustasoa voidaan perustellusti alentaa.

Maankäytön muutosalat ja muut päästövähennystoimet

Seuraavassa taulukossa 5 on esitetty kootusti HIISI-WAM-skenaarion toimenpiteisiin liittyvät ohjaukset. WAM-skenaarion lisätoimien tuloksena syntyy maankäytön muutoksia, kun muista maankäyttöluokista siirtyy maata maatalousmaaksi tai maatalousmaata siirtyy muuhun maankäyttöön. Taulukosta 5 huomataan metsitettyjen pinta-alojen ja kosteikkojen pinta-alojen kasvu vuotta 2040 kohden. Tämä tarkoittaa sitä, että kosteikoille ja metsitysaluille maksettavat hoitopalkkiot ja kerääjäkasvien ja maanparannus- ja saneerauskasvien palkkioiden kokonaissumma – jotka ovat tavoitteellisia, jotta aiottuihin kasvihuonekaasupäästöjen vähennyksiin päästään – nousevat vuosien mittaan vuotta 2040 kohden.

Arvioidut kustannukset julkiselle vallalle

HIISI-WAM-skenaarion maataloutta koskevan politiikkaohjauksen kustannukseksi julkiselle vallalle laskettiin 1870 milj. € koko ajanjaksolle 2023–2040. Keskimäärin vuotta kohden päästövähennystoimiin kuluisi laskelman mukaan julkista rahaa noin 105 milj. € vuotta kohden. Tämä on saatu jakamalla 2023–2040 ajanjakson kokonaiskustannukset jakson vuosien kokonaismäärällä eli 18:lla.

Lisäksi laskettiin kustannukset erikseen vuotta kohden vuosille 2023, 2027, 2030, 2035 ja 2040. Alkuvaiheessa eli 2023 alkaen politiikkatoimien kustannukset ovat selvästi pienemmät kuin loppuvaiheessa lähempänä vuotta 2040. Pääpiirteittäin arvioidut kustannukset esitetään taulukossa 6.

Maatalouden päästövähennystoimien kustannukset WAM-skenaariossa yhteensä arvioidaan olevan noin 58 milj. € vuonna 2023, 115 milj. € vuonna 2030 ja noin 137 milj. € vuonna 2040 (taulukko 6). Syy nouseville kustannuksille on se, että märkien turve maiden ja metsitysalojen ja vuosittaisten hoitopalkkioiden kokonaismäärä kasvaa.

Päästövähennys kasvaa ajanjaksolla sitä mukaa kuin vähennystoimia saadaan toteutettua (taulukko 7).

Taulukko 5. Maatalouteen liittyvien maankäytön muutosten ja pellonkäytön tukialat HIISI-WAM-skenaariossa.

	Tukiala, ha				
	2023	2027	2030	2035	2040
Ympäristökorvaus turvemaan nurmiviljelyyn, joka korvaa yksivuotisten kasvien viljelyä	20 000	20 000	20 000	20 000	20 000
Hoitopalkkio turvemaan nurmiviljelyyn korotetulla -30 cm vedenpinnalla	3 333	16 665	26 664	39 996	53 077
Investointiavustus turvemaan nurmiviljelyyn korotetulla -30 cm vedenpinnalla	3 333	3 333	3 333	3 333	3 333
Hoitopalkkio turvemaan kosteikkoviljelyyn (ruokohelpi, järviruoko)	650	2 932	5 833	8 796	13 333
Investointiavustus turvemaan kosteikkoviljelyyn (ruokohelpi, järviruoko)	733	733	733	733	733
Hoitopalkkio hylätyn turvepellon metsitykseen	650	3 250	5 200	8 450	11 716
Metsityspalkkio hylätyn turvepellon metsitykseen	650	650	650	650	650
Hoitopalkkio hylätyn kivennäismaapellon metsitykseen,	2 285	11 425	18 280	29 705	41 127
Metsityspalkkio hylätyn kivennäismaapellon metsitykseen	2 285	2 285	2 285	2 285	2 285
Hoitopalkkio turvepellon metsitykseen,	0	2 664	4 662	7 992	11 322
Metsityspalkkio turvepellon metsitykseen		666	666	666	666
Hoitopalkkio kivennäismaapellon metsitykseen		5 119	9 919	14 719	20 719
Metsityspalkkio kivennäismaapellon metsitykseen	319	1 200	1 200	1 200	1 200

	Tukiala, ha				
	2023	2027	2030	2035	2040
Hoitopalkkio turvemaan ilmastokosteikolle (vedenpinta -5–10 cm),	556	2 780	4 448	7 228	10 200
Perustamistuki turvemaan ilmastokosteikolle (vedenpinta -5–10 cm),	556	556	556	556	556
Ympäristökorvaus kerääjäkasveille kivennäismailla	300 000	300 000	620 000	620 000	620 000
Ekojärjestelmän tuki viherlannoitusnurmelle kivennäismailla	20 000	20 000	70 000	70 000	70 000
Ympäristökorvaus maanparannus- ja saneerauskasveille kivennäismailla	100 000	100 000	100 000	100 000	100 000
Tuki täsmäviljelyyn	10 000	50 000	100 000	200 000	400 000
Tuki biokaasunurmelle kivennäismailla	4 138	12 414	33 103	53 793	74 483
Lypsylehmien metaanipäästöjen alentaminen, milj. t CO₂-ekv.	0	0,05	0,07	0,1	0,1

Taulukko 6. Arvioidut julkisen vallan kustannukset (milj. €) maatalouden HIISI-WAM-toimissa. Huom! Näillä julkisen vallan maksamilla kustannuskorvauksilla katetaan toimijoiden kustannuksia.

	€/ha	milj. €/v				
	Keskiarvo	2023	2027	2030	2035	2040
Ympäristökorvaus turvemaan nurmiviljelyyn, joka korvaa yksivuotisten kasvien viljelyä	150	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Hoitopalkkio turvemaan nurmiviljelyyn korotetulla -30 cm vedenpinnalla	200	0,7	3,3	5,3	8,0	10,6
Investointiavustus turvemaan nurmiviljelyyn korotetulla -30 cm vedenpinnalla	2 000	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7
Hoitopalkkio turvemaan kosteikkoviljelyyn (ruokohelpi, järviruoko)	400	0,3	1,2	2,3	3,5	5,3
Investointiavustus turvemaan kosteikkoviljelyyn (ruokohelpi, järviruoko)	5 000	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7
Hoitopalkkio hylätyn turvepellon metsitykseen	50	0,0	0,2	0,3	0,4	0,6
Metsityspalkkio hylätyn turvepellon metsitykseen	2 000	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
Hoitopalkkio hylätyn kivennäismaapellon metsitykseen	50	0,1	0,6	0,9	1,5	2,1
Metsityspalkkio hylätyn kivennäismaapellon metsitykseen	1 500	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4
Hoitopalkkio turvepellon metsitykseen,	50	0,0	0,1	0,2	0,4	0,6
Metsityspalkkio turvepellon metsitykseen	5 000	0,0	3,3	3,3	3,3	3,3
Hoitopalkkio kivennäismaapellon metsitykseen	50	0,0	0,3	0,5	0,7	1,0

	€/ha	milj. €/v				
	Keskiarvo	2023	2027	2030	2035	2040
Metsityspalkkio kivennäis- maapellon metsitykseen	5 000	1,6	6,0	6,0	6,0	6,0
Hoitopalkkio turvemaan ilmastokosteikolle (vedenpinta - 5–10 cm)	400	0,2	1,1	1,8	2,9	4,1
Perustamistuki turvemaan ilmastokosteikolle (vedenpinta - 5–10 cm)	5 000	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8
Ympäristökorvaus kerääjäkasveille kivennäismailla	80	24,0	24,0	49,6	49,6	49,6
Ekojärjestelmän tuki viher- lannoitusnurmelle kivennäismailla	60	1,2	1,2	4,2	4,2	4,2
Ympäristökorvaus maan- parannus- ja saneeraus- kasveille kivennäismailla	90	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0
Tuki täsmäviljelyyn	15	0,2	0,8	1,5	3,0	6,0
Tuki biokaasunurmelle kivennäismailla	50	0,2	0,6	1,7	2,7	3,7
Lypsylehmiä metaani- päästöjen alentaminen, milj. t CO₂-ekv.	100	0,0	5,0	7,0	10,0	10,0
YHTEENSÄ		58,3	77,5	114,5	126,1	137,0

Taulukko 7. Arvioidut päästövähennykset (milj. t CO₂-ekv.) eri maatalouden toimissa HIISI-WAM-skenaariossa. Huom! Päästövähennyslaskelma eri toimille on tehty pyöristetyillä kertoimilla ja siinä on siksi epätarkkuuksia.

	kerroin t CO ₂ -ekv.	2030	2035	2040
Ympäristökorvaus turvemaan nurmiviljelyyn, joka korvaa yksivuotisten kasvien viljelyä	10	0,20	0,20	0,20
Hoitopalkkio turvemaan nurmiviljelyyn korotetulla -30 cm vedenpinnalla	10	0,27	0,40	0,53
Investointiavustus turvemaan nurmiviljelyyn korotetulla -30 cm vedenpinnalla				
Hoitopalkkio turvemaan kosteikkoviljelyyn (ruokohelpi, järviruoko)	10	0,06	0,09	0,13
Investointiavustus turvemaan kosteikkoviljelyyn (ruokohelpi, järviruoko)				
Hoitopalkkio hylätyn turvepellon metsitykseen	1	0,01	0,01	0,01
Metsityspalkkio hylätyn turvepellon metsitykseen				
Hoitopalkkio hylätyn kivennäismaapellon metsitykseen, v. 2+8	1	0,02	0,03	0,04
Metsityspalkkio hylätyn kivennäismaapellon metsitykseen				
Hoitopalkkio turvepellon metsitykseen	11	0,05	0,09	0,12
Metsityspalkkio turvepellon metsitykseen				
Hoitopalkkio kivennäismaapellon metsitykseen	1	0,01	0,01	0,02
Metsityspalkkio kivennäismaapellon metsitykseen				
Hoitopalkkio turvemaan ilmastokosteikolle (vedenpinta -5–10 cm)	21	0,9	0,15	0,21
Perustamistuki turvemaan ilmastokosteikolle (vedenpinta -5–10 cm)				
Ympäristökorvaus kerääjäkasveille kivennäismailla	0,5	0,31	0,31	0,31
Ekojärjestelmän tuki viherlannoitusnurmelle kivennäismailla	13	0,075	0,07	0,07

	kerroin t CO ₂ -ekv.	2030	2035	2040
Ympäristökorvaus maanparannus- ja saneerauskasveille kivennäismailla	1	0,1	0,1	0,1
Tuki täsmäviljelyyn	0,50	0,05	0,10	0,20
Tuki biokaasunurmelle kivennäismailla	1	0,03	0,05	0,07
Lypsylehmiä metaanipäästöjen alentaminen, milj. t CO₂-ekv.		0,07	0,10	0,10
YHTEENSÄ		1,37	1,76	2,19

Kustannukset per saavutettu päästövähennystonni (taulukko 8) alenevat tasolta €84 tasolle €63 v. 2023–2040. Edullisimmat päästövähennykset saadaan turvepelloilta (noin €20/t CO₂-ekv.) ja kalleimmat kivennäismaiden toimista ja lehmien metaanipäästöjen vähentämisestä (ylinoi €100/t CO₂-ekv.). Päästövähennyskustannus €/t CO₂-ekv. yhteensä alenevat vuosien yli samalla kun kustannusvaikuttavien toimien kokonaisala ja soveltaminen vähitellen kasvaa niihin investoitaessa.

Metsityksestä saadaan hyvin vähäiset päästövähennykset vuoteen 2040 mennessä, mikä nostaa keskimääräistä päästövähennyskustannusta vuosina 2023–2040, mutta metsityksen päästövähennys nousee ja sen kustannus vähenee merkittävästi vasta 20 vuoden kuluttua metsityksestä eli vuoden 2043 jälkeen. Edellä mainituissa kustannuksissa on merkittävää epävarmuutta vähintään ±20 %.

Esimerkki päästövähennyskustannusten vaihtelusta ja epävarmuudesta on turvemaiden säätösalaajituksen päästövähennyskustannus. Jos viljelijää kannustetaan päästöjen vähentämiseen maankäyttöä koskevalla päästövähennyspalkkiolla (tai päästöverolla, jonka tulonmenetys puolestaan päästövähennyspalkkio korvaa), Purola & Lehtonen (2021) arvioivat säätösalaajitusinvestoinnin kannattavaksi, jos päästövähennyspalkkio on runsaat €15/t CO₂-ekv. viljatilalla, jolla 10 % turvemaita koko peltoalasta. Jos kuitenkin viljelijällä on 30 % turvemaata peltoalasta, tarvitaan €12/t CO₂-ekv. jotta viljelijän kannattaisi säätösalaajittaa 2/3 turvemaistaan, ja noin €15/t CO₂-ekv. jotta viljelijä säätösalaajittaisi kaikki turvepeltonsa. Lypsykarjatilan tapauksessa säätösalaajitus tulee kannattavaksi, jos maksetaan päästövähennyspalkkiot €18/t CO₂-ekv. ja €19/t CO₂-ekv. jos turvemaita on 10 % ja 30 % peltoalasta. Näillä ohjauksilla tulee kalettua myös tuetun säätösalaajitusinvestoinnin (tuki 40 % investointimenosta) viljelijän maksuosuus ja vuosittainen ylläpitokustannus.

Taulukko 8. Arvioidut päästövähennyskustannukset (€/t CO₂-ekv.) eräissä maatalouden toimissa HIISI-WAM-skenaariossa. Huom! Päästövähennyskustannus €/t CO₂-ekv. yhteensä alenevat vuosien yli samalla kun kustannusvaikuttavien toimien kokonaisala ja soveltaminen vähitellen kasvaa niihin investoitaessa.

	2030	2035	2040
Ympäristökorvaus turvemaan nurmiviljelyyn, joka korvaa yksivuotisten kasvien viljelyä	15	15	15
Hoitopalkkio turvemaan nurmiviljelyyn korotetulla -30 cm vedenpinnalla	20	20	20
Investointiavustus turvemaan nurmiviljelyyn korotetulla -30 cm vedenpinnalla			
Hoitopalkkio turvemaan kosteikkoviljelyyn (ruokohelpi, järviruoko)	40	40	40
Investointiavustus turvemaan kosteikkoviljelyyn (ruokohelpi, järviruoko)			
Hoitopalkkio hylätyn turvepellon metsitykseen	50	50	50
Metsityspalkkio hylätyn turvepellon metsitykseen			
Hoitopalkkio hylätyn kivennäismaapellon metsitykseen, v. 2+8	50	50	50
Metsityspalkkio hylätyn kivennäismaapellon metsitykseen			
Hoitopalkkio turvepellon metsitykseen	4,5	4,5	4,5
Metsityspalkkio turvepellon metsitykseen			
Hoitopalkkio kivennäismaapellon metsitykseen	50	50	50
Metsityspalkkio kivennäismaapellon metsitykseen			
Hoitopalkkio turvemaan ilmastokosteikolle (vedenpinta -5–10 cm)	19	19	19
Perustamistuki turvemaan ilmastokosteikolle (vedenpinta -5–10 cm)			
Ympäristökorvaus kerääjäkasveille kivennäismailla	160	160	160
Ekojärjestelmän tuki viherlannoitusnurmelle kivennäismailla	60	60	60
Ympäristökorvaus maanparannus- ja saneerauskasveille kivennäismailla	90	90	90
Tuki täsmäviljelyyn	30	30	30
Tuki biokaasunurmelle kivennäismailla	50	50	50
Lypsylehmien metaanipäästöjen alentaminen, milj. t CO₂-ekv.	100	100	100
YHTEENSÄ	83,8	71,7	62,5

Päästövähennyskustannukseen vaikuttaa säätösaloituksen tapauksessa myös, se millä etäisyydellä turvemaalajia olevat pellot sijaitsevat maatalouden talouskeskuksesta, mikä on korjatun sadon arvo viljelijälle, ja muuttuuko satotaso tai riski sadon laadun heikkenemisestä säätösaloituksen ja veden pinnan säädön seurauksena. Näillä perusteilla tähän laskelmaan oletettiin päästövähennyskustannukseksi koituvan julkiselle vallalle noin €20/t CO₂-ekv., jos turvepelto on jo säätösaloitettu. Jotta säätösaloitettujen turvepeltojen ala kasvaisi, se edellyttää myös jatkossa 40 % investointituen maksamista säätösaloituksille, mikä on edellä esitetyissä laskelmissa otettu huomioon. Pelkän investointituen maksaminen ei kuitenkaan takaa sitä, että turvepellon vedenpintaa todella säädetään esim. 30 cm vuosikeskiarvoon maan pinnan alapuolelle, vaan päästövähennysten saavuttaminen edellyttää vuosittaista kannustinta viljelijälle. Päästövähennyksen ollessa noin 10 t/ha suuruudeltaan noin €20/t CO₂-ekv. päästövähennyspalkkio olisi näin ollen viljelijälle noin €200/ha suuruinen.

Muissa toimenpiteissä voidaan tehdä vastaavanlaisia arvioita päästövähennyskustannusten vaihtelusta ja epävarmuudesta, mutta se vaatii lisää aineistoja ja niiden analyysiä, jotta kustannusten epävarmuus vähenisi. Karkeasti arvioiden päästövähennyskustannusten epävarmuudeksi voidaan arvioida vähintään noin 20 % suuntaansa (± 20 %) edellä esitetyn esimerkin perusteella.

Alustavia johtopäätöksiä maatalouden päästövähennyskustannuksista

Maataloudessa ja sen maankäytössä on mahdollisuus kustannusvaikuttaviin päästövähennystoimiin. Toimet turvemailla tuottavat noin €20/t CO₂-ekv. hintaisia päästövähennyksiä, mutta maatalouden taakanjakosektorin toimet maksavat €100/t CO₂-ekv. molemmin puolin. Näissä kustannuksissa on merkittävää epävarmuutta, joka liittyy toimenpidekohtaisiin kustannuksiin hehtaaria kohden, sekä myös siihen, miten laajasti kutakin toimenpidettä voidaan arvioidulla kustannuksella toteuttaa. Tätä ei voi varmasti tietää, ennen kuin toimia lähdetään laajassa mittakaavassa toteuttamaan. Siksi yllä esitettyjä kustannuslaskelmia voidaan pitää lähinnä suuntaa antavina.

4.3 Metsäteollisuuden tuotantomäärät ja metsähakkeen sekä pientalojen polttopuun käyttö

Antti Mutanen, Jari Viitanen

Metsäteollisuustuotteiden tuotantomäärien kehityskulut sekä WEM- että WAM-skenaarioissa ovat samat, ja ne pohjautuvat Metsäteollisuus ry:n ilmastotiekartassa ja sen taustaselvityksissä sekä Sahateollisuus ry:n hiilitiekartassa esitettyihin perusuriin Suomen metsäteollisuuden kehityksestä (Metsäteollisuus ry 2020, AFRY/Pöyry 2020, Sahateollisuus ry 2020). Metsäteollisuus ry:n ilmastotiekartan metsäteollisuuden tuotanto perustuu Pöyryn/AFRYn ennusteisiin eri tuoteryhmien globaalin kysynnän kehityksestä vuoteen 2030 saakka. Tämän jälkeen Metsäteollisuus ry:n ilmastotiekartan tuotantomäärät on ekstrapoloitu sovittaen Luken tekemään ilmastotiekartan osaan metsien käsittelyistä, hakkuumääristä sekä puuston ja maaperän hiilitaseista (Luke 2020). Sahateollisuus ry:n hiilitiekartan perusurassa sahatavaran tuotantomäärä noudattelee Koljonen ym. (2020) -raportin WEM-skenaariota, joka puolestaan pohjautuu Pöyryn ennusteisiin Suomen metsäteollisuuden kehityksestä (Pöyry 2016).

Tämän raportin skenaario massa- ja paperiteollisuuden tuotantomäärien kehityskuluista noudattaa kehityssuunnitlaan Metsäteollisuus ry:n ilmastotiekarttaa, mutta tuotannon tasoja on etenkin paperin ja kartongin osalta tarkistettu vastaamaan viimeaikaisia kapasiteettimuutoksia. Skenaariossa paperien tuotanto vähenee Suomessa edelleen, sen sijaan kartongin tuotanto kasvaa vuoteen 2035 saakka tasaantuen tämän jälkeen. Mekaanisten massojen tuotanto laskee aluksi paperin tuotannon vähenemisen seurauksena. Kartongin tuotantomäärien kasvu kuitenkin tukee mekaanisten massojen tuotantoa ja mekaanisten massojen tuotannon väheneminen pysähtyy ja kääntyy lievään kasvuun vuoteen 2030 mennessä. Sellun tuotantomäärien kehityksessä on otettu huomioon ilmoitettu sellutehdasinvestointi Kemiin. Uutta havusellukapasiteettia on lisäksi oletettu syntyvän Pohjois-Suomeen noin 500 000 tonnin verran vuoteen 2035 mennessä, minkä jälkeen sellun kokonaistuotantomäärät eivät Suomessa enää kasva.

Puutuoteteollisuuden skenaario vastaavat Sahateollisuus ry:n hiilitiekartan perusuraa sekä Koljonen ym. (2020) -raportin WEM-skenaariota. Sahatavaran tuotanto kasvaa maltillisesti nykyisestä 11 miljoonasta kuutiometrillä vajaaseen 12,5 miljoonaan kuutiometriin vuoteen 2035 mennessä. Vanerin (ml. viilupuu) tuotantomäärät kasvavat myös maltillisesti nykyisestä vajaasta miljoonasta kuutiometrillä reiluun 1,1 miljoonaan kuutiometriin vuoteen 2035 mennessä. Muiden puulevyjen tuotantomäärät pysyvät likimain nykytasolla.

Metsäteollisuuden käyttöön päätyvän raakapuun tuonnin oletetaan skenaarioissa pysyvän samalla tasolla kuin vuosina 2015–2019 keskimäärin. Raakapuun viennin oletetaan sellun tuotannon kasvun vuoksi painuvan vähäiseksi. Sellun tuonnin oletetaan pysyvän samalla tasolla kuin keskimäärin vuosina 2015–2019.

Metsäteollisuuden tuotantomäärien sekä metsäteollisuuden puun tuonnin oletetaan olevan samat tämän raportin WEM- ja WAM-skenaarioissa. Lisäksi metsäteollisuuden tuotannon resurssitehokkuuden oletetaan pysyvän nykytasolla molemmissa skenaarioissa. Tämän vuoksi metsäteollisuuden kotimaiseen puuhun kohdistuva tarve on sama sekä WEM- että WAM-skenaariossa.

Taulukko 9. Metsäteollisuuden tuotantomäärät 2010–2040 WEM- ja WAM-skenaarioissa. Vuosien 2010–2020 luvut perustuvat tilastoihin (Luke 2021a). Vuosien 2025–2040 luvut perustuvat metsäteollisuuden tuotantoskenaarioon.

Tuote	Yksikkö	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
Paperi	1 000 t	8 929	7 254	4 520	3 590	3 428	3 296	3 162
Kartonki	1 000 t	2 830	3 065	3 690	4 123	4 491	4 921	4 921
Paperi + kartonki	1 000 t	11 759	10 319	8 210	7 713	7 919	8 217	8 083
Markkinasellu, netto*	1 000 t	1 582	2 522	3 702	4 822	5 344	5 739	5 739
Sahatavara	1 000 m ³	9 473	10 641	10 916	11 580	12 260	12 350	12 440
Vaneri (sis. LVL)	1 000 m ³	980	1 150	990	1 150	1 140	1 140	1 140
Lastu- ja kuitulevy	1 000 m ³	340	132	135	141	146	148	150

*Markkinasellu, netto = sellun vienti - sellun tuonti

Puun energiakäytön eli metsähakkeen ja pientalojen polttopuun käyttömäärien osalta WEM- ja WAM-skenaariot eroavat toisistaan. Molemmissa skenaarioissa kotimaisen metsähakkeen käytön oletetaan lämpö- ja voimalaitoksissa kasvavan merkittävästi 2020-luvulla. WEM-skenaariossa käyttö kuitenkin tasoittuu vuoden 2025 jälkeen, kun taas WAM-skenaariossa käyttö kasvaa vuoteen 2035 saakka. Lisäksi WAM-skenaariossa energiakäyttöön tuotavan hakkeen määrä kasvaa WEM-skenaariota enemmän (taulukko 10). Metsähakkeen tarvetta kasvattaa turpeen käytön merkittävä väheneminen ja kivihiilen käytön kieltäminen energiantuotannossa vuonna 2029. Vuosikymmenen päästä muiden energiantuotantomuotojen, kuten geotermisen energian ja tuuli-voimaloiden, kehittyminen sekä rakennusten lämmöneristävyyden paraneminen supistavat hieman puun energiakäytön tarvetta erityisesti pientalojen lämmityksessä. Metsähakkeen ja pientalojen polttopuun käytön kehitys perustuu VTT:n TIMES-mallituksen tuloksiin.

Taulukko 10. Kotimaisen metsähakkeen käyttö lämpö- ja voimalaitoksissa, pientalojen polttopuun (ml. metsähakkeen pienkäyttö) käyttö sekä polttohakkeen nettotuonti WEM- ja WAM- skenaarioissa.

WEM	Yksikkö	2010	2015	2020*	2025	2030	2035	2040
Metsähake	1 000 m ³	5 340	6 841	6 920	9 845	10 099	9 975	10 982
Pientalojen polttopuu	1 000 m ³	6 034	6 034	6 417	6 206	5 995	5 782	5 570
Yhteensä	1 000 m³	11 374	12 875	13 337	16 051	16 094	15 757	16 552

WAM	Yksikkö	2010	2015	2020*	2025	2030	2035	2040
Metsähake	1 000 m ³	5 340	6 841	6 931	9 929	11 489	11 902	11 340
Pientalojen polttopuu	1 000 m ³	6 034	6 034	6 417	5 869	5 629	5 363	5 097
Yhteensä	1 000 m³	11 374	12 875	13 348	15 797	17 118	17 265	16 437

Polttohakkeen nettotuonti	Yksikkö	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
WEM	1 000 m ³	420	280	970	1 100	1 530	1 940	1 810
WAM	1 000 m ³	420	280	970	2 080	2 080	2 360	2 500

*Vuoden 2020 luvut perustuvat TIMES-mallinnuksen tuloksiin. Tilastojen mukaan vuonna 2020 lämpö- ja voimalaitokset käyttivät metsähaketta yhteensä 7,6 miljoonaa kuutiometriä, josta tuontihaketta oli laskennallisesti 1,8 miljoonaa kuutiometriä. Pientalojen polttopuun käyttömäärä oli 6,9 miljoonaa kuutiometriä.

Kotimaisen puun hakkuukertymät määräytyvät metsäteollisuustuotteiden tuotantomäärien, metsähakkeen ja pientalojen polttopuun käyttömäärien sekä puun tuontimäärien perusteella. Laskentaperiaatteet puunjalostuksen ja puun energiakäytön puuntarpeen arvioimiseksi on kuvattu tarkemmin liitteessä L1.

4.4 Hakkuut ja metsien kehitys

Hannu Hirvelä, Harri Kilpeläinen, Leena Kärkkäinen

WEM- ja WAM-skenaarioiden kotimaisen ainespuun sekä energiapuun tarvearvioita käytettiin hakkuukertymätavoitteina skenaarioita vastaavien hakkuuprojektioiden ja niille ehdollisten metsävarojen kehitysten laskennassa. Maakunnittain laaditut skenaariolaskelmat toteutettiin MELA2016-ohjelmistolla. WEM-skenaarion laadinnassa käytettiin samaa aineistoa ja aineiston käsittelyluokkien määrittelyjä sekä samoja vaihtoehtoisten kehityspolkujen simulointimääriksiä kuin MELA Tulospalvelussa (Luke 2021d) esitettyjen arvioiden laadinnassa. WEM-skenaarion simulointimäärikykset on esitetty tarkemmin myös liitteessä L2. Hiilineutraali Suomi 2035 – Skenaariot ja vaikutusarviot -raportissa (Koljonen ym. 2020) esitettyyn WEM-skenaarioon verrattuna tässä käytettiin ajantasaisempaa laskenta-aineistoa sekä ajantasaisempia tietoja hinnoista ja kustannuksista. Lisäksi runkopuun hukkapuun laskentaa ainespuuhakkuissa tarkennettiin. MELA-ohjelmistolla laadittujen skenaariolaskelmien välisiä eroja on kuvattu tarkemmin liitteessä L3.

WEM- ja WAM-skenaariot erosivat toisistaan metsähakkeen ja pientalojen polttopuun käytön osalta (ks. taulukko 10). Lisäksi WAM-skenaariossa lisättiin metsänlannoitusta, vähennettiin ojitettujen turvemaiden kunnostusojituksia ja hyödynnettiin yläharvennustyyppisiä hakkuuta turvemaidella Metsäteollisuus ry:n ilmastotiekartan taustaselvityksen (Luke 2020) metsänhoitoskenaarion keinoihin pohjautuen. Muilta osin WAM-skenaarion laskentamäärikykset olivat samat kuin WEM-skenaarion määrikykset liitteessä L2.

Metsien kasvatuslannoitusten simulointia varten kangasmaiden lannoitusmallin (Kukkola ja Saramäki 1983) toiminta MELA2016-ohjelmistossa tarkistettiin ja turvemaiden tuhkalannoitusmalli (Hökkä ym. 2012) lisättiin MELA2016-ohjelmistoon. Metsäteollisuus ry:n ilmastotiekartan metsänhoitoskenaarion mukaisesti kasvatuslannoitusten pinta-ala nostettiin WAM-skenaariossa 150 000 hehtaariin vuodessa puuntuotannossa olevalla metsämaalla. Ensimmäisen kymmenvuotiskauden puoliväliin asti (vuosina 2016–2020) lannoitusten pinta-alana käytettiin vuosina 2016–2019 keskimäärin toteutunutta kasvatuslannoitusten vuotuista pinta-alaa ja ko. kauden puolivälissä (vuodesta 2021 alkaen) lannoitusten vuotuinen pinta-ala nostettiin 150 000 hehtaariin. Lannoitusten lisäys kohdistui pääosin Etelä- ja Keski-Suomen talousmetsiin. Kolmessa pohjoisimmassa maakunnassa lannoituspinta-aloja nostettiin noin 30 prosenttia vuosina 2016–2019 keskimäärin toteutuneisiin määriin verrattuna. Lannoituksia ei jaettu etukäteen kangas- ja turvemaiden kasvatuslannoituksiin, vaan lannoitukset kohdistuivat laskelman tuloksena kannattavimpiin kohteisiin. Turvemaiden lannoitukset toteutettiin tuhkalannoituksena. Kasvumallien kalibrointijaksolla 1984–2013 toteutuneiden kasva-

tuslannoitusten määrän arvioitiin olleen keskimäärin runsas 23 000 hehtaaria vuodessa, minkä vaikutus sisältyi kalibroituun kasvuntasoon sekä WEM- että WAM-skenaariossa. Tämä keskimääräinen kasvatuslannoitusten ala otettiin huomioon WAM-skenaariossa lannoitusalan 150 000 hehtaarin vuositavoitteessa.

Metsänlannoituksen lisäksi Metsäteollisuus ry:n ilmastotiekartan metsänhoitoskenaarioon sisältyy myös jalostetun viljelymateriaalin käyttö ja taimikonhoitomäärien lisäys nykytasosta kasvua lisäävinä keinoina talousmetsissä. MELA2016-ohjelmisto ei sisällä jalostetun viljelymateriaalin käyttöön liittyviä kehitysmalleja, ja siten sekä WEM- että WAM-skenaarioissa jalostetun viljelymateriaalin mahdollinen vaikutus ilmeni vain kalibroidun kasvuntason kautta. Taimikonhoito tehtiin aina metsänhoidon suositusten mukaisesti sekä WEM- että WAM-skenaariossa.

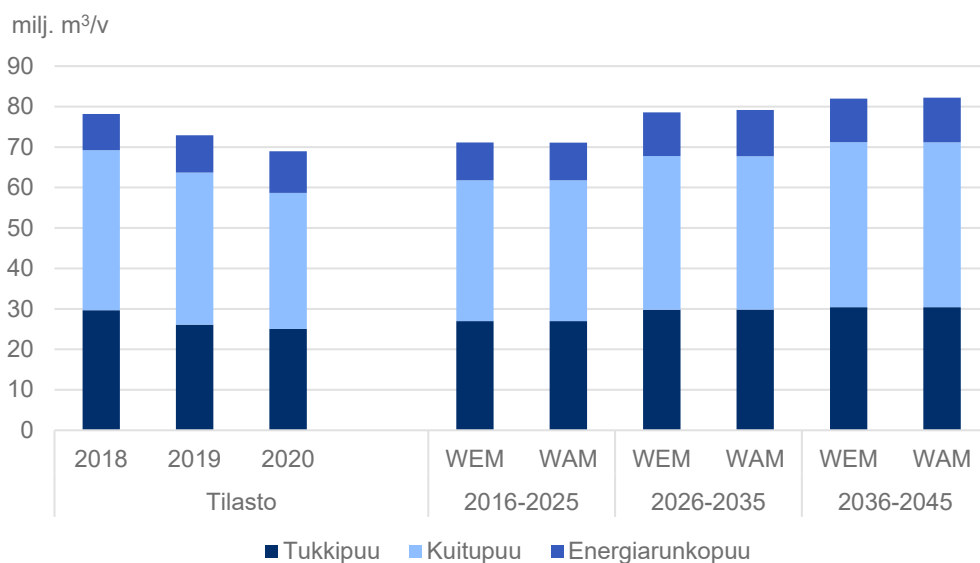
Metsäteollisuus ry:n ilmastotiekartan metsänhoitoskenaariossa on lisäksi keinoja – soiden kunnostusojitusten vähentäminen puuntuotannossa olevalla ojitetulla metsämaalla ja jatkuvapeitteisen metsänkäsittelyn lisääminen – muiden käyttömuotojen huomioon ottamiseksi. WEM-skenaariossa ei tehty kunnostusojituksia harvennushakkuiden yhteydessä ravinteikkaissa korvissa ja WAM-skenaariossa tätä laajennettiin koskemaan myös karuja rämeitä. WEM-skenaariossa harvennushakkuut toteutettiin aina alaharvennustyyppisesti. Jatkuvapeitteisen metsänkäsittelyn lisääminen tarkoittaa hakkuutapojen muutosta, johon MELA-ohjelmistossa olevat nykyiset kasvu- ja kehitysmallit eivät sellaisenaan sovellu. Siksi WAM-skenaariossa harvennustapoja monipuolistettiin siten, että ravinteikkaissa korvissa 30 % ainespuun korjuuta sisältävistä pohjapinta-alaan perustuvista harvennushakkuista toteutettiin yläharvennustyyppisesti. Yläharvennuksella ei pyritty jatkuvapeitteiseen metsänkäsittelyyn, vaan yläharvennus oli mahdollinen vain kiertoajan viimeisenä harvennushakkuuna ja se noudatti metsänhoidon suositusten puuston pohjapinta-alaan ja valtapituuteen perustuvia harvennussmalleja.

Metsien suojelun tasoa tai biodiversiteetin ylläpitämiseksi ja edistämiseksi tehtäviä toimenpiteitä tarkastellaan kansallisen metsästrategian päivitystyön yhteydessä laadittavissa skenaarioissa, eli niitä ei sisällytetty HIISI-hankkeen WEM- ja WAM-skenaarioiden laskelmiin.

Vuosina 2016–2025 runkopuun vuosittainen hakkuukertymäarvio on sekä WEM- että WAM-skenaariossa koko maan osalta keskimäärin runsas 71 miljoonaa kuutiometriä. Tämä on runsas 2 miljoonaa kuutiometriä alhaisempi kuin vuosien 2018–2020 tilastoitu (Luke 2021b) keskimääräinen vuotuinen hakkuukertymä (kuvio 5). Ero johtuu pääosin WEM- ja WAM-skenaarioiden pienemmästä kuitupuun hakkuukertymästä. Runkopuun hakkuukertymä sisältää metsäteollisuuden käyttöön ohjautuvan kotimaisen ainespuun (tukki- ja kuitupuun) ja lisäksi energiakäyttöön päätyvän kotimaisen runkopuun (energiarunkopuun), josta merkittävä osa on kotitalouksien polttopuuta.

Runkopuun lisäksi molemmissa skenaariossa latvuksia ja kantoja arvioidaan korjattavan energiaksi yhteensä noin 4 miljoonaa kuutiometriä vuodessa.

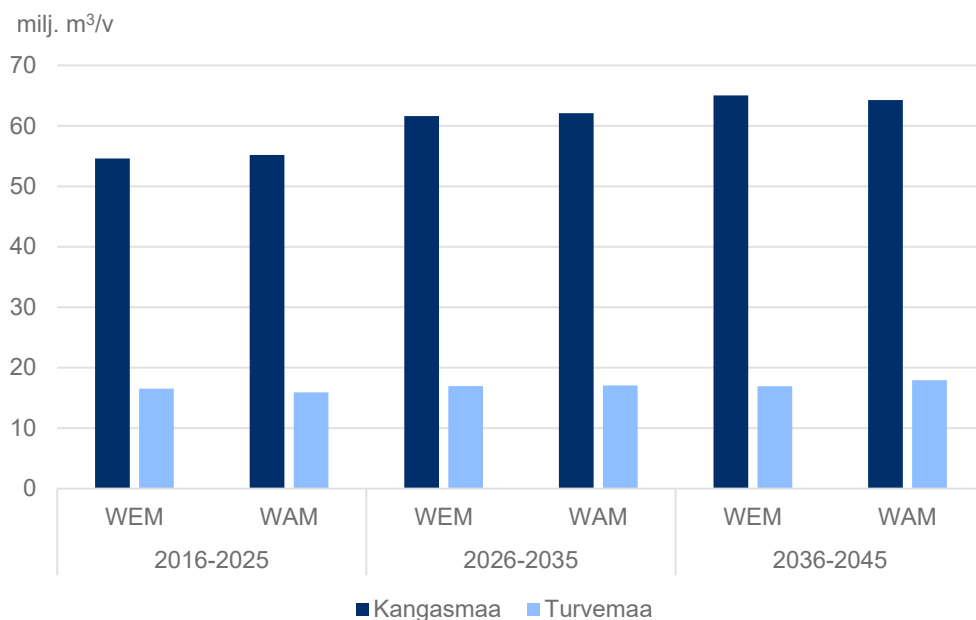
Kuvio 5. Tilastoidut runkopuun hakkuukertymät vuosina 2018–2020 (Luke 2021b) sekä WEM- ja WAM-skenaarioiden kausittaiset runkopuun hakkuukertymäarviot ajanjaksolla 2016–2045 puutavaralajeittain esitettynä.



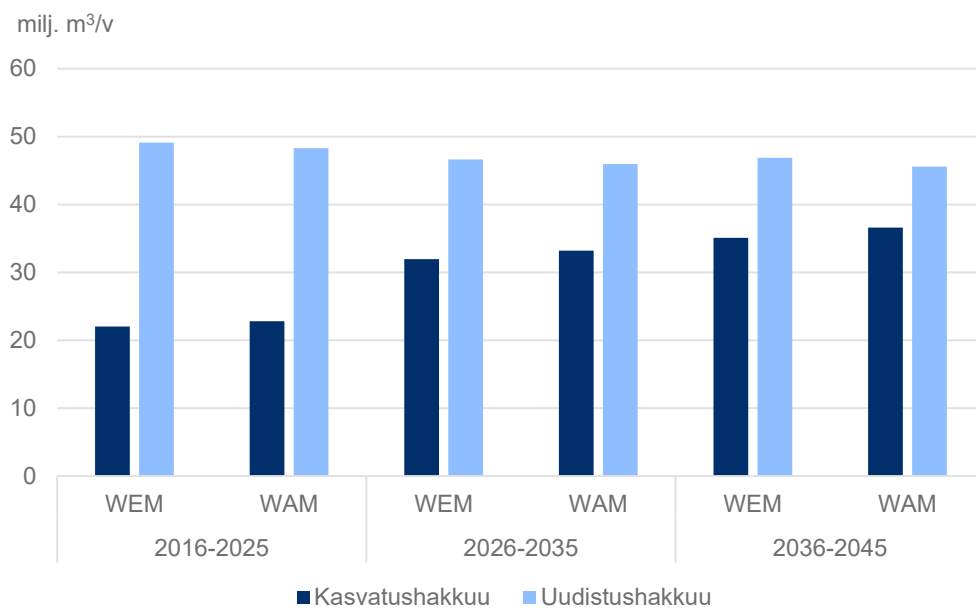
Vuosina 2026–2035 runkopuun keskimääräinen vuotuinen hakkuukertymä nousee WEM-skenaariossa vajaaseen 79 miljoonaan kuutiometriin ja WAM-skenaariossa runsaaseen 79 miljoonaan kuutiometriin. Skenaarioiden välinen ero kohdistuu energiारunkopuuhun. Lisäystä vuosien 2016–2025 hakkuukertymään on 7,4–8,1 miljoonaa kuutiometriä vuodessa, josta tukkipuuta on 2,8 miljoonaa, kuitupuuta 3,1–3,2 miljoonaa ja energiारunkopuuta 1,5–2,1 miljoonaa kuutiometriä. Vuosina 2036–2045 vuotuinen hakkuukertymä nousee noin 82 miljoonaan kuutiometriin, josta tukkipuun kertymä on sekä WEM- että WAM-skenaariossa runsas 30 miljoonaa, kuitukertymä vajaa 41 miljoonaa ja energiारunkopuun kertymä noin 11 miljoonaa kuutiometriä. Näiden lisäksi korjataan latvuksia ja kantoja energiaksi kaikkiaan vajaa 6 miljoonaa kuutiometriä vuodessa.

Runkopuun hakkuukertymien lisäykset vuosista 2016–2025 vuosiin 2026–2045 kohdistuvat WEM- ja WAM-skenaarioissa pääosin kangasmaille ja kasvatushakkuisiin (kuviot 6 ja 7). Vastaavalla ajanjaksolla turvemaiden hakkuukertymät lisääntyvät kummassakin skenaariossa vain hieman. Kasvatushakkuiden hakkuukertymä on WAM-skenaariossa hieman suurempi kuin WEM-skenaariossa, ja molemmissa skenaarioissa uudistushakkuiden hakkuukertymät pienenevät ajanjakson aikana.

Kuvio 6. WEM- ja WAM-skenaarioiden kausittaiset arviot runkopuun hakkuukertymän ja kautumisesta kangas- ja turvemaalle ajanjaksolla 2016–2045.

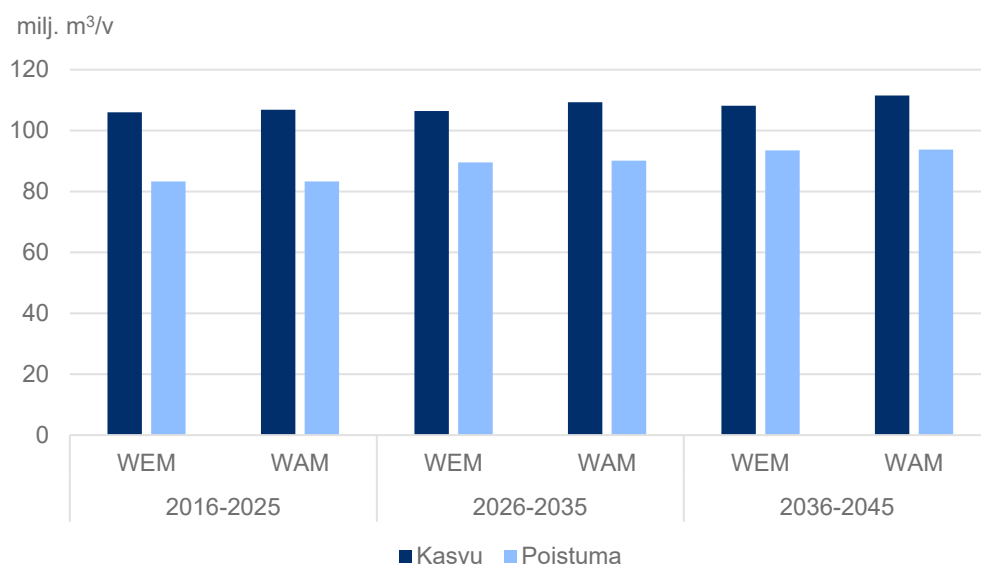


Kuvio 7. WEM- ja WAM-skenaarioiden kausittaiset arviot runkopuun hakkuukertymän ja kautumisesta kasvatus- ja uudistushakkuisiin ajanjaksolla 2016–2045.



Vuosina 2016–2025 runkopuun kasvun arvioidaan olevan metsä- ja kitumaalla WEM-skenaariossa keskimäärin 106 miljoonaa kuutiometriä ja WAM-skenaariossa vajaa 107 miljoonaa kuutiometriä vuodessa (kuvio 8). Vuosina 2036–2045 vuotuisen kasvun arvioidaan nousevan WEM-skenaariossa runsaaseen 108 miljoonaan kuutiometriin. WAM-skenaariossa vuotuisen kasvun arvioidaan olevan vastaavalla ajanjaksolla 3,4 miljoonaa kuutiometriä suurempi kuin WEM-skenaariossa, mikä johtuu WAM-skenaarioon sisällytetyistä metsien kasvua lisäävistä toimenpiteistä, erityisesti metsien kasvatuslannoituksista. Vuosina 2016–2025 kasvun arvioidaan olevan 23–24 miljoonaa kuutiometriä vuodessa suurempi kuin kokonaispoistuma. Ennustetut kokonaispoistumat sisältävät hakkuukertymän lisäksi luonnonpoistuman sekä hakkuissa, taimikohdossa ja raivauksessa metsään jäävän runkopuun. Kasvun ja poistuman välisen eron arvioidaan pienenevän ajanjakson aikana ollen vuosina 2036–2045 keskimäärin WEM-skenaariossa vajaa 15 miljoonaa kuutiometriä ja WAM-skenaariossa vajaa 18 miljoonaa kuutiometriä vuodessa.

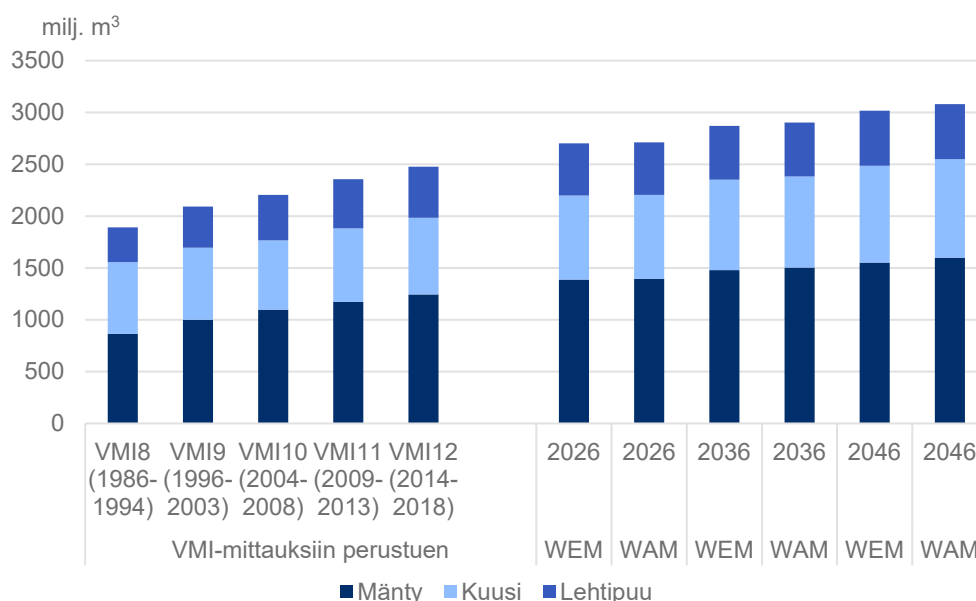
Kuvio 8. WEM- ja WAM-skenaarioiden kausittaiset arviot runkopuun kasvusta ja poistumasta metsä- ja kitumaalla ajanjaksolla 2016–2045.



Puuston runkotilavuus metsä- ja kitumaalla oli VMI12-mittausten mukaan laskelman alkutilanteessa 2 475 miljoonaa kuutiometriä (Luke 2021c). Molemmissa skenaarioissa puuston runkotilavuuden arvioidaan nousevan vuoteen 2026 mennessä runsaaseen 2 700 miljoonaan kuutiometriin ollen WAM-skenaariossa hieman suurempi kuin WEM-skenaariossa. Vuonna 2046 puuston tilavuuden arvioidaan olevan WEM-skenaariossa 3 017 miljoonaa kuutiometriä ja WAM-skenaariossa 3 080 miljoonaa

kuutiometriä (kuvio 9). Koko 30 vuoden ajanjakson aikana eniten lisääntyy männyn tilavuus. Laskelmissa tilavuuden lisäys kohdistuu pääosin kangasmaille. Runkotilavuuden, kasvun, poistuman ja hakkuukertymän kehitys WEM- ja WAM-skenaarioissa ajanjaksolla 2016–2046 on esitetty tarkemmin koko maan osalta liitteessä L4 ja maakuntien osalta erillisessä lisämateriaalissa.

Kuvio 9. Puuston runkotilavuus metsä- ja kitumaalla VMI-mittauksiin perustuen (Luke 2021c) sekä WEM- ja WAM-skenaarioiden kausittaiset arviot puuston runkotilavuuden kehityksestä ajanjaksolla 2026–2046 puulajeittain esitettynä. Laskelmien alkutilanteessa vuonna 2016 puuston tilavuus oli sama kuin VMI12-mittauksiin perustuva.

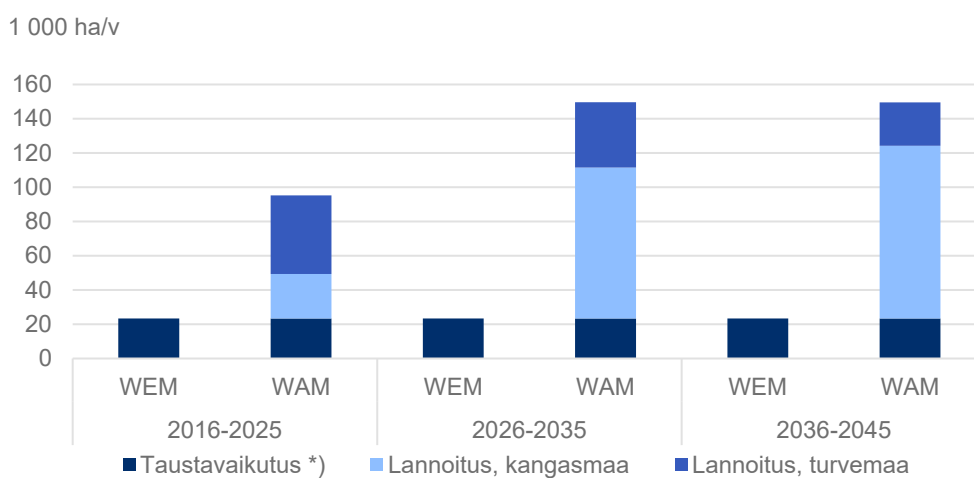


Lasketuissa WEM- ja WAM-skenaarioissa kasvumallien kalibrointijaksolla toteutuneen kasvatuslannoituksen vaikutus sisältyi laskelmissa käytettyyn kasvun tason määritykseen (liite L2). Tämän lisäksi WAM-skenaario sisälsi skenaariolaskennassa lannoitustoimenpiteitä, joiden sijainti määräytyi laskelmien tuloksena kannattavimpiin kohteisiin kangas- ja turvemaidella. WAM-skenaariossa lannoitukset painottuvat vuosina 2016–2025 turvemaiden tuhkalannoitukseen (kuvio 10). On huomattava, että kasvatuslannoitusten tavoitetaso 150 000 hehtaaria vuodessa asetettiin skenaariossa tavoitteeksi vasta vuosien 2016–2025 puolivälistä (vuodesta 2021) alkaen. Vuodesta 2026 lähtien lannoitukset painottuvat suurelta osin kasvatuslannoitukseen kangasmailla.

Vuosina 2016–2035 kunnostusojitusala on WAM-skenaariossa pienempi kuin WEM-skenaariossa (kuvio 11) siitäkin huolimatta, että samalla ajanjaksolla turvemaiden

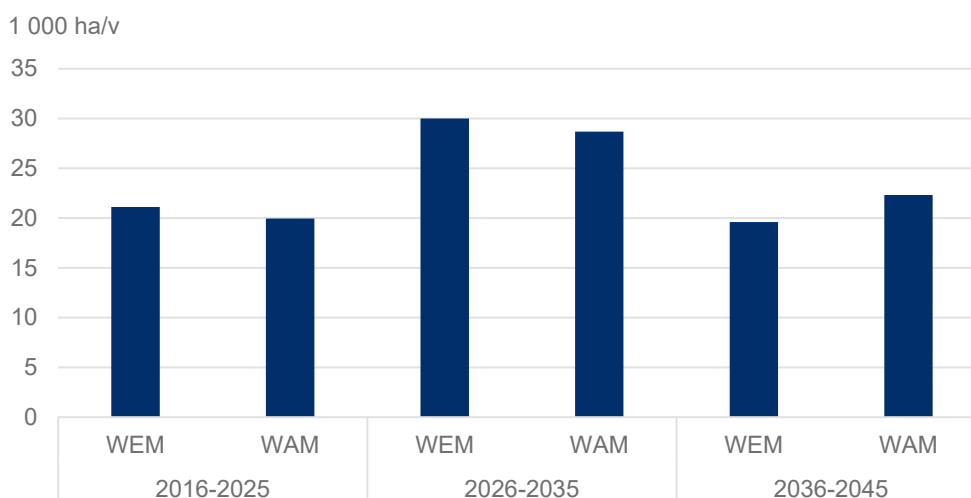
kasvatushakkuiden hakkuuala on WAM-skenaariossa suurempi kuin WEM-skenaariossa. Siten WAM-skenaariossa kasvatushakkuut ovat kohdistuneet turvemailla enemmän kohteisiin, joissa ei laskelmissa tehty kunnostusojituksia harvennushakkuiden yhteydessä.

Kuvio 10. WAM-skenaarion kausittaiset arviot kasvatuslannoituksen jakautumisesta kangas- ja turvemaalle puuntuotannossa olevalla metsämaalla ajanjaksolla 2016–2045.



*) Laskelmissa kalibroituun kasvuntasoon sisältyvä lannoitusvaikutus.

Kuvio 11. WEM- ja WAM-skenaarioiden kausittaiset arviot harvennushakkuun yhteydessä tehdyn kunnostusojituksen pinta-alasta puuntuotannossa olevalla ojitetulla metsämaalla ajanjaksolla 2016–2045.



4.5 Maankäytön kehittyminen

Markus Haakana, Jukka-Pekka Myllykangas, Tarja Tuomainen

Kuviossa 12 on esitetty kuuden päämaankäyttöluokan ja turvetuotannon pinta-alan kehittyminen vuodesta 2010 vuoteen 2040. Paneeleissa on eri asteikot, jotta kussakin luokassa tapahtuva muutos käy paremmin ilmi. Vuosittaiset muutosalat sekä maankäytön muutokset yhteensä vuodesta 2021 vuoteen 2040 ovat liitteessä L5 (WEM) ja liitteessä L6 (WAM).

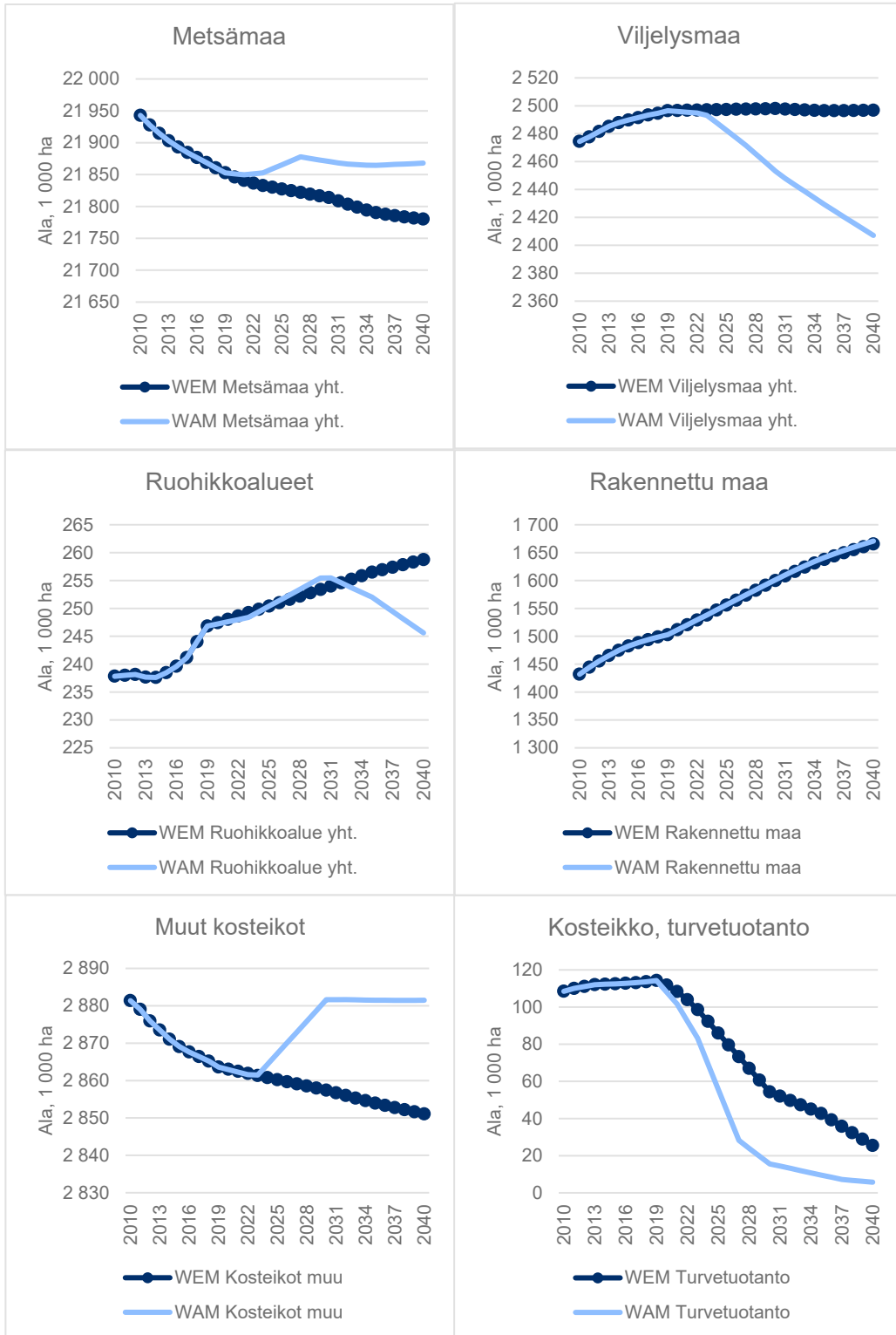
Muutokset metsämaan pinta-alassa ovat seurausta muutoksista muussa maankäytössä, koska metsäalalle ei asetettu tavoitteita. WEM-skenaariossa metsämaan pinta-ala pienenee noin 66 000 hehtaarilla vuoteen 2040 mennessä, kun WAM-skenaariossa ala kasvaa noin 17 000 hehtaarilla.

Uutta metsämaata saadaan metsittämisen ja metsittymisen seurauksena kosteikkosoista ja maatalousmaista. Sekä WEM- että WAM-skenaariossa käytöstä poistuvaa turvetuotantoalaa metsitetään suuria aloja. Vuosina 2021–2040 WEM-skenaariossa muista maankäyttömuodoista metsäksi muuttuvaa alaa on yhteensä noin 160 000 hehtaaria ja WAM-skenaariossa 210 000 hehtaaria. Metsätaloudesta muuhun käyttöön siirtyvää eli metsäkatoalaa on yhteensä vuosina 2021–2040 WEM-skenaariossa lähes 230 000 hehtaaria ja WAM-skenaariossa noin 200 000 hehtaaria.

WEM-skenaariossa muutokset viljelysmaan pinta-alassa perustuvat historiatietoon, kuitenkin niin, ettei kokonaisalan annettu kasvaa nykytasosta. DREMFIA-mallin tulokset viljellyn peltoalan vähenemisestä vaikuttivat viljelysmaan pinta-alaan vuoden 2040 jälkeen. Maankäytön muutokset sallittiin sekä viljelysmaaksi että viljelysmaan siirtymisen muuhun käyttöön. Etelä-Suomessa viljelysmaan ala hieman pieneni ja Pohjois-Suomessa kasvoi, koko maan tasolla alan pysyessä nykyisellään. Kivennäismaapeltojen ala pienenee noin 24 000 hehtaaria ja orgaanisten maiden ala kasvaa vastaavasti, kun uutta peltoa raivataan turvemailta. Viljelysmaita raivataan vuoteen 2040 mennessä noin 65 000 ha, josta noin puolet turvemailta.

WAM-skenaariossa uutta viljelysmaata raivataan noin 26 000 ha vuoteen 2040 mennessä. Kuitenkin alueita siirtyy muuhun maankäyttöön enemmän kuin uutta raivataan, ja kokonaisala pienenee vuodesta 2021 vuoteen 2040 noin 90 000 hehtaaria pienemmän raivausalan ja isompien metsitysalojen myötä. Suhteellisesti voimakkainta vähentyminen on orgaanisilla mailla.

Kuvio 12. Maankäytön kehittyminen 2010–2040.



ENERGIAN TUOTANNOSSA TAPAHTUVIEN MUUTOSTEN VAIKUTUKSET MAANKÄYTTÖÖN – LASKENNAN OLETUKSET WEM- JA WAM-SKENAARIOISSA

Rakennettavien **tuulivoimaloiden** kokonaismäärä arvioitiin TIMES-VTT-mallin tuuli-voiman kokonaisenergiantuotantomääristä (Lehtilä ym. 2021) tämänhetkisten voimaloiden kapasiteetin (n. 3 MW) perusteella. Tuulivoiman maankäyttövaikutuksia arvioitiin hyödyntämällä maanmittauslaitoksen paikkatietoaineistoa nykyisten tuulivoimaloiden sijoittumisesta Etelä- ja Pohjois-Suomeen, sekä selvitettiin voimalan rakentamista edeltävää maankäyttöä. Tulevien voimaloiden sijoittumisen oletettiin noudattavan keskimäärin samoja jakaumia. Yhden tuulivoimalan vaatimaksi alaksi arvioitiin 2 hehtaaria keskimääräisellä 2–5 MW:n voimalakoolla (Niemi 2019, Mikkonen 2019).

Rakennettavan **aurinkoenergiatuotannon** määrä ja maankäyttövaikutukset arvioitiin TIMES-VTT-mallin tuotantoluvuista olettamalla, että yhden TWh:n tuottamiseksi aurinkovoimalla vaaditaan noin 1 000 hehtaaria maapinta-alaa (Lehtilä 2019). Koska historiatietoa maalle sijoitettavien aurinkovoimaloiden vaatiman alueen aiemmasta maankäytöstä on toistaiseksi hyvin niukasti saatavilla, jaettiin aurinkovoimaloiden sijoittuminen suhteessa 1/3 metsämaalle, 1/3 maatalousmaalle ja 1/3 rakennetulle maalle. Tämän lisäksi rakennettavan aurinkovoiman oletettiin sijoittuvan voittopuoleisesti Etelä-Suomeen.

Energiaturpeen tuotannon kehitys johdettiin TIMES-VTT-mallin tuottamasta turpeen energiakäytöstä (PJ/v). Energiaturpeen tuotantoalan oletettiin vähenevän samassa suhteessa kuin turpeen energiakäytön. Muuhun kuin energiakäyttöön tarkoitettun turpeen (kasvu-, kuivike- ja ympäristöturve) tuotannon oletettiin pysyvän ennallaan WEM-skenaarion osalta. Tuotannosta vapautuneiden alueiden oletettiin siirtyvän uuteen maankäyttöön WEM-skenaariossa viiden vuoden kuluttua tuotannon päättymisestä ja WAM-skenaariossa kahden vuoden kuluttua. WEM-skenaariossa jälkikäytöstä 70 prosenttia oli metsitystä, viljelysmaita 15 prosenttia, ruohikkoalueita 5 prosenttia, kosteikkosoita 5 prosenttia, kosteikkoaltaita 5 prosenttia ja rakennettua maata reilu 1 prosentti. Jakaumat perustuvat osittain historiatietoon ja osittain Bioenergia ry:n julkaisemaan jälkikäyttökäytöksi, jossa on 75 prosenttia metsitystä, 20 prosenttia peltoviljelyä, 5 prosenttia kosteikkoa (Bioenergia ry 2019). Turvetuotantoalueiden metsitysosalat skenaariojaksolla ovat lähempänä Bioenergia ry:n julkaisemaa osuutta, kasvihuonekaasuinventaarion käyttämässä aineistossa niitä on ollut vähemmän. WAM-toimien myötä jälkikäytöstä kosteikkosoiden osuus oli keskimäärin noin 23 prosenttia alasta ja kosteikkoaltaiden osuus vajaa 2 prosenttia, viljelysmaata ja ruohikkoalueita oli yhteensä noin 5 prosenttia, loppualan ollessa lähes kokonaan metsitystä.

Ruohikkoalueiden kokonaisala kasvaa WEM-skenaariossa noin 11 000 hehtaaria, mikä osaksi on seurausta siitä, että käytöstä pois jääviä peltoalueita annettiin muuttua hoitamattomiksi ruohikkoalueiksi. Tämä noudattaa historiatiedoissa havaittua tapahtumaa. Ruohikkoalueilla muutosalojen osuus kokonaisaloista on varsin suuri, johtuen juuri muutoksista viljelysmaan ja ruohikkoalueiden välillä. WAM-skenaariossa ruohikkomailla on vähäistä pienentymistä kivennäismaa-alassa ja kasvua organisaatioilla, kokonaisala pysyy samalla tasolla.

Kosteikkojen kokonaisalan pieneneminen WEM-skenaariossa 12 000 hehtaarilla, ja on seurausta muutoksesta turvetuotantoalassa. Lisäksi historiatiedon perusteella ojitettuja kosteikkosoiita siirtyy edelleen metsämaaksi. Kosteikkosoiden muutos metsämaaksi perustui 10 vuoden historiatietoon muutoin käytetyn viiden vuoden jakson sijaan, koska se vastasi paremmin Valtakunnan metsien inventoinnin julkaisemia arvioita pinta-alojen kehityksestä.

WAM-skenaariossa kosteikkojen kokonaisala vähenee vuoteen 2040 noin 60 000 hehtaarilla. Kosteikko-luokan sisällä tapahtuu muutoksia alueiden hoidossa ja käytössä, kun turvetuotantoalaa siirtyy rahkasammalen kasvatukseen. Rahkasammalen kasvatuksella tuotetaan turvetta korvaavia kasvualustoja (Näkkilä ym. 2015) ja kuiviketta (Pulkka 2021). On arvioitu, että rahkasammaleen korjuupinta-alaa tarvitaan noin 2 000 hehtaaria vuodessa korvaamaan nykyinen kasvuturpeen tuotanto, ja korjuu voidaan aloittaa 30 vuoden kuluttua perustamisesta. WAM-skenaariossa rahkasammalen kasvatukseen ohjattiin 3 000 hehtaaria vuodessa vuosina 2024–2030, ja tämän jälkeen hieman päälle 100 hehtaaria vuodessa. Vuoteen 2040 mennessä rahkasammalen kasvatuksen kokonaisala on 22 200 hehtaaria.

Maaluokkamutokset turvetuotannosta muuhun maankäyttöön tapahtuvat WAM-skenaariossa pääosin jo vuoteen 2030 mennessä. WEM-skenaariossa muutostahti on hitaampi. WEM-skenaariossa metsityksen osuus on noin 70 %, viljelysmaaksi tai ruohikkoalueeksi menevän alan osuus yhteensä vajaa 20 % ja kosteikoiksi tai kosteikkolammikoiksi vajaa 10 %. WAM-toimet vaikuttavat niin, että maatalouskäyttöön turvetuotantoaloista menee vain hieman yli 5 % ja toisaalta kosteikoiksi päätyy noin 25 % alasta mm. rahkasammalen kasvatukseen vuoksi ja metsitykseen loput. Uutta turvetuotantoalaa raivataan vain vähäisiä määriä WEM-skenaariossa. Skenaarioiden lähtölanteessa vuonna 2019 turvetuotantoalaa on noin 114 000 hehtaaria, tästä poistuvaa alaa on WEM-skenaariossa noin 90 000 hehtaaria ja WAM-skenaarioissa ja vajaa 110 000 hehtaaria vuoteen 2040 mennessä.

Rakennetun maan ala kasvaa WEM-skenaariossa noin 150 000 hehtaarilla vuodesta 2021 vuoteen 2040. WAM-skenaariossa lisäystä on vajaa 160 000 hehtaaria. Pääosin uusi rakennettu maa-ala tulee metsämaasta. WAM-skenaariossa suurempi tuuli- ja aurinkovoiman rakentaminen näkyy lähinnä metsämaasta ja viljelysmaasta muuttuneissa aloissa. Uutta rakennettua alaa on WEM-skenaariossa vuonna 2021 noin 10 000 hehtaaria vuodessa ja vuonna 2040 6 000 hehtaaria vuodessa. Vuoteen 2030 saakka metsämaasta alaa tulee noin 8 000 hehtaaria vuodessa ja näitä muutoksia on vuonna 2040 enää 5 000 hehtaaria vuodessa. Rakennetusta alasta alkujaan noin 11 prosenttia on turvemaita. WEM-skenaariossa uutta rakennettua maata tulee yhteensä noin 175 000 hehtaaria vuosina 2021–2040, WAM-skenaariossa vastaavasti 180 000 hehtaaria. Rakennetusta maasta poistuvaa alaa on noin 21 000 hehtaaria molemmissa skenaarioissa.

Maataloudesta ja turvetuotannosta vapautuvilla alueilla toteutetaan WAM-skenaarioriossa jatkotoimet niin, ettei alueita juuri jää niin sanotuiksi joutoalueiksi. Tämä perustuu vuoden 2021 alussa voimaan tulleeseen joutoalueiden metsityslakiin (Laki metsityksen määräaikaisesta tukemisesta (1114/2020)).

5 Skenaarioiden kasvihuonekaasuvaikutukset

5.1 Maataloussektorin päästöt

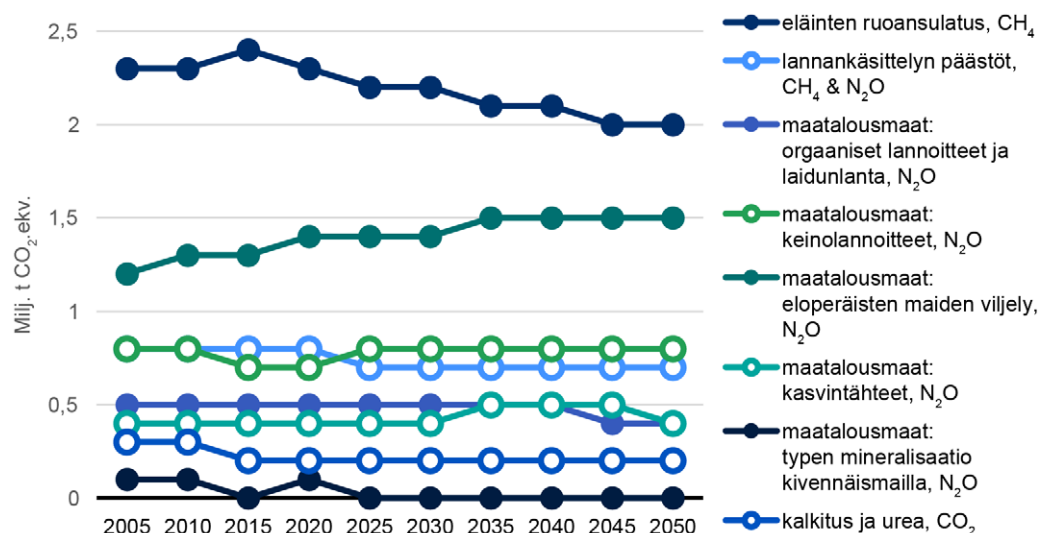
Liisa Maanavilja

WEM-skenaariossa maataloussektorin päästöt vähenevät 6,40 miljoonasta hiilidioksidiekvivalenttitonnista vuonna 2019 6,14 miljoonaan hiilidioksidiekvivalenttitonniin vuoteen 2040 (taulukko 11). WAM-skenaariossa maataloussektorin päästöt vähenevät 6,40 miljoonasta hiilidioksidiekvivalenttitonnista vuonna 2019 5,57 miljoonaan hiilidioksidiekvivalenttitonniin vuoteen 2040 (taulukko 11).

Taulukko 11. Maataloussektorin päästöt WEM- ja WAM-skenaarioissa.

Milj. t CO ₂ -ekv.	2005	2019	2025	2030	2035	2040
WEM	6,34	6,40	6,28	6,26	6,20	6,14
WAM	6,34	6,40	6,15	5,92	5,77	5,57
Erotus			-0,13	-0,34	-0,43	-0,57

WEM-skenaariossa nautojen määrän väheneminen vähentää ruoansulatuksen metaanipäästöjä (kuvio 13, taulukko 12). Nautojen ja sikojen määrän väheneminen vähentää lannankäsittelyn päästöjä (kuvio 13, taulukko 12). Päästöt maatalousmaista kasvavat, koska eloperäisten maiden viljely lisääntyy edelleen aiempien vuosien tapaan (kuvio 13). Keinolannoitteiden päästöt pysyvät ennallaan. Lannanlevityksen ja laidunlannan päästöt vähenevät hieman eläinten määrän vähenemisen myötä. Lisääntyvä nurmiala ja kerääjäkasvien nykyisenkaltaisena jatkuva käyttö lisäävät kasvintähteiden päästöä, mutta vähentävät typen mineralisaation päästöä kivennäismailta, joten niiden nettovaikutus jää pieneksi (kuvio 13).

Kuvio 13. Maataloussektorin päästöt WEM-skenaariossa, maatalousmaiden päästöt eriteltyinä.**Taulukko 12.** Maataloussektorin päästöt WEM-skenaariossa päästöluokittain.

Milj. t CO ₂ -ekv.	2005	2019	2025	2030	2035	2040
Eläinten ruoansulatus CH ₄	2,30	2,32	2,21	2,16	2,10	2,05
Lannankäsittely CH ₄	0,53	0,51	0,50	0,49	0,48	0,47
Lannankäsittely N ₂ O	0,22	0,25	0,23	0,22	0,22	0,21
Maaperä N ₂ O	2,99	3,13	3,14	3,18	3,20	3,20
Kalkitus ja urea CO ₂	0,29	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20

WAM-skenaariossa nautojen määrän väheneminen ja rehun lisäaineet vähentävät ruoansulatuksen metaanipäästöjä (kuvio 14, taulukko 13). Nautojen määrä vähenee vähemmän kuin WEM-skenaariossa, mikä johtaa WEM-skenaariota suurempiin ruoansulatuksen päästöihin vuonna 2025, mutta vuonna 2030 ja sen jälkeen eläinten ruoansulatuksen päästöt ovat WAM-skenaariossa WEM-skenaariota pienemmät. Nautojen ja sikojen määrän väheneminen vähentää lannankäsittelyn päästöjä (kuvio 14, taulukko 13).

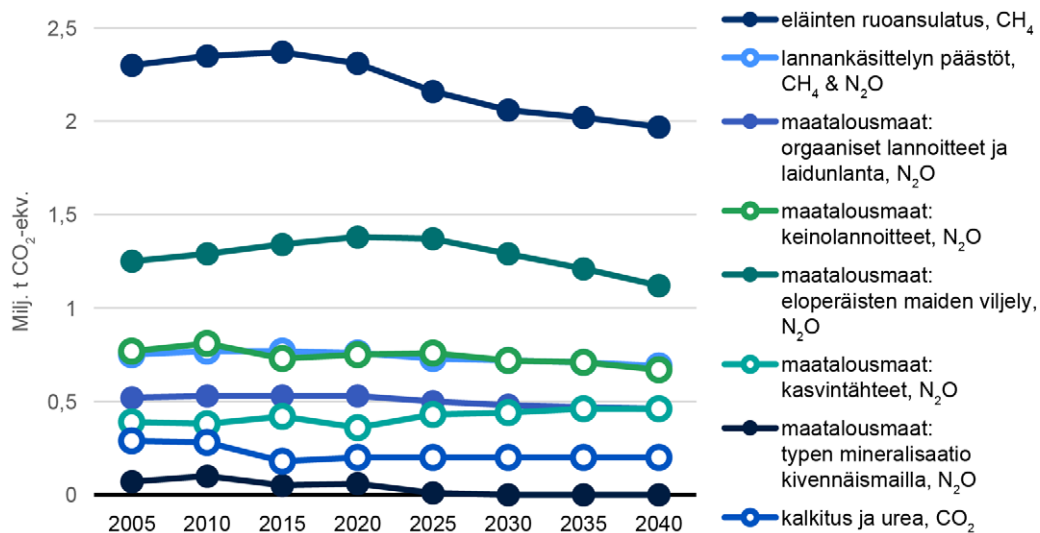
Päästöt maatalousmaista vähenevät WAM-skenaariossa (taulukko 13), lähinnä eloperäisten maiden dityppioksidipäästöjen vähenemisen takia (kuvio 14). Eloperäisten maiden päästöjä vähentävät raivauksen väheneminen ja maan siirtyminen viljelysmaista ja

ruohikkoalueista metsitykseen ja kosteikoiksi (luku 4.5, kuvio 12, liitteet L5 ja L6), nurmiviljely korotetulla vedenpinnalla ja ruokohelven ja järviruo'on kosteikkoviljely.

Kivennäismaiden viljelytoimet vaikuttavat maataloussektorin päästöihin vain vähän, ja kun kivennäismaapelot ovat kääntyneet nettonieluksi, niiden lisääntynyt hiilensidonta ei enää vaikuta maataloussektorilla raportoitaviin typen mineralisaation päästöihin, mutta päästöt kasvintähteistä lisääntyvät hieman. Kivennäismaapeltojen typen mineralisaation dityppioksidipäästöt poistuvat WAM-skenaariossa vuonna 2032, kun kivennäismaapelot kääntyvät hiilen lähteestä hiilen nieluksi (kuvio 14). Hiilensidontaa edistävät toimet, kuten kerääjäkasvit ja maanparannuskasvit, lisäävät kasvintähdesyötettä peltomaahan (kuvio 14), mikä lisää hieman kasvintähteiden dityppioksidipäästöjä. Lisääntyneen hiilensidontan hyödyt lasketaan LULUCF-sektorille, jossa ne vähentävät viljelysmaan päästöjä (luku 5.2, taulukko 15).

Keinolannoitteiden käytön päästöt vähenevät WAM-skenaariossa täsmäviljelyn ja lannan ravinteiden paremman kiertämisen myötä (kuvio 14).

Kuvio 14. Maataloussektorin päästöt WAM-skenaariossa, maatalousmaiden päästöt eriteltyinä.



Taulukko 13. Maataloussektorin päästöt WAM-skenaariossa päästöluokittain.

Milj. t CO ₂ -ekv.	2005	2019	2025	2030	2035	2040
Eläinten ruuansulatus CH ₄	2,30	2,32	2,16	2,06	2,02	1,97
Lannankäsittely CH ₄	0,53	0,51	0,50	0,50	0,49	0,48
Lannankäsittely N ₂ O	0,22	0,25	0,23	0,22	0,22	0,21
Maaperä N ₂ O	2,99	3,13	3,06	2,94	2,85	2,71
Kalkitus ja urea CO ₂	0,29	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20

5.2 LULUCF-sektorin päästöt ja poistumat

Tarja Tuomainen, Markus Haakana, Paula Ollila, Antti Wall, Jaakko Heikkinen, Jukka-Pekka Myllykangas, Sofia Vikfors

LULUCF-sektorin päästö- ja poistumaskenaariot esitetään viiden vuoden välein vuodesta 2025 alkaen. Joissakin kuvissa esitetään vuoden 2021 kasvihuonekaasuinventaarion tulos vuodelle 2019 AR5 GWP-kertoimilla laskettuna. Vertailu vuoteen 2019 on suuntaa antava, koska kasvihuonekaasuinventaarion ja skenaarioiden laskennat eivät käytännön syistä ole täysin yhdenmukaisia (päästöluokkien määrittely, mallit).

LULUCF-sektorin WEM-skenaariossa nettohiilivuoro pienenee ja on vuonna 2040 –15 miljoonaa hiilidioksidiekvivalenttitonnia (kuvio 15, taulukko 14). WAM-skenaariossa nettohiilivuoro pysyttelee –21 ja –23 miljoonaa hiilidioksidiekvivalenttitonnia suuruusena (kuvio 15, taulukko 15). Vuonna 2035 WAM-skenaariossa nettohiilivuoro on 5 miljoonaa hiilidioksidiekvivalenttitonnia suurempi kuin WEM-skenaariossa (taulukot 14 ja 15).

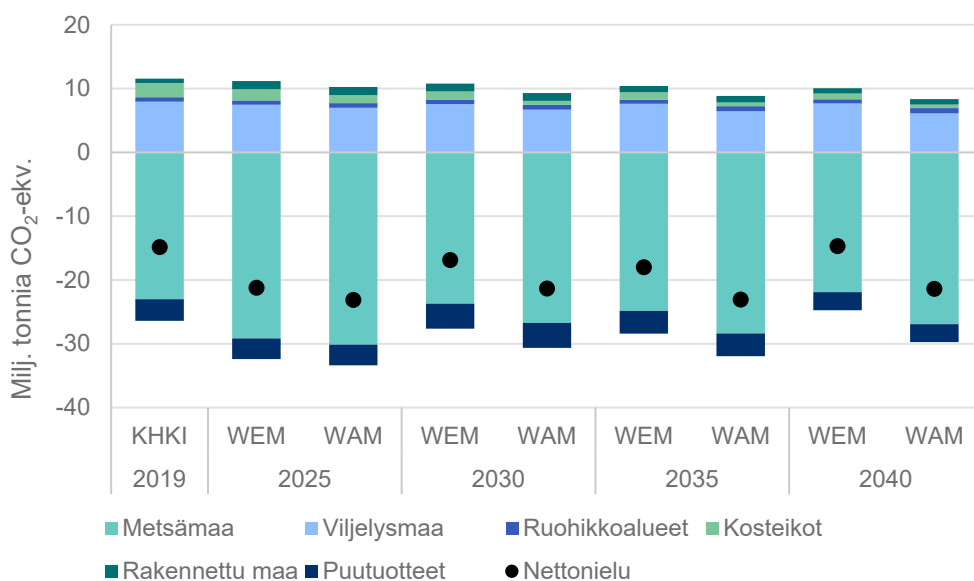
WEM-skenaariossa metsien nettohiilivuoro on alkuvuosina lähes 30 miljoonaa hiilidioksidiekvivalenttitonnia, mutta jää jaksolla 2030–2040 alle 25 miljoonan hiilidioksidiekvivalenttitonnia. Koska puuston kokonaispoistumassa ei skenaarioiden välillä juuri ole eroa, saadaan WAM-skenaariossa suurempi nettohiilivuoro aikaan lähinnä puuston kasvua lisäävillä toimilla (kuvio 16). WAM-skenaariossa metsien nettohiilivuoro on alkuvuosina 30 miljoonaa hiilidioksidiekvivalenttitonnia ja asettuu jaksolla 2030–2040 noin 27 miljoonaa hiilidioksidiekvivalenttitonnia. WAM-skenaariossa viljelysmaiden ja kosteikkojen päästöt alenevat. Molemmissa luokissa on kyse siitä, että turvemaita siirtyy metsityksen ja kosteikkoviljelyn kautta metsämaaksi ja ruoikkoalueiksi. Tämä näkyykin ruohikkoalueiden päästöjen pienenä lisäyksenä (taulukot 14 ja 15). Rakennettujen alueiden

päästökehityksessä ei ole suurta eroa perus- ja politiikkaskenaarion välillä. WAM-skenaariossa hieman suurempi päästö on seurausta lisääntyvästä tuuli- ja aurinkovoimalojen rakentamisesta maalle metsäisille alueille.

WEM-skenaariossa orgaanisen viljelysmaan maaperäpäästöt lisääntyvät tarkastelujaksolla miljoonalla hiilidioksidiekvivalenttitonilla. WAM-skenaariossa pienenevän turvapeltoalan ja turvemaiden korkean vedenpinnan viljelyn seurauksena päästö on perusskenaarioon verrattuna 0,3 miljoonaa hiilidioksidiekvivalenttitonnia pienempi vuonna 2040. WEM-skenaariossa kivennäismaiden päästötrendi on aleneva alkutilanteen 0,5 miljoonasta 0,1 miljoonaan hiilidioksidiekvivalenttitonniin vuonna 2040. WAM-skenaariossa päästö muuttui pieneksi nieluksi vuoden 2030 jälkeen ollen vuonna 2040 noin -0,2 miljoonaa hiilidioksidiekvivalenttitonnia.

Kivennäismaiden päästöarviot perustuvat DREMFA-mallin tuottamaan arvioon kotieläinten määrien, satotasojen ja viljelykasvien pinta-alojen kehityksestä. Tässä hankkeessa ei tehty varsinaista herkkyyksianalyysiä, josta selviäisi, missä määrin yksittäiset tekijät vaikuttavat päästöjen kehitykseen. ILMAVA-hankkeessa (Lehtonen ym. 2021) ja MTK:n maatalouden ilmastotiekartassa (Lehtonen ym. 2020) tehtyjen laskelmien perusteella voidaan kuitenkin olettaa nurmien, kerääjäkasvipinta-alan ja maanparannus- ja saneerauskasvien pinta-alan lisäyksen olevan tärkeimpinä tekijöinä WAM-skenaariossa kivennäismaiden pienempien päästöjen taustalla.

Kuvio 15. LULUCF-sektorin nettonielun kehitys päästoluokittain WEM- ja WAM-skenaariossa.



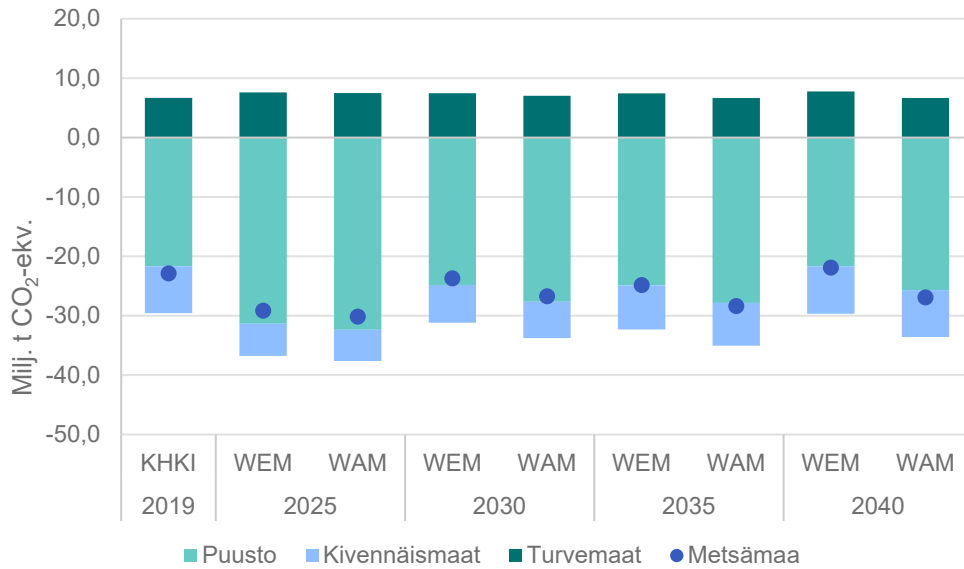
Taulukko 14. LULUCF-sektorin päästöt ja poistumat päästöluokittain WEM-skenaariossa, miljoona hiilidioksidiekvivalentti tonnia. Vuosi 2019 vastaa KHK-inventaarion arvoja AR5:n GWP-kertoimilla ja vuodet 2025–2040 ovat WEM-skenaarion tuloksia.

	2019	2025	2030	2035	2040
Metsämaa	-23,01	-29,17	-23,71	-24,85	-21,92
Viljelysmaa	7,94	7,47	7,58	7,61	7,67
Ruohikkoalueet	0,70	0,69	0,68	0,67	0,65
Kosteikot	2,23	1,75	1,28	1,13	0,90
Rakennettu maa	0,68	1,27	1,23	1,00	0,82
Puutuotteet	-3,37	-3,22	-3,92	-3,56	-2,82
Yhteensä	-14,83	-21,20	-16,85	-18,00	-14,69

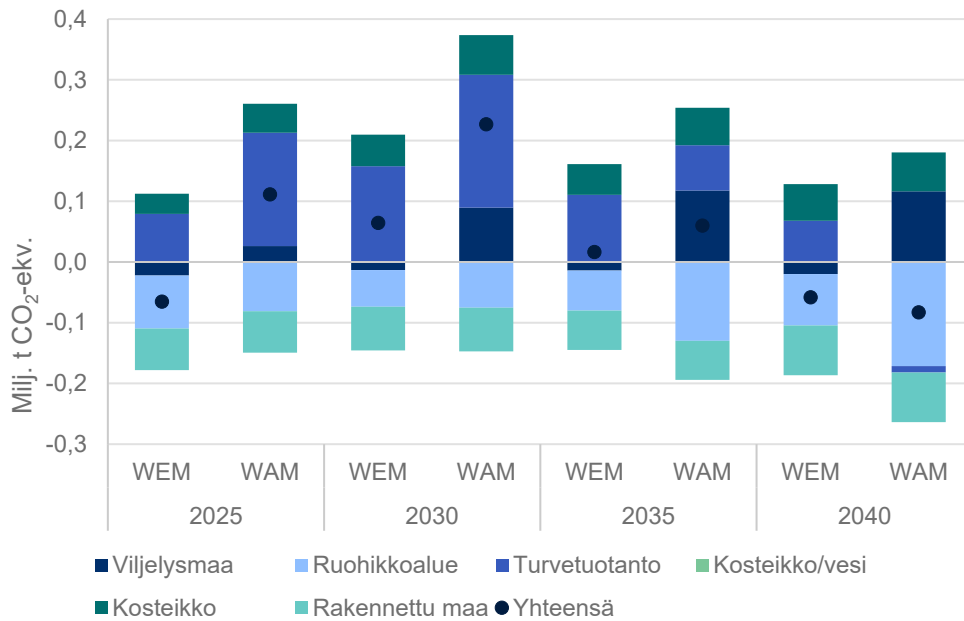
Taulukko 15. LULUCF-sektorin päästöt ja poistumat päästöluokittain WAM-skenaariossa, miljoona hiilidioksidiekvivalentti tonnia. Vuosi 2019 vastaa KHK-inventaarion arvoja AR5:n GWP-kertoimilla ja vuodet 2025–2040 ovat WAM-skenaarion tuloksia.

	2019	2025	2030	2035	2040
Metsämaa	-23,01	-30,14	-26,72	-28,37	-26,92
Viljelysmaa	7,94	6,99	6,70	6,45	6,12
Ruohikkoalueet	0,70	0,73	0,75	0,79	0,82
Kosteikot	2,23	1,25	0,62	0,57	0,56
Rakennettu maa	0,68	1,28	1,23	1,04	0,85
Puutuotteet	-3,37	-3,22	-3,92	-3,56	-2,82
Yhteensä	-14,83	-23,11	-21,33	-23,07	-21,38

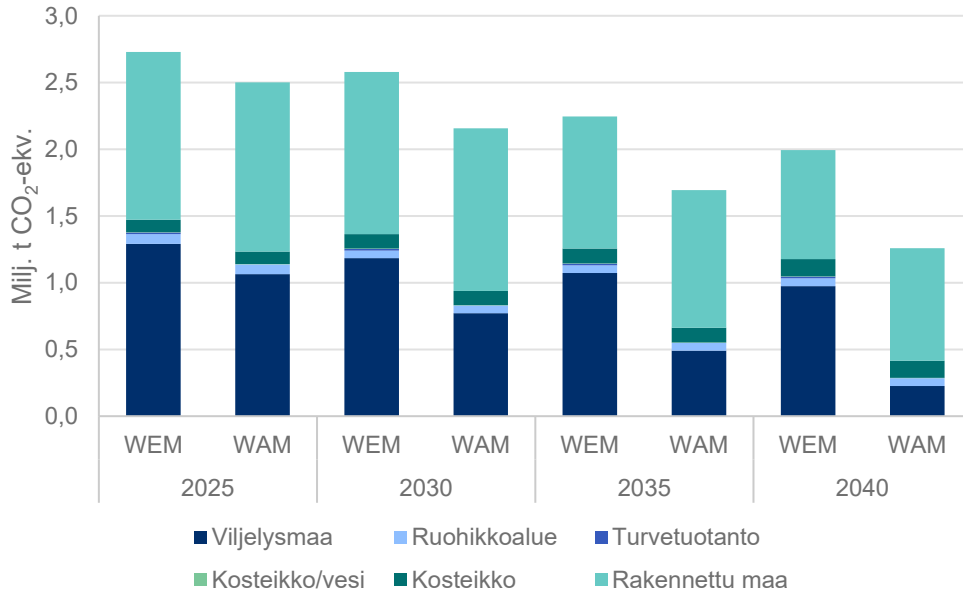
Kuvio 16. Metsämaan kasviuonekaasupäästöt ja -poistumat WEM- ja WAM-skenaariossa, eriteltynä puustoon sekä kivennäis- ja turvemaihin.



Kuvio 17. Metsityksen nettonielun/-päästön kehitys WEM- ja WAM-skenaariossa, eriteltynä maankäyttöluokkiin.



Kuvio 18. Metsäkadosta aiheutuvien päästöjen kehitys WEM- ja WAM-skenaariossa, eriteltynä maankäyttöluokkiin.



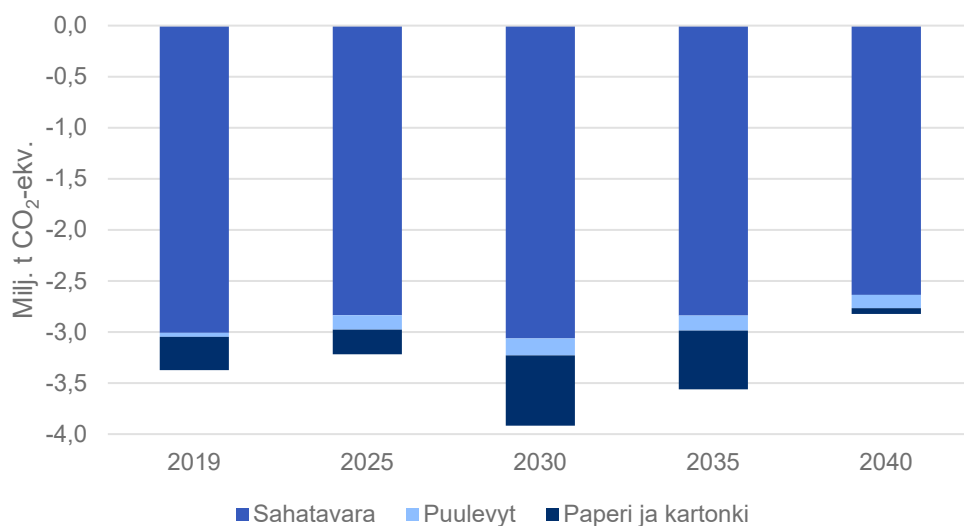
Metsityksen ja metsäkadon vaikutus laskettiin vastaavalla tavalla kuin kasvihuonekaasuinventaarissa. Kunkin vuoden kasvihuonekaasujen päästöt ja poistumat koostuvat kyseisenä vuonna tapahtuneiden muutosalojen vaikutuksen sekä edeltävän 19 vuoden kumulatiiviselle pinta-alalle lasketut päästöt ja poistumat. Siten mukana on historian perintöä. Tämä näkyy etenkin WEM-skenaariossa vuonna 2025 pienenä nieluna. WAM-skenaariossa tilanne on muuttunut selvästi päästöksi voimakkaiden turve- maametsitysten seurauksena (kuvio 17). Vuonna 2030 nettopäästö on politiikkaskenaariossa suurimmillaan 0,2 miljoonaa hiilidioksidiekvivalenttonnia turvetuotannosta vapautuneiden alueiden metsityksen seurauksena. Vuonna 2040 on kasvillisuuden sitoman hiilen seurauksena WAM-skenaario antaa jo hieman WEM-skenaariota suuremman nettonielun (kuvio 17).

Sekä WEM- että WAM-skenaarioissa metsäkadosta aiheutuvat päästöt alenevat vuoteen 2040 mennessä, ja WAM-skenaariossa päästöt ovat 0,7 miljoonaa hiilidioksidiekvivalenttonnia pienemmät. WEM-skenaariossa pellonraivauksesta ja rakentamisesta aiheutuvat lähes yhtä suuret päästöt (kuvio 18). WAM-skenaariossa maatalousmaihin kohdistetut toimet ja raivauksen rajoittaminen vähentävät pellonraivauksen päästöjä.

Edellä kuvattujen maankäyttöluokkien päästölähteiden ja nielujen lisäksi LULUCF-sektoriin sisältyvät myös puutuotteet. Puutuotteiden nettonielu kuvaa sahatavaran,

puulevyjen sekä paperin ja kartongin hiilivarastoissa tapahtuvaa muutosta. Koska näiden tuoteryhmien tuotannot olivat samat WEM- ja WAM-skenaarioissa, myös puutuotteiden vaikutus on yhtä suuri molemmissa skenaarioissa. Kuviossa 19 nähdään paperin ja kartongin nettonielun kasvavan vuoteen 2030 mutta alkavan sitten pienetä vuoteen 2040. Tuotannon kasvaessa myös nielu kasvaa, mutta tuotannon pysyessä samalla tasolla, vanhan hiilivaraston poistuma alkaa pienentää nielua. Vastaavanlainen kehitys on nähtävissä sahatavarassa ja puulevyissä. Skenaarioissa puutuotteiden nettonielu on suurimmillaan 3,9 miljoonaa hiilidioksidiekvivalenttitonnia vuonna 2030 ja pienimmillään 2,8 miljoonaa hiilidioksidiekvivalenttitonnia vuonna 2040.

Kuvio 19. Puutuotteiden nettonielun kehitys WEM- ja WAM-skenaariossa. Tuotanto ja siten myös nielu on sama molemmissa skenaarioissa.



6 Tulosten tarkastelu

Tarja Tuomainen, Liisa Maanavilja

LULUCF-sektorin WAM-skenaarion nettonielu vuonna 2035 on 5 miljoonaa hiilidioksidiekvivalenttitonnia suurempi kuin WEM-skenaarion nettonielu vuonna 2035, joten sektorille asetettu tavoite 3 miljoonaa hiilidioksidiekvivalenttitonnia suuremmasta nettonielusta saavutettiin politiikkaskenaarioon sisällytetyillä toimenpiteillä. WAM-skenaario osoittaa, että maankäyttösektorilla on mahdollista kasvattaa nieluja ja vähentää päästöjä. Maataloussektorin päästöt vähenevät LULUCF-sektorin nettonielun kasvuun verrattuna vähän: WAM-skenaariossa maataloussektorin päästöjä syntyy vuonna 2035 0,4 miljoonaa hiilidioksidiekvivalenttitonnia vähemmän kuin WEM-skenaariossa.

Nettonielun jatkuva kasvattaminen tai sen ylläpitäminen samansuuruisena on LULUCF-sektorilla haastavaa. Ihmisen toiminnan suorat vaikutukset aiheuttavat etenkin metsien nielussa heilahteluja vuosien välillä. Olisikin mietittävä, onko vuosittainen nettonielun kasvun tavoite toteutettavissa ja järkevä, vai tarkastellaanko kehitystrendiä tai useamman vuoden mittaisen jakson keskiarvoa. Sektorin kasvihuonekaasujen päästöt ja poistumat tulevat hyvin erilaisista lähteistä ja nieluista. Maatalousmailla toteutettujen toimenpiteiden vaikutukset näkyvät nopeasti, kun taas metsissä vaikutus näkyy vasta vuosien, jopa vuosikymmenten kuluttua. Mielenkiintoinen ja ehkä arvaamatonkin tekijä tulee turvetuotannosta vapautuvista alueista. Nähtäväksi jää, tuleeko metsitys olemaan turvetuotantoalueiden vallitseva jatkokäyttömuoto ja miten paljon panostusta tarvitaan suopohjien ravinnetilanteen ja vesitalouden pitämisenä suotuisana puuston elinvoimaisuuden kannalta. Rahkasammalen kasvatusta kuivikkeeksi ja kasvu-alustaksi on yksi ratkaisu suopohjien käytölle. On arvioitu, että rahkasammaleen korjuupinta-alaa tarvitaan noin 2 000 hehtaaria vuodessa korvaamaan nykyinen kasvu-turpeen tuotanto. Vaikka ensimmäinen sato päästään korjaamaan vasta 30 vuoden kuluttua, sitoutuu rahkasammalen kasvun aikana hiiltä ekosysteemiin.

LULUCF-sektorin nielun kehittyminen on riippuvainen etenkin maataloudessa toteutetuista toimista, mutta myös energiaratkaisuista ja siitä, millaisille alueille ja miten rakentaminen tulevaisuudessa kohdentuu. Nykyisellään metsätaloudella on suurin merkitys LULUCF-sektorin tulokseen. Metsien nettonielun kokoon vaikuttavat jatkossakin toteutettavien metsänhoitotoimien ja metsien eri käyttömuotojen lisäksi puunkäytön kehittyminen, puun käyttö energiaksi ja raaka-aineeksi erilaisiin tuotteisiin.

Maatalouden toimien päästövähennysvaikutukset painottuvat LULUCF-sektorille. Maatalouteen ja maatalousmaihin kohdistetuilla toimilla WAM-skenaariossa saatiin viljelysmaiden päästöjä alenemaan. Lisäksi uuden pellon metsästä raivauksen rajoitta-

minen vähentää LULUCF-sektorin päästöjä. Maataloussektorin päästöjen merkittävään vähentämiseen tarvittaisiin maatalousturvemaiden päästöjä vähentävien toimien lisäksi eläintuotantoa vähentävä ruokavaliomuutos, jollaista HIISI-WAM-skenaariossa ei oletettu. Nautojen rehun lisäaineilla ja täsmäviljelyllä pystytään hieman vähentämään nimenomaan maataloussektorin päästöjä. Rehun lisäaineet ovat kuitenkin kustannuksiltaan kallis tapa vähentää päästöjä.

Turvetuotantoalueiden pinta-alan merkittävän vähenemisen olisi voinut odottaa vähentävän LULUCF-sektorin päästöjä enemmän, mutta vapautuville alueille kohdistetut jatkoimet, metsitys ja rahkasammalen kasvatusta kuivikkeeksi ja kasvualustaksi eivät näin lyhyellä tarkastelujaksolla vaikuta merkittävästi nieluja lisäävästi. Metsien netto-nielua kasvattivat lähinnä puuston kasvua lisäävät lannoitukset.

Tavoitteen saavuttamiseen liittyy riskejä. Ensinnäkin skenaariolaskennoissa käytettyjen oletusten oikeellisuus ja menetelmien käytön sopivuus historian sijasta tulevaisuuden kuvaamiseen on keskeinen kysymys.

Laskentaan tuotujen uusien toimenpiteiden vaikutusarvioihin (esim. ilmastokosteikat, rahkasammalen kasvatusta) tulee suhtautua varauksella. Laskennoissa käytettiin IPCC:n laskentaohjeiden oletuspäästökertomia, jos kansallisia päästökertoimia ei ollut käytettävissä. Vaikutusarviot tarkentuvat, kun käynnissä olevat tutkimukset valmistuvat. Myöhemmin voi myös käydä ilmi, että nyt toimenpidevalikoimaan sisällytettyjen toimien merkitys jää vähäiseksi, jos eri toimijat ja maanomistajat eivät niitä suosi käytännön syistä tai taloudellisen kannusteen puuttuessa. Metsitystukea voi saada ns. joutoalueille maatalouskäytön ulkopuolisille peltolohkoille ja turvetuotannosta poistuneille alueille. Voimassa oleva määräaikainen metsityslaki ei takaa turvetuotannosta vapautuvien alueiden metsitystä, joten halutun vaikutuksen aikaansaamiseksi on joko lain voimassaoloa jatkettava tai luotava politiikkakannuste.

HIISI-työssä ei otettu huomioon ilmastonmuutoksen vaikutuksia. Myöskään muutoksia suojelun tasossa tai biodiversiteetin ylläpitämiseksi ja edistämiseksi tehtäviä toimia ei sisältynyt laskelmiin.

Liitteet

L1	Puuta jalostavan teollisuuden ja energiantuotannon puuntarve sekä hakkuukertymätavoite	76
L2	Metsikkösimuloinnin kuvaus MELA2016-ohjelmistolla	78
	L2.1 Metsiköiden kehityspolkujen simulointi WEM skenaariossa	78
	L2.2 Kasvuntason kalibrointi	79
	L2.3 Puutavaralajeittainen tilavuuksien laskenta	80
	L2.4 Hintaoletukset	80
L3	Metsien kehityksen ennustamisen erot MALUSEPO- ja HIISI-laskelmien välillä	85
L4	Metsä- ja kitumaan pinta-alat, puuston kehitys ja metsien käsittely WEM- ja WAM-skenaarioissa	86
L5	Maankäytön muutokset WEM-skenaariossa	92
L6	Maankäytön muutokset WAM-skenaariossa	93

L1 Puuta jalostavan teollisuuden ja energiantuotannon puuntarve sekä hakkuukertymätavoite

Puuta jalostavan teollisuuden puuntarve perustuu arvioon eri metsäteollisuustuotteiden tuotantomäärien kehityskuluista, jotka pohjautuvat Metsäteollisuus ry:n ja Sahateollisuus ry:n vähähiilitiekarttoihin. Tiekarttojen tuotantomääriä on kuitenkin tarkistettu etenkin massa- ja paperiteollisuuden osalta kapasiteettileikkausten ja päätettyjen investointien mukaisesti. Eri tuotteiden tuotantoluvuista on laskettu tuotannon vaatimaa puumäärä noudattaen samaa menetelmää kuin Lehtonen ym. (2016), Aakkula ym. (2019) ja Koljonen ym. (2020) -raporteissa. Menetelmässä tietyn tuotteen yhden tonnin tai kuutiometrin tuotanto vaatii puunkulutuskertoimen mukaisen kiintokuutiometri määrän (kuoreton) raakapuuta. Lisäksi tiettyjen tuotteiden, kuten sahatavaran ja vanerin, tuotanto tuottaa tietyn määrän sivutuotehaketta, joka hyödynnetään laskelma- massa sellun tuotantoon. Tämän raportin laskelmissa puunkulutuskertoimet on kalibroitu metsäteollisuuden vuosien 2015–2019 tilastoitujen tuotantomäärien ja puun käyttömäärien avulla. WEM- tai WAM-skenaarioissa ei ole oletettu materiaalitehokkuuden paranemista metsäteollisuudessa investointien myötä tapahtuvan teknisen kehityksen vuoksi. Lisäksi eri metsäteollisuustuotteiden tuotantomäärät ovat WEM- ja WAM-skenaarioissa samat.

Laskelma tuottaa ensimmäisessä vaiheessa metsäteollisuuden tarvitseman raaka-puun kokonaismäärän puutavaralajeittain, josta vähentämällä sivutuotehake päädy-tään eri puutavaralajien kokonaistarpeisiin. Näihin lisätään kuoren osuus kuorikertoi-milla, jolloin tuloksena on eri puutavaralajien tarve kuorellisina kiintokuutiometreinä (Suomen metsätilastot 2019). Puutavaralajien tarpeesta vähennetään metsäteollisuus-ten käyttöön päätyvä tuontipuun, jonka määrän oletetaan WEM- ja WAM-skenaariossa olevan puutavaralajeittain yhtä suuren kuin vuosien 2015–2019 keskiarvon. Lopputu-loksena syntyy arvio metsäteollisuuden kotimaisen ainespuun tarpeesta.

Energiantuotannon kiinteiden puupolttoaineiden tarve perustuu VTT:n TIMES-mallin-nuksen tulokseen, ja se koostuu puun energiakäytöstä lämpö- ja voimalaitoksissa sekä puun pienpoltosta. Pienpoltton puun oletetaan olevan runkopuuta ja lämpö- ja voimalaitosten käyttämän puun metsähaketta, joka koostuu runkopuusta, hakkuutäh-teistä (muu kuin runkopuu) sekä kannoista ja juurista. Lämpö- ja voimalaitosten käyt-tämästä metsähakkeesta osan on oletettu olevan tuontihaketta (ks. luku 4.3, taulukko 6), joka on vähennetty energiantuotannon kotimaiseen puuhun kohdistuvasta puuntar-peesta. Energiantuotannon kotimaiseen puuhun kohdistuva kokonaistarve on jaettu runkopuuhun, hakkuutähteisiin sekä kantoihin ja juuriin vuosien 2015–2019 keskimää-räisen jakauman mukaisesti.

Metsäteollisuuden ja lämpö- ja voimalaitosten sekä puun pienpoltton kotimaiseen puu-hun kohdistuvaan tarpeeseen on lisätty ainespuun kotitarvehakkuut, joiden on oletettu WEM- ja WAM- skenaarioissa pysyvän nykytasolla. Lopputuloksena on koko valta-kunnan tason hakkuukertymätavoite, joka on jaettu maakunnittaisiksi hakkuukertymä-tavoitteiksi vuodesta 2020 hyödyntäen Koljonen ym. (2020) -raportissa käytettyjä maakuntien osuuksia valtakunnan tason korjuumääristä. Nämä puolestaan perustuvat tilastoituihin teollisuuspuun keskimääräisiin hakkuumääriin vuosina 2016–2018, met-sähakkeen keskimääräinen käyttöön vuosina 2012–2018 sekä kotitalouksien poltto-puun käyttöön (kts. Koljonen ym. 2020, liite A). Vuoteen 2019 saakka Hiisi-hankkeen laskelmissa käytetyt maakunnittaiset hakkuukertymät perustuvat tilastoihin. Maakun-nittaisia hakkuukertymätavoitteita on käytetty MELA-optimoinnissa alueellisina tavoit-teina laskettaessa optimiratkaisun mukaisia hakkuumääriä sekä niiden kohdentu-mista.

L2 Metsikkösimuloinnin kuvaus MELA2016-ohjelmistolla

L2.1 Metsiköiden kehityspolkujen simulointi WEM skenaariossa

Laskentayksiköiden käsittely- ja kehitysvaihtoehdot tuotettiin puukohtaisiin malleihin (mm. Hynynen ym. 2002) perustuvalla MELA2016-ohjelmiston metsikkösimulaattorilla (Hirvelä ym. 2017). MELA-ohjelmistoon sisältyvistä luonnonprosessimalleista ja niiden soveltamisesta löytyy tarkempi kuvaus julkaisusta Nuutinen ym. (2007).

Laskentayksiköiden käsittely perustui Tapion metsänhoidon suosituksiin (Äijälä ym. 2019, Koistinen ym. 2019). Ensisijaisesti puuntuotannossa olevalla maalla mahdollisia käsittelyvaihtoehtoja olivat kasvatushakkuut (runkolukuun ja pohjapinta-alaan perustuvat harvennukset ja ylispuiden poistot) ja uudistushakkuut (avo- ja siemenpuuhakkuut), säästöpuiden jättäminen uudistushakkuissa, raivaus, maanpinnan käsittely, metsänviljely (istutus ja kylvö), taimikonhoito ja ojitetuilla turvemailla ravinteikkaan kasvupaikan korpia lukuun ottamatta harvennushakkuun yhteydessä kunnostusojitus. Avohakkuun jälkeen tehtiin aina metsänviljely. Harvennushakkuut simuloitiin aina alaharvennustyyppisinä ja taimikonhoito aina metsänhoidon suositusten mukaisesti. Kukulutus, lannoitus, uudisojitus, pystypuiden karsinta, yläharvennus ja eri-ikäisrakenteisen metsän kasvatus eivät olleet mukana WEM-skenaarion simuloinneissa. Rajoitetun puuntuotannon maalla korjattiin vain ainespuuta ja sallittuja hakkuutapoja olivat vain kasvatushakkuut. Kitumailla ja kokonaan puuntuotannon ulkopuolella olevilla alueilla ei tehty mitään toimenpiteitä. Erot WEM- ja WAM-skenaarioiden lähtöoletuksissa on kerrottu luvussa 4.4.

Harvennushakkuiden simulointi noudatti metsänhoidon suositusten mukaisia harvennushakkuuja. Harvennushakkuut olivat mahdollisia myös uudistuskypsissä metsiköissä ja harvennusten lukumäärää metsikön kiertoajan kuluessa ei rajoitettu. Peräkkäisten hakkuiden välisen ajan oli oltava vähintään 10 vuotta, ojitusalueilla kuitenkin vähintään 20 vuotta. Metsiköiden kehitystä ennustettaessa harvennus- ja uudistushakkuuvaihtoehtojen rinnalle simuloitiin aina myös pelkkä puuston kasvatusvaihtoehto ilman hakkuutoimenpiteitä.

Harvennushakkuissa voitiin korjata joko pelkästään ainespuuta, aines- ja energia-puuta integroituna korjuuna tai pelkästään energiapuuta. Integroidussa korjuussa energiapuu koostui männyn, kuusen, koivun ja haavan osalta rinnankorkeusläpimitaluokista 4–9 cm ja muilla puulajeilla kaikista rinnankorkeusläpimitaltaan vähintään 4

cm:n paksuisista puista. Harvennushakkuiden energiapuu korjattiin kuivahkojen kankaiden ja tätä viljavampien kankaiden mänty- tai lehtipuuvaltaisista metsiköistä kokopuuna. Energiapuu korjattiin rankapuuna em. kasvupaikkoja karummilta kangasmailta, turvemailta tai aina, kun pääpuulaji oli kuusi. Avohakkuukohteilta voitiin korjata joko vain ainespuuta tai, kun kyseessä oli kivennäismailla lehtomainen, tuore tai kuivahko kangas, ainespuun lisäksi a) hakkuutähdettä (oksat ja latvahukkapuu) tai b) hakkuutähdettä ja kantoja. Kun avohakkuukohteelta korjattiin energiapuuta, 70 % hakkuutähdestä (oksat ja runkopuu) otettiin talteen. Kantojen nostokohteilta korjattiin läpimitaltaan vähintään 25 cm:n paksuiset kannot, joista saatiin talteen 85 %. Luontaisesti uudistettavilta aloilta korjattiin vain ainespuuta. Luonnonpoistumana kuollutta puuta ei korjattu talteen.

L2.2 Kasvuntason kalibrointi

Metsämaan pohjapinta-alan kasvumallit on kalibroitu valtakunnan metsien 11. inventoinnin (VMI11) kasvunmittausten perusteella (Valtakunnan ... 2013). Ennen kalibrointia kasvunmittaukset on indeksikorjattu vastaamaan vuosien 1984–2013 läpimitan kasvun keskitasoa (Korhonen ym. 2007). Kalibrointiin on käytetty vuosina 2009–2013 mitattuja koepuita sellaisilta metsämaan koealoilta, jotka kuuluivat kokonaisuudessaan samaan metsikkökuvioon ja joita ei ollut hakkuin käsitelty viimeiseen 10 vuoteen. Laskennassa käytetty kasvuntason kalibrointi on kuvattu tarkemmin MELA Tulospalvelussa (Luke 2021d).

Vuosien 1984–2013 keskimääräiselle tasolle kalibroidun pohjapinta-alan kasvun avulla laskettua tilavuuskasvun arviota tarkennettiin vielä lopuksi ottamalla kasvun arviossa huomioon kalibroitajakson keskivuodesta (1999) vuoteen 2017 tapahtunut ilman lämpötilan ja hiilidioksidipitoisuuden nousun vaikutus Matalan ym. (2005) funktioiden avulla. Kalibroitajakson keskivuodelle laskettiin edeltäneen 30 vuoden (1970–1999) lämpötilan ja hiilidioksidipitoisuuden keskiarvot ja vuodelle 2017 vastaavasti vuosien 1988–2017 lämpötilan ja hiilidioksidipitoisuuden keskiarvot. Näiden kahden ajankohdan keskiarvojen erotukset (Etelä-Suomi 0,89 °C ja 41,2 ppm; Pohjois-Suomi 0,996 °C ja 41,2 ppm) annettiin syötteenä Matalan ym. (2005) funktioihin. Näin saatu tilavuuskasvun arvio oli vuosille 2016–2025 vuosina 2016–2018 toteutuneiden hakkuiden tasoa noudattaen koko Suomessa 105,5 miljoonaa kuutiometriä vuodessa, kun VMI12 mitattu kasvu oli 107,8 miljoonaa kuutiometriä vuodessa (Luke 2021c) perustuen inventointia edeltäneiden viiden täyden kasvukauden kasvumittauksiin.

L2.3 Puutavaralajeittainen tilavuuksien laskenta

Puutavaralajien tilavuuksien laskennassa käytettiin Laasasenahon (1982) puulajeittain laadittuja, puun rinnankorkeusläpimittaan ja pituuteen perustuvia runkokäyräyhtälöitä. Koska rungton dimensioihin perustuva apteeraus ei ota huomioon puun rungossa esiintyviä laatuviikoja (esim. oksikkuutta tai mutkaisuutta), apteerauksessa saatua yksittäisen puun tukkitilavuutta korjattiin laskennassa VMI8- ja VMI9-aineistoihin perustuvalla tukkivähennysmallilla (Mehtätalo 2002). Malli pienensi puulle laskettua tukkitilavuutta ja erotus siirtyi kuitupuuksi. Edelleen maakunnittain kalibroitiin näin saatu tukkipuun määrä vastaamaan VMI:n arvioituja tukkiosuuksia puulajeittain laskelmien alkutilanteessa (Luke 2021c).

Lisäksi apteerauksen tuloksena saatua runkohukkapuun määrää korjattiin MELA2016-ohjelmistoon jälkikäteen lisätyn ominaisuuden avulla, jolla ainespuuhakkuissa hukkapuun osuutta hakkuupoistumasta kalibroitiin VMI12-aineistosta arvioituilla osuuksilla puulajeittain ja hakkuutavoittain. Skenaariolaskelmien tuloksena saatu hakkuutähteen keskimääräinen osuus ei kuitenkaan täsmälleen vastaa VMI12-aineiston mukaista keskiarvoa johtuen hakkuiden erilaisesta kohdentumisesta puulajeittain ja hakkuutavoittain. Kalibroinnissa hukkapuun tilavuuden mahdollinen lisäys vähensi ainespuukertymää, alkaen kuitupuusta, vastaavalla tilavuudella (Luke 2021d).

L2.4 Hintaoletukset

Nettotulojen nykyarvon laskenta perustui ainespuun (tukki- ja kuitupuun) osalta tienvarsihintoihin ja energiapuun osalta käyttöpistehintoihin. Nettotulot saatiin vähentämällä näin lasketuista hakkuutuloista ainespuun korjuun, energiapuun korjuun (sisältäen myös kuljetuskustannukset käyttöpisteeseen) ja metsänhoidon kustannukset.

Ainespuun osalta tienvarsihinnat laskettiin lisäämällä toteutuneisiin kantohintoihin (€/m^3) koko Suomessa keskimäärin toteutuneet korjuukustannukset (€/m^3). Kantohinnat määritettiin maakunnittain ja puutavaralajeittain siten, että kunkin puutavaralajin kantohintoina käytettiin vuosina 2009–2018 toteutunutta keskimääräistä yksikköhintaa (Luke 2019b) vuoden 2018 hintatasoon muutettuina (taulukko L2.4 1). Koivukuidun hintaa käytettiin haavan tukki- ja kuitupuulle. Muiden lehtipuiden tukki- ja kuitupuulle käytettiin koivukuidun ensiharvennushintaa, joka oli keskimäärin $2,90 \text{ €/m}^3$ alempi kuin koivukuidun keskihinta. Tienvarsihinnan laskennassa käytetty keskimääräinen korjuukustannus määritettiin vuosien 2009–2017 koko Suomessa keskimäärin toteutuneena reaalisena (vuoden 2018 rahanarvolla) korjuukustannuksena (Luke 2018) ja se oli tukkipuun osalta $7,80 \text{ €/m}^3$ ja kuitupuun osalta $14,30 \text{ €/m}^3$.

Taulukko L2.4 1. Laskelmissa käytetyt maakunnittaiset eri puutavaralajien kantohinnat, jotka määritettiin vuosina 2009–2018 toteutuneina keskimääräisinä yksikköhintoina vuoden 2018 hintatasoon muutettuina.

Maakunta	Kantohinta, €/m ³					
	Tukkipuu			Kuitupuu		
	Mänty	Kuusi	Koivu	Mänty	Kuusi	Koivu
Uusimaa	59,60	60,70	44,35	16,30	19,85	16,45
Varsinais-Suomi	60,00	60,55	40,35	17,40	20,10	16,85
Satakunta	60,05	60,80	39,50	17,40	20,35	17,05
Kanta-Häme	60,15	61,30	44,45	16,45	20,05	16,65
Pirkanmaa	60,25	61,80	42,15	16,90	20,10	16,70
Päijät-Häme	60,40	61,25	45,15	16,50	19,95	16,65
Kymenlaakso	60,60	61,00	44,85	17,10	19,90	16,50
Etelä-Karjala	60,95	60,95	45,65	17,20	19,80	16,50
Etelä-Savo	60,60	61,15	47,75	17,05	19,15	16,60
Pohjois-Savo	58,10	60,30	44,50	16,65	18,60	16,55
Pohjois-Karjala	58,90	59,45	45,10	16,75	18,40	16,00
Keski-Suomi	59,75	61,60	45,10	17,15	19,85	16,80
Etelä-Pohjanmaa	59,30	60,25	39,95	17,85	20,05	17,75
Pohjanmaa	59,90	59,40	37,85	17,60	20,00	17,35
Keski-Pohjanmaa	59,40	59,75	40,60	17,95	20,40	18,00
Pohjois-Pohjanmaa	56,70	57,45	39,55	17,50	19,45	17,40
Kainuu	56,20	56,75	42,75	16,60	18,75	16,05
Lappi	52,10	51,20	16,95	17,00	19,25	16,35
Ahvenanmaa	40,95	40,95	38,20	15,95	15,95	12,35

Metsähakkeen käyttöpistehinta (taulukko L2.4 2) perustui Tilastokeskuksen energiatiilaston (Tilasto: Energian ... 2019) vuosien 2009–2018 määrillä painotettuun reaaliiseen keskihintaan (€/Mwh, vuoden 2018 rahanarvolla), joka muutettiin kuutiometrihinnaksi kertoimella 2.

Taulukko L2.4 2. Laskelmissa käytetyt metsähakkeen käyttöpistehinnat energijakeittain.

Energiajaje	Käyttöpistehinta, €/m ³
Ranka	42,60
Oksatähde	42,60
Kanto ja juuret	42,60

Simuloidut korjuukustannukset laskettiin korjuun ajanmenekin ja korjuun yksikköhintojen tulona. Taulukossa L2.4 3 on esitetty laskelmissa käytetyt korjuun yksikköhinnat (vuoden 2018 rahanarvolla) ainespuun ja taulukossa L2.4 4 energiapuun osalta. Laskennassa käytetyt ajanmenekifunktiot perustuivat useisiin työaikatutkimuksiin ainespuun (mm. Kuitto ym. 1994, Rummukainen ym. 1995, Rajamäki ym. 1996, Väkevä ym. 2001, Metsäalan palkkauksen ... 2010) ja energiapuun korjuun (mm. Laitila 2010, Laitila ym. 2004, 2007, Kärhä ym. 2004, 2006, Heikkilä ym. 2005) osalta.

Taulukko L2.4 3. Laskelmissa käytetyt korjuun yksikköhinnat sisältäen palkkojen lisäksi yrittäjävoiton, henkilösivukustannukset ja työvälinekorvaukset.

Työlaji	Yksikköhinta, €/h
Metsäkuljetus	75,00
Hakkuu monitoimikoneella	100,00
Metsurihakkuu	28,35

Taulukko L2.4 4. Laskelmissa käytetyt energiapuun hankinnan yksikköhinnat sisältäen palkkojen lisäksi henkilösivukustannukset ja työvälinekorvaukset. Energiapuun korjuulle ei kohdistettu korjuu- tai haketustukia.

Työlaji	Yksikköhinta
Metsäkuljetus, €/h	75,00
Hakkuu monitoimikoneella, €/h	100,00
Metsurihakkuu, €/h	28,35
Kantokaivuri, €/h	75,00
Tienvarsihaketin, €/h	210,00
Kaukokuljetus, €/h	75,00
Lastaus ja purku, €/h	55,00
Käyttöpistemurskain, €/m ³	2,80

Metsänhoitotöiden kustannukset laskettiin työmäärien ja vuosina 2008–2017 toteutuneiden keskimääraisten, vuoden 2018 hintatasoon muutettujen yksikköhintojen (Luke 2019a) tulona (taulukko L2.4 5).

Taulukko L2.4 5. Laskelmissa käytetyt alueittaiset metsänhoitotöiden yksikköhinnat, jotka määritettiin vuosina 2008–2017 toteutuneina keskimääräisinä yksikköhintoina vuoden 2018 hintatasoon muutettuina.

Työlaji	Etelä-Suomi ¹⁾	Väli-Suomi ²⁾	Pohjanmaa ³⁾	Pohjois-Suomi ⁴⁾
Äestys, €/ha	279,00	252,00	222,00	195,00
Auraus/mätästys, €/ha	391,00	381,00	372,00	313,00
Männyn kylvä (siemenet), €/ha	244,00	264,00	221,00	207,00
Männyn taimi, €/taimi	0,15	0,15	0,15	0,15
Kuusen taimi, €/taimi	0,17	0,17	0,17	0,17
Koivun taimi, €/taimi	0,30	0,30	0,30	0,30
Männyn täydennystaimi, €/taimi	0,18	0,18	0,18	0,18
Kuusen täydennystaimi, €/taimi	0,26	0,26	0,26	0,26
Koivun täydennystaimi, €/taimi	0,40	0,40	0,40	0,40
Istutus- ym. metsänhoitotyö, €/h	21,53	21,35	21,35	21,35
Ruohous, €/ha	309,00	283,00	295,00	273,00
Uudistusalan raivaus ja taimikon perkaus, €/h	28,35	28,35	28,35	28,35
Kasvatuslannoitus, €/ha	348,00	333,00	361,00	344,00
Kunnostusojitus, €/ha	209,00	172,00	195,00	163,00
Suunnittelu- ja työnjohtotyö, €/h	21,35	21,35	21,35	21,35

¹⁾ Etelä-Suomi: Uudenmaan, Varsinais-Suomen, Satakunnan, Kanta-Hämeen, Pirkanmaan, Päijät-Hämeen, Kymenlaakson, Etelä-Karjalan, Etelä-Savon ja Ahvenanmaan maakunnat

²⁾ Väli-Suomi: Pohjois-Savon, Pohjois-Karjalan ja Keski-Suomen maakunnat

³⁾ Pohjanmaa: Etelä-Pohjanmaan, Pohjanmaan ja Keski-Pohjanmaan maakunnat

⁴⁾ Pohjois-Suomi: Pohjois-Pohjanmaan, Kainuun ja Lapin maakunnat

L3 Metsien kehityksen ennustamisen erot MALUSEPO- ja HIISI-laskelmien välillä

Taulukko L3 1. MALUSEPO- ja HIISI-laskelmien skenaariot sekä niiden väliset eroavuudet laskenta-aineiston ja laskennassa tehtyjen oletusten suhteen. HIISI-laskelmien osalta tarkemmat kuvaukset löytyvät liitteestä L2.1.

	MALUSEPO	HIISI
Tulosjulkaisu	Koljonen ym. (2020)	Maanavilja ym. (2021) (tämä raportti)
Skenaariot / projektiot *)	WEM Jatkuva kasvu Säästö	WEM (määrittely poikkeaa MALUSEPO:sta) WAM
Laskelma-alue	WEM: maakunta/AMO-alue Muut: osa-alue (Etelä-, Kaakkois-, Väli- ja Pohjois-Suomi)	WEM: maakunta WAM: maakunta
Aineisto	VMI11/12 (2013–2017), paitsi Ylä-Lapissa VMI11 (2012–2013)	VMI12 (2014–2018), paitsi Ylä-Lapissa VMI11 (2012–2013)
Laskelmaoletukset		
Runkopuun hukkapuun laskenta (ainespuu-hakkuissa)	Puiden katkonnan perusteella, hukka-puuksi kuitupuun minimimittoja pienempi runkopuu. Lisäksi hakkuutähteen osuus hakkuupoistumasta kalibroitu VMI11-aineistosta arvioiduilla osuuksilla	Puiden katkonnan perusteella, hukka-puuksi kuitupuun minimimittoja pienempi runkopuu. Lisäksi hakkuutähteen osuus hakkuupoistumasta kalibroitu VMI12-aineistosta arvioiduilla osuuksilla
Puutavara-lajien hinnat	Keskimääräiset tilastoidut vuosilta 2008–2017	Keskimääräiset tilastoidut vuosilta 2009–2018
Metsänhoitotöiden kustannukset	Keskimääräiset tilastoidut vuosilta 2007–2016	Keskimääräiset tilastoidut vuosilta 2008–2017
Taimikonhoito	Aina metsänhoidon suositusten mukaisesti	Aina metsänhoidon suositusten mukaisesti
Kasvatuslannoitus	Ei kasvatuslannoitusta	WEM: Ei kasvatuslannoitusta WAM: Kasvatuslannoitusala 150 000 hehtaariin vuodessa
Ojitettujen turvemaiden kunnostusojitus	Ravinteikkaissa korvissa ei kunnostusojitusta harvennusten yhteydessä	WEM: Ravinteikkaissa korvissa ei kunnostusojitusta harvennusten yhteydessä WAM: Ravinteikkaissa korvissa ja karuilla rämeillä ei kunnostusojitusta harvennusten yhteydessä
Harvennustapa	Vain alaharvennus	WEM: Vain alaharvennus WAM: Pääosin alaharvennus, mutta ravinteikkaissa korvissa 30 % ppa-harvennuksista yläharvennustyyppisinä **)

*) Kaikissa skenaarioissa maksimoitiin laskelma-alueittain nettotulojen nykyarvoa 4 %:n tuottovaa-
timuksella. Skenaarioiden määritykset poikkesivat toisistaan aines- ja energiapuun kertymätavoit-
teiden osalta.

**) Yläharvennus oli mahdollinen vain viimeisenä pohjapinta-alaohjeisiin perustuvana harvennuk-
sena (ppa-harvennuksena) kiertoajan kuluessa.

L4 Metsä- ja kitumaan pinta-alat, puuston kehitys ja metsien käsittely WEM- ja WAM-skenaarioissa

Taulukko L4 1. Metsä- ja kitumaan pinta-alat (1 000 ha) ajanjaksolla 2016–2046.

WEM- ja WAM-skenaariot	2016	2026	2036	2046
Metsä- ja kitumaan pinta-ala, 1 000 ha	22 812	22 812	22 812	22 812
Metsämaa	20 277	20 277	20 277	20 277
Ensisijaisesti puuntuotannossa	17 282	17 282	17 282	17 282
Rajoitetussa puuntuotannossa	1 163	1 163	1 163	1 163
Puuntuotannon ulkopuolella	1 832	1 832	1 832	1 832
Kitumaa	2 535	2 535	2 535	2 535
Kangasmaa	16 154	16 154	16 154	16 154
Turvemaa	6 657	6 657	6 657	6 657

Taulukko L4 2. Puuston runkotilavuuden (milj. m³) kehittyminen WEM- ja WAM-skenaarioiden mukaan ajanjaksolle 2016–2046 arvioituna.

WEM-skenaario	2016	2026	2036	2046
Puuston runkotilavuus metsä- ja kitumaalla, milj. m³	2 475	2 702	2 871	3 017
Mänty	1 246	1 389	1 479	1 552
Kuusi	745	809	872	935
Lehtipuu	484	504	519	531
Kangasmaa	1 880	2 082	2 244	2 398
Mänty	929	1 053	1 154	1 246
Kuusi	602	659	708	758
Lehtipuu	349	369	382	394
Turvemaa	595	620	627	619
Mänty	317	336	325	306
Kuusi	143	150	164	177
Lehtipuu	135	134	138	137
WAM-skenaario	2016	2026	2036	2046
Puuston runkotilavuus metsä- ja kitumaalla, milj. m³	2 475	2 711	2 902	3 080
Mänty	1 246	1 396	1 505	1 600
Kuusi	745	809	877	949
Lehtipuu	484	506	520	531
Kangasmaa	1 880	2 080	2 248	2 422
Mänty	929	1 052	1 159	1 267
Kuusi	602	658	709	764
Lehtipuu	349	370	380	392
Turvemaa	595	631	655	658
Mänty	317	344	346	333
Kuusi	143	151	169	185
Lehtipuu	135	136	140	139

Taulukko L4 3. Puuston ennustetut kasvut ja kokonaispoistumat (milj. m³/v) metsä- ja kitumaalla WEM- ja WAM-skenaarioiden mukaan ajanjaksolla 2016–2045.

WEM-skenaario	2016–2025	2026–2035	2036–2045
Runkopuun kasvu, milj. m³/v	106,0	106,4	108,1
Runkopuun kokonaispoistuma, milj. m³/v ¹⁾	83,3	89,6	93,5

WAM-skenaario	2016–2025	2026–2035	2036–2045
Runkopuun kasvu, milj. m³/v	106,8	109,3	111,5
Runkopuun kokonaispoistuma, milj. m³/v ¹⁾	83,3	90,1	93,7

¹⁾ Sisältää hakkuissa, taimikonhoidossa ja raivauksessa kaadetun sekä luonnonpoistumana kuolleen puuston runkotilavuuden.

Taulukko L4 4. Runkopuun hakkuukertymät sekä aines- ja energiapuun kertymät (milj. m³/v) puuntuotannossa olevalla metsämaalla WEM-skenaarion mukaan ajanjaksolle 2016–2045 arvioituna.

WEM-skenaario	2016–2025	2026–2035	2036–2045
Runkopuun hakkuukertymä, milj. m³/v	71,1	78,6	82,0
Kasvatushakkuu	22,0	31,9	35,1
Uudistushakkuu	49,1	46,6	46,9
Ainespuukertymä, milj. m³/v	61,8	67,8	71,2
Mänty	27,8	32,4	33,9
Kuusi	23,9	26,6	28,4
Lehtipuu	10,0	8,8	8,9
Tukkipuukertymä ¹⁾	27,0	29,8	30,4
Mänty	12,0	13,6	14,0
Kuusi	13,9	15,1	15,4
Lehtipuu	1,1	1,1	1,1
Kuitupuukertymä ¹⁾	34,8	38,0	40,8
Mänty	15,8	18,7	19,9
Kuusi	10,1	11,5	13,1
Lehtipuu	8,9	7,7	7,8
Energiapuukertymä, milj. m³/v	13,4	16,0	16,4
Runkopuu	9,4	10,8	10,8
josta ainespuukokoista	8,7	10,2	10,3
Oksat, lehdet ja neulas	3,3	4,4	4,7
Kannot ja juuret	0,7	0,8	0,9

¹⁾ Laskentateknisistä seikoista johtuen tukki- ja kuitupuukertymän arviot ovat vain suuntaa antavia.

Taulukko L4 5. Runkopuun hakkuukertymät sekä aines- ja energiapuun kertymät (milj. m³/v) puuntuotannossa olevalla metsämaalla WAM-skenaarion mukaan ajanjaksolle 2016–2045 arvioituna.

WAM-skenaario	2016–2025	2026–2035	2036–2045
Runkopuun hakkuukertymä, milj. m³/v	71,1	79,2	82,2
Kasvatushakkuu	22,8	33,2	36,6
Uudistushakkuu	48,3	45,9	45,6
Ainespuukertymä, milj. m³/v	61,8	67,7	71,2
Mänty	27,8	32,5	34,0
Kuusi	24,0	26,4	28,3
Lehtipuu	10,0	8,8	8,9
Tukkipuukertymä ¹⁾	27,0	29,8	30,4
Mänty	12,0	13,7	14,0
Kuusi	13,9	15,1	15,3
Lehtipuu	1,1	1,1	1,1
Kuitupuukertymä ¹⁾	34,8	37,9	40,7
Mänty	15,8	18,8	19,9
Kuusi	10,1	11,3	13,0
Lehtipuu	8,9	7,8	7,8
Energiapuukertymä, milj. m³/v	13,3	16,9	16,8
Runkopuu	9,3	11,4	11,0
josta ainespuukokoista	8,7	10,8	10,6
Oksat, lehdet ja neulas	3,4	4,6	4,9
Kannot ja juuret	0,7	0,9	0,9

¹⁾ Laskentateknisistä seikoista johtuen tukki- ja kuitupuukertymän arviot ovat vain suuntaa antavia.

Taulukko L4 6. Hakkuu-, lannoitus- ja kunnostusojituspinta-alat (1 000 ha/v) puuntuotannossa olevalla metsämaalla WEM- ja WAM-skenaarioiden mukaan ajanjaksolle 2016–2045 arvioituna.

WEM-skenaario	2016–2025	2026–2035	2036–2045
Hakkuupinta-ala, 1 000 ha/v	534	672	658
Kasvatushakkuu	318	471	453
Uudistushakkuu	217	200	205
Kangasmaa	399	513	505
Turvemaa	135	158	153
Lannoitusala, 1 000 ha/v	0	0	0
Kangasmaa	0	0	0
Turvemaa	0	0	0
Kunnostusojitusala, 1 000 ha/v	21	30	20

WAM-skenaario	2016–2025	2026–2035	2036–2045
Hakkuupinta-ala, 1 000 ha/v	550	693	668
Kasvatushakkuu	338	497	474
Uudistushakkuu	211	196	194
Kangasmaa	413	520	505
Turvemaa	136	173	164
josta yläharvennuksia ¹⁾	5	6	6
Lannoitusala, 1 000 ha/v	72	126	126
Kangasmaa	26	88	101
Turvemaa	46	38	25
Kunnostusojitusala, 1 000 ha/v	20	29	22

¹⁾ Ravinteikkaissa korvissa 30 % ainespuun korjuuta sisältävistä ppa-harvennuksista oli yläharvennustyyppisiä.

L5 Maankäytön muutokset WEM-skenaariossa

Taulukko L5 1. Maankäytön muutokset 2021, 2025, 2030, 2035 ja 2040 (ha/v) sekä kokonaismuutosala 2021–2040 (ha).

Nykyinen maankäyttö	Maa-perä ¹⁾	Muutosta edeltävä maankäyttö	2021	2025	2030	2035	2040	2021–2040
			ha/v					ha
Metsämaa	kiv.	viljelysmaa	320	330	330	330	330	6 480
	kiv.	ruohikkoalue	1 310	1 310	1 310	1 310	1 310	26 140
	org.		650	650	650	650	650	13 000
	org.	kosteikko, muu	1 490	1 490	1 490	1 490	1 490	29 800
	org.	turvetuotanto	1 920	4 800	4 800	1 620	2 640	63 540
	kiv.	rakennettu maa	870	870	870	870	870	17 400
	org.		180	180	180	180	180	3 600
Viljelysmaa	kiv.	metsämaa	1 420	1 420	1 420	1 420	1 420	28 400
	org.		1 050	1 050	1 050	1 050	1 050	21 000
	kiv.	ruohikkoalue	150	150	150	150	150	3 000
	org.		30	30	30	30	30	600
	org.	kosteikko, muu	50	50	50	50	50	1 000
	org.	turvetuotanto	810	810	810	300	300	11 100
Ruohikkoalue	kiv.	metsämaa	280	280	280	280	280	5 600
	org.		60	60	60	60	60	1 200
	kiv.	viljelysmaa	2 070	2 070	2 070	2 070	2 070	41 400
	org.		350	350	350	350	130	5 900
	org.	turvetuotanto	210	210	210	210	210	4 200
Rakennettu maa		metsämaa	8 210	8 520	8 320	6 600	5 170	148 590
		viljelysmaa	620	630	630	490	390	11 170
		ruohikkoalue	230	240	240	190	150	4 250
		kosteikko, muu	240	250	250	200	160	4 510
		turvetuotanto	60	60	60	50	40	1 070
		muu maa	300	310	280	210	160	4 940
Kosteikko, muu		metsämaa	970	980	980	980	980	19 540
		turvetuotanto	270	270	270	120	180	4 200
Turvetuotanto		metsämaa	80	80	80	80	80	1 600
		kosteikko, muu	20	20	20	20	20	400
Sisävedet		turvetuotanto	270	270	270	120	180	4 200

¹⁾ Nykyisellä maankäytöllä

L6 Maankäytön muutokset WAM-skenaariossa

Taulukko L6 2. Maankäytön muutokset 2021, 2025, 2030, 2035 ja 2040 (ha/v) sekä kokonaismuutosala 2021–2040 (ha).

Nykyinen maan-käyttö	Maa-perä ¹⁾	Muutosta edeltävä maankäyttö	2021	2025	2030	2035	2040	2021–2040
			ha/v					ha
Metsämaa	kiv.	viljelysmaa	320	1 200	1 200	1 200	1 200	21 360
		org.	0	670	670	670	670	11 320
	kiv.	ruohikkoalue	2 290	2 290	2 290	2 290	2 290	45 700
		org.	650	650	650	650	650	13 040
	org.	kosteikko, muu	1 490	1 490	1 490	1 490	1 490	29 820
	org.	turvetuotanto	5 000	10 000	600	1 000	300	69 900
	kiv.	rakennettu maa	870	860	860	860	860	17 310
	org.		180	180	180	180	180	3 580
Viljelysmaa	kiv.	metsämaa	1 490	590	300	150	50	8 670
	org.		1 110	590	290	150	50	7 850
	kiv.	ruohikkoalue	160	160	160	160	160	3 160
	org.		30	30	30	30	30	620
	org.	kosteikko, muu	50	50	50	50	50	1 060
	org.	turvetuotanto	750	420	210	0	0	4 780
Ruohikkoalue	kiv.	metsämaa	280	280	280	280	280	5 680
	org.		60	60	60	60	60	1 180
	kiv.	viljelysmaa	3 070	3 070	3 070	1 170	870	41 740
	org.		130	960	970	960	800	15 950
	org.	turvetuotanto	210	0	0	0	0	620
Rakennettu maa		metsämaa	8 370	8 660	8 370	6 970	5 360	152 460
		viljelysmaa	620	640	670	580	590	12 780
		ruohikkoalue	230	240	240	190	150	4 250
		kosteikko, muu	240	250	250	200	160	4 530
		turvetuotanto	60	60	60	0	0	580
		muu maa	330	340	280	270	160	5 390
Kosteikko, muu		metsämaa	970	970	970	970	970	19 420
		viljelysmaa	0	560	560	560	560	10 010
		turvetuotanto	150	3 150	3 150	180	180	24 520
Sisävedet		viljelysmaa	0	100	100	100	100	1 800
		turvetuotanto	150	150	150	0	0	1 800

¹⁾ Nykyisellä maankäytöllä

Lähteet

Aakkula, J., Asikainen, A., Kohl, J., Lehtonen, A., Lehtonen, H., Ollila, P., Regina, K., Salminen, O., Sievänen, R. & Tuomainen, T. 2019. Maatalous- ja LULUCF-sektorien päästö- ja nielukehitys vuoteen 2050. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 20/2019. http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161408/20-2019-MALULU_.pdf

AFRY/Pöyry 2020. Tiekartta metsäteollisuudelle vähähiilistyvässä yhteiskunnassa, osa: päästöt. Saantitapa: <https://www.metsateollisuus.fi/uutishuone/ilmastoteot-metsateollisuuden-keskiössä>

Arasto, A., Asikainen, A. & Kaukovirta, A. 2021. Finnish bioeconomy on the global product market in 2035. White paper, 9 February 2021. <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/2021-02/Bioeconomy-products-2035-whitepaper-VTT-Luke.pdf>

Arndt, C., Hristov, A. N., Price, W. J., McClelland, S. C., Pelaez, A. M., Cueva, S. F., Oh, J., Bannink, A., Bayat, A. R., Crompton, L. A., Dijkstra, J., Eugène, M. A., Kebreab, E., Kreuzer, M., McGee, M., Martin, C., Newbold, C. J., Reynolds, C. K., Schwarm, A., Shingfield, K. J., Veneman, J. B., Yáñez-Ruiz, D. R., Yu ZhongTang. 2021. Strategies to mitigate enteric methane emissions by ruminants - a way to approach the 2.0°C target. DOI:10.31220/agriRxiv.2021.00040 Open Access <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/> Preprint available at <https://agrirxiv.org/search-details/?pan=20210085288>

Bianchi, A., Larmola, T., Kekkonen, H., Saarnio, S., Regina, K. 2021. Review of greenhouse gas emissions from rewetted agricultural soils. *Wetlands* 41: 108. <https://doi.org/10.1007/s13157-021-01507-5>

Bioenergia ry 2019. Turvetuotannosta poistuneet suonpohjat ovat jo hiilinieluja – metsitys tärkein jälkikäyttömuoto. Tiedotteet 8.3.2019. <https://www.bioenergia.fi/2019/03/08/turvetuotannosta-poistuneet-suonpohjat-ovat-jo-hiilinieluja-metsitystarkein-jalkikayttomuoto/>

EC 2020. Commission guidance for reporting on GHG projections in 2021 under Art. 18 of the Regulation on the Governance of the Energy Union and Climate Action. Draft for consultation in CCC WG2, 25 June 2020.

Haakana, M., Ollila, P., Regina, K., Riihimäki, H. & Tuomainen, T. 2015. Menetelmä maankäytön kehityksen ennustamiseen: pinta-alojen kehitys ja kasvihuonekaasupäästöt vuoteen 2040. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 51/2015. Luonnonvarakeskus (Luke), Helsinki. 32 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-103-7>

Hamberg, L., Henttonen, H.M. & Tuomainen, T. 2016. Puusta valmistettujen tuotteiden hiilivaraston muutoksen laskenta kasvihuonekaasuinventaariossa – Menetelmäkehitys Suomen kasvihuonekaasuinventaarioon. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 73/2016. Luonnonvarakeskus (Luke), Helsinki. 44 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-340-6>

Heikkilä, J., Laitila, J., Tantt, V., Lindblad, J., Sirén, M., Asikainen, A., Pasanen, K. & Korhonen, K.T. 2005. Karsitun energiapuun korjuuvaihtoehdot ja kustannustekijät. Metlan työraportteja 10. Metsätutkimuslaitos, Joensuun tutkimuskeskus. 56 s. ISBN 951-40-1464-4 (PDF), ISSN 1795-150X (e-series). <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2005/mwp010.htm>

Hirvelä, H., Härkönen, K., Lempiäinen, R. & Salminen, O. 2017. MELA2016 Reference Manual. Natural resources and bioeconomy studies 7/2017. Natural Resources Institute Finland (Luke), Helsinki. 547 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-358-1>

Huhtamäki, T. 2021. Tuotosseurantakarjojen rehunkulutus 2020. Esitys maidontuotannon tulosseminaarissa 18.3.2021. <https://www.proagria.fi/sisalto/maidontuotannon-tulosseminaari-2021-16264>

Hynynen, J., Ojansuu, R., Hökkä, H., Salminen, H., Siipilehto, J. & Haapala, P. 2002. Models for predicting the stand development – description of biological processes in MELA system. Metsätutkimuslaitoksen tiedonantoja 835. 116 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:951-40-1815-X>

Hökkä, H., Repola, J. & Moilanen, M. 2012. Modelling volume growth response of young Scots pine (*Pinus sylvestris*) stands to N, P, and K fertilization in drained peatland sites in Finland. *Can. J. For. Res.* 42: 1359–1370.

IEA 2020. World Energy Statistics and Balances, International Energy Agency, 2020.

IPCC 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (toim.). IGES, Japan. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>

IPCC 2007. (Forster, P., Ramaswamy, V., Artaxo, P., Bernsten, T., ym.). Chapter 2: Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. IPCC AR4 WG1 2007. s. 129–234.

IPCC 2013 (Myhre, G., Shindell, D., Bréon, F.-M., Collins, W. ym.). Chapter 8: Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. IPCC AR5 WG1 2013. s. 659–740.

IPCC 2014. 2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands, Hiraishi, T., Krug, T., Tanabe, K., Srivastava, N., Baasansuren, J., Fukuda, M. and Troxler, T.G. (eds). Published: IPCC, Switzerland.

Koistinen, A., Luro, J.-P. & Vanhatalo, K. (toim.) 2019. Metsänhoidon suositukset energiapuun korjuuseen, työopas. Tapion julkaisuja. ISBN 978-952-5632-81-1. https://tapio.fi/wp-content/uploads/2020/10/Metsanhoidon_suosituksset_energia-puun_korjuuseen_Tapio-20191230.pdf

Koljonen, T., Aakkula, J., Honkatukia, J., Soimakallio, S., Haakana, M., Hirvelä, H., Kilpeläinen, H., Kärkkäinen, L., Laitila, J., Lehtilä, A., Lehtonen, H., Maanavilja, L., Ollila, P., Siikavirta, H. & Tuomainen, T. 2020. Hiilineutraali Suomi 2035 - Skenaariot ja vaikutusarviot. VTT Technology 366. ISBN 978-951-38-8722-3 (PDF). ISSN 2242-122X (PDF). <https://doi.org/10.32040/2242-122X.2020.T366>

Korhonen, K.T., Ihalainen, A., Heikkinen, J., Henttonen, H. & Pitkänen, J. 2007. Suomen metsävarat metsäkeskuksittain 2004–2006 ja metsävarojen kehitys 1996-2006. Metsätieteen aikakauskirja 2B/2007:149–213.

Kuitto, P.-J., Keskinen, S., Lindroos, J., Oijala, T., Rajamäki, J., Räsänen, T. & Terävä, J. 1994. Puutavaran koneellinen hakkuu ja metsäkuljetus. Summary: Mechanized cutting and forest haulage. Metsätehon tiedotus 410 (Metsäteho Report 410). 38 s. + liitteet.

Kukkola, M. & Saramäki, J. 1983. Growth response in repeatedly fertilized pine and spruce stands on mineral soils. Seloste: Toistuvalla lannoituksella saatava kasvunlisäys kivennäismaiden männiköissä ja kuusikoissa. Commun. Inst. For. Fenn. 114: 1—55.

Känkänen, H. & Heikkinen, J. 2021. Asiantuntija-arvio, toukokuu 2021.

Kärhä, K., Keskinen, S., Liikkanen, R. & Lindroos, J. 2006. Kokopuun korjuu nuorista metsistä. Metsätehon raportti 193. Metsäteho Oy, Helsinki. 79 s. + 3 liitettä. ISSN 1459-773X, ISSN 1796-2374 (Verkkojulkaisu). https://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/metsatehon_raportti_193.pdf

Kärhä, K., Vartiamäki, T., Liikkanen, R., Keskinen, S. & Lindroos, J. 2004. Hakkuutähteen paalauksen ja paalien metsäkuljetuksen tuottavuus ja kustannukset. Metsätehon raportti 179. Metsäteho Oy, Helsinki. 88 s. + 6 liitettä. ISSN 1459-773X, ISSN 1796-2374 (Verkkojulkaisu). https://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/metsatehon_raportti_179.pdf

Laasasenaho, J. 1982. Taper curve and volume functions for pine, spruce and birch. Männyn, kuusen ja koivun runkokäyrä ja –tilavuusyhtälöt. Comm. Inst. For. Fenn. 108. 74 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:951-40-0589-9>

Laitila, J. 2010. Kantojen korjuun tuottavuus. Metlan työraportteja 150. Metsäntutkimuslaitos. 29 s. ISBN 978-951-40-2225-8 (PDF), ISSN 1795-150X (e-series). <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2010/mwp150.htm>

Laitila, J., Ala-Fossi, A., Vartiamäki, T., Ranta, T. & Asikainen, A. 2007. Kantojen noston ja metsäkuljetuksen tuottavuus. Metlan työraportteja 46. Metsäntutkimuslaitos. 26 s. ISBN 978-951-40-2033-9 (PDF), ISSN 1795-150X.

Laitila, J., Asikainen, A., Sikanen, L., Korhonen, K.T. & Nuutinen, Y. 2004. Pienpuuhakkeen tuotannon kustannustekijät ja toimituslogiikka. Metlan työraportteja 3. Metsäntutkimuslaitos, Joensuun tutkimuskeskus. 58 s. ISBN 951-40-1932-6 (PDF), ISSN 1795-150X (e-series). <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2004/mwp003.htm>

Laki metsityksen määräaikaisesta tukemisesta (1114/2020) <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2020/20201114>

Lamminen, K. 2020. Tekeillä uusi turvetta korvaava bisnes: Ravinteikkaita ruovikkoja korjataan kasvualustaksi. Maaseudun tulevaisuus 6.10.2020.

Lehtilä, A. 2019. Asiantuntija-arvio aurinkovoiman vaatimasta maa-pinta-alasta, sähköpostiviesti 28.10.2019.

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.

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

Lehtonen, A., Aro, L., Haakana, M., Haikarainen, S., Heikkinen, J., Huuskonen, S., Härkönen, K., Hökkä, H., Kekkonen, H., Koskela, T., Lehtonen, H., Luorinen, J., Mutanen, A., Nieminen, M., Ollila, P., Palosuo, T., Pohjanmies, T., Repo, A., Rikkonen, P., Rätty, M., Saarnio, S., Smolander, A., Soinne, H., Tolvanen, A., Tuomainen, T., Uotila, K., Viitala, E.-J., Virkajärvi, P., Wall, A. & Mäkipää, R. 2021. Maankäyttösektorin ilmastotoimenpiteet : Arvio päästövähennysmahdollisuuksista. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 7/2021. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 121 s.

Lehtonen, H. 2001. Principles, structure and application of dynamic regional sector model of Finnish agriculture. Academic dissertation. Systems Analysis Laboratory, Helsinki University of Technology. Agrifood Research. Helsinki.

Lehtonen, H. 2015. Evaluating adaptation and the production development of Finnish agriculture in climate and global change. *Agricultural and Food Science* 24(3): 219–234. <https://doi.org/10.23986/afsci.51080>

Lehtonen, H. & Niemi, J. 2018. Effects of reducing EU agricultural support payments on production and farm income in Finland. *Agricultural and Food Science*, 27(2), 124–137. <https://doi.org/10.23986/afsci.67673>

Lehtonen, H. & Niskanen, O. 2016. Promoting clover-grass: Implications for agricultural land use in Finland. *Land Use Policy* 59: 310–319. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2016.09.005>

Lehtonen, H., Niskanen, O., Karhula, T. & Jansik, C. 2017. Maatalouden rakennekehitys ja investointitarve vuoteen 2030. Markkinaskenaarioiden vaikutus maatalouden tuotantorakenteeseen (an English abstract: "Structural change and investment needs in Finnish agriculture by 2030"). *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus* 19/2017. 59 s. ISSN 2342-7639 (Verkojulkaisu). URN: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-383-3>

Lehtonen, H. & Rankinen, K. 2015. Impacts of agri-environmental policy on land use and nitrogen leaching in Finland. *Environmental Science and Policy* 50: 130–144. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.02.001>

Lehtonen, H., Saarnio, S., Rantala, J., Luostarinen, S., Maanavilja, L., Heikkinen, J., Soini, K., Aakkula, J., Jallinoja, M., Rasi, S. & Niemi, J. 2020. Maatalouden ilmastotiekartta – Tiekartta kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseen Suomen maataloudessa. Maa- ja metsätaloustuottajain Keskusliitto MTK ry. Helsinki.
<https://www.mtk.fi/ilmastotiekartta>

Luke 2018. Luken tilastopalvelut, teollisuuspuun korjuu ja kaukokuljetus [viitattu 1.7.2018]. Saantitapa: <https://stat.luke.fi/teollisuuspuun-korjuu-ja-kaukokuljetus/>

Luke 2019a. Luken tilastopalvelut, metsänhoito- ja metsänparannustyöt [viitattu 15.8.2019]. Saantitapa: <https://stat.luke.fi/metsanhoito-ja-metsanparannustyot/>

Luke 2019b. Luken tilastopalvelut, teollisuuspuun kauppa [viitattu 15.8.2019]. Saantitapa: <https://stat.luke.fi/teollisuuspuun-kauppa/>

Luke 2020. Metsien käsittelyskenaariot. Metsäteollisuus ry:n ilmastotiekartta. Hiilivaran kasvattaminen. Saantitapa: https://global-uploads.webflow.com/5f33b1bfbd4fdb69d3afe623/5fd363c220057bccdff506b_ilmastotiekartta_mets%C3%A4skenaariot_loppuraportti_Luke_16_06_2020.pdf

Luke 2021a. Luken tilastopalvelut, metsäteollisuus [viitattu 10.8.2021]. Saantitapa: <https://statdb.luke.fi/PXWeb/pxweb/fi/LUKE/>

Luke 2021b. Luken tilastopalvelut, hakkuukertymä ja puuston poistuma [viitattu 1.4.2021]. Saantitapa: <http://stat.luke.fi/hakkuukertyma-ja-puuston-poistuma/>

Luke 2021c. Luken tilastopalvelut, metsävarat [viitattu 6.9.2021]. Saantitapa: <http://stat.luke.fi/metsavarat/>

Luke 2021d. MELA Tulospalvelu, VMI12 (mittausvuodet 2014-2018) [viitattu 1.4.2021]. Saantitapa: <http://www.luke.fi/mela-metsalaskelmat/>

Luonnos Suomen CAP-suunnitelmaksi (muokkauspäivämäärä: 2.7.2021) [viitattu 4.8.2021]. Saantitapa: <https://www.maaseutu.fi/maaseutuverkosto/maaseutuohjelma/hallinto/luonnos-suomen-cap-suunnitelmaksi>

Matala, J., Ojansuu, R., Peltola, H., Sievänen, R. and Kellomäki, S., 2005. Introducing effects of temperature and CO₂ elevation on tree growth into a statistical growth and yield model. *Ecological Modelling*, 181(2-3):173-190.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2004.06.030>

Mehtätalo, L. 2002. Valtakunnalliset puukohtaiset tukkivähennysmallit männylle, kuuselle, koivuille ja haavalle. *Metsätieteen aikakauskirja* 4/2002:579-591.

<https://doi.org/10.14214/ma.6196>

Metsäalan palkkauksen koulutusaineisto. 2010. Metsäalan työehtosopimus 1.6.2010 - 31.8.2012 - liite. Maaseudun Työnantajaliitto, Metsähallitus, Metsäteollisuus ry, Yksityismetsätalouden Työntajat, Puu- ja erityisalojen liitto.

Metsäteollisuus ry. 2020. Vihreä ja vireä talous. Metsäteollisuuden ilmastotiekartta.

<https://global->

[uploads.webflow.com/5f44f62ce4d302179b465b3a/5fae9c3de86a240e06b76565_Metsa_Esite_Email.pdf](https://global-uploads.webflow.com/5f44f62ce4d302179b465b3a/5fae9c3de86a240e06b76565_Metsa_Esite_Email.pdf)

Mikkonen, A. 2019. Suomen tuulivoimayhdistys. Sähköposti 30.10.2019

Niemi, P. 2019. Asiantuntija-arvio, tuulivoima-asiantuntija. Metsähallitus. Sähköposti 10.1.2019.

Niskanen, O. & Lehtonen, E. 2014. Maatilojen tilusrakenne ja pellonraivaus Suomessa 2000-luvulla. MTT Raportti 150. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-487-545-5>

Nuutinen, T., Hirvelä, H., Salminen, O., Härkönen, K. 2007. Alueelliset hakkuumahdollisuudet valtakunnan metsien 10. inventoinnin perusteella, maastotyöt 2004–2006. *Metsätieteen aikakauskirja* 2B/2007: 215-248.

Näkkilä, J., Silvan, N., Jokinen, K., Särkkä, L., Tahvonen, R. 2015. Rahkasammalen tuotanto ja käyttö kasvihuonekasvien kasvualustana. Loppuraportti 27.3.2015. Saantitapa: <https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/486213/rahkasammal.pdf>

OECD/FAO 2020. OECD-FAO Agricultural Outlook 2020-2029, FAO, Rome/OECD Publishing, Paris. <https://doi.org/10.1787/1112c23b-en>

Pulkka, E.-K. 2021. Uudet kuivikkeet hakusessa. Maatilan Pellervo, Eläin-liite, toukokuu 2021. Saantitapa: https://www.luke.fi/wp-content/uploads/2021/05/Pulkka_Uudet-KuivikkeetHakusessa_MaatilanPellervoElain_Toukokuu_2021.pdf.

Pöyry. 2016. Suomen metsäteollisuus 2015–2035. Loppuraportti.

<https://docplayer.fi/22653047-Suomen-metsateollisuus-2015-2035-19-tammikuuta-2016-loppuraportti-x304203.html>

Rajamäki, J., Kariniemi, A. & Oijala, T. 1996. Koneellisen harvennushakkuun tuottavuus. Metsätehon raportti 8. Metsäteho Oy. Helsinki. 20 s. ISSN 1796-2374 (PDF).

Rummukainen, A., Alanne, H. & Mikkonen, E. 1995. Wood procurement in the pressure of change - resource evaluation model till year 2010. Acta Forestalia Fennica 248. 98 s. ISBN 951-40-1478-2, ISSN 0001-5636.

Sahateollisuus ry 2020. Ilmastoviisas sahateollisuus. Sahateollisuuden hiilitiekartta – raportti. Saantitapa: https://sahateollisuus.com/wp-content/uploads/2020/06/st_hiilikartta_raportti.pdf

Sairanen, A. 2021. Luken eläinravitsemustutkimukseen ja koetoimintaan perustuva tiedonanto sähköpostilla 23.8.2021

Siitonen, M., Härkönen, K., Hirvelä, H., Jämsä, J., Kilpeläinen, H., Salminen, O., & Teuri, M. 1996. MELA Handbook - 1996 Edition. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 622. 455 s.

Suomen metsätilastot 2019. Luonnonvarakeskus. Saantitapa: https://stat.luke.fi/suomen-mets%C3%A4tilastot-2019-2019_fi

Suomen virallinen tilasto (SVT) 2019. Väestöennuste [verkojulkaisu]. ISSN=1798-5137. 2019. Helsinki: Tilastokeskus [viitattu: 21.12.2020]. Saantitapa: http://www.stat.fi/til/vaenn/2019/vaenn_2019_2019-09-30_tie_001_fi.html

Suomen Virallinen Tilasto (SVT) 2021. Ravintotase 2019 lopullinen ja ennako 2020. 24.6. 2021 [viitattu 14.9. 2021]. Saantitapa: https://stat.luke.fi/ravintotase-2019-lopullinen-ja-ennakko-2020_fi

Särkkä, L., Tuomola, P., Jokinen, K. 2016. Ruokohelpi- ja järviruokopohjaisten materiaalien soveltuvuus tomaatin kasvualustaksi. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 55/2016. <https://jukuri.luke.fi/handle/10024/537424>

Tiitu, M., Helminen, V., Järvenpää, E., Härmä, P., Hatunen, S. Rehunen, A. 2015. Rakennetun alueen pinta-alan ennakointi – paikkatietoaineistojen ja -menetelmien hyödyntäminen rakennetun alueen muutosten laskennassa. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 28/2015. <http://hdl.handle.net/10138/155615>

Tilasto: Energian hinnat. 2019. Tilastokeskus [viitattu 15.9.2019]. ISSN 1799-7984. Saantitapa: <https://www.stat.fi/til/ehi/tup.html/>

Tilastokeskus 2021. Greenhouse gas emissions in Finland 1990 to 2019. National Inventory Report under the UNFCCC and the Kyoto Protocol. 15.3.2021.

Valtakunnan metsien 11. inventointi (VMI11). 2013. Maastotyön ohjeet 2013. Koko Suomi ml. Ahvenanmaa. Metsäntutkimuslaitos. Moniste. 191 s.

Valtakunnan metsien 12. inventointi (VMI12). 2018. Maastotyön ohjeet 2018. Koko Suomi ml. Ahvenanmaa. Luonnonvarakeskus. Moniste. 166 s.

Valtioneuvoston asetus metsityksen määräaikaisesta tukemisesta 103/2021
<https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2021/20210103>

Viitanen, J., Mutanen, A. & Karvinen, S. (toim.). 2020. Metsäsektorin suhdannekatsaus 2020-2021. Luonnonvarakeskus. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 71/2020. 81 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-060-1>

Väkevä, J., Kariniemi, A., Lindroos, J., Poikela, A., Rajamäki, J. & Uusi-Pantti, K. 2001. Puutavaran metsäkuljetuksen ajanmenekki. Metsätehon raportti 123 (Korjattu versio 7.10.2003). Metsäteho Oy, Helsinki. 41 s. + 1 liite. ISSN 1796-2374 (Verkköjulkaisu). https://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/metsatehon_raportti_123.pdf

Äijälä, O., Koistinen, A., Sved, J., Vanhatalo, K. & Väisänen, P. (toim.). 2019. Metsänhoidon suositukset. Tapion julkaisuja. ISBN 978-952-5632-75-0. https://tapio.fi/wp-content/uploads/2020/09/Metsanhoidon_suosituksset_Tapio_2019.pdf

tietokayttoon.fi

ISBN PDF 978-952-383-263-3
ISSN PDF 2342-6799