

VALTIONEUVOSTON
SELVITYS- JA TUTKIMUSTOIMINTA

Jyrki Aakkula, Antti Asikainen, Johanna Kohl, Aleks
Lehtonen, Heikki Lehtonen, Paula Ollila, Kristiina
Regina, Olli Salminen, Risto Sievänen & Tarja
Tuomainen

Maatalous- ja LULUCF-sektorien päästö- ja nielukehitys vuoteen 2050

Helmikuu 2019

Valtioneuvoston selvitys-
ja tutkimustoiminnan
julkaisusarja 20/2019

KUVAILULEHTI

Julkaisija ja julkaisuaika	Valtioneuvoston kanslia, 28.2.2019		
Tekijät	Jyrki Aakkula, Antti Asikainen, Johanna Kohl, Alekski Lehtonen, Heikki Lehtonen, Paula Ollila, Kristiina Regina, Olli Salminen, Risto Sievänen & Tarja Tuomainen		
Julkaisun nimi	Maatalous- ja LULUCF-sektorien päästö- ja nielukehitys vuoteen 2050		
Julkaisusarjan nimi ja numero	Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 20/2019		
Asiasanat	kasvihuonekaasupäästöt, hiilinielut, maankäyttö, maankäytön muutos, metsätalous, LULUCF, maatalous, skenaariot		
Julkaisun osat/muut tuotetut versiot	-		
Julkaisuaika	Helmikuu 2019	Sivuja 70	Kieli Suomi

Tiivistelmä

EU:n hallintomalliasetuksen mukaan Suomen on laadittava ja toimitettava Euroopan komissiolle 30 vuoden päähän ulottuva pitkän aikavälin vähäpäästöisyysstrategia, joka tukee EU:n tavoitetta vähentää kasvihuonekaasujen nettopäästöjä kustannustehokkaasti 80-95 % vuoden 1990 tasosta vuoteen 2050 mennessä.

Maatalous- ja LULUCF-sektorien päästö- ja nielukehitys vuoteen 2050 -hanke (MALULU) tuottaa taustatietoa tähän tarpeeseen ja selvittää kahdeksan skenaarion avulla, miten erilaiset politiikkatoimet vaikuttavat maatalous- ja LULUCF-sektorien KHK-päästöjen ja hiilinielujen kehittymiseen. Osassa skenaarioita on otettu huomioon myös ilmastonmuutoksen vaikutus.

Selvitys osoittaa, että maatalouden mahdollisuudet leikata KHK-päästöjään ovat rajalliset. Suurin vaikutus olisi aikaansaataavissa vähentämällä turvemaiden raivausta pelloksi, lisäämällä turvepeltojen kasvi-
peitteisyyttä ja säätelemällä niiden vesitaloutta. Näillä toimilla maatalouden KHK-päästöjä voitaisiin vähentää n. 30 % vuoden 1990 tasosta vuoteen 2050 mennessä.

LULUCF-sektorilla KHK-päästöjen nettokehityksen ratkaisee metsien hiilinielu, joka LULUCF-vertailuskenaariossa alkaisi lisääntyä tuntuvasti vuoden 2030 jälkeen, mikäli metsiä hakattaisiin n. 80 milj. m³/vuosi. Eri skenaarioissa LULUCF-sektorin hiilinielu vuonna 2050 vaihtelee välillä 50–110 milj. CO₂-ekvivalentitonnia riippuen oletetuista hakkuumääristä ja kasvuolosuhteista. Rajoittamalla turvepohjaisten metsien raivausta muun maankäytön tarpeisiin, pystyttäisiin muun maankäytön kuin metsien KHK-päästöjä vähentämään puoleen nykyisestä vuoteen 2050 mennessä.

Tämä julkaisu on toteutettu osana valtioneuvoston vuoden 2018 selvitys- ja tutkimussuunnitelman toimeenpanoa (tietokayttoon.fi).

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

PRESENTATIONSBLAD

Utgivare & utgivningsdatum	Statsrådets kansli, 28.2.2019		
Författare	Jyrki Aakkula, Antti Asikainen, Johanna Kohl, Alekski Lehtonen, Heikki Lehtonen, Paula Ollila, Kristiina Regina, Olli Salminen, Risto Sievänen & Tarja Tuomainen		
Publikationens namn	Utveckling av utsläpp och sänkor i jordbruks- och LULUCF-sektorerna före 2050		
Publikationsseriens namn och nummer	Publikationsserie för statsrådets utrednings- och forskningsverksamhet 20/2019		
Nyckelord	växthusgasutsläpp, kolsänkor, markanvändning, förändrad markanvändning, skogsbruk, LULUCF, jordbruk, scenarion		
Publikationens delar /andra producerade versioner	-		
Utgivningsdatum	Februari, 2019	Sidantal 70	Språk Finska

Sammandrag

Finland ska i enlighet med EU:s styrningsförordning upprätta och lämna till Europeiska kommissionen en långsiktig strategi (30 år) för minskning av växthusgasutsläppen som stödjer EU:s mål att på ett kostnadseffektivt sätt minska nettoutsläppen av växthusgaser med 80–95 procent fram till 2050, jämfört med 1990 års nivåer.

Utveckling av utsläpp och sänkor inom jordbruket och LULUCF-sektorn fram till 2050 är ett projekt för framtagning av underlagsdata för strategiarbetet. Med hjälp av åtta scenarier utreder man hur olika policyer inverkar på utvecklingen av utsläppen och sänkorna inom jordbruket och sektorn markanvändning, förändrad markanvändning och skogsbruk (land use, land-use change and forestry, LULUCF). Klimatförändringarna har också beaktats i en del av scenarierna.

Utredningen visar att möjligheterna att skära ner jordbrukets utsläpp av växthusgaser är begränsade. Den största effekten kan uppnås genom att minska röjningen av torvmarker till åkrar, öka växttäckningen på torvåkrar och reglera vattenhushållningen på dem. Med dessa åtgärder är det möjligt att minska växthusgasutsläppen från jordbruket med cirka 30 procent fram till 2050, jämfört med 1990 års nivå.

Det avgörande för utvecklingen av nettoutsläppen av växthusgaser inom LULUCF-sektorn är kolsänkan i skogarna. Enligt jämförelsescenariot för sektorn börjar denna öka betydligt efter 2030, om skogarna avverkas cirka 80 m³ per år. Kolsänkan inom LULUCF-sektorn 2050 varierar i de olika scenarierna mellan 50 och 110 miljoner ton koldioxidkvivalenter beroende på avverkningsvolymerna och växtförhållandena. Genom att begränsa röjningen av torvmarksskogar för annan markanvändning är det möjligt att halvera växthusgasutsläppen från den övriga markanvändningen (exkl. skogarna) före 2050.

Den här publikation är en del i genomförandet av statsrådets utrednings- och forskningsplan för 2018 (tietokayttoon.fi/sv).

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

DESCRIPTION

Publisher and release date	Prime Minister's Office, 28.2.2019		
Authors	Jyrki Aakkula, Antti Asikainen, Johanna Kohl, Alekski Lehtonen, Heikki Lehtonen, Paula Ollila, Kristiina Regina, Olli Salminen, Risto Sievänen & Tarja Tuomainen		
Title of publication	Development of emissions and sinks in the agricultural and LULUCF sectors until 2050		
Name of series and number of publication	Publications of the Government's analysis, assessment and research activities 20/2019		
Keywords	greenhouse gas emissions, carbon sinks, land use, land use change, forestry, LULUCF, agriculture, scenarios		
Other parts of publication/ other produced versions	-		
Release date	February, 2019	Pages 70	Language Finnish

Abstract

To comply with the European Union's governance regulation, Finland must prepare and deliver to the European Commission a long-term low emission strategy that supports the EU's goal of reducing net greenhouse emissions by 80–95% by 2050 compared to 1990 levels in a cost-effective manner.

The "Development of emissions and sinks in the agricultural and LULUCF sectors until 2050" project produces background information for this purpose. Eight scenarios are used in the project to establish the impact of various policy actions on the development of greenhouse gas emissions and carbon sinks in the agricultural and LULUCF sectors. Some of the scenarios also take into account the impact of climate change.

The survey shows that the agriculture's potential to cut greenhouse gas emissions is limited. The greatest impact could be achieved by slowing down the clearing of peat soil into fields and by managing peat soil to increase vegetation and to regulate the soil's water content. These measures would reduce about 30% of agriculture's greenhouse gas emissions by 2050 compared to 1990 levels.

In the LULUCF sector, the net development of greenhouse gas emissions will be decided by the carbon sink of the forests. In the LULUCF reference scenario, it would begin to grow significantly after 2030 if annual felling was carried out at a level of 80 million m³. In different scenarios, the carbon sink of the LULUCF sector in 2050 varies between 50–110 million tonnes of CO₂ eq depending on the assumed felling volumes and growing conditions. By limiting the clearing of peat soil forests for other land use, greenhouse gas emissions from other land use than forests can be reduced to half from the current level by 2050.


This publication is part of the implementation of the Government Plan for Analysis, Assessment and Research for 2018 (tietokayttoon.fi/en).

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



SISÄLLYS

ALKUSANAT	7
1. Selvityksen tausta ja tavoitteet.....	8
2. Tutkimusmenetelmät ja -aineistot	9
2.1. Maatalous	11
2.2. Maankäyttö, maankäytön muutokset ja metsätalous.....	12
2.3. Yhteistyö muiden hankkeiden kanssa	16
3. Skenaariot ja niiden keskeiset tulokset.....	16
3.1. Skenaariokehikko.....	16
3.1.1.Skenaariot ja niiden valintaperusteet.....	16
3.1.2.Ilmastomuutoksesta käytetyt oletukset.....	17
3.2. Vertailuskenaariot	18
3.2.1.Maatalouden vertailuskenaario (Maatalous-WEM).....	18
3.2.2.Maatalouden ilmastonmuutos -vertailuskenaario (Maatalous-WEMi)	21
3.2.3.Maankäytön vertailuskenaario (LULUCF-WEM)	24
3.3. Poliittikkaskenaariot	26
3.3.1.Maatalouden lisätoimet -skenaario (Maatalous-LT)	26
3.3.2.Maatalouden ilmastonmuutos-lisätoimet -skenaario (Maatalous-LTi)	28
3.3.3.Maankäytön lisätoimet 1 -skenaario (LULUCF-LT1)	30
3.3.4.Maankäytön lisätoimet 2 -skenaario (LULUCF-LT2)	31
3.3.5.Maankäytön ilmastonmuutos-lisätoimet 2 -skenaario (LULUCF-LT2i).....	35
3.4. Puuntuotannollisesti ja taloudellisesti suurin kestävä hakkuukertymä -laskelma..	36
4. Taloudelliset, sosiaaliset ja ympäristövaikutukset	37
4.1. Vaikutusten arvioinnin toteuttaminen.....	37
4.2. Vaikutukset maataloudessa.....	37
4.3. Vaikutukset metsätaloudessa ja maankäytössä.....	42
5. Tulosten tarkastelua, johtopäätökset ja suositukset	45
5.1. Maatalous	45
5.2. Metsätalous ja maankäyttö	48
6. Lähteet.....	53



Liite 1. Arvioidut KHK-päästövähennykset liittyen lannan energiapotentiaaliin biokaasuna.....	58
Liite 2. Arvio tuotannon kehityksestä Maatalous-WEM- ja Maatalous-WEMi- skenaarioissa.	61
Liite 3. Maankäytön muutokset maankäyttöluokittain eräissä LULUCF-skenaarioissa	63
Liite 4. Puuston runkotilavuuden, kasvun ja hakkuukertymän kehitys LULUCF- skenaarioissa.	66



ALKUSANAT

Tämä selvitys on laadittu Maatalous- ja LULUCF-sektorien päästö- ja nielukehitys vuoteen 2050 -hankkeessa (MALULU). Hanke on ollut osa valtioneuvoston vuoden 2018 selvitys- ja tutkimussuunnitelman toimeenpanoa (www.tietokayttoon.fi).

Hankkeessa on ollut mukana laaja joukko Luonnonvarakeskuksen (Luke) tutkijoita. Maataloussektorin kasvihuonekaasupäästölaskennasta on vastannut Kristiina Regina ja maatalouden tuotannollisten muutosten arvioinnista Heikki Lehtonen, joka on myös ollut keskeisesti mukana maatalouden muiden kuin ilmastovaikutusten arvioinnissa. Maankäyttö, maankäytön muutos ja metsätalous -sektorin (LULUCF) kasvihuonekaasupäästöjen ja -poistumien laskennan koordinoinnista on vastannut Tarja Tuomainen ja metsätalouden mallintamisesta Olli Salminen. LULUCF-sektorin kasvihuonekaasupäästöjen ja -poistumien laskennassa ovat selvityksen kirjoittajista olleet mukana Paula Ollila, Risto Sievänen ja Aleksi Lehtonen. Heidän lisäksi LULUCF-laskentaan ovat osallistuneet Markus Haakana, Jaakko Heikkinen ja Antti Wall. Muiden kuin ilmastovaikutusten arvioinnista ovat selvityksen kirjoittajista vastanneet Johanna Kohl, Antti Asikainen ja Jyrki Aakkula. Heidän lisäksi Jari Viitanen, Antti Mutanen ja Matleena Kniivilä ovat osallistuneet metsätalouden osalta muiden kuin ilmastovaikutusten arviointiin. Selvityksen on taittanut Leena Karvinen.

MALULU-hankkeella on ollut yhteinen ohjausryhmä VTT:n koordinoiman Pitkän aikavälin päästökehitys -hankkeen (PITKO) kanssa. Hankkeiden yhteinen ohjausryhmä on koostunut useiden eri ministeriöiden edustajista. Ohjausryhmän puheenjohtajana on toiminut Petteri Kuuva (TEM), sihteerinä Juha Karila (TEM) sekä muina jäseninä Magnus Cederlöf (YM), Saara Jääskeläinen (LVM), Jaana Kaipainen (MMM), Bettina Lemström (TEM), Jouni Lind (VNK), Riikka Siljander (YM) ja Birgitta Vainio-Mattila (MMM).

MALULU-hanke haluaa kiittää ohjausryhmää sujuvasta yhteistyöstä hankkeen aikana sekä asiantuntevasta hanketyön ohjauksesta ja hankkeen tuotosten kommentoinnista.

Hankeryhmän puolesta
Helsingissä 12.2.2019

Jyrki Aakkula
MALULU-hankkeen projektipäällikkö

1. SELVITYKSEN TAUSTA JA TAVOITTEET

Kumuloituvaa tietoa ilmastonmuutoksen vaikutuksista ja ihmisen toiminnan yhteydestä ilmastomuutokseen on saanut yhteiskunnalliset toimijat kaikilla tasoilla korostamaan ilmastopoliittikan tärkeyttä (ks. esim. IPCC 2018). Ilmastomuutoksen hillintä kasvihuonekaasupäästöjä vähentämällä ja hiilinielua lisäämällä onkin tällä hetkellä ilmastopoliittikan ytimessä niin kansallisesti kuin kansainvälisesti.

EU:n energiaunionin ja ilmastotoimien hallinnosta annetun asetuksen (EU 2018a) mukaan Suomen on laadittava ja toimitettava Euroopan komissiolle 30 vuoden päähän ulottuva pitkän aikavälin strategia, jolla tavoitellaan: (a) UNFCCC:n ja Pariisin ilmastopoliittikan mukaisia kasvihuonekaasupäästöjen rajoituksia ja hiilinielujen tehostamista, (b) kahden asteen tavoitteen saavuttamista ja edelleen lämpötilan nousun rajoittamista 1,5 asteeseen ja (c) EU:n pitkän aikavälin päämäärää vähentää kasvihuonekaasujen nettopäästöjä kustannustehokkaasti 80–95 % vuoden 1990 tasosta vuoteen 2050 mennessä. Lisäksi ilmastopoliittisesti ajankohtaisia ovat ilmastolain mukainen kerran kymmenessä vuodessa laadittava pitkän aikavälin ilmastopoliittikan suunnitelma (Ilmastolaki 2015) ja Pariisin ilmastopoliittikan (UNFCCC 2015) edellyttämä kaikkalainen valmistelutyö.

Maatalous- ja LULUCF-sektorien päästö- ja nielukehitys vuoteen 2050 -hanke (MALULU) tuottaa taustatietoa näihin kaikkiin tarpeisiin ja selvittää kahdeksan skenaarion avulla, miten maatalouden tuotannon muutokset, metsien hakkuumäärien kehitys ja muutokset maankäytössä vaikuttavat maatalous- ja LULUCF-sektorien KHK-päästöjen ja hiilinielujen kehittymiseen. Lisäksi selvitetään:

- Millainen on maatalous- ja LULUCF-sektorien KHK-päästökehitys Suomessa vuoteen 2050 mennessä ilman uusia energia- ja ilmastopoliittisia toimia (ns. vertailuskenaario)?
- Mitkä ovat keskeiset politiikkatoimet maatalous- ja LULUCF-sektoreilla KHK-päästöjen vähentämiseksi sekä hiilinielujen ja -varastojen säilyttämiseksi ja lisäämiseksi?
- Mitkä ovat politiikkaskenaarioiden mukaiset KHK-päästöt ja hiilinielut maatalous- ja LULUCF-sektoreilla vuoteen 2050 mennessä?
- Miten ilmastonmuutos vaikuttaa maatalous- ja LULUCF-sektorien KHK-päästöihin ja hiilinieluihin?
- Minkälaisia taloudellisia, sosiaalisia ja ympäristövaikutuksia voidaan tunnistaa skenaarioiden kuvaaman kehityksen pohjalta?

Skenaroinnin taustana on tämänhetkinen ilmastopoliittinen tilanne. EU:n ilmastopoliittikassa maatalous on osa taakanjakosektoria, jossa päästövähennystavoite on 39 % vuosien 2005 ja 2030 välillä (YM 2017). Maankäyttöä koskevan sääntelyn mukaisesti LULUCF-sektorilla päästöt eivät saa ylittää poistumia velvoitekausilla 2021–2025 ja 2026–2030 (EU 2018b). Metsän hiilinielulle asetetaan jäsenmaakohtainen vertailutaso, johon metsien velvoitekauden hiilinielua verrataan. Mikäli nielu on pienempi kuin asetettu vertailutaso ja maakohtainen metsäjousto, metsät katsotaan laskennalliseksi päästölähteeksi. Hiilinielun ollessa suuremman kuin vertailutaso, metsät ovat laskennallinen nielu. Maatalousmailla (viljelysmaa, ruohikkoalueet) ja kosteikoissa vertailu tehdään vuosien 2005–2009 (peruskausi) keskimääräiseen päästötasoon. Sekä poistumien kasvu että päästöjen väheneminen suhteessa peruskauteen lasketaan nieluksi. Metsityksen ja metsäkadon päästöt ja poistumat velvoitekaudella lasketaan sen sijaan mukaan täysimääräisinä. Jos LULUCF-sektori muodostuu laskennal-

liseksi päästölähteeksi, on päästövähennyksiä tehtävä enemmän taakanjakosektorilla. Vastaavasti jos LULUCF-sektori on laskennallisesti nielu, voidaan tästä saada rajoitetusti hyviä vaikutuksia taakanjakosektorille.

On kuitenkin huomattava, että sekä EU:n ilmastopolitiikka että kansainvälinen ilmastopolitiikka ovat jatkuvassa kehitystilassa, joten sekä KHK-päästöjen vähentämiseen että hiilinielujen lisäämiseen liittyviä pitkän aikavälin tavoitteita joudutaan tarkastelemaan uudelleen. Esimerkiksi Euroopan komissio julkaisi marraskuun 2018 lopussa tiedonannon pitkän aikavälin Puhdas maapallo kaikille -ilmastostrategiasta, joka sisältää uuden EU-tasoisien vision nykyaikaisesta, kilpailukykyisestä ja ilmastoneutraalista taloudesta vuoteen 2050 mennessä (EC 2018a). Strategian varsinaisena tarkoituksena ei ole asettaa uusia ilmastotavoitteita, vaan toimia kannustimena ja suunnannäyttäjänä sille prosessille, jolla EU tuottaa UNFCCC:lle vuoden 2020 alkuun mennessä Pariisin ilmastopöytäkirjassa (UNFCCC 2015) edellytetyn strategian.

YK:n ilmastokokouksessa Puolan Katowicessa joulukuussa 2018 päästiinkin jonkinasteiseen sopuun Pariisin ilmastopöytäkirjan toimeenpanon säännöistä. Yhteisymmärrys saavutettiin siitä, että ilmastopöytäkirjassa mukana olevat maat seuraavat päästöjään ja raportoivat niistä jatkossa yhteisin säännöin ja kertovat päästösitoumuksistaan kattavasti. Maiden odotetaan myös päivittävän päästövähennyssitoumuksensa Pariisin ilmastopöytäkirjaan vuoteen 2020 mennessä. EU on jo ilmoittanut valmiudestaan päivittää oman sitoumuksensa eli vuodelle 2030 asetetun päästövähennystavoitteensa tuohon mennessä. Sen sijaan säännöt markkinamekanismeista eli siitä, miten maat voivat hyödyntää kumppanimaissa rahoittamia ilmastotoimia omien päästötavoitteidensa saavuttamisessa, jäivät Katowicessa hyväksymättä. Niiden osalta tehtiin prosessipäätös eli neuvottelujen jatkaminen siirrettiin seuraavaan kokoukseen eli syksyyn 2019 (YM 2018).

Tässä selvityksessä maataloussektori ja LULUCF-sektori sekä niille kohdistetut hiilidioksidin, metaanin ja dityppioksidin päästöt ja poistumat vastaavat Suomen kasvihuonekaasuintentaarion YK:n ilmastopöytäkirjan mukaisista raportointeista. Niissä tapauksissa, joissa päästölähde ei sisälly KHK-inventaarioon, päästöt on kohdistettu sektoreille IPCC:n ohjeiden mukaisesti. Skenaariot on laadittu ja tulokset esitetään erikseen maatalous- ja LULUCF sektoreille.

2. TUTKIMUSMENETELMÄT JA -AINEISTOT

Tämä raportti käsittelee kasvihuonekaasupäästöjä (metaani, CH₄; dityppioksidi, N₂O; hiilidioksidi, CO₂), jotka raportoidaan YK:n ilmastopöytäkirjan mukaisesti maataloussektorilla ja maankäyttö, maankäytön muutos ja metsätalous -sektorilla (LULUCF). Maatalouden päästöinä raportoidaan tuotannon päästöt, jotka syntyvät eläinten ruuansulatuksessa (CH₄), lantavarastoissa (CH₄, N₂O) tai maaperässä. Maaperän päästöjä syntyy typpilannoituksesta sekä kasvintähteiden ja turpeen hajoamisesta (N₂O), urealannoituksesta (CO₂), sekä kalkituksesta (CO₂) tai kulutuksesta (CH₄, N₂O). Maatalouden energiankäytön päästöt eivät kuulu tähän kategoriaan. Maankäytöstä raportoitavat poistumat ja päästöt käsittävät hiilivarastojen muutokset kasvillisuudessa, maaperässä ja puutuotteissa (CO₂), ojituksesta ja maankäytön muutoksista aiheutuvat maaperän päästöt (CO₂, N₂O, CH₄), metsien typpilannoituksen päästöt (N₂O) ja biomassan palamisesta aiheutuvat (metsänhoidollinen kulutus, maastopalot) päästöt (CO₂, CH₄, N₂O).

Metaani ja dityppioksidi muunnettiin hiilidioksidin kanssa yhteismitalliseksi KHK-inventaarissa käytössä olevilla GWP-kertoimilla, jotka ovat metaanille 25 ja dityppioksidille 298. Kasvibiomassan hiilisisältönä käytettiin 50 % kuiva-aineesta. Hiili muunnettiin hiilidioksidiksi kertoimella -44/12.

Tietolaatikko 1. Käytetyt käsitteet.

Päästölähde	Prosessi tai toiminta, jossa vapautuu kasvihuonekaasuja ilmakehään.
Päästöt	Ilmakehään määrättyä alueelta tietynä ajanjaksona vapautuvat kasvihuonekaasut. Esitetyissä skenaarioissa päästöt tapahtuva Suomen alueella yhden vuoden aikana ja ilmoitetaan hiilidioksidiekvivalenteina (CO ₂ -ekv.). Etumerkiltään positiivisia (+).
Nielu	Prosessi, toiminta tai mekanismi, joka sitoo kasvihuonekaasuja ilmakehästä. Esimerkiksi puusto toimii hiilen nieluna. Nielu-termiä käytetään myös kasvihuonekaasutaseesta, jossa poistumat ovat päästöjä suuremmat. Käytetään myös termiä nettonielu, kun halutaan ilmaista, että arvio saatu päästöjen ja poistumien summana.
Poistumat	Ilmakehästä määrättyllä alueella tietynä ajanjaksona sitoutuneet kasvihuonekaasut. Esitetyissä skenaarioissa poistumat kohdistuvat Suomen alueelle yhden vuoden aikana ja ilmoitetaan hiilidioksidiekvivalenteina (CO ₂ -ekv.). Etumerkiltään negatiivisia (-).
Kasvihuonekaasut	Skenaarioihin sisältyvät kasvihuonekaasut ovat hiilidioksidi (CO ₂), metaani (CH ₄) ja dityppioksidi (N ₂ O).
Hiilivarasto	Hiilivarastoja ovat maanpäällinen ja maanalainen elävä biomassa (puut ja muut kasvit), kuollut puuaines, karike, maaperä ja puutuotteet.
Kasvihuonekaasu-inventaario	Suomen virallinen kasvihuonekaasuinventaario, jonka vastuuyksikkö on Tilastokeskus (http://www.stat.fi/tup/khkinv/index.html). Kasvihuonekaasuinventaario koostuu viidestä sektorista: energia; teollisuusprosessit ja tuotteiden käyttö; maatalous; maankäyttö, maankäytön muutokset ja metsätalous; jätteiden käsittely. Kokonaispäästöinä ilmoitetaan yleensä muiden sektoreiden päästöt paitsi maankäyttösektorin. Maankäyttö, maankäytön muutokset ja metsätalous -sektorista käytetään lyhennettä LULUCF-sektori (Land Use, Land-Use Change and Forestry).
Maankäyttöluokat	LULUCF-sektorin kasvihuonekaasujen päästöt ja poistumat lasketaan kuudessa maankäyttöluokassa: metsämaa, viljelysmaa, ruohikkoalueet, kosteikot, rakennettu maa ja muu maa.
Metsitys	Metsityksellä tarkoitetaan muutosta muusta maankäytöstä metsämaaksi. Yleensä muutos on seurausta ihmisen toiminnasta, mutta voi tapahtua myös luontaisesti metsittymällä.
Metsäkato	Metsäkadolla tarkoitetaan metsämaan ottamista muuhun maankäyttöön. Metsäkato tapahtuu yleensä ihmisen toiminnan seurauksena. Myös luonnontuho voi aiheuttaa metsäkatoa, jos tuhon seurauksena puusto kuolee ja muutosta voidaan pitää pysyvänä, tai maankäyttö muuttuu välittömästi tuhon jälkeksi.
Puutuotteet	LULUCF-sektorin hiilivarasto, jonka muodostavat puolivalmisteet sahatavara, puulevyt sekä paperi ja kartonki.
GWP-kerroin	Kasvihuonekaasupäästöt yhteismitallistetaan hiilidioksidin kanssa lämmitys- eli GWP-kertoimilla (Global Warming Potential). Kerroin kuvaa päästön aiheuttamaa lämmitysvaikutusta suhteessa hiilidioksidin tietyn ajan kuluessa. Tässä selvityksessä käytettiin kasvihuonekaasujen inventaarion mukaisesti IPCC:n neljännen arviointiraportin GWP100 kertoimia, jotka ovat metaanille 25 ja dityppioksidille 298.
Hiilidioksidiekvivalentti	Kasvihuonekaasupäästöt yhteismitallistetaan GWP-kertoimilla, jonka jälkeen ne voidaan laskea yhteen eri kasvihuonekaasupäästöjen vaikutuksen arvioimiseksi. Laatu on tällöin hiilidioksidiekvivalentti (CO ₂ -ekv.).

2.1. Maataloussektori

Maataloussektorin skenaariot on tuotettu käyttämällä Luken DREMFA -sektorimallia ja kasvihuonekaasuinventaarion menetelmiä. DREMFA tuottaa kasvihuonekaasulaskennan lähtötiedoiksi väkilannoituksen typpimäärän, pellonkäytön ja eläinmäärät tärkeimmille eläinluokille. Eläinten paino, typeneritys ja maidontuotanto kehittyvät kasvihuonekaasuinventaariossa raportoidun kehityksen mukaan myös tulevaisuudessa. Lantajärjestelmien kehitykseen on arvioitu tulevan pieniä muutoksia tulevaisuudessa aiemman trendin perusteella. Turvepeltojen ala on arvioitu Maatalous-WEM-skenaariossa aiemman trendin mukaan. Merkitykseltään vähäisten päästöluokkien lähtötiedoissa on käytetty vuoden 2016 tietoa myös tuleville vuosille (kalkitus, kulutus, kasvintähteet). Näiden osuus maataloussektorin kokonaispäästöistä on yhteensä noin 10 %.

DREMFA on Suomen maatalouden päätuotantosuunnat, pellonkäytön, kotimaisen kysynnän ja ulkomaankaupan kattava taloudellinen osittaistasapainomalli, jossa on 4 suuraluetta: Etelä-Suomi, Sisä-Suomi, Pohjanmaa ja Pohjois-Suomi (Lehtonen 2015). Suuralueet jakautuvat pienempiin tuotannollisiin alueisiin tukiväyhykejaon mukaisesti. Näin saavutetaan varsin tarkka tukipolitiikan kuvaus. Poro-, hevos- ja lammastaloutta ei ole DREMFA-mallissa mukana ja näiden eläinten määrien on oletettu pysyvän lähellä 2017 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 lypsylehmien lukumäärän kasvu suurimmissa tilakokoluokissa ja tärkeimmillä tuotantoalueilla Suomessa toteutuu ja otetaan pellonkäytössä huomioon. Malli on validoitu siten, että vuosien 1995–2017 toteutunut kehitys kotieläintuotannon kokonaismäärissä ja pellonkäytössä jatkuu. Samalla huomioidaan Suomessa tuotettujen maataloustuotteiden kulutus kotimaassa yhtä aikaa tuonnin ja viennin muutosten kanssa. Kotimainen kulutus, joka voidaan tyydyttää kotimaisella tuotannolla tai kilpailevilla tuontituotteilla, noudattaa 1995–2017 kehitystä ja vuoden 2017 kulutusta 2018–2050.

Suomi on oletettu täysin riippuvaiseksi EU- ja globaalilla tasolla muodostuvista panos- ja tuotehinnoista. Kotimaisten maataloustuotteiden hintataso voi kuitenkin vähäisessä määrin poiketa EU:n keskihinnoista. Tuotekohtaiset hintapoikkeamat esim. maidon ja lihan tuottajahinnoissa toteutuvat mallissa siten, että kotimaiset ja ulkomaiset tuotteet ovat epätäydellisiä substituutteja. Ne voivat siten korvata toisiaan varsin pitkälle, mutta kuitenkin rajallisesti olleen laadullisesti erilaisia. Esimerkiksi Suomeen tuodaan ja Suomesta viedään osin erilaista lihaa (eri ruhonosia) ja eri maitotuotteita (yhteensä 18 erilaista).

Eläinten rehunkulutus voi muuttua 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 DREMFA-malli toistaa pääpiirteissään 1995–2017 kehityksen Suomen maatalouden tuotannossa ja maankäytössä ja sisältää keskeiset tarvittavat muuttujat arvioitaessa maatalouden kehitysuria ja maatalouden kasvihuonekaasupäästöjen kehitystä vuoteen 2050.

Maatalouden kehitysura sisältää vuosittaisen kehityksen vuoteen 2040 asti sekä vuosille 2045 ja 2050. Malli on alun perin suunniteltu ja toteutettu siten, että sen avulla on mahdollista arvioida erityisesti EU:n yhteisen maatalouspolitiikan (CAP) (pilarien 1 ja 2 mukaiset tuet

tukiehtoiseen) ja Suomen kansallisten maatalouspoliittisten toimenpiteiden vaikutusta maataloustuotannon määrään, sijoittumiseen ja maataloustuloon Suomessa. Viimeisin tähän liittyvä julkaistu tutkimus on Lehtonen & Niemi 2018. DREMFI-mallia on sovellettu myös arvioitaessa markkinamuutosten, ympäristötukijärjestelmän (Lehtonen & Rankinen 2015) ja muuttuvan ilmaston vaikutuksia maatalouden tuotantoon, pellonkäyttöön ja tuloihin (Lehtonen 2015). Tilastokeskuksen väestöennusteet (Tilastokeskus 2015) ja energian ennustettu hintakehitys vuosisadan puoliväliin asti huomioidaan. Elintarvikkeiden kulutus henkeä kohden on tässä pidetty vuoden 2017 tasolla eikä mahdollisia ruokavaliomuutoksia ole ennakoitu. DREMFI-mallin tuloksista saadaan tarvittava syöte kasvihuonekaasulaskentaan, jossa huomioidaan myös porojen, lampaiden ja hevosten sekä turkiseläinten lukumäärät.

2.2. Maankäyttö, maankäytön muutokset ja metsätalous - sektori

LULUCF-skenaariot muodostuvat kullekin maankäyttöluokalle ja puutuotteille erikseen lasketuista skenaarioista. Skenaarioiden laadinta jakautuu neljään osaan. Ensimmäisessä vaiheessa muodostetaan maankäyttöluokkien ja maankäytön muutosluokkien pinta-alojen kehitysskenaariot; pinta-alat ovat LULUCF-laskennan keskeinen lähtötieto. Metsien kehitysskenaariot, ja niissä lähinnä puuston kehitys, muodostivat oman kokonaisuutensa. Puutueteskenaarioilla oli yhtymäkohtia metsäskenaarioihin, joskaan niissä ei suoraan käytetty metsäskenaarioitten tuloksia. Neljännen kokonaisuuden muodostivat muut maankäyttöluokat kuin metsämaa, ja maankäytön muutosluokat.

Maankäytön ja maankäytön muutosten pinta-alat

LULUCF-sektorin päästöt ja poistumat laskettiin kuudessa maankäyttöluokassa, jotka kattavat Suomen maa-alan ja sisävedet. Merivedet jäivät tarkastelun ulkopuolelle. Skenaarioiden lähtötilanteen pinta-alat maankäyttöluokittain vuonna 2015 perustuvat kasvihuonekaasuinventaariorissa vuonna 2018 raportoituihin pinta-aloihin (Tilastokeskus 2018b). Maankäytön muospinta-alat estimoitiin Haakanan ym. (2015) esittämällä menetelmällä (Kärkkäinen ym. 2019). Suomen maa-alan ja sisävesien yhteenlasketun pinta-alan oletettiin pysyvän vakiona, 33,8 miljoonassa hehtaarissa vuoteen 2050. Vakioitua kokonaispinta-alaa käytetään myös KHK-inventaariorissa, vaikka tiedetään, että muutosta tapahtuu merivedestä maaksi. Vakioipinta-alan käytöllä ei ole suurta merkitystä skenaarioissa.

Maankäytön luokitus

Metsät määritellään kansallisesti puuntuotoskyvyn mukaan niin, että metsämaa tuottaa tavanomaisella kiertoajalla vähintään 1 m³ kuorellista runkopuuta hehtaaria kohti vuodessa, ja kitumaalla puuntuotoskyky on alle kuutiometrin mutta vähintään 0,1 m³ hehtaarilla vuodessa. Kasvihuonekaasuinventaariorissa metsämaa vastaa lähinnä FAO:n metsämaan määritelmää, johon sisältyy puuston vähimmäislatuspeittävyys (10 %) ja -pituus (5 m) sekä metsän vähimmäispinta-ala (0,5 ha). Skenaariolaskennat tehtiin metsä- ja kitumaalle, joka vastaa melko hyvin KHK-inventaariorin metsämaa-luokkaa. Valtakunnan metsien 11. inventoimnin mukaan kansallisen metsä- ja kitumaan yhteenlaskettu pinta-ala oli 22,768 milj. ha ja FAO:n mukaisen metsän pinta-ala 22,244 milj. ha (Korhonen ym. 2017).

Viljelysmaihin kuuluvat pellot, laidunmaat (vuoronurmi), kesannot, puutarhakasvien viljelyyn käytetty ala ja kasvihuoneet.

Ruohikkoalueet muodostuvat viljelysmaihin kiinteästi liittyvistä alueista (peltojen reuna-alueet, leveät ojat), energiakasvien kasvatukseen käytetystä alasta, hakamaista ja käytöstä

pois jääneistä viljelysmaista. Viimeksi mainittuun ryhmään lukeutuvat niin sanotut hylätyt pellot, joita ei enää hoideta, ja joilla voi tapahtua luontaista metsittymistä.

Kosteikot-luokkaan kuuluvat turvetuotantoalueet, rakennetut vesialueet, luonnonvedet sekä turvemaat (suot), jotka eivät ole metsämaata.

Rakennettuun maahan kuuluvat asutuksen, tuotantolaitosten ja muiden rakennusten vaatima ala, piha-alueet, puistot, liikenneväylät, energiantuotantoon ja siirtoon tarvittavat alueet, kaivosalueet sekä maa-aineksen ottoalueet pois lukien turvetuotantoalueet.

Muu maa koostuu alueista, joilla on niukasti kasvillisuutta tai ovat kokonaan kasvipeitteetömiä kuten hietikot, kalliomaat, kivikot ja tunturien lakialueet.

Kukin maankäyttöluokka jaettiin edelleen muutosluokkiin muutosta edeltävän maankäytön mukaan. Muutosalue eli muutosta kuvaava pinta-ala kuului muutosluokkaansa aina siihen saakka kunnes muutoksesta oli kulunut yli 20 vuotta. Tämän jälkeen pinta-ala siirtyi samassa maankäytössä pysyneiden alueiden luokkaan. Se, kumpaan luokkaan alue kuuluu, vaikuttaa muun muassa päästökertoimien valintaan. Tämä on hyvä ottaa huomioon tarkasteltaessa esimerkiksi metsityksen vaikutusta hiilensidontaan. Käytetty maankäytön luokitus on kuvattu Suomen inventaarioraportissa (Tilastokeskus 2018).

Metsien kehitysarviot ja päästölaskenta

Metsäskenaarioiden laadintaan käytettiin Luken MELA2016-ohjelmistoa (Hirvelä ym. 2017), jolla tuotettiin puuston kehitys ja puuston hiilivarannon muutos skenaarioiden mukaiselle kotimaisen raakapuun käytölle. MELA koostuu puutason luonnonprosessi- ja tuottavuusmalliin perustuvasta metsiköiden käsittely- ja kehitysvaihtoehtoja tuottavasta metsikkösimulaattorista ja näitä vaihtoehtoja vertailevasta lineaarisen optimoinnin ohjelmistosta (Luke 2019a). MELA-tulokset on esitetty liitteessä 4.

Skenaariolaskelmien lähtötilanteen metsävaratietona oli valtakunnan metsien 11. inventoinnin vuosina 2009–2013 mitatut metsä- ja kitumaan koealat, joita oli yhteensä 59 317 kpl. Koealat jaettiin kolmeen käsittelyluokkaan puuntuotannon käyttörajoitusten mukaisesti: ensisijaisesti puuntuotannossa, rajoitetussa puuntuotannossa ja puuntuotannon ulkopuolella (suojelualueet) olevat metsä- ja kitumaan koealat. Tulokset koskevat kaikkia kolmea luokkaa yhteensä, vaikka puuntuotannon ulkopuolella oleville koealoille ei kohdistettu toimenpiteitä.

MELA metsikkösimulaattori tuottaa kullekin metsikölle automaattisesti suuren joukon vaihtoehtoisia kehityspolkuja, jotka koostuvat luonnonprosesseista (puiden synty, kasvu ja kuoleminen), hakkuista ja metsänhoitotoista. Metsien käsittely noudatti kaikissa skenaarioissa Tapion metsänhoidon suosituksia (Äijälä ym. 2014, Koistinen ym. 2016). Skenaariot erosivat käsittelyiden osalta toisistaan lähinnä hakkuupinta-alojen, hakkuiden ajoittumisen ja voimakkuuden suhteen. Ensisijaisen puuntuotannon maalla mahdollisia toimenpiteitä olivat kasvatushakkuut (harvennus- ja ylispuuhakkuut) ja uudistushakkuut (avohakkuu ja luontaisen uudistamisen hakkuut), säästöpuiden jättäminen uudistushakuissa, raivaus, maanpinnan käsittely, viljely, taimikonhoito ja kunnostusojitus. Avohakkuun jälkeistä viljelypakkoa lukuun ottamatta kaikki toimenpiteet olivat vaihtoehtoisia, joten aina simuloitiin myös vaihtoehtona kasvatus ilman toimenpiteitä. Rajoitetun puuntuotannon maalla sallittuja hakkuutapoja olivat kasvatushakkuut (harvennukset ja ylispuiden poisto) sekä luontainen uudistaminen ja niissä korjattiin vain ainespuuta. Kitumaille ei tehty hakkuita. Kokonaan puuntuotannon ulkopuolella olevilla alueilla ei sallittu mitään toimenpiteitä. Käsittelyt on esitetty tarkemmin Luken verkkosivuston MELA Tulospalvelun VMI11 tulosten laatuselosteessa (Luke 2019b).

Puuntuotannon taloudellinen tulos laskettiin ainespuulle tienvarsihintoihin perustuen ja energiapuun sovellettiin käyttöpisteessä hakkeelle maksettua hintaa. Tienvarsihinnat saatiin lisäämällä tilastoituihin kantohintoihin keskimääräiset toteutuneet korjuukustannukset. Metsähakkeen käyttöpistehinnat noudattivat tilastoituja keskihintoja. Kustannusten laskenta perustui työläjien tilastoituihin yksikköhintoihin ja tuottavuusmallien mukaisiin ajanmenekkeihin, jotka ottivat huomioon esim. korjuussa olosuhteiden vaikutuksen (poistettavien puiden järeys, hehtaarikohtainen poistuma ja jätettävän puuston määrä ja maaperä). Sovelletut hinnat on esitetty Luken verkkosivuston MELA Tulospalvelun VMI11 tulosten laatuselosteessa (Luke 2019b).

KHK-inventaariossa metsämaan puuston hiilivarannon muutos lasketaan valtakunnan metsien inventoinnin kasvumittauksiin perustuvan biomassan kasvun ja tilastoidusta poistumasta lasketun biomassan poistuman erotuksena. Tässä yhteydessä poistuma tarkoittaa elävästä puustosta joko hakkuissa (hakkuupoistuma) tai luontaisesti poistuvaa (luonnon poistuma) osaa. Skenaarioihin puuston tilavuuskasvu ja muut metsävaratiedot kuten puuston tilavuus ja biomassa, sekä poistumatiedot kuten ainespuun hakkuukertymä ja energiapuukertymä mallinnettiin MELA2016-ohjelmistolla. Puuston hiilivaraston muutos laskettiin varastonmuutosmenetelmällä peräkkäisten tilojen eli kokonaisbiomassojen erotuksena. Laskennat tehtiin samoilla biomassamalleilla kuin KHK-inventaariossa (Tilastokeskus 2018b). Biomassoista laskettiin myös vuotuiset karikesadannan arviot maaperälaskentaan.

Metsämaan kivennäismaiden maaperän hiilivaraston muutokset mallinnettiin Yasso07-maamallilla kuten KHK-inventaariossa (Tilastokeskus 2018b). Mallissa käytettiin kuitenkin säädatana inventaariolaskentaan muodostettua uutta lämpötilan ja sadannan aikasarjaa vuosille 1990–2016, jossa kunkin vuoden lämpötila ja sadanta ovat 30 vuoden keskiarvoja (Tilastokeskus 2019). Siten esimerkiksi vuoden 2016 lämpötila on vuosien 1987–2016 lämpötilojen keskiarvo. Muissa skenaarioissa paitsi ilmastomuutoksen sisältävässä LULUCF-LT2i-skenaariossa käytettiin vuosille 2017–2050 vuodelle 2016 laskettuja säätietoja. Ojitetujen turvemaiden päästöt (CO₂, CH₄, N₂O) laskettiin kertomalla pinta-ala päästökertoimella. Käytetyt päästökertoimet on esitetty inventaarioreportissa (Tilastokeskus 2018b) paitsi N₂O-kerroin, joka oli uuden 2019 inventaarioon mukainen.

Uudistushakkuiden jälkeisen kulituksen samoin kuin metsien typpilannoituksen oletettiin jatkuvan vuosien 2012–2016 keskiarvoisella tasolla. Skenaarioihin ei sisällytetty luonnontuhoista eikä metsäpaloista aiheutuvia päästöjä.

Kasvun laskennan oletukset MELA2016-ohjelmistossa

MELA2016-ohjelmistoissa puun pohjapinta-alan kasvumalli on kalibroitu VMI11 läpimitan kasvunmittausten perusteella, jotka ennen kalibroitua oli indeksikorjattu vuosien 1984–2013 keskimääräiseen kasvun tasoon. Näin kalibroitu tilavuuskasvun arvio on selvästi VMI11:ssä mitattua kasvu pienempi (Kuva1: MELA2016 kasvu), joten MELAn tuottamaa tilavuuskasvun arviota tarkennettiin skenaarioissa ottamalla huomioon kalibroitijakson keskivuodesta 1999 vuoteen 2017 tapahtunut keskilämpötilan ja ilman hiilidioksidipitoisuuden nousun vaikutus puuston kasvuun. Tämä on tehty laskemalla kalibroitijakson keskivuodelle 1999 sitä edeltäneiden 30 vuoden (1970–1999) lämpötilan ja ilman CO₂-pitoisuuden keskiarvot. Vastaavat keskiarvot laskettiin vuodelle 2017 jaksolta 1988–2017. Näiden keskiarvojen erotukset annettiin syötteenä MELA-ohjelmistoon. Etelä-Suomessa lämpötilan keskiarvojen muutos oli keskimäärin 0,89 astetta ja Pohjois-Suomessa 0,99 astetta. CO₂-pitoisuuden muutos oli koko Suomessa 41,2 ppm. Vuodesta 2017 eteenpäin käytettiin vuodelle 2017 laskettuja arvoja, ts. oletettiin vuoden 2017 jälkeen vakioilmasto. Tällä MELA-ohjelmiston parametri-

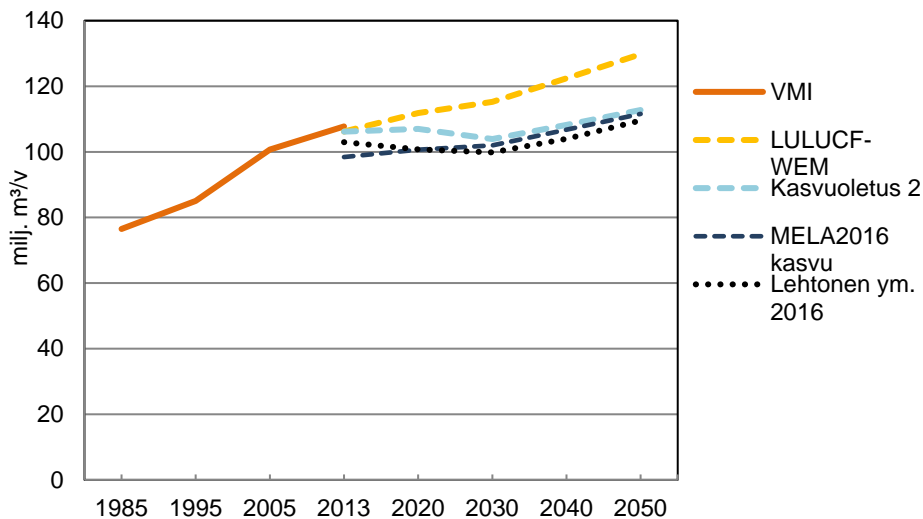
syötteellä puuston kasvu-arvio vuosille 2011–2014 saatiin vastaamaan VMI11:n mitattua kasvua skenaarion lähtötilanteessa (Kuva 1: LULUCF-WEM).

Keskilämpötilassa ja ilman hiilidioksidipitoisuudessa tapahtuneiden muutosten vaikutukset puiden kasvuun saatiin MELA-ohjelmistoon sisältyvien Matala ym. (2005) funktioiden avulla, jotka perustuivat FinnFor-ohjelmistolla (Kellomäki ja Väisänen 1997) tehtyihin arvioihin. Samalla menetelmällä laskettiin LULUCF-LT2i-skenaarioon RCP2.6 ilmastoskenaarion vaikutusarvot.

Käytetyt kasvumallit eivät ota huomioon maaperän typen riittävyyttä kiihtyvässä kasvussa, eivätkä lisääntyvien häiriötekijöiden vaikutuksia, joiden oletetaan hillitsevän kasvua. Kasvu mahdollisesti hillitsevien tekijöiden tilanne simuloitiin oletuksella, jossa vuoden 2017 jälkeen kasvun tason oletetaan taantuvan MELA2016-ohjelmiston indeksikorjatulle tasolle (Kuva 1: Kasvuoletus 2).

Kansallisen energia- ja ilmastostrategian taustaksi (Huttunen (toim.) 2017) Luonnonvarakeskus laski kolme skenaariota metsien kasvihuonekaasutaseiden kehityksestä vuoteen 2030 (Lehtonen ym. 2016). Puuston kehitysnusteet laskettiin MELA2012-ohjelmistolla, jonka luonnonprosessi- ja tuottavuusmallit ovat samat kuin MELA2016:ssa. Hakkuukertymältään MALULU-skenaariota vastaavassa laskelmassa kasvu oli VMI:n mitattuun nähden varsin konservatiivinen (Kuva 1: Lehtonen ym. 2016).

Lehtosen ym. (2016) selvitys perustui tämän tutkimuksen mukaisesti VMI11 maastoaineistoon, mutta Lehtoseen ym. (2016) nähden MELA-ajaja varten tehtyä VMI-aineistonmuodostusta pienten puiden osalta on muutettu. Muutos vaikutti lähinnä 1. kauden luonnonpoistuman suuruuteen pienentäen MELAn tuottamaa luonnonpoistumaa ja ollen siten lähempänä VMI11:ssa mitattua luonnonpoistuma-arviota.



Kuva 1. Puuston mitattu kasvu (VMI) ja MELAn tuottamat kasvun kehitysarvot LULUCF-WEM skenaarion hakkuutasolla eri kasvuoletuksilla (VMI: mitattu kasvu; LULUCF-WEM: kasvu kalibroitu vastaamaan vuosien 1984–2013 läpimitan kasvun indeksikorjattua keskitasoa ottaen lisäksi huomioon kalibrointijakson keskivuodesta (1999) vuoteen 2017 tapahtunut keskilämpötilan ja hiilidioksidipitoisuuden nousu; Kasvuoletus 2: kuten LULUCF-WEM vuoteen 2017, mutta kasvun oletettiin palaavan vuosien 1984–2013 läpimitan kasvun indeksikorjatulle keskitasolle vuoteen 2025 mennessä; MELA2016 kasvu: kasvu kalibroitu vastaamaan vuosien 1984–2013 läpimitan kasvun indeksikorjattua keskitasoa; Lehtonen ym 2016: MELAn tuottama kasvun arvio MMM:n politiikkaskenaariorissa energia- ja ilmastostrategian 2016 taustaselvitystä varten).

Muiden maankäyttöluokkien päästölaskennat

Viljelysmaan kivennäismaiden maaperän hiilivaraston muutokset mallinnettiin Yasso07-maamallilla kuten KHK-inventaariossa (Tilastokeskus 2018b, Tilastokeskus 2019). Mallissa käytettiin samaa säädataa kuin metsämaan kivennäismaiden laskennassa (ks. Metsien kehitysarviot ja päästölaskenta). Turvemaiden (viljelysmaat, ruohikkoalueet, kosteikot) päästöt laskettiin pääsääntöisesti kertomalla pinta-ala KHK-inventaarion kertoimilla. Viljelysmaiden uusien toimien, nurmen viljely korkealla pohjaveden tasolla ja kosteikkoviljely, laskentaan käytettiin myös IPCC:n päästökertoimia (IPCC 2014), jotka eivät vielä ole inventaariossa käytössä. Viljelysmaiden puuvartisten kasvien (hedelmäpuut ja marjapensaat) biomassan hiilivaraston muutoksen on oletettu jatkuvan vuosien 2012–2016 keskiarvoisella tasolla kaikissa skenaariovaihtoehdoissa.

Puutuotteet

Puutuotteiden hiilivarannon muutos laskettiin Suomessa kotimaisesta puusta valmistetuista puolivalmisteista: sahatavara, puulevyt, paperi ja kartonki. Menetelmä perustuu valmisteiden tuotantomääriin, ensimmäisen asteen hajotusfunktioon ja puutuotekohtaisiin puoliintumisaikoihin (Tilastokeskus 2018b, Hamberg ym. 2016).

2.3. Yhteistyö muiden hankkeiden kanssa

MALULU on toiminut kiinteässä yhteistyössä VTT:n ja SYKE:n Pitkän aikavälin kokonaispäästökehitys -hankkeen (PITKO) kanssa (Koljonen ym. 2019). PITKO-hanke tuottaa pitkän aikavälin kokonaispäästölaskelmat. Skenaarioiden osalta päästö- ja nielulaskennan yhtenäistämistä on tehty jonkin verran, mutta hankkeiden skenaariot eivät ole suoraan verrattavissa toisiinsa. MALULU-tutkijat ovat osallistuneet aktiivisesti PITKO:n järjestämiin työpajoihin ja kommentoineet skenaariotarinoita. Yhteistyötä on tehty myös PITKO:n SOVA-tarkastelussa.

Luonnonvarakeskuksessa käynnistyi helmikuussa 2018 VN TEAS -rahoitteinen hanke Maankäyttösektorin toimien mahdollisuudet ilmastotavoitteiden saavuttamiseksi (MISA) (Kärkkäinen ym. 2019). Hankkeen tavoitteina oli mm. arvioida potentiaalinen metsityspinta-ala Suomessa ja mahdollisuudet metsäkadon vähentämiseen. Hankkeessa tehtiin LU-LUCF-sektorin vertailuskenaario, Metsä+ -päästövähennysskenaario ja kolmen erillisen ilmastotoimen vaikutusarviot. Hankkeiden yhteistyön tuloksena MISA- ja MALULU-hankkeiden vertailuskenaariot ovat samat (MALULU:n LULUCF-WEM-skenaario). Lisäksi MISA-hankkeen Metsä+ -skenaarion ja erillisarvioiden toimia on sisällytetty MALULU-hankkeen muihin skenaarioihin.

3. SKENAARIOT JA NIIDEN KESKEISET TULOKSET

3.1. Skenaariokehikko

3.1.1. Skenaariot ja niiden valintaperusteet

Selvityksen runkona on kahdeksan skenaarion kehikko, joista neljä edustaa maatalous- ja neljä LULUCF-sektoria (taulukko 1). Skenaariot on pyritty valitsemaan ja koostamaan siten,

että ne tarjoavat riittävän kattavan kuvan KHK-päästöjen ja hiilinielujen kehityksestä maatalous- ja LULUCF-sektoreilla vuoteen 2050 mennessä, mikäli a) nykyisiä ilmastopoliittisia toimenpiteitä jatkettaisiin tulevaisuudessa ilman keinovalikoiman muutosta (vertailuskenaariot eli nk. WEM-skenaariot (With Existing Measures)) tai b) otettaisiin käyttöön maatalous- ja LULUCF-sektorien toimintaan vaikuttavia uusia lisätoimenpiteitä (LT) (politiikkaskenaariot). Lisäksi osassa skenaarioita mukana on ilmastomuutos IPCC RCP2.6 -skenaarion mukaisena, mikä tarkoittaa oletusta maapallon keskilämpötilan nousun rajautumisesta 1,5 Celsius-asteeseen. Käsiteltäviin skenaarioihin viitataan jatkossa WEM- tai LT-skenaarioina, joita määrittää sektori (maatalous tai LULUCF) ja se, onko skenaariossa mukana ilmastomuutoksen vaikutus (pieni ”i” skenaarion nimen lopussa tarkoittaa, että kyseisessä skenaariossa ilmastomuutos on otettu huomioon). Kahdeksasta skenaariosta kolme on tyypiltään vertailuskenaarioita (2 maatalous, 1 LULUCF) ja viisi politiikkaskenaarioita (2 maatalous, 3 LULUCF).

Taulukko 1. Skenaarioiden nimet ja lyhyet kuvaukset.

Skenaarion nimi	Skenaarion lyhyt kuvaus
Maatalouden vertailuskenaario (Maatalous-WEM)	Maataloussektorin vertailuskenaario, jossa arvio maataloustuotannon ja KHK-päästöjen kehityksestä vuoteen 2050 perustuu keväällä 2018 voimassa olleiden tai jo päätettyjen EU-tasoisien ja kansallisten maatalous-, ilmasto- ja energiapolitiittisten toimenpiteiden toteuttamiseen ja jatkumiseen nykytasolla.
Maatalouden ilmastomuutos -vertailuskenaario (Maatalous-WEMi)	Maataloussektorin vertailuskenaario, jossa arvio maataloustuotannon ja KHK-päästöjen kehityksestä vuoteen 2050 perustuu keväällä 2018 voimassa olleiden tai jo päätettyjen EU-tasoisien ja kansallisten maatalous-, ilmasto- ja energiapolitiittisten toimenpiteiden toteuttamiseen sekä arvioon siitä, miten tuotanto muuttuisi, mikäli ilmasto-olosuhteet kehittyisivät IPCC RCP2.6 -ilmastonmuutosskenaariossa kuvatulla tavalla.
Maatalouden lisätoimet -politiikkaskenaario (Maatalous-LT)	Maataloussektorin politiikkaskenaario, jossa arvio maataloustuotannon ja KHK-päästöjen kehityksestä vuoteen 2050 perustuu nykyistä vaikuttavampiin maatalous-, ilmasto- ja energiapolitiittisiin toimenpiteisiin, jotka mm. rajoittavat turvemaiden raivausta pelloksi sekä säätelevät turvepeltojen kasvipeitteisyyttä ja vesitalouden hallintaa.
Maatalouden ilmastomuutos-lisätoimet -politiikkaskenaario (Maatalous-LTi)	Maataloussektorin politiikkaskenaario, jossa arvio maataloustuotannon ja KHK-päästöjen kehityksestä vuoteen 2050 perustuu nykyistä vaikuttavampiin maatalous-, ilmasto- ja energiapolitiittisiin toimenpiteisiin sekä arvioon siitä, miten tuotanto muuttuisi, jos ilmasto-olosuhteet kehittyisivät IPCC RCP2.6 -ilmastonmuutosskenaariossa kuvatulla tavalla.
Maankäytön vertailuskenaario (LULUCF-WEM)	Maankäyttö, maankäytön muutokset ja metsätalous -sektorin (LULUCF) vertailuskenaario, jossa arvio KHK-päästöjen ja -poistumien kehityksestä vuoteen 2050 perustuu keväällä 2018 voimassa olleiden tai jo päätettyjen EU-tasoisien ja kansallisten metsä-, ilmasto- ja energiapolitiittisten toimenpiteiden toteuttamiseen. Viljelysmaiden osalta kehitys noudattaa Maatalous-WEM-skenaariota.
Maankäytön lisätoimet 1 -politiikkaskenaario (LULUCF-LT1)	Maankäyttö, maankäytön muutokset ja metsätalous -sektorin (LULUCF) politiikkaskenaario, jossa arvio maankäytön, KHK-päästöjen ja -poistumien kehityksestä vuoteen 2050 perustuu metsien osalta LULUCF-WEM-skenaarioon ja tuntuviin muutoksiin viljeltyjen ja turvetuotannon osalta olevien turvemaiden maankäytössä. Viljelysmaihin sovelletaan samoja politiikkatoimia kuin Maatalous-LT-skenaariossa.
Maankäytön lisätoimet 2 -politiikkaskenaario (LULUCF-LT2)	Maankäyttö, maankäytön muutokset ja metsätalous -sektorin (LULUCF) politiikkaskenaario, jossa arvio maankäytön KHK-päästöjen ja -poistumien kehityksestä vuoteen 2050 on joiltaan osiltaan sovitettu yhteen MALULU-hankkeen PITKO-sisarhankkeen Muutos-skenaarion kanssa.
Maankäytön ilmastomuutos-lisätoimet 2 -politiikkaskenaario (LULUCF-LT2i)	Maankäyttö, maankäytön muutokset ja metsätalous -sektorin (LULUCF) politiikkaskenaario, jossa arvio maankäytön KHK-päästöjen ja -poistumien kehityksestä vuoteen 2050 on joiltaan osiltaan sovitettu yhteen MALULU-hankkeen PITKO-sisarhankkeen Muutos-skenaarion kanssa. Lisäksi on arvioitu, miten metsien hiilinielu muuttuisi, mikäli ilmasto-olosuhteet kehittyisivät IPCC RCP2.6 -ilmastonmuutosskenaariossa kuvatulla tavalla.

Kahdeksan varsinaisen skenaarion lisäksi esitetään laskelma, joka kuvaa sitä, miten metsien hiilinielu kehittyisi vuoteen 2050 mennessä, mikäli hakkuut perustuisivat puuntuotannollisesti ja taloudellisesti suurimpaan kestävään hakkuukertymään.

3.1.2. Ilmastomuutoksesta käytetyt oletukset

Tässä selvityksessä oletettiin, että Pariisin ilmastopöytäkirja toteutuu ja saavutetaan sen tavoite pitää maapallon keskilämpötilan nousu selvästi alle kahdessa asteessa suhteessa

esiteolliseen aikaan. IPCC:n kokoamissa ilmastoskenaarioista RCP2.6-skenaario (Representative Concentration Pathways (RCP)) noudattaa lähimpänä Pariisin sopimuksen mukaista kehitystä. Tavoitteen saavuttamiseksi ilmastoa lämmittävien kasvihuonekaasupäästöjen on käännyttävä selvään laskuun heti vuoden 2020 jälkeen ja niiden on oltava vuositamme lopulla lähellä nollaa (Van Vuuren et al. 2007). RCP2.6-skenaariossa ilmastoa lämmittävä säteilypakote nousee päästörajoituksista huolimatta edelleen vuosisadan puoliväliin tasolle 3.1 W/m² laskien vuosisadan vaihteeseen tasolle 2.6 W/m² (Van Vuuren et al. 2007, 2011), siksi myös päästörajoitusten vaikutukset realisoituvat ilmakehässä viipeellä, esimerkiksi vielä vuoden 2040 tienoilla IPCC:n heikoimman (RCP2.6) ja voimakkaimman (RCP8.5) kasvihuonekaasuskenaarioiden lämpötilamuutosten ero on alle 1 °C, mutta 2080-luvulla jo lähes 4 °C.

Ilmatieteen laitoksella (Ruosteenoja ym. 2016a, 2016b, ks. myös <https://ilmasto-opas.fi>) tehdyt arviot Suomen ilmaston kehityksestä perustuvat 28 maailmanlaajuisella ilmastomallilla tehtyihin laskelmiin. Suomen ilmaston ennustetaan muuttuvan enemmän talvella kuin kesällä, joten etenkin talvilämpötilat kohoavat, lumipeite ja routa vähenevät, mutta myös kesien hellejaksojen ennakoidaan yleistyvän. Pilvisyys lisääntyy ja sademäärät kasvavat, etenkin talviajan sateet lisääntyvät ja tulevat yhä useammin vetenä. Ilmastomalleilla tehtyjen arvioiden mukaan RCP2.6 skenaariossa lämpötila nousee vuosisadan vaihteeseen mennessä Suomessa +2,3 °C (+1,1...+3,6, kun maapallon keskilämpötilan nousu jää 1,5 asteeseen (Ruosteenoja ym. 2016a). Keskilämpötila on viimeisen 40 vuoden aikana kohonnut Suomessa 0,2...0,4 astetta vuosikymmenessä. RCP2.6 skenaarion mukainen lämpötilan nousu vastaa lämpösunnan nousua 200–300 astevuorokaudella (Ruosteenoja ym. 2016b). RCP8.5 skenaariossa lämpötilan nousu Suomessa on 6 °C (+3,8...+8,2) ja maapallolla keskimäärin 4,9 °C. Sademäärän arvioidaan kasvavan RCP2.6 skenaariossa Suomessa keskimäärin 8 % (2–14 %) vuosisadan loppuun ja vastaavasti RCP8.5 skenaariossa 20 % (9–31 %).

3.2. Vertailuskenaariot

3.2.1. Maatalouden vertailuskenaario (Maatalous-WEM)

Skenaarion taustaoletukset

Väestökehityksen vuoteen 2050 on oletettu noudattavan Tilastokeskuksen vuoden 2015 ennustetta, jonka mukaan väkiluku on noin 5,8 miljoonaa vuonna 2030 ja 5,9 miljoonaa vuonna 2050 (Tilastokeskus 2015). Tämä tarkoittaa sitä, että ruokavalioiden pysyessä ennallaan kaikkien elintarvikkeiden kotimainen kysyntä kasvaa noin 5 % vuoteen 2030 mennessä. Uudempi Tilastokeskuksen marraskuussa vuonna 2018 julkistama väestöennuste (Tilastokeskus 2018a) jää vuonna 2030 noin 157 000 asukasta ja vuonna 2050 noin 380 000 asukasta alhaisemmaksi kuin vuoden 2015 väestöennusteessa.

Energian hinnat noudattavat IEA World Energy Outlook 2018 -julkaisun hintoja eri energia tuotteille, joista Suomen maatalouden kannalta tärkeimpiä energiatuotteita ovat polttonesteet ja sähkö (IEA 2018). Erityisesti on huomattava, että ennustettu energian hintojen nopea nousu lähivuosina ja jatkuva hidas nousu vielä 2020-luvun jälkipuoliskolla nostaa etenkin polttoainekustannuksia ja vähäisemmässä määrin lannoitteiden hintoja 2020-luvulla. Tämä puolestaan vähentää hitaasti viljan tuotantoa Suomessa siksi, että viljantuotannon kannattavuus on jo ennestään heikko ja viljan sekä muiden maataloustuotteiden hintaennusteet ovat maltilliset (OECD-FAO 2018). Energiapanosten ja lannoitteiden arvo suhteessa viljan tuotannon arvoon on viljalla kuitenkin suhteellisesti suurempi kuin muilla kasveilla. Nurmituo-

tanto käyttää osin lantaravinteita joten nurmialaan energiapanosten hinnannousu vaikuttaa vähemmän.

Maataloustuotteiden tuotehintojen maailmanmarkkinoilla ja Euroopassa on oletettu kehittyvän kuten arvioidaan julkaisussa OECD-FAO Agricultural Outlook 2018-2027, jossa oletetaan IEA (2018) mukaiset energian hinnat. Tuotehintojen on tässä selvityksessä oletettu pysyvän entisellään 2027 jälkeen. Maataloustuotteiden reaali hinnat eli tuotehintakehitys panoshintoihin nähden pysyvät likimain ennallaan etenkin kasvituotteissa. Pientä reaalihintojen nousua tapahtuu eräissä maitotaloustuotteissa, mutta kokonaisuutena maitosektorilla on maltillinen kehitys. Taustalla OECD-FAO (2018) hintaennusteissa vuoteen 2027 on oletuksia ja globaalitason mallinnustuloksia siitä, että maailman elintarviketalous pystyy edelleen vastaamaan ruuan kysynnän kasvuun eri tavoin.

Maatalouspolitiikka on oletettu samanlaiseksi kuin 2014–2020 kauden maatalouspolitiikka. EU-tukien mahdollisia vähenemisiä ei ole huomioitu 2020 jälkeen.

Etenkin lypsykarjataloudessa (siirtyminen yhden lypsyrobotin yksiköistä kahden tai useamman robotin yksiköihin 2020–2030-luvuilla) ja osin muussa kotieläintaloudessa oletetaan edelleen tuottavuuden kasvua. Tuottavuuden kasvun oletetaan olevan vähäisempää kasvin-tuotannossa, koska satotasojen oletetaan säilyvän ennallaan. Lannoitteiden kallistuminen 2020-luvun alkupuoliskolla alentaa tosin satotasoa 1-3 % eri kasveilla.

Elintarvikkeiden kulutuksen per capita oletetaan olevan vuoden 2017 tasolla ajanjaksolla 2018-2050. Tämä tarkoittaa mm. sitä, että siipikarjanlihan kulutuksen voimakas kasvu 2000-luvulla pysähtyy 2017 tasolle. Vuonna 2017 siipikarjanlihaa tuotettiin Suomessa vajaa 130 milj. kg, mikä vastaa likimain kotimaista kulutusta.

Maataloustuotannon muutokset

Viljeltyjen turvemaiden pinta-ala kasvaa 1300 ha vuodessa vuoteen 2030 asti, mutta sen jälkeen enää alle 1000 ha vuodessa. Turvepeltojen kokonaisala vuonna 2050 on noin 300 000 ha. Ruohikkoalueiksi lukeutuvien hylättyjen turvepeltojen ala pysyy melko vakaana koko jakson ajan (ks. liitteen 2 taulukko A). Viljeltyjen turvemaiden alan kasvu tekee mahdolliseksi sen, että lypsykarjatalous ja muu nautakarjatalous jatkuvat turvemaavaltaisilla alueilla suunnilleen entisellään tai lievästi kasvaen.

Maatalous-WEM-skenaariossa eläinmäärät vähenevät varsin hitaasti tai pysyvät lähes nykyisellään. Nautaeläinten kokonaismäärä vähenee 16 % 2017-2050. Naudanlihantuotanto vähenee kuitenkin vajaat 10 % (86 milj. kg vuonna 2017; 77 milj. kg vuonna 2050), koska eläinten teuraspainot nousevat maltillisesti. Lypsylehmien lukumäärä vähenee 12 % jaksolla 2017-2050 lypsylehmien keskituotosten kasvaessa noin 1 % vuosivauhdilla tasolle 10 500 litraa per lehmä vuodessa. Maidon kokonaistuotanto kasvaa noin 5 % vuoteen 2030 mennessä ja 7 % vuoteen 2050 mennessä. Tämä puolestaan johtuu työn tuottavuuden kasvusta suuremmissa tuotantoyksiköissä sekä lehmien keskituotoksen noususta. Etenkin työn ja koneiden käyttö tehostuu, kun pääosa investoinneista suuntautuu kahden robotin yksiköihin eli yli 100 lehmän tiloille. Tällaisilla tiloilla on tulosten mukaan jo yli puolet lypsylehmistä vuonna 2030 ja niiden osuus kasvaa yli 60 %:iin vuoteen 2040 mennessä, mikä kasvattaa kokonaistuottavuutta ja lievästi myös maidontuotantoa. Kehitykseen myötävaikuttaa viljan viljelyn alhaisena jatkuva ja lievästi heikentävä kannattavuus energiapanosten kallistumisen takia. Peltoa on tällöin saatavissa edullisemmin tuotannon laajennuksiin. DREMFA-mallin sisällä pellon hinta on mukana yhtenä kustannuksena lypsykarjatalouden laajennusinvestoinneissa. Tämän vuoksi tuotanto kasvaa vähän aikaa lievästi myös Etelä-Suomen alueella. Maan keski- ja pohjoisosissa tuotannon kasvu jää niin ikään vähäiseksi. Kustannusten

nousu ja kustannusten ennestään korkea taso sekä budjettirajoitteet kansallisille tuille estävät lypsykarjatuotannon merkittävän kasvun, vaikka lypsykarjatalouden tuottavuus nouseekin.

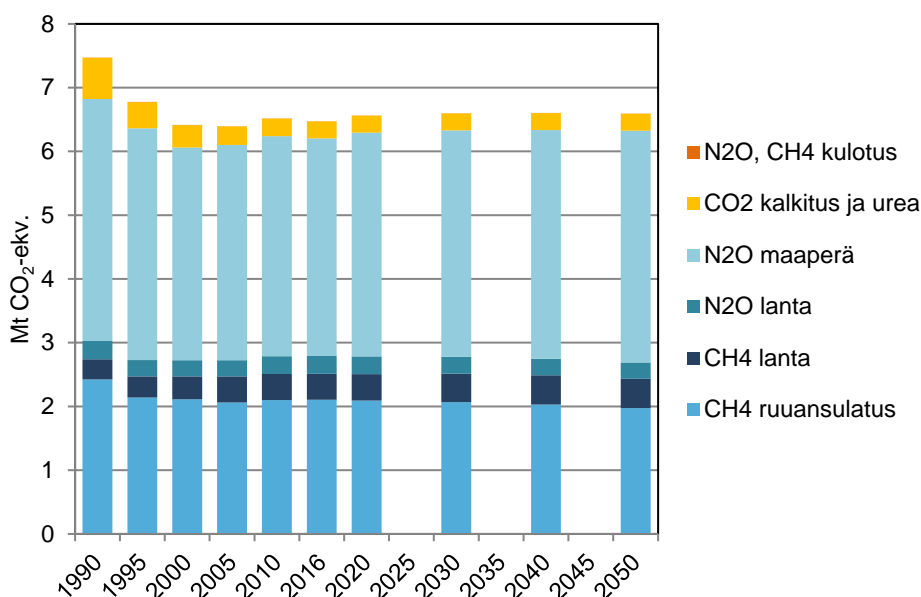
Viljelty peltoala vähenee hitaasti, vaikka viljan viljelyn kokonaisala vähenee selvästi, 100 000 ha jo vuoteen 2030. Tämä johtuu siitä, että tukijärjestelmä kannustaa pitämään pellon maatalouskäytössä ja tukien piirissä. Osa viljan viljelystä vapautuvasta pellostä siirtyy laajaperäisesti eli vähin tuotantopanoksin viljeltäväksi nurmeksi tai kesannoksi. Viljanviljelyn kannattavuus on jo lähtötilanteessa (2017) heikko. Ensi vaiheessa lannoitteiden kallistuminen 2020-luvulla johtaa lievästi laajaperäisempään viljelyyn kaikkien kasvien osalta. Vähitellen viljan tuotanto vähenee vuoteen 2050 mennessä yli 10 %.

Sianlihantuotanto vähenee alle kotimaisen kulutuksen 2020-luvulle tultaessa. Vähenevä trendi jatkuu hitaana niin, että kotimainen tuotanto jää noin 10 % kotimaista kysyntää alhaisemmaksi vajaan 170 milj. kg:n tasolle. Tämä vaje täyttyy tuontilihallalla. Kustannusten lievä nousu vaikuttaa kuitenkin hyvin vähän siipikarjanlihantuotantoon, joka voi vähentyä muutaman prosentin vuoteen 2030 päätyen tasolle 125 milj. kg.

Kaikkiaan maataloustuotannon perusura sisältää sekä maidontuotannon lievän nousun että naudan- ja sianlihan sekä viljantuotannon vähenemisen. Viljantuotanto ei kuitenkaan määränä vähene yhtä paljon kuin viljan viljelyala, koska tuotannosta poistuu peltoalaa ensin alhaisen satotason alueilta. Lannoitekäyttö vähenee vain vähän kokonaisuutena (-7 % 2017-2050) osin sen vuoksi, että maidontuotanto lievästi kasvaa ja nurmirehun tarve säilyy, ja koska viljantuotanto jatkuu edelleen keskimääräisen ja sitä korkeamman satotason alueilla lähes entisenlaisella lannoituksella. Osa huonoimmista pelloista, joitakin prosentteja peltoalasta, jää kokonaan viljelemättä, ts. kaikki tuotannosta vapautuva pelto ei jäisi kesannoinnin piiriin. Tällä on kuitenkin vähäinen merkitys kasvihuonekaasupäästöille.

Kasvihuonekaasupäästöjen kehitys

Maatalous-WEM-skenaariossa päästöt ovat vuonna 2050 nykyistä 1,9 % korkeammalla tasolla (kuva 2 ja taulukko 2). Nousu johtuu pääasiassa turvepeltojen pinta-alan kasvusta. Vaikka nautojen märehdinnän päästökerroin nousee jonkin verran maidontuotannon ja eläinten koon kasvaessa, päästöt laskevat noin 6,2 % nautojen kokonaismäärän laskiessa 16 %. Lannankäsittelyn metaanipäästöt kasvavat ja dityppioksidipäästöt laskevat lietalantajärjestelmän yleistyessä. Kokonaisuudessaan lannankäsittelyn päästöt olisivat jonkin verran nykyistä korkeammat tämän kehityksen myötä. Maataloussektorilla raportoitavat maaperän N₂O-päästöt nousevat tässä skenaariossa 6,7 %, koska turvepeltojen raivaus jatkuu vuoteen 2050 asti.



Kuva 2. Raportoidut (1990-2016) ja skenaroidut Maatalous-WEM (2017-2050) KHK-päästöt päästölähteittäin.

Taulukko 2. Arvio KHK-päästöjen kehityksestä Maatalous-WEM-skenaariossa vuoteen 2050.

Mt CO ₂ -ekv.	1990	2005	2016	2020	2030	2040	2050
CH ₄ ruuansulatus	2,423	2,062	2,105	2,093	2,067	2,030	1,974
CH ₄ lanta	0,317	0,409	0,408	0,413	0,448	0,458	0,460
N ₂ O lanta	0,285	0,254	0,285	0,279	0,267	0,260	0,254
N ₂ O maaperä	3,796	3,377	3,408	3,510	3,549	3,588	3,637
CO ₂ kalkitus+urea	0,647	0,290	0,266	0,266	0,266	0,266	0,266
CH ₄ ja N ₂ O kulutus	0,004	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003
Yhteensä	7,473	6,395	6,473	6,563	6,599	6,604	6,594

3.2.2. Maatalouden ilmastonmuutos -vertailuskenaario (Maatalous-WEMi)

Skenaarion taustaoletukset

Maatalous-WEMi-skenaariossa maatalous sopeutuu ilmastonmuutokseen menestyksellisesti parhaillaan ja jatkossakin etenevän kasvien lajikejalostuksen kautta. Erityisesti ilmasto-skenaariossa RCP 2.6, jossa lämpeneminen on tuntuva, mutta maltillista pohjoisilla leveysasteilla, on mahdollisuus onnistua sopeutumisessa, jos pitempään kasvukauteen ja Suomen keskikesän säteilyolosuhteisiin sopeutuneita kasvilajikkeita erityisesti viljoille tulee saataville. RCP 2.6 -ilmastoskenaariossa lämpeneminen suhteessa sateisuuden lievään kasvuun tekee mahdolliseksi jopa satotason lievän kasvun, jos hintasuhteet ja siten kannustimet sadon tuottamiselle eivät alene. Tällöin voidaan aiempiin tutkimuksiin perustuen arvioida, että nurmikasvien satoisuus kasvaa jopa toistakymmentä prosenttia (tämä vaatii heinänumilla kuten timoteilla lannoituksen lisäämistä suhteellisesti lähes vastaavasti) nykyisiläkin lajikkeilla. Tämä on todettu pohjoismaisissa tutkimuksissa (Höglind et al. 2013) huomioiden myös ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden nousun kasvua edistävä vaikutus. Viljalle tarvitaan uusia pitempään kasvukauteen sopeutuneita lajikkeita jotta satotason nousu (Ete-

lä-Suomessa 0-5 %; maan keski- ja pohjoisosissa 10-20 %) olisi mahdollinen (Tao et al. 2015). Viljan satotaso voi onnistuneen sopeutumisen tapauksessa nostaa viljojen satoja maan keskiosissa lähemmäs Etelä-Suomen satotasoa, mutta silti Etelä-Suomen sadot olisivat jatkossakin korkeammat kuin muualla maassa, ja Etelä-Suomi säilyisi pääasiallisena viljantuotantoalueena.

Muut oletukset ovat samat kuin Maatalous-WEM -skenaariossa.

Maataloustuotannon muutokset

Ilmastonmuutokseen sopeutuminen ja siitä seuraava satopotentiaalin nousu on vielä vähäistä 2020-luvulla. Tämän seurauksena erityisesti viljan viljelyn kannattavuus on alkutilanteessa heikko ja asetelmaa parantavat vain vähän maan keski- ja pohjoisosien lievästi parantuvat viljasadot. Myöhemmin etenkin nurmeen perustuvassa kotieläintaloudessa nurmialan tarve vähitellen alenee hitaasti kasvavan nurmen satotason vuoksi, koska tuotantomäärä on lähellä Maatalous-WEM-skenaarion tasoa. Pieni satotason nousu ei tuo niin merkittävää kannattavuuden nousua, että kotieläintuotanto kokonaisuutena sen vuoksi kasvaisi. Maidontuotannossa nurmisatojen nousu voi kuitenkin johtaa tuotannon pieneen kasvuun pian 2030 jälkeen. Vuoteen 2050 mennessä maidontuotanto kasvaisi 2,2 % Maatalous-WEMi-skenaariossa Maatalous-WEM-skenaarioon verrattuna. Tällöin kansallisille tuille asetetut rajoitteet, ts. yksikkötuki alenee tuen budjettirajoitteen vuoksi, jos tuotantomäärä kasvaa, hillitsevät selvästi tuotannon kasvua. Näin etenkin C-tukialueella maan keski- ja pohjoisosissa, jossa kansallisen tuen taso on noin 7-8 snt/l. Etelä-Suomessa, jossa lypsylehmille maksetaan CAP-tukea eläinperusteisesti tiettyyn budjettirajaan asti, tukitaso on maidontuotannolle kokonaisuutena alhaisempi kuin C-tukialueilla. Osin tästä syystä maidontuotannon määrä pysyy Etelä-Suomessa hyvin vakaana, vaikka se C-alueella kasvaa vähän enemmän kuin Maatalous-WEM-skenaariossa (ks. liitteen 2 taulukko B).

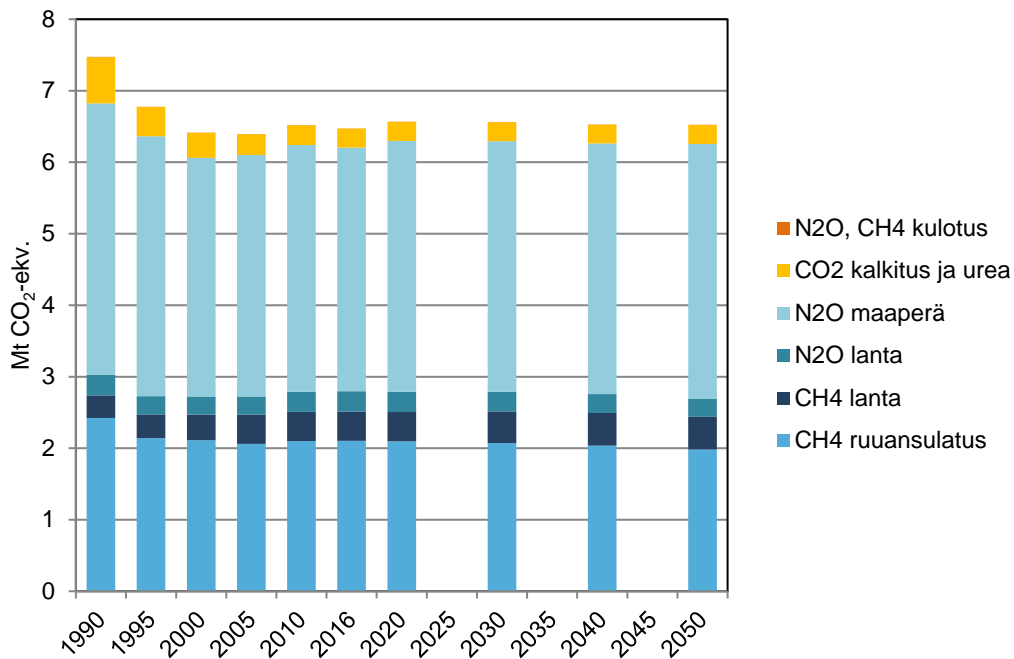
Viljantuotannon kokonaismäärä muuttuu hyvin vähän, vaikka satotaso kasvaa maan keski- ja pohjoisosissa. Kevätvehnän tuotanto lisääntyy tulosten mukaan joitakin prosentteja ja syysvehnän vähenisi suhteessa Maatalous-WEM-skenaarioon. Tao ym. (2015) arvioivat syysvehnän sadon jopa heikkenevän ilmaston lämmitessä, vaikkakin maltillisesti. Rehuviljan tuotanto säilyy tulosten mukaan lähes samana kuin Maatalous-WEM-skenaariossa. Kaikkiaan viljan tuotanto kasvaa tulosten mukaan vain noin prosentin Maatalous-WEMi-skenaariossa suhteessa Maatalous-WEM-skenaarioon. Viljantuotannon kasvu maan keski- ja pohjoisosissa jää siis kokonaisuutena vähäiseksi, vaikka voikin olla yksittäisillä tiloilla merkittävää (Purola et al. 2018). Tämä johtuu siitä, että maan keski- ja pohjoisosissa tilarakenne painottuu enemmän pieniin tiloihin painottuvat, jolloin tuotantokustannukset ovat korkeat. Parhaan satotason viljelysmaat ovat pääosin Etelä-Suomessa, jossa lajikejalostus ei kuitenkaan johda kuin hyvin vähäiseen satotasojen nousuun. Hintasuhde viljalle heikkenee lievästi, ts. panosten hintojen nousu Suomen kustannustasolla on vähintään samaa luokkaa kuin nimellisten tuotehintojen kasvu. Tässä kokonaisuudessa, jossa siis kasvituotteiden hinnat pysyvät korkeintaan ennallaan OECD-FAO Outlook 2018-2027 mukaisesti, viljan kokonaistuotanto kasvaa hyvin vähän, ja viljan viljelyala koko maassa vähenee joitakin prosentteja (alle 8 % vuoteen 2050) Maatalous-WEMi-skenaariossa suhteessa Maatalous-WEM-skenaarioon.

Nurmikasvien pinta-ala on likimain sama kuin Maatalous-WEM-skenaariossa, vaikka nurmikasvien satotaso per nurmikasvilaji nousee. Tätä satoisuuseroa ei kuitenkaan kannata maatalouden tukipolitiikan vuoksi kokonaan hyödyntää, vaan osa nurmesta kannattaa pitää laajaperäisenä eli vähin panoksin viljeltynä matalan satotason nurmena. Typensitojakasvien hyödyntäminen helpottuu kasvukauden lämpösumman kasvaessa Maatalous-WEMi-skenaariossa. Esimerkiksi apila-timotei-nurmet vaativat puhdasta timoteinurmea huomatta-

vasti vähemmän lannoitusta, mutta tuottavat etenkin toisena viljelyvuonna lähes saman sadon. Näiden nurmien osuus kasvaa jonkin verran Maatalous-WEMi-skenaariossa, joskin osuuden kasvua rajoittaa se, että karjanlanta täytyy levittää kohtuullisen etäisyyden päässä oleville pelloille joka tapauksessa, eikä kaikki nurmi voi olla matalan lannoituksen peltoa (Lehtonen & Niskanen 2016). Typensitojakasvien osuuden kasvu on myös yksi syy siihen, että lannoituksen kokonaismäärä vähenee Maatalous-WEMi-skenaariossa enemmän kuin Maatalous-WEM-skenaariossa. Hehtaaria kohti laskettu lannoitetyppi keskimäärin on kuitenkin Maatalous-WEMi-skenaariossa likimain sama kuin Maatalous-WEM-skenaariossa. Tämä johtuu osin myös siitä, että timoteivaltainen säilörehu koko maassa ja vilja maan keski- ja pohjoisosissa vaativat vähän korkeamman satotason vuoksi myös korkeamman typpi-lannoituksen hehtaaria kohti kuin Maatalous-WEM-skenaariossa.

Kasvihuonekaasupäästöjen kehitys

Muutokset päästöissä verrattuna Maatalous-WEM-skenaarioon ovat vähäiset, koska tuotanto muuttui maltillisesti. Kokonaispäästöt vuonna 2050 ovat 1,1 % pienemmät kuin Maatalous-WEM-skenaariossa, mikä johtuu pääasiassa vähäisemmästä typpilannoitteiden käytöstä (kuva 3 ja taulukko 3).



Kuva 3. Raportoidut (1990-2016) ja skenaroidut Maatalous-WEMi (2017-2050) KHK-päästöt päästölähteittäin.

Taulukko 3. Arvio KHK-päästöjen kehityksestä Maatalous-WEMi-skenaariossa vuoteen 2050.

Mt CO ₂ -ekv.	1990	2005	2016	2020	2030	2040	2050
CH ₄ ruuansulatus	2,423	2,062	2,105	2,098	2,072	2,037	1,982
CH ₄ lanta	0,317	0,409	0,408	0,409	0,444	0,456	0,458
N ₂ O lanta	0,285	0,254	0,285	0,281	0,272	0,264	0,255
N ₂ O maaperä	3,796	3,377	3,408	3,511	3,506	3,505	3,561
CO ₂ kalkitus+urea	0,647	0,290	0,266	0,266	0,266	0,266	0,266
CH ₄ ja N ₂ O kulutus	0,004	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003
Yhteensä	7,473	6,395	6,473	6,568	6,563	6,530	6,524

3.2.3. Maankäytön vertailuskenaario (LULUCF-WEM)

Skenaarion taustaoletukset

LULUCF-WEM-skenaariossa maankäytön ja maankäytön muutosten kehitys on yhdenmukainen MISA-hankkeen perusskenaarion kanssa (Kärkkäinen ym. 2019). Maankäytön ja maankäytön muutosten oletettiin jatkuvan kuten on tapahtunut keskimäärin vuosina 2005–2014. Pinta-alojen kehitysskenaarion taustalla ovat vuoden 2018 KHK-inventaarion pinta-alat vuosille 2005–2014 ja niistä lasketut muutospinta-alojen keskiarvot ja muutostrendit.

LULUCF-WEM-skenaarion oletukset ovat samoja kuin energia- ja ilmastostrategian 2016 taustaksi laaditussa perusskenaariossa (TEM 2017, Lehtonen ym. 2016). Skenaario myös noudattaa Kansallista metsästrategiaa 2025 (MMM 2015). Metsäteollisuuden puuntarve vuoteen 2035 perustuu Pöyry Management Consulting Oy:n (2017) laatimaan arvioon. Vuodesta 2035 eteenpäin tässä raportissa oletettiin puuntarpeen pysyvän vuoden 2035 tasolla. Runkopuun, joka sisältää metsäteollisuuden ainespuun ja energiaksi käytetyn runkopuun, hakkuukertymän oletettiin nousevan noin 80 milj. m³:iin vuodessa vuoden 2025 jälkeen (vuosina 2015–2024 keskimäärin 71,5 milj. m³/v) ja pysyvän sen jälkeen samalla tasolla vuoteen 2050. Runkopuun lisäksi metsähakkeeksi oletettiin korjattavan hakkuutähteitä hie-man yli 6 milj. m³ ja kantoja enintään 1 milj. m³. Yhteensä metsäenergiaksi (sisältäen kotitalouksien polttopuun) korjattiin tässä skenaariossa vuoden 2025 jälkeen noin 19 milj. m³/v.

Puutuotelaskennassa metsäteollisuuden tuotannon oletettiin kehittyvän Pöyry Management Consulting Oy:n (2017) esittämän arvion mukaisesti vuoteen 2035, jonka jälkeen tuotannon oletettiin pysyvän samalla tasolla.

Maankäytön muutokset

Viljelysmaan pinta-alan oletetaan pysyvän LULUCF-WEM-skenaariossa nykyisellä tasolla. Viljelysmaan pinta-ala toimi siten rajoitteena, jos historiatietoon perustuvien maankäytön muutosten seurauksena peltopinta-ala olisi alkanut joko kasvaa tai vähetä merkittävästi. Tuotannossa olevan viljellyn peltoalan oletettiin vähenevän hitaasti, kuten oletettiin Maatalous-WEM-skenaariossa. Muutokset ruohikkoalueiden ja muun maankäytön välillä tapahtuvat aiemman kehityksen mukaisesti.

Kosteikot-luokkaan kuuluvan turvetuotannon kokonaisala pienenee 100 000 hehtaarista 70 000 hehtaariin vuoteen 2050 mennessä. Oletus perustuu energia- ja ilmastostrategian perusskenaarioon, jossa turpeesta tuotetun energian kokonaiskulutuksessa vähenee 20 TWh:sta 15 TWh:iin vuodesta 2020 vuoteen 2030 (TEM 2017). Muiden kosteikkojen pinta-ala kehittyy historiatiedon mukaisesti. Tähän kuuluvat muun muassa ojitetut vähäpuustoiset ja/tai huonotuottoiset metsämaat, joiden ojitusta ei pidetä kunnossa tai metsälain mukaisesti uudistamistoimia ei edellytetä tehtäväksi uudistushakkuun jälkeen (ns. virheojitukset), ja jotka siten siirtyvät kosteikoiksi.

Rakennetun maan ala kasvaa 1,5 milj. hehtaarista 1,8 milj. hehtaariin vuoteen 2050 (taulukko 4) ja rakennetuksi maaksi siirtyy muuta maata keskimäärin 10 000 ha vuodessa (liite 3, taulukko A). Muu maa -luokan muutokset ovat historiatiedon mukaiset ja sen pinta-ala vähenee pääasiassa rakentamisen seurauksena.

Metsämaan kokonaispinta-ala muuttuu sen mukaan, kuinka paljon alueita siirtyy muuhun käyttöön ja paljonko metsitetään. Edellä kuvatuilla oletuksilla metsämaan ala pienenee vuoden 2015 21,9 milj. hehtaarista 21,6 milj. hehtaariin vuonna 2050. Uutta metsämaata syntyy metsittämällä ja metsittymällä vuoteen 2050 mennessä vajaa 200 000 ha eli noin 6 000 hehtaaria vuodessa. Metsämaata otetaan muuhun käyttöön selvästi enemmän, 470 000 ha vuosina 2017–2050. Vuositasolla se on keskimäärin 15 000 hehtaaria vuodessa vuoteen 2026 saakka, jonka jälkeen metsäkatoala vähenee vajaaseen 12 000 hehtaariin vuodessa 2050 mennessä.

LULUCF-WEM skenaarion mukaiset maankäyttöluokkien väliset pinta-alamuutokset on esitetty liitteen 3 taulukossa A.

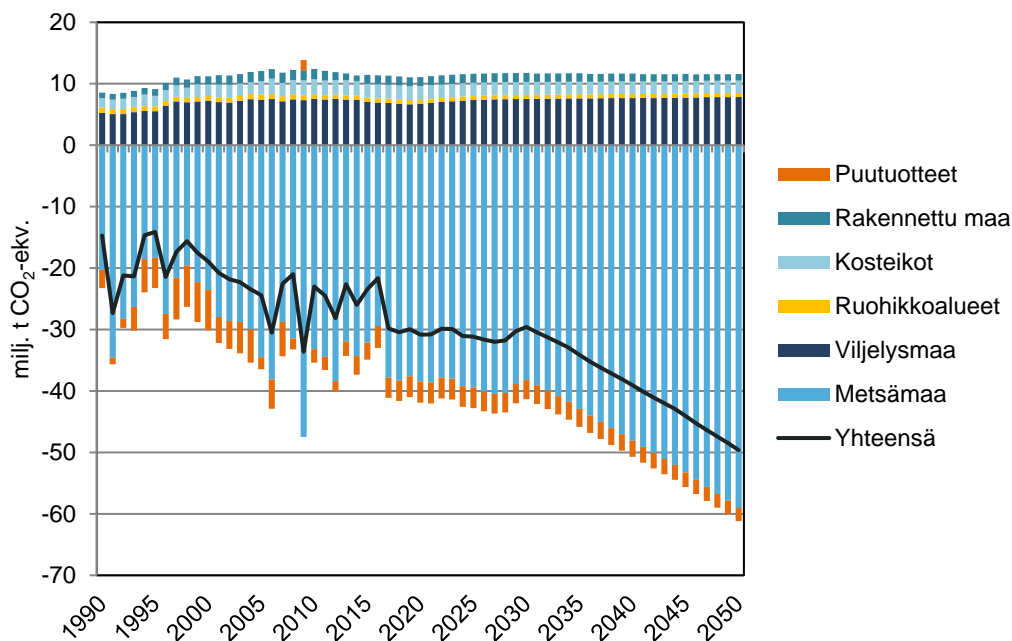
Taulukko 4. Raportoidut maankäyttöluokkien pinta-alat vuonna 2016 (Tilastokeskus 2018b) ja LULUCF-WEM-skenaarion mukaiset pinta-alat vuoteen 2050.

1 000 ha	2016	2020	2030	2040	2050
Metsämaa	21 882	21 843	21 751	21 671	21 605
Viljelysmaa	2 494	2 487	2 488	2 486	2 485
Ruohikkoalueet	241	240	240	240	241
Kosteikot	2 989	2 975	2 945	2 936	2 920
Rakennettu maa	1 472	1 532	1 645	1 745	1 826
Muu maa	1 311	1 310	1 308	1 306	1 305
Sisävedet	3 455	3 457	3 458	3 460	3 462
Yhteensä	33 843	33 843	33 843	33 843	33 843

Kasvihuonekaasupäästöjen ja hiilinielujen kehitys

LULUCF-WEM-skenaariossa LULUCF-sektorin nettonielu kasvaa noin 22:sta 30 miljoonaan CO₂-ekvivalenttonniin aikavälillä 2016–2030 ja edelleen 50 milj. CO₂-ekv. tonniin vuoteen 2050 mennessä (kuva 4, taulukko 5). Kehitys on seurausta metsämaan nielun kehityksestä, joka kasvaa nykyisestä 30 miljoonasta ensin 38:aan ja edelleen 59 miljoonaan CO₂-ekv. tonniin. Metsämaan hakkuukertymä saavuttaa suurimman tasonsa 81,5 milj. m³ jaksolla 2035–2044, jonka jälkeen se laskee hieman alle 80 miljoonaan m³:iin. Lasku johtuu siitä, että MELA laskelmaratkaisu ohjaa hakkuutähteitä enemmän energiapuuksi eikä oletuksesta runkokuunkäytön vähenemisestä. Puuston kasvun lisääntyessä metsämaan nielu kehittyi voimakkaasti vuoden 2030 jälkeen (ks. liite 4, taulukot A–C: Puuvarannon kehitys, kasvu ja hakkuukertymät eri skenaarioissa). Puutuotteiden nielu pienenee tasaisesti vuoteen 2050, koska skenaario-oletusten mukaisesti ainespuun hakkuut ja metsäteollisuuden tuotannon rakenne ja määrä pysyvät samalla tasolla kuin 2035.

Muiden maankäyttöluokkien päästöjen merkitys koko sektorin taseeseen on selvästi vähäisempi. Viljelysmaan päästö nousee noin 1 milj. CO₂-ekvivalenttonnia verrattuna vuoden 2016 tilanteeseen, koska viljeltyjen turvemaiden ala kasvaa edelleen (ks. luku 3.2.1 Maatalouden vertailuskenaario, Maataloustuotannon muutokset). Sen sijaan ruohikkoalueiden, kosteikkojen ja rakennetun maan päästöt pienenevät yhteensä noin 0,6 milj. t CO₂-ekv. Metsitetyt alueet tuottavat jatkossakin pienen nielun, noin 0,2 milj. t CO₂-ekv. vuodessa. Metsäkadosta aiheutuvat päästöt vähenevät tasaisesti 2,4 milj. CO₂-ekv. tonniin vuoteen 2050 mennessä eli noin 1 milj. CO₂-ekv. tonnia. Viljelysmaaksi raivattava ala vähenee skenaariojakson alkupuolella ja rakentamisen aiheuttama metsäkato puolestaan pienenee 2030 jälkeen.



Kuva 4. LULUCF-sektorin historialliset päästöt ja poistumat 1990–2016 ja niiden kehittyminen LULUCF-WEM-skenaariossa 2017–2050.

Taulukko 5. Arvio LULUCF-sektorin päästöjen ja poistumien kehityksestä LULUCF-WEM-skenaariossa.

Mt CO ₂ -ekv.	1990	2005	2016	2020	2030	2040	2050
Metsämaa	-20,295	-34,499	-29,430	-38,450	-38,235	-48,077	-59,033
Viljelysmaa	5,267	7,370	6,934	6,700	7,544	7,673	7,843
Ruohikkoalueet	0,854	0,847	0,704	0,687	0,654	0,657	0,655
Kosteikot	1,546	2,175	2,256	2,221	2,097	2,031	2,007
Rakennettu maa	0,882	1,679	1,462	1,465	1,450	1,279	1,059
Puutuotteet	-2,952	-1,971	-3,574	-3,454	-3,102	-2,625	-2,151
Yhteensä	-14,698	-24,400	-21,647	-30,831	-29,592	-39,062	-49,620

3.3. Poliittikkaskenaariot

3.3.1. Maatalouden lisätoimet -skenaario (Maatalous-LT)

Skenaarion taustaoletukset

Maatalous-LT-skenaarioon valittiin erityisesti toimia, jotka vähentävät metsäkatoa ja edistävät metsitystä, mutta samalla vaikuttavat maatalouden dityppioksidipäästöihin. Päästövähennystoimet turvepelloilla todettiin päästövähennyskustannuksiltaan melko edullisiksi muiden sektoreiden päästövähennystoimiin nähden (Koljonen ym. 2017). Maatalous-LT-skenaario haluttiin määritellä sellaiseksi, että sen toimilla ja niiden laajuuksilla olisi mahdollista saavuttaa merkittäviä päästövähennyksiä, jotka myös laskelmin voidaan todentaa. Tässä skenaariossa on siksi mukana laajassa mittakaavassa myös turvepeltojen päästöjä tehokkaasti vähentäviä toimia, jotka kuuluvat KAISU:n keinovalikoimaan (YM 2017).

Turvemaiden raivaus pelloksi loppuu tässä skenaariossa kokonaan jo vuonna 2020 ja turvepelloista suurin osa (140 000 ha) otetaan kosteikkoviljelyyn vuoteen 2050 mennessä. Kosteikkoviljelyssä nostetaan pohjaveden pintaa, ja siten siinä on kaikista turvepeltojen käyttövaihtoehdoista pienimmät päästökertoimet. Kosteikkoviljelyssä voitaisiin tuottaa esimerkiksi kasvuturvetta korvaavaa kasvualustaa (Särkkä ym. 2016). Nurmialan osuus kosteikkoviljelyn ulkopuolisella turvemaan alalla (ruuan ja rehuntuotanto) nousee Maatalous-LT-skenaariossa koko maassa nykyisestä 60 prosentista 80 prosenttiin. Puolet turvepelloilla olevasta nurmialasta on säätösalaojitettu vuonna 2050 ja tällä alalla veden pinta on 30 cm:n korkeudella, mikä vähentää päästöjä tavanomaiseen nurmiviljelyyn verrattuna noin 40 %. Nykyisistä hylätyistä pelloista suurin osa on metsitetty, ja Maatalous-LT-skenaariossa metsitetään käytöstä pois jääneet pellot myös tulevana vuosina. Turvepeltojen kokonaisala vuonna 2050 on 240 000 ha ja hylätyjä peltoja on jäljellä noin 8 000 ha.

Maataloustuotannon muutokset

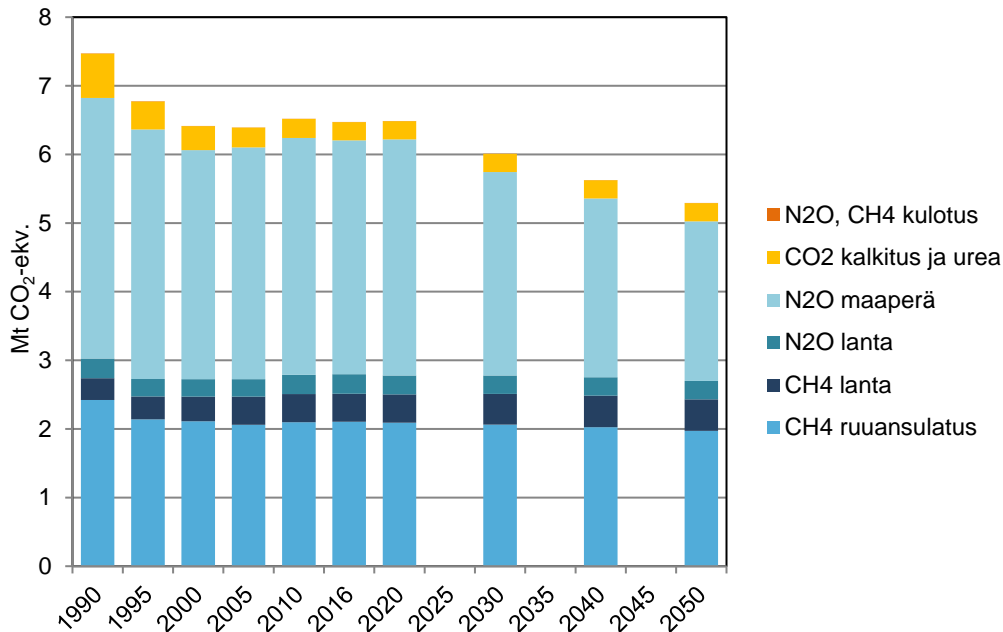
Maataloustuotanto on tässä Maatalous-LT-skenaariossa likimain samalla tasolla 2020-2050 kuin Maatalous-WEM-skenaariossa. Näin siksi, että viljelysmaata on jo lähtötilanteessa kesanto mukaan lukien reilusti enemmän kuin tuotantoon tarvitaan, eikä turvepeltojen alan rajoittaminen rajoita maataloustuotantoa pitkällä tai keskipitkällä tähtäimellä. Turvemaiden raivauksen lopettaminen ohjaa maidon- ja naudanlihantuotannon investointeja kivennäismaille maan keski- ja pohjoisosissa. Koska peltoalaa on osalle kotieläintalouden investointeja niukemmin tarjolla, turvemaiden raivauksen lopettaminen voi yksittäisissä kunnissa, joissa jopa suurin osa pelloista voi olla turvemaita, vaikuttaa maidontuotannon kasvua hidastavasti ja paikoin jopa vähentävästi, vuoden 2030 jälkeen. DREMFA-mallissa peltomaa, myös kivennäismaat, kuitenkin ohjautuu suhteellisesti parhaiten kannattaville tuotantosuunnille maataloudessa. Koska kivennäismaita on kuitenkin suurin osa maatalousmaasta kaikilla alueilla yksittäisiä kuntia lukuun ottamatta, turvemaan vähentäminen viljelykäytössä Maatalous-LT-skenaarion oletusten mukaisesti ei vähennä maataloustuotantoa sen sopeutuessa käytettävissä olevan maatalousmaan muutoksiin ja muihin muutoksiin. Maatalous-LT-skenaarion toimet eivät vaikuta tuotantoa vähentävästi, koska sopeutumisaikaa ja myös kivennäismaita on tuotannon kehittymisen kannalta riittävästi.

Koska viljan viljely vähenee huonon kannattavuuden vuoksi ja nautaeläinten kokonaismäärä hitaasti alenee myös maan keski- ja pohjoisosissa, peltoalaa tulisi keskimäärin hyvin riittävästi kaikilla alueilla lypsykarja- ja muiden nautaeläintilojen tarpeisiin, huolimatta Maatalous-LT-skenaarion toimista. Jos Maatalous-LT-skenaario aiheuttaa pellon tarjonnan merkittävää vähenemistä ja saatavuutta investoivien tilojen käyttöön yksittäisissä kunnissa, DREMFA-malli ei voi ottaa tätä huomioon, koska sen aluejako perustuu paljon kuntatasoa suurempiin kokonaisuuksiin. Tulosten mukaan maidontuotanto päättyy likimain samoihin lukemiin Maatalous-LT-skenaariossa kuin Maatalous-WEM-skenaariossa vuoteen 2040–2050 mennessä koska kivennäismaita on edelleen suuri valtaosa kaikkien alueiden pelloista. Tällöin tuotanto ja investoinnit kivennäismaavaltaisilla alueilla kasvavat maan keski- ja pohjoisosissa. Peltoa vapautuu vähitellen lisää lypsykarjatalouden käyttöön myös kivennäismailta, koska lypsykarjatalous on suhteellisesti kannattavin tuotantosuunta suuressa osassa maan keski- ja pohjoisosia. Turvemaiden raivauksen lopettaminen ei johda maito- ja nautakarjatalouden kasvuun Etelä-Suomessa.

Kasvihuonekaasupäästöjen kehitys

Maatalous-LT-skenaariossa päästöt ovat 18 % nykyistä alhaisemmat vuonna 2050 (kuva 5, taulukko 6). Eniten vähenevät maaperän päästöt (32 %). Maaperän dityppioksidipäästöjä vähentävät sekä turvepeltojen alan pieneneminen että sen alan sisällä tapahtuvat muutokset. Myös hylätyjen peltojen metsitys vähentää jonkin verran tähän raportointiluokkaan kuu-

luvia dityppioksidipäästöjä, kun metsitettyjen ruohikkoalueiden päästöt eivät enää ole osana maataloussektorin päästöjä. Näiden lisäksi biokaasun tuotannolla voidaan vähentää lannankäsittelystä syntyviä päästöjä, mutta sen vaikutus jäänee tasolle 0,06 milj. t CO₂-ekv. vuonna 2050 (ks. liite 1). Lisäksi biokaasun käyttö korvaa muuta energiankäyttöä, ja siitä voidaan arvioida saatavan 0,4 milj. CO₂-tonnin päästövähennys maatalouden energiankäytön päästöihin.



Kuva 5. Raportoidut (1990-2016) ja skenaroidut Maatalous-LT (2017-2050) KHK-päästöt päästölähteittäin.

Taulukko 6. Arvio KHK-päästöjen kehityksestä Maatalous-LT-skenaariossa vuoteen 2050.

Mt CO ₂ -ekv.	1990	2005	2016	2020	2030	2040	2050
CH ₄ ruuansulatus	2,423	2,062	2,105	2,090	2,064	2,027	1,971
CH ₄ lanta	0,317	0,409	0,408	0,412	0,447	0,458	0,460
N ₂ O lanta	0,285	0,254	0,285	0,276	0,268	0,268	0,268
N ₂ O maaperä	3,796	3,377	3,408	3,441	2,965	2,607	2,326
CO ₂ kalkitus+urea	0,647	0,290	0,266	0,266	0,266	0,266	0,266
CH ₄ ja N ₂ O kulutus	0,004	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003
Yhteensä	7,473	6,395	6,473	6,488	6,012	5,628	5,293

3.3.2. Maatalouden ilmastonmuutos-lisätoimet -skenaario (Maatalous-LTi)

Skenaarion taustaoletukset

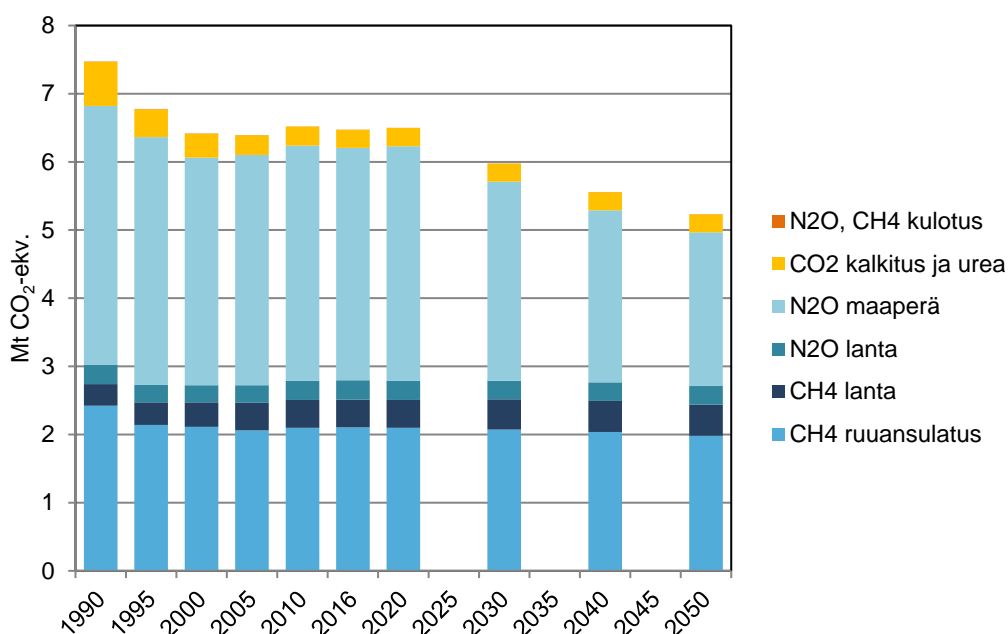
Skenaariossa yhdistyvät Maatalous-WEMi-skenaarion mukaiset ilmastonmuutokseen sopeutumisesta seuraavat tuottavuus- ja tuotantoluvut ja Maatalous-LT-skenaarion päästövähennystoimet.

Maataloustuotannon muutokset

Maataloustuotanto on tässä skenaariossa samalla tasolla kuin Maatalous-WEMi-skenaariossa. Myös pellonkäytön muutokset Maatalous-LT- ja Maatalous-LTi-skenaarioiden välillä ovat samansuuntaisia kuin Maatalous-WEM ja Maatalous-WEMi-skenaarioiden välillä: Ilmastonmuutokseen sopeutuminen johtaa Maatalous-LTi-skenaariossa pieneen maidon- ja viljantuotannon kasvuun suhteessa Maatalous-LT-skenaarioon. Kasvu jää kuitenkin muutamaani prosentteihin. Samalla nurmiala säilyy lähes entisellään, vaikka nurmisadot kasvavat, mutta viljan viljelyala ja väkilannoituksen tyypin kokonaismäärä voi vähentyä useita prosentteja Maatalous-LTi-skenaariossa verrattuna Maatalous-LT-skenaarioon.

Kasvihuonekaasupäästöjen kehitys

Maatalous-LTi-skenaario eroaa Maatalous LT-skenaariosta vain hyvin vähän, ja samansuuntaisesti kuin Maatalous-WEMi-skenaario erosi Maatalous-WEM-skenaariosta. Päästöt ovat noin yhden prosentin Maatalous-LT-skenaariota alhaisemmat vähäisemmän typpilannoituksen johdosta (kuva 6, taulukko 7).



Kuva 6. Raportoidut (1990-2016) ja skenaroidut Maatalous-LTi (2017-2050) KHK-päästöt päästölähteittäin.

Taulukko 7. Arvio KHK-päästöjen kehityksestä Maatalous-LTi-skenaariossa vuoteen 2050.

Mt CO ₂ -ekv.	1990	2005	2016	2020	2030	2040	2050
CH ₄ ruuansulatus	2,423	2,062	2,105	2,098	2,072	2,037	1,982
CH ₄ lanta	0,317	0,409	0,408	0,409	0,444	0,456	0,458
N ₂ O lanta	0,285	0,254	0,285	0,280	0,273	0,273	0,273
N ₂ O maaperä	3,796	3,377	3,408	3,443	2,921	2,524	2,253
CO ₂ kalkitus+urea	0,647	0,290	0,266	0,266	0,266	0,266	0,266
CH ₄ ja N ₂ O kulutus	0,004	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003
Yhteensä	7,473	6,395	6,473	6,498	5,978	5,558	5,234

3.3.3. Maankäytön lisätoimet 1 -skenaario (LULUCF-LT1)

Skenaarion taustaoletukset

LULUCF-LT1-skenariossa maankäytön muutokset oletettiin tapahtuvan kuten MISA-hankkeen Metsä+ -skenariossa (Kärkkäinen ym. 2019). Vuoden 2021 jälkeen skenaariossa ei sallittu raivattavan turvemaita viljelysmaaksi. Myöskään uutta turvetuotantoalaa ei raivattu vuoden 2021 jälkeen ja vuodesta 2031 alkaen turpeen korjuu energiakäyttöön lopetettiin, ja kaikki vapautuva ala metsitettiin. Vuonna 2021 metsitettiin ne ruohikkoalueet, jotka eivät välittömästi liity maatalouteen. Näitä olivat lähinnä hylätyt pellot, joista osa oli jo metsityksessä. Jos viljelysmaa vapautui muuhun käyttöön, se metsitettiin seuraavana vuonna. Oletukset on kuvattu yksityiskohtaisesti julkaisussa Kärkkäinen ym. 2019. Viljelysmaan osalta toimet ovat samat kuin Maatalous-LT-skenariossa ja MISA-hankkeen erillisissä arvioissa.

Metsien ja puutuotteiden LULUCF-LT1 skenaarion oletukset ovat samat kuin LULUCF-WEM-skenariossa. Metsäskenaarion tulokset on esitetty liitteen 4 taulukoissa A–C.

Maankäytön kehittyminen

Tässä LULUCF-LT1-skenariossa metsämaan ala kasvaa hieman (33 000 ha) vuoteen 2050 (taulukko 8). Tämä on seurausta metsäkatoa ehkäisevistä toimista turvemaille, sekä ruohikkoalueiden ja turvetuotantoalueiden metsityksestä. Ruohikkoalueita onkin vuonna 2050 vajaa neljännes alkutilanteeseen verrattuna. Rakennettu maa lisääntyy edelleen noin 340 000 hehtaarilla. Kosteikkojen pinta-ala vähenee kun turvetuotantoon ei enää oteta uusia alueita. Maankäytön muutosten pinta-alat on esitetty liitteen 3 taulukossa B.

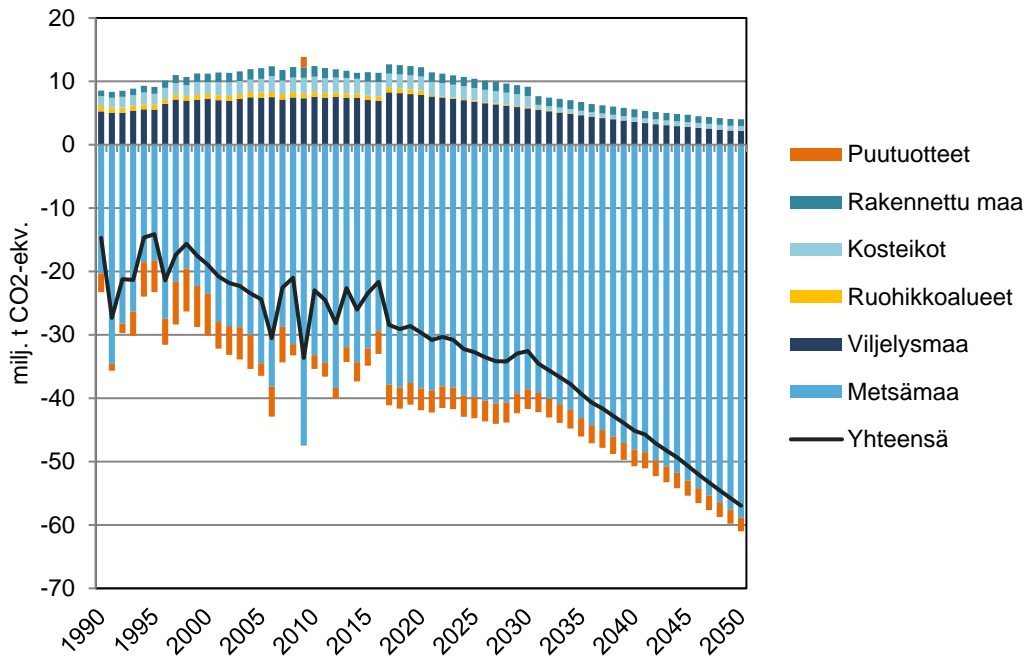
Taulukko 8. Raportoidut maankäyttöluokkien pinta-alat vuonna 2016 (Tilastokeskus 2018b) ja LULUCF-LT1-skenaarion mukaiset pinta-alat vuoteen 2050.

1 000 ha	2016	2020	2030	2040	2050
Metsämaa	21 882	21 843	21 916	21 963	21 911
Viljelysmaa	2 494	2 487	2 468	2 448	2 430
Ruohikkoalueet	241	240	105	58	52
Kosteikot	2 989	2 975	2 945	2 866	2 862
Rakennettu maa	1 472	1 532	1 645	1 745	1 827
Muu maa	1 311	1 310	1 308	1 306	1 305
Sisävedet	3 455	3 457	3 457	3 457	3 457
Yhteensä	33 843	33 843	33 843	33 843	33 843

Kasvihuonekaasupäästöjen ja hiilinielujen kehitys

LULUCF-LT1-skenarioon sisällytetty vuoden 2020 jälkeen uusien turvemaiden raivaamisen estäminen viljelysmaaksi ja viljelyskäytöstä vapautuvien peltojen välitön metsittäminen vähensivät viljelysmaiden KHK-päästöjä lähes 70 % nykytasosta vuoteen 2050 (kuva 7, taulukko 9). Viljelysmaihin kohdistuneet toimet ja ruohikkoalueiden laajamittainen metsitys vuonna 2021 saivat aikaan yhteensä reilun 5 milj. CO₂-ekvivalenttitonnin päästövähennyksen. Kaikkiaan ruohikkoalueille ja käytöstä poisjääville viljelysmaalle kohdistui metsitystä 240 000 hehtaarille vuoteen 2050 mennessä. Esitetty metsityspotentiaalinen pinta-ala on kuitenkin yliarvio ottaen huomioon mahdollisuudet saada näille alueille käytännössä metsittämällä kasvatettavan puulajin täystiheä metsikkö. Metsien ja puutuotteiden nielu kehittyi positiivisesti, joten koko LULUCF-sektorin nettonielu lähestyy 60 milj. CO₂-ekv. tonnia. Turvemaiden metsitys siirtää KHK-päästöjä LULUCF-sektorin sisällä metsämaa-luokkaan.

Metsäkatoa estävillä toimilla KHK-päästöt ovat vuonna 2050 selvästi pienemmät kuin 2016. Suurin muutos saadaan aikaan, kun turvemaita ei enää raivata maatalousmaiksi vuoden 2020 jälkeen. Metsäkadon päästö vähenee 3,4 milj. CO₂-ekv. tonnista 1,3 milj. CO₂-ekv. tonniin. Metsityksen vuoden 2016 pieni nielu (-0,2 milj. t CO₂-ekv.) kääntyy päästökseksi vuonna 2041 (0,4 milj. t CO₂-ekv.). Tämä johtuu turvemaiden (viljelysmaat ja turvetuotanto-alueet) metsityksestä, joissa puuston sitoma hiili ei kata turpeen hajoamisesta aiheutuvaa päästöä.



Kuva 7. LULUCF-sektorin historialliset päästöt ja poistumat 1990–2016 ja niiden kehittyminen LULUCF-LT1-skenaariossa 2017–2050.

Taulukko 9. Arvio LULUCF-sektorin päästöjen ja poistumien kehityksestä LULUCF-LT1-skenaariossa.

Mt CO ₂ -ekv.	1990	2005	2016	2020	2030	2040	2050
Metsämaa	-20,295	-34,499	-29,430	-38,450	-38,593	-48,103	-58,826
Viljelysmaa	5,267	7,370	6,934	7,865	5,729	3,586	2,202
Ruohikkoalueet	0,854	0,847	0,704	0,688	0,150	0,028	0,028
Kosteikot	1,546	2,175	2,256	2,221	1,808	0,699	0,734
Rakennettu maa	0,882	1,679	1,462	1,465	1,450	1,279	1,059
Puutuotteet	-2,952	-1,971	-3,574	-3,454	-3,102	-2,625	-2,151
Yhteensä	-14,698	-24,400	-21,647	-29,665	-32,558	-45,136	-56,954

3.3.4. Maankäytön lisätoimet 2 -skenaario (LULUCF-LT2)

Skenaarion taustaoletukset

LULUCF-LT2-skenaario laadittiin soveltuvin osin yhdenmukaiseksi PITKO-hankkeen Muutos-skenaarion kanssa. Viljelysmaan osalta LULUCF-LT2-skenaariossa on samat toimet

kuin Maatalous-LT-skenaariossa. Viljelysmaan ala kuitenkin pienenee, koska tuotannon oletetaan tapahtuvan pienemmällä alalla ja bioenergian tuotantoa tapahtuu myös peltokasveihin perustuen. Peltoenergian tuotantoon käytettävä ala siirtyy ruohikkoalueeseen kun niillä viljellään ruokohelpiä. Energian tuotannon tarvittava ruokohelpiala arvioitiin oletuksella, että ruokohelpi tuottaa energiaa 13 PJ (Pahkala ym. 2009). Muutos-skenaariossa tuuli-voiman tuotanto kasvaa merkittävästi. Tämä otettiin huomioon arvioimalla uusien tuulivoimaloiden tarve, jotta saavutetaan Muutos-skenaariion mukainen energian tuotanto. Kunkin uuden voimala arvioitiin vaativan yhden hehtaarin ala, joka siirtyy joko metsämaasta tai muusta maasta rakennetuksi maaksi. Hehtaarin pinta-ala-arvioon sisältyy itse tuulivoimalan vaatima ala sekä voimaloille rakennettavat tiet. Uusien energiansiirtoon tarvittavien voimalinjojen vaatimaa alaa ei arvioitu erikseen, mutta voidaan olettaa että hehtaarin pinta-alaan sisältyy myös niitä jossakin määrin. Tässä skenaariossa energiaturpeen tuotanto ei täysin loppunut vuoteen 2050, mutta väheni kuitenkin merkittävästi. Sekä pienevä viljelysmaan ala että turvetuotannosta vapautuva ala pääasiassa metsitettiin. Rakennuskanta kasvoi koko maassa vuodesta 2020 vuoteen 2030 noin 10 %. Vaikka Muutos-skenaariossa asutuksen oletettiin tiivistyvän, LULUCF-LT2-skenaariossa oletettiin tiivistymisen tapahtuvan pääasiassa pääkaupunkiseudulla ja siten koko maan tasolla oletettiin edelleen tapahtuvan maankäytön muutosta rakennettuun maahan. Uuden rakennetun maan pinta-alaruue suhteutettiin vertailuskenaarioon, joka sisältää myös rakentamisesta aiheutuvan uusien liikenneväylien tarpeen.

Metsäteollisuuden kotimaisen ainespuun (tukki- ja kuitupuun) käyttö oletettiin taulukon 10 mukaiseksi. Metsäteollisuustuotteiden tuotantomäärät puolestaan oletettiin PITKO-hankkeen Muutos-skenaariion mukaisiksi. Muutos-skenaariossa metsäteollisuuden puunkäyttö vähenee tuotannon rakennemuutoksen myötä 2030-luvun loppupuolella, jonka seurauksena kotimaisen ainespuun tarve laskee noin 51 milj. m³:iin vuodessa. Runkopuun hakkuukertymä on suurimmillaan vuosina 2025–2034, jolloin ainespuuta hakataan 65 milj. m³ ja energiarunkopuuta, josta kotitalouksien polttopuuta n 6 milj. m³, 10 milj. m³ vuodessa (liite 4, taulukko C). Lisäksi kaudella 2025–2034 korjataan laskelmaratkaisussa energiakäyttöön oksatähdeittä ja kantoja yhteensä 6,5 milj. m³ vuodessa. Metsähakkeen käyttö laskee aluksi vuosien 2015–2024 tasosta nouseen kuitenkin tarkastelujakson lopussa noin 15 milj. m³:iin vuodessa. Kotitalouksien polttopuun käytön oletetaan skenaariossa laskevan 6 milj. m³:stä 5 milj. m³:iin vuodessa. Taulukon 10 ainespuun käyttömäärät annettiin MELA-ohjelmistoon tavoitteiksi. Lopulliset ainespuun hakkuukertymät ovat kuitenkin MELA-ohjelmiston simulointien ja optimoinnin tulos, joten liitteessä 4 esitetyt luvut eivät täysin ole samoja kuin taulukossa 10.

Puutuotelaskennassa käytetyt metsäteollisuuden tuotanto puutuoteryhmittäin oli taulukossa 10 esitetyn mukainen. Tuoteryhmän sisällöstä ja jakaumasta 'muut tuotteet' ei ollut käytettävissä muuta arviota kuin tieto, että siihen sisältyvät mm. komposiitteja ja liimapuut. Komposiittien oletettiin ominaisuuksiltaan olevan lähinnä levyjä ja liimapuun sahatavaraa, joiden laskentaan tuotanto ohjattiin suhteessa 50 % levyihin ja 50 % sahatavaraan.

Taulukko 10. Metsäteollisuuden kotimaisen ainespuun käyttö ja metsäteollisuuden tuotanto LULUCF-LT2-skenaariossa.

	2010	2015	2020	2030	2040	2050
Ainespuun käyttö, milj. m ³	53,1	56,2	63,1	65,0	51,6	51,7
Tuotanto						
Paperi ja kartonki, 1 000 t	9 850	8 930	5 834	3 812	9 850	8 930
Sellun nettovienti, 1 000 t	3 537	4 193	3 900	4 200	3 537	4 193
Sahatavara, 1000 m ³	11 600	10 952	9 146	7 637	11 600	10 952
Vaneri, 1000 m ³	1 170	1 140	1 200	1 250	1 170	1 140
Levytuotteet, 1000 m ³	200	200	200	200	200	200
Muut tuotteet, 1000 m ³	300	1 347	3 671	5 881	300	1 347

Maankäytön muutokset

Viljelysmaan pinta-ala vähenee LULUCF-LT2-skenaariossa noin 200 000 ha (taulukko 11), josta osa luokituu ruohikkoalueisiin energiakasvien lisääntyvän kasvatuksen seurauksena ja osa metsämaahan. Maankäytön muutosten pinta-alat on esitetty liitteen 3 taulukossa C.

Taulukko 11. Maakäyttöluokkien kokonaispinta-alan kehitys vuoteen 2050.

1 000 ha	2016	2020	2030	2040	2050
Metsämaa	21 882	21 850	21 786	21 812	21 844
Viljelysmaa	2 494	2 487	2 489	2 373	2 296
Ruohikkoalueet	241	240	240	297	338
Kosteikot	2 989	2 967	2 930	2 897	2 867
Rakennettu maa	1 472	1 533	1 632	1 697	1 730
Muu maa	1 311	1 310	1 308	1 307	1 306
Sisävedet	3 455	3 457	3 458	3 460	3 462
Yhteensä	33 843	33 843	33 843	33 843	33 843

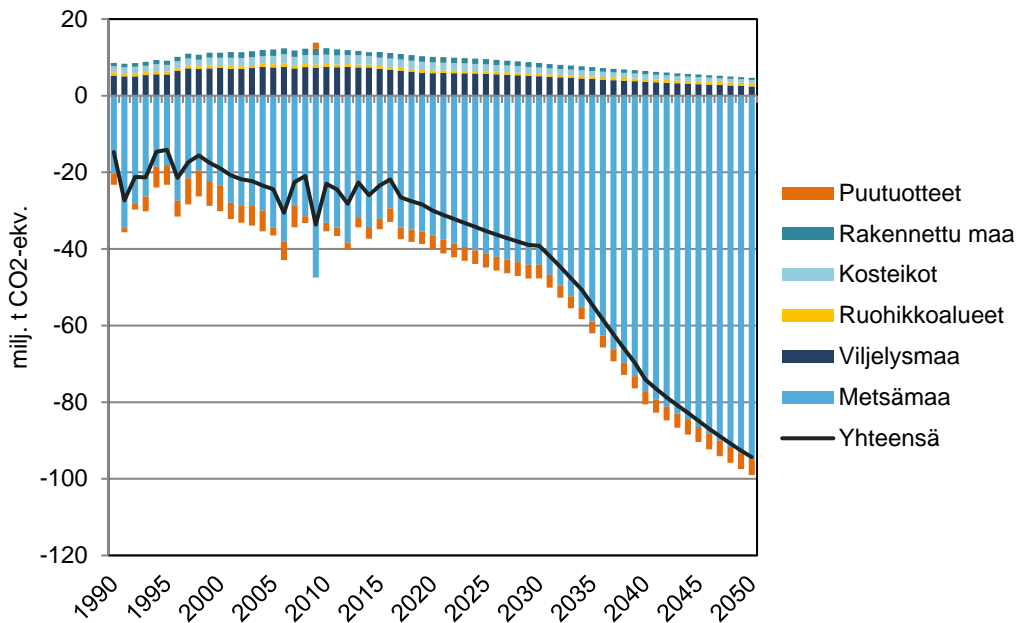
Kasvihuonekaasupäästöjen ja hiilinielujen kehitys

LULUCF-LT2-skenaariossa runkopuun hakkuukertymä on selvästi alhaisemmalla tasolla kuin vertailuskenaariossa (liite 4), minkä seurauksena puuvaranto kasvaa ja tuottaa 95 milj. t CO₂-ekv. metsien hiilinielun vuonna 2050 (taulukko 12). Puutuotteiden nielu noudattaa hakkuukertymiä ja niissä tapahtuvia muutoksia. Tuotannon rakenne muuttuu paperin ja kartongin tuotannosta pitkäikäisempiin tuotteisiin, minkä seurauksena myös puutuotteiden nielu kasvaa hieman yli 4 miljoonaan CO₂-tonniin. Se kattaa siten muiden maankäyttöluokkien KHK-päästöt. Päästöt kuitenkin ovat kaikissa maankäyttöluokissa pienempiä kuin 1990. Sama kehitys jatkuu verrattuna nykytasoon (2016) paisti ruohikkoalueilla, joissa päästö hieman kasvaa ruokohelpiviljelyn seurauksena (kuva 8, taulukko 12).

Metsäkadon päästöt vähenevät 3,4 milj. CO₂-ekv. tonnista 1,8 milj. CO₂-ekv. tonniin. Viljelysmaaksi raivattujen alueiden päästöt aluksi vähenee 2020-luvulla ja tasaantuu sitten pysyen lähes samalla tasolla 2035 lähtien vuoteen 2050. Sen sijaan rakennettu maa-luokkaan siirtyvien alueiden päästöt vähenevät tasaisesti vuoteen 2050 saakka. Metsityksen pieni nielu vähenee vuoteen 2035 saakka, jonka jälkeen kääntyy lievään kasvuun. Alkutilannetta,

-0,2 milj. t CO₂-ekv., ei kuitenkaan savuteta vuoteen 2050 mennessä, vaan nielu jää -0,1 milj. CO₂-ekv. tonniin.

Puuston kasvu nousee 137 milj. m³:iin vuodessa vuoteen 2050 mennessä osittain myös puunkäytön vähenemisen seurauksena (ks. Liitetaulukot 4a-c: Puuvarannon kehitys, kasvu ja hakkuukertymät eri skenaarioissa). Kasvun lisäyksen ja hakkuiden vähenemisen johdosta puuston hiilinielu kasvaa vuosisadan puoliväliin mennessä noin 76 milj. tonniin CO₂-ekv./v. Matalamman kasvun oletuksella puuston hiilinielu olisi noin 20 milj. tonnia alempi n. 57 milj. t CO₂-ekv./v (ks. luku 2.2, kuva 1, Kasvuoletus 2). Elävästä puustosta tulevan karikesyötteen lisääntyessä myös kivennäismaiden maaperään kertyy enemmän hiiltä. Vastaavasti turvemaiden päästö alenee, kun puuvarannon kasvaessa juurten karikesyöte maaperään lisääntyy.



Kuva 8. LULUCF-sektorin historialliset päästöt ja poistumat 1990–2016 ja niiden kehittyminen LULUCF-LT2-skenaariossa 2017–2050.

Taulukko 12. Arvio LULUCF-sektorin päästöjen ja poistumien kehityksestä LULUCF-LT2-skenaariossa.

Mt CO ₂ -ekv.	1990	2005	2016	2020	2030	2040	2050
Metsämaa	-20,295	-34,499	-29,430	-36,552	-44,136	-77,327	-94,843
Viljelysmaa	5,267	7,370	6,934	5,888	5,069	3,634	2,415
Ruohikkoalueet	0,854	0,847	0,704	0,688	0,656	0,735	0,820
Kosteikot	1,546	2,175	2,256	2,098	1,608	1,230	0,890
Rakennettu maa	0,882	1,679	1,462	1,469	1,204	0,858	0,536
Puutuotteet	-2,952	-1,971	-3,574	-3,595	-3,554	-3,225	-4,166
Yhteensä	-14,698	-24,400	-21,647	-30,004	-39,153	-74,095	-94,348

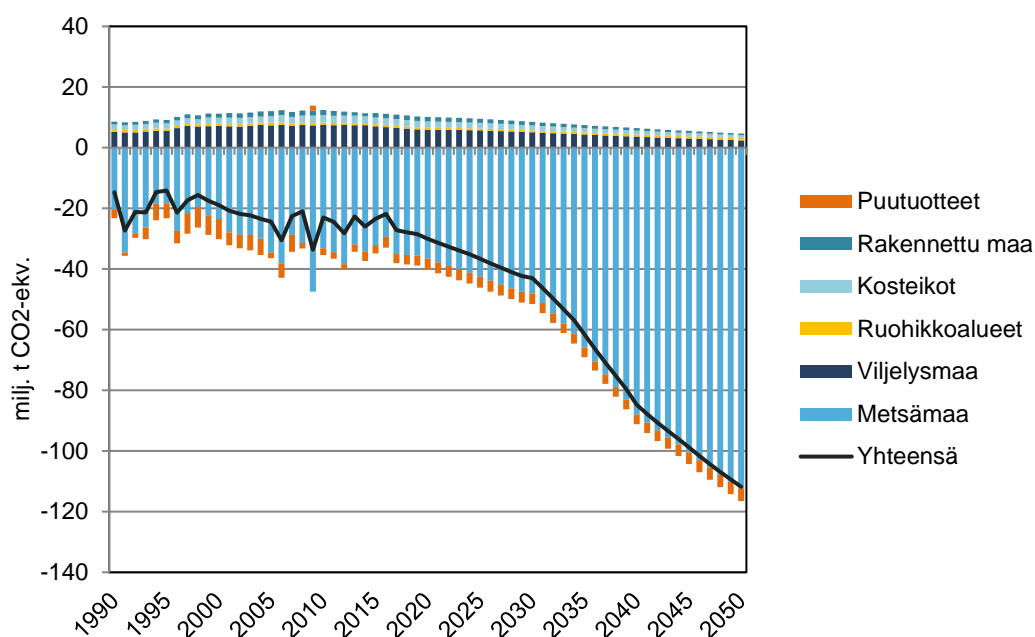
3.3.5. Maankäytön ilmastonmuutos-lisätoimet 2 -skenaario (LULUCF-LT2i)

Skenaarion taustaoletukset

Muut oletukset ovat samat kuin LULUCF-LT2-skenaariossa mutta metsämaan laskennassa on mukana ilmastonmuutosskenaario RCP2.6. Puuston kehityksen osalta tämä toteutettiin syöttämällä parametritietona MELA-ohjelmistoon 30 vuoden liukuvista keskiarvoista lasketut lämpötilan ja hiilioksidipitoisuuden muutokset kymmenvuotiskausittain. Vuoteen 2060 mennessä Etelä-Suomessa lämpötila nousi vuoteen 1999 nähden keskimäärin 2,43 °C ja Pohjois-Suomessa 2,82 °C ja CO₂-pitoisuus koko Suomessa 88,8 ppm. Lämpötilan ja CO₂-pitoisuuden nousu kohottivat MELA-ohjelmiston mukaista puuston kasvun arvion 153 milj. m³:iin vuodessa vuoteen 2050 tultaessa (Liitetaulukko 4b). Kasvumallit eivät kuitenkaan ota huomion esim. maaperän typpivarannon riittävyttä ilmaston mahdollistaman kasvureaktion tuottamiseen, eikä tuhojen mahdollinen lisääntyminen ole mukana nousevassa kasvun arvioissa. Ilmastonmuutoksen vaikutusta ei sisällytetty muiden maankäyttöluokkien päästöjen ja poistumien laskentaan.

Kasvihuonekaasupäästöjen ja hiilinielujen kehitys

Metsien hiilinielu lisääntyy voimakkaasti kun ilmastonmuutos otetaan mukaan malleihin. Vuonna 2020 nielu on samalla tasolla, ollen vuonna 2050 17 milj. t CO₂-ekv. suurempi (kuva 9, taulukko 13). Puuston nielu kehittyy voimakkaasti puuston tilavuuden lisääntyessä ja siten myös kokonaiskasvu; kasvu lisääntyy, mutta hakkuut eivät. Elävästä puustosta tulevan kariesyötteen lisääntyessä myös kivennäismaiden maaperään kertyy hiiltä, mutta tässä skenaariossa hajotustoiminta vilkastuu ja maaperän nielu on 2050 vain 1,5 milj. CO₂ tonnia pienempi kuin LULUCF-LT2-skenaariossa. Ilmastonmuutoslaskelman heikkoutena on se, ettei turvemaiden päästöjen laskennassa voida toistaiseksi ottaa huomioon ilmastonmuutoksen vaikutusta. Voidaan olettaa myös turpeen hajoamisen kiihtyvän kuten hajotustoiminta kiihtyy kivennäismailla.



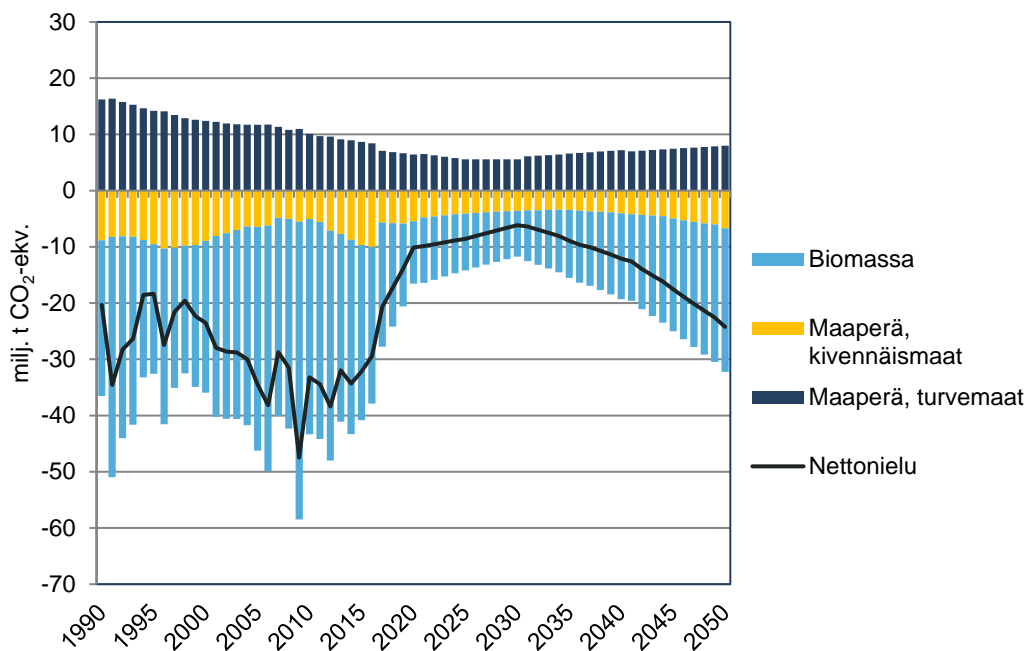
Kuva 9. LULUCF-sektorin historialliset päästöt ja poistumat 1990–2016 ja niiden kehittyminen LULUCF-LT2i-skenaariossa 2017–2050.

Taulukko 13. Arvio LULUCF-sektorin päästöjen ja poistumien kehityksestä LULUCF-LT2i-skenaariossa.

Mt CO ₂ -ekv.	1990	2005	2016	2020	2030	2040	2050
Metsämaa	-20,295	-34,499	-29,430	-36,599	-47,986	-87,962	-112,309
Viljelysmaa	5,267	7,370	6,934	5,888	5,069	3,634	2,415
Ruohikkoalueet	0,854	0,847	0,704	0,688	0,656	0,735	0,820
Kosteikot	1,546	2,175	2,256	2,098	1,608	1,230	0,890
Rakennettu maa	0,882	1,679	1,462	1,469	1,204	0,858	0,536
Puutuotteet	-2,952	-1,971	-3,574	-3,595	-3,554	-3,225	-4,166
Yhteensä	-14,698	-24,400	-21,647	-30,051	-43,003	-84,730	-111,814

3.4. Puuntuotannollisesti ja taloudellisesti suurin kestävä hakkuukertymä -laskelma

Metsien kehitystä kuvaavia laskelmia ja skenaarioita laadittaessa yleensä yksi laskelmista kuvaa kuinka paljon metsistämme voitaisiin korjata ainespuuta (tukkia ja kuitua) ja energia-puuta runkopuuna, oksatähteenä tai kantoina ottaen huomioon puuntuotannollisen ja taloudellisen kestävyden. Tämä on teoreettinen laskelma, jonka MELA-ohjelmisto tuottaa optimoimalla käsittelyvaihtoehdot siten, että metsästä saatavat nettotulot, aines- ja energiapuukertymät ovat tasaisia tai nousevia koko tarkastelujakson ajan. Skenaariossa ei rajoitettu kasvun ja poistuman suhdetta, metsien ikäluokkarakennetta tai uudistushakkuiden määrää eikä puulajeittaista kestävyttä edellytetä. Energiapuukertymä sai skenaariossa vapaasti koostua runkopuusta, hakkuutähteestä ja kannoista. Kantojen määrä oli kuitenkin rajoitettu 1 milj. m³/v tasolle. Skenaarion laskentaoletuksissa ei metsien ilmastovaikutuksia otettu huomioon (kuva 10). Skenaarion mukainen puuvarannon kehitys, kasvu sekä hakkuukertymät on esitetty liitteen 4 taulukoissa A–C.



Kuva 10. Metsämaan nielun kehittyminen metsälaskelmassa, joka tuottaa puuntuotannollisesti ja taloudellisesti kestäväns suurimman hakkuumahdollisuuden.

4. TALOUDELLISET, SOSIAALISET JA YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET

4.1. Vaikutusten arvioinnin toteuttaminen

Muiden kuin ilmastovaikutusten arviointi on MALULU-hankkeessa toteutettu pääosin hankkeen sisäisenä asiantuntija-arviotyönä sekä hyödyntäen PITKO-hankkeen asiantuntijatyötä, jossa on tehty systeemistä tarkastelua eri sidosryhmiä osallistaen. Valtaosa muiden kuin ilmastovaikutusten arvioinnista perustuu laadulliseen analyysiin, mutta soveltuvin osin on hyödynnetty myös ilmastovaikutusten laskennassa käytettyjen mallien laskentatuloksia, kun on arvioitu vaikutusten muutossuuntia. MALULU:n painopiste on kuitenkin ollut ilmastovaikutusten arvioinnissa, joten taloudellisten, sosiaalisten ja ympäristövaikutusten arviointi on mukana lähinnä täydentämässä ilmastopoliittisten vaihtoehtojen kokonaiskuva.

4.2. Vaikutukset maataloudessa

Maataloustuotannon ja pellonkäytön kehitystä ohjaavat ennen muuta kysyntä, ulkoiset EU-hinnat ja maatalouspolitiikka, jotka kaikki ovat pääpiirteissään samat kaikissa maatalousskenaarioissa. Skenaarioissa sovelletuilla politiikkatoimilla tai ilmastomuutoksella on suhteellisen vähäinen vaikutus maataloustuotannon kokonaismäärään tai pellonkäyttöön, vaikka viljelty kokonaispeltoala vaihtelee jonkin verran eri skenaarioissa. Tämä johtuu ennen kaikkea siitä, että peltoalaa on jo tällä hetkellä yli tarpeen, mikä näkyy n. 300 000 ha kesantoalana. Turvemaalajia olevista pelloista merkittävä osa, yli puolet on nurmena. Merkittävä osuus Suomen nurmenviljelyalasta puolestaan on suhteellisen laajaperäisesti viljeltyä nurmea, eli lannoitus- ja satotasot ovat usein matalia osalla maatilojen nurmialasta. Osa turvepelloista on lisäksi kesantona.

Vaikka osa turvepeltojen nurmialasta olisikin intensiivisessä korkean lannoitus- ja satotason tuotannossa, matalan intensiteetin nurmen ja kesannon osuus on yhteenlaskettuna suuri, mikä antaa monille viljelijöille joustovaraa siinä, kuinka turvepeltojaan viljelee. Koska siis vain osa turvepelloista on intensiivisessä maatalouskäytössä, turvemaiden osittainen ohjaaminen pois maatalouskäytöstä ei välttämättä johda keskimäärin merkittäviin tuotantoliisiin muutoksiin tai muutoksiin maatilojen taloudessa. Näin on suurimmalla osalla maataloita, joilla turvemaiden osuus peltoalasta on pieni.

Sen sijaan maataloilla, joilla turvemaiden osuus peltoalasta on suuri, ja joita myös viljellään intensiivisesti, turvemaiden poistaminen maatalouskäytöstä ja valjastaminen päästövähennystarkoituksiin soveltuu huonosti maatilojen tavoitteisiin, talouteen ja elinkelpoisuuteen. Tällöin turvemaiden ottaminen pois intensiivisestä maatalouskäytöstä johtaisi tuotannon vähentämiseen, ts. eläinten lukumäärän ja rehualan vähentämiseen. Tämä voisi tulla kalliiksi yksittäisille maataloille ja vaarantaa velkojen takaisinmaksun rahoituslaitoksille, etenkin jos kyseessä on äskettäin mittavan investoinnin tehnyt tila.

Turvemaiden valjastaminen KHK-päästöjen vähentämiseen heikentää myös aiempaan verrattuna peltomaan saatavuutta etenkin alueilla missä kivennäismaita on saatavilla vähän. Tämä puolestaan voi johtaa jo lyhyellä aikavälillä tilanpidon lopettamiseen, jos aiheet tilojen

elinkelpoisuudelle välttämättömistä laajennusinvestoinneista kariutuvat saatavilla olevan peltomaan puutteeseen. Näin ollen maataloutta kokonaisuutena kuvaavan DREMFA-mallin tuottamat tulokset siitä, että turvemaidella tehtävät toimet Maatalous-LT-skenaariossa eivät johtaisi maataloustuotannon vähenemiseen, vaikka ovatkin suurella todennäköisyydellä paikkansapitäviä koko maatalouden mittakaavassa, eivät sitä ole edellä mainittujen yksittäisten maatilojen tapauksessa.

Tuotannollinen muutos

Ero Maatalous-WEM- ja Maatalous-LT-skenaarioiden sekä ilmastonmuutoksen huomioon ottavien Maatalous-WEMi- ja Maatalous-LTi-skenaarioiden välillä on lähinnä se, että ilmastonmuutoksen huomioon ottavissa skenaariossa nurmen tuottavuus kasvaa koko maassa: n. 5 % Etelä-Suomessa sekä n. 10 % maan keskiosissa ja Pohjois-Suomessa. Suurempi lämpösumma tarkoittaa nurmikasvien tapauksessa myös sitä, että laadukkaampaa proteiinia tuottavat nurmikasvilajit, kuten palkokasvit, ja monilajiset nurmet kasvavat paremmin. Tällöin täydennysvalkuaista sisältäviä ostorehujia tarvitaan suhteessa vähemmän. Lisäksi viljan satotaso nousee ilmastonmuutoksen huomioon ottavissa skenaariossa n. 10 % maan keskiosissa ja 0-5 % maan eteläosissa lajikejalostuksen myötä. Tämä ei kuitenkaan johda kuin hyvin vähäiseen, noin prosentin suuruiseen viljan kokonaistuotannon kasvuun. Näin siksi, että viljantuotanto on maan keski- ja pohjoisosissa, joissa satotasoa on mahdollista kasvattaa uusilla lajikkeilla, on jo alkutilanteessa heikosti kannattavaa. Satotason kasvu johtaa tällöin viljan viljelyalan vähenemiseen (ei tuotantomäärän kasvuun) Maatalous-WEMi- ja Maatalous-LTi-skenaarioissa suhteessa Maatalous-WEM- ja Maatalous-LT-skenaarioihin.

Nurmen satotason nousu puhtailla heinänurmillä (timotei) edellyttää hehtaaria kohden lähes samansuuruisen lannoitepanoksen kasvun. Viljojen osalta lannoitustarpeen nousu on sardonisäykseen verrattuna suhteessa pienempi. Kokonaisuutena epäorgaaninen typpilannoitus vähenee lähes 9 %, mutta keskimääräinen lannoitustaso hehtaaria kohden vähenee vain noin 5 % Maatalous-WEMi- ja Maatalous-LTi-skenaarioissa suhteessa Maatalous-WEM- ja Maatalous-LT-skenaarioihin. Kaiken kaikkiaan onnistuminen ilmastonmuutokseen sopeutumisessa näyttäisi helpottavan olemassa olevan pellon riittävyyttä maataloustuotantoon ja siten edistävän turvemaiden valjastamista KHK-päästöjen vähentämiseen.

Tuoksina saadut maataloustuotannon kehitysurat ovat ehdollisia sille, että kysyntä ja maatalouspolitiikka eivät muutu. Maitolitraa ja nautaeläintä kohden maksettavien kansallisten tukien, ja nautaeläintä kohden maksettavien EU-CAP-tuotantosidonnaisten tukien (EU-CAP-tuista noin 20 % on tuotantoon sidottua Suomessa ja noin 80 % maksetaan tuotannosta riippumatta peltoalan perusteella) vähentäminen vähentäisi nautaeläinten lukumäärää sekä maidon- ja naudanlihantuotantoa (Lehtonen & Niemi 2018). Koska maataloustuotteiden hinnat suhteessa tuotantopanoksiin pysyvät oletusten mukaan korkeintaan ennallaan, ja koska yksikköä kohden lasketut tuotantokustannukset ovat tuottajahintoja korkeammat, em. tuotantosidonnaisilla tuilla on tärkeä tuotantoa ylläpitävä vaikutus Suomessa, ja tähän tarkoitukseen ne on alkujaan suunniteltukin.

Tuotantosidonnaisille tuille pätevät sekä kansallisissa tuissa että EU-CAP-tuissa käytännössä budjettirajoitteet. Näin ollen jos tuotanto kasvaa, yksikkötukea leikataan samassa suhteessa niin, että budjettirajoite ei ylitä. Vastaavasti, jos tuotanto vähenee, yksikkötuki voi tiettyyn rajaan asti nousta budjettirajoitteen puitteissa. Tämä mekanismi, joka tasoittaa tuotannon vaihtelua lyhyellä aikavälillä, jos markkinahinnat vaihtelevat, on otettu huomioon tehdyissä eri skenaarioiden malliajoissa. Naudanlihantuotanto vähenee tuista huolimatta hitaasti kaikissa skenaarioissa (naudanlihantuotannon trendi on ollut tähänkin asti hitaasti

laskeva viimeisen 20 vuoden aikana) lypsylehmien ja emolehmien määrän vähentyessä. Sen sijaan maidon kokonaistuotanto ei vähene vaan lievästi kasvaa tulosten mukaan lähi-vuosikymmeninä, koska lypsylehmien maidon keskituotos kasvaa. Maidon keskituotoksen kasvu on oletettu maltilliseksi mutta kuitenkin tasaisesti jatkuvaksi aina vuoteen 2050.

Edellä mainittuja tuotantosidonnaisia tukia ei makseta sika- ja siipikarjalle. Niiden tuotantomäärät riippuvat vielä nautaeläimiäkin enemmän kotimaisesta kysynnästä ja tuottajahinnoista, joiden oletetaan pysyvän likimain ennallaan kaikissa skenaarioissa. Kotimaisen kysynnän tai hintojen heikkeneminen johtaisi etenkin sianlihan tuotannon vähenemiseen siitä mitä se on DREMFA-mallin tulosten mukaan eri skenaarioissa: sianlihan tuotanto vähenee vähän kotimaisen kulutusta vähäisemmäksi, kun taas siipikarjanlihan tuotanto vastaa melko hyvin vuoden 2017 kulutus- ja tuotantomäärää. Erityisesti on huomattava, että siipikarjanlihan yli 20 vuotta jatkuneen kotimaisen kulutuksen kasvun ei oletettu jatkuvan enää 2017 tasoa korkeammalle. Todellisuudessa pitkään jatkunut siipikarjanlihan kulutuksen kasvava trendi saattaa kuitenkin jatkua vielä joitain vuosia. Vastaavasti sianlihan kotimainen kysyntä ja tuotanto saattaa vähentyä, koska aiempi viime vuosien trendi on lievästi vähenevä. Kokonaisuutena yksimahaisten kotieläinten eli sikojen ja siipikarjan lukumäärät, joihin turvemaihin kohdistuvilla toimilla on hyvin vähäinen merkitys, eivät merkittävästi muutu eri skenaariotuloksissa, mutta muutos tuotannossa voi todellisuudessa olla nopea ja merkittävä jos kysyntä alkaa heikentyä.

Jos maitotuotteiden ja nautanlihan kysyntä alkaa vähentyä 2017 tasosta, nautojen lukumäärät ja rehualan tarve vähenevät. Väheneminen saattaa tällöin toteutua tuotannon biologisten viiveiden, ja osin tuotantosidonnaisten tukien vuoksi muutamien vuosien viiveellä. Vuosikymmenien aikajänteellä, kuten vuoteen 2030 tai 2050 mennessä, kansalliset tai EU-järjestelmän mukaiset tuotantosidonnaiset tuet eivät kuitenkaan johda kotimaista kysyntää suurempaan tuotantomäärään, koska tuotantosidonnaisen tuen osuus on pieni tuottajahintoihin nähden, ja koska tuottajahinnat ovat puolestaan yksikkökustannuksia alhaisempia (Lehtonen ym. 2017, Lehtonen & Niemi 2018).

Tulevaisuudessa viljelyyn voi tulla kokonaan uusia kasvilajeja (esim. säilörehumaissi nurmisäilörehua täydenä), mutta näiden vaikutuksia ei ole skenaarioissa mukana. Toiseksi uusien kasvilajien tuotantomäärät ovat olleet pieniä. Esimerkiksi säilörehumaissin laajamittaista käyttöönottoa hidastaa merkittävästi sen hallanarkuus ja edellytys riittävästä lämpösommasta, joka ei aina toteudu Suomen vaihtelevissa kasvukausien olosuhteissa. Tämän vuoksi nurmikasvien on syytä olettaa säilyvän pääasiallisena rehuksena märehtijöille vielä pitkään. Tähän myös monilajisten nurmien käyttö antaa mahdollisuuksia, kun kasvukaudet lämpenevät. Näistä syistä tehtyjen skenaarioiden oletukset viljelykasvivalikoiman muutoksesta pidettiin varsin maltillisina.

Tilakoon muutos

Kaikissa maatalousskenaarioissa on likimain sama tilakoon kasvu, mikä kaikkien maatilojen osalta (ha/tila) jatkuu likimain viimeaikaisen trendin mukaisena. Lypsykarjatilojen kasvu on nopeaa, ja jo vuonna 2030 yli puolet lehmistä on yli 100 lehmän karjoissa, ja vuonna 2040 jo lähes kaksi kolmasosaa. (Lehtonen ym. 2017). Tämän ennakoitun kehityksen jatkuminen on hyvin vähän riippuvainen turvemaiden käyttöä koskevista toimituksista, joita on oletettu Maatalous-LT-skenaariossa. Sen sijaan maatilojen kasvu ja investoinnit riippuvat ennen muuta markkinoista eli maitotuotteiden kysynnästä ja hinnoista kotimaassa ja vientimarkkinoilla, sekä julkisen vallan EU-sääntöjen mukaan myöntämisestä ja maksamista investointituista kotieläininvestointeihin. Näissä ei ole oletettu muutoksia eri maatalousskenaarioiden välillä. Maito- ja nautatiloilla tuotannon ja investointien kannattavuus riippuu myös maan keski- ja

pohjoisosissa maksettavista kansallisista maataloustuista, jotka ovat pääosin sidoksissa tuotantoon. Myös Etelä-Suomessa maksettavasta EU-tuesta pieni osa on sidoksissa lypsy-
lehmien ja muiden nautaeläinten lukumääriin. Näiden tukien oletetaan pysyvän ennallaan.

Kannattavuuden muutos

Kannattavuuden kehitys näyttäytyy pääosin heikohkona tai keskimääräisenä kaikissa maatalousskenaarioissa. Tämä johtuu pääosin lähtöoletuksista eli energian hinnan ja muiden kustannusten noususta jo 2020-luvulla. Ilmastonmuutoksen huomioon ottavissa maatalousskenaarioissa kannattavuus kohenee hiukan maito- ja nautatiloilla voimakkaan rakennekehityksen ansiosta sekä viljatiloilta alhaiselta lähtötasoltaan uusien kasvilajikkeiden ansiosta maan keskiosassa. Tämä puolestaan lähinnä korjaa suhteellisen heikkoa yleistä kannattavuutta, eikä viljantuotannon tapauksessa johda tuotannon kasvuun. Mikäli maitotuotteiden kysyntä ei alene, maidontuotannossa tuottavuuden kasvu voi johtaa tuotannon pieneen kasvuun kuten Maatalous-WEMi- ja Maatalous-LTi-skenaarioissa tapahtuu. Tähän vaikuttaa myös se, että yhä suurempi osa maidontuotannosta toteutuu yli 100 lypsylehmän maitotiloilla, joilla tuotantokustannukset ovat pienempiä tiloja alhaisemmat (Lehtonen ym. 2017). Tuotantosidonnaisten tukien, joita ovat kansallinen tuki maan keski- ja pohjoisosissa ja EU-CAP-tuki maan eteläosissa ja jotka on oletettu pysyviksi kaikissa maatalousskenaarioissa, alentaminen heikentäisi tuotannon ja kotieläininvestointien kannattavuutta (Lehtonen & Niemi 2018).

Kansainvälisen kilpailukyyn muutos

Turvemaiden KHK-päästöihin kohdistuvat toimet vaikuttavat hyvin vähän Suomen maatalouden ja elintarviketuotannon kansainväliseen kilpailukykyyn. Suomen maatalouden kansainvälinen kilpailukyky ei kehity myönteisesti missään laaditussa maatalousskenaariossa. Näin käy, koska käytetyt ennusteet panosten ja tuotosten hinnoista sekä maatilatason aineistoihin perustuvat arviot tuottavuuden kasvun voimakkuudesta eivät anna tähän aihetta. Pientä kilpailukyyn paranemista voi tapahtua maan keski- ja pohjoisosien lypsykarjatuotannossa, jossa mittakaavaetuja voi vielä olla saavutettavissa (Lehtonen ym 2017).

Viljantuotanto vähenee suhteessa 2010-luvun keskiarvoon kaikissa maatalousskenaarioissa, koska kannattavuus pysyy heikkona. Maatalous-WEM-skenaariossa viljantuotanto vähenee yli 10 % ja viljan viljelyala vähenee noin 10-15 % vuosien 2014–2016 keskiarvosta. Kannattavuuden lievä paraneminen ilmastonmuutoksen ja onnistuneen sopeutumisen huomioon ottavissa skenaarioissa johtaa maidontuotannon muutaman prosentin kasvuun erityisesti maan eteläosissa, mutta naudanlihan tuotannon osalta vaikutus jää hyvin vähäiseksi. Ilmastonmuutoksen huomioon ottavissa skenaarioissa marginaalisesti parantunut kannattavuus johtaa hyvin vähäiseen (n. 1 %) kokonaistuotannon kasvuun. Maatalous-LT-skenaariossa turvemaiden maataloustuotannossa oleva osuus pienenee, millä ei ole kansainvälistä kilpailukykyä parantavaa vaikutusta. DREMFA-mallin tulosten perusteella Maatalous-LT-skenaarion toimenpiteillä onkin vain hyvin vähäinen vaikutus maataloustuotannon määrään ja maatalouden kansainväliseen kilpailukykyyn vuoteen 2050 mennessä.

Maatalouden työllisyyden muutos

Maatalouden työllisyys vähenee likimain nykyisten trendien mukaan kaikissa maatalousskenaarioissa, ei kuitenkaan lineaarisesti vuoteen 2050 asti, vaan vuoden 2030 jälkeen vähitellen hidastuen. Lievällä kokonaistuotannon kasvulla ilmastonmuutoksen huomioon ottavissa maatalousskenaarioissa ei ole vaikutusta maatalouden työllisyyteen, sillä esim. maidontuotannon kasvu keskittyy isoille tiloille, joilla työn käyttö on hyvin tehokasta ja joilla lypsyrobotit korvaavat ihmistyötä. On kuitenkin huomattava, että kaikissa maatalousskenaarioissa pysy-

tellään perinteisessä maataloustuotannossa. Siksi niissä ei oteta huomioon mahdollista työn murrosta, joka voi luoda myös maatalouteen uutta työtä, joka perustuu esim. kielteisten ilmasto- tai ympäristövaikutusten vähentämiseen erilaisia ekosysteempipalveluja kehittämällä ja tehostamalla. Maatilat ovat tulevaisuudessa hyvin todennäköisesti nykyistä monimuotoisempia yrityksiä, joilla voi olla merkittäviäkin alueellisia työllisyysvaikutuksia.

Biodiversiteetin muutos

Biodiversiteetin muutosta ei maatalousskenaarioissa ole erikseen mallinnettu, mutta tuotannollisten muutosten pohjalta voidaan jossain määrin arvioida vaikutuksia biodiversiteettiin. Turvemaiden KHK-päästöjä vähentävillä toimilla on tulosten mukaan vähän vaikutusta maatalouden kokonaisuutukseen, mutta paikallisesti esim. turvemaiden ennallistamisella, nurmipeitteisyyden lisäämisellä (entisestäään korkeasta osuudesta) ja aluskasvien käytöllä on todennäköisesti myönteisiä biodiversiteettivaikutuksia paikallisesti. Jos nämä toimet koskevat vain osaa turvepelloista, joita on puolestaan noin 10 % maatalousmaasta, maatalouden kokonaisuutoksilla on todennäköisesti suurempi vaikutus biodiversiteettiin.

Maatalouden kokonaisuutus liittyy tehdyissä skenaarioissa lähinnä hintasuhteiden ohjaukseen tuotanto- ja pellonkäyttömuutoksiin. Kaikissa maatalousskenaarioissa lannoitteiden kallistuminen 2020-luvulla lisää keskimääräistä laajaperäisemmän nurmen määrää, mutta ainoastaan n. 10 %. Nurmiala kokonaisuudessaan vähenee muutamia prosentteja. Vilja-ala vähenee puolestaan jopa 15 %, osa peltoalasta kesannoidaan ja osa poistuu kokonaan maatalouskäytöstä. Kaiken kaikkiaan biodiversiteettivaikutukset ovat lievästi positiivisia laajaperäisen nurmialan ja kesannoidun alan kasvamisen ansiosta, vaikka on huomattava, että kesannoinnin biodiversiteettivaikutukset riippuvat myös kesannoinnin toteutustavasta.

Mikäli maatalouden ympäristöä koskeva tukipolitiikka säilyy tulevaisuudessa nykyisen kaltaisena, luonnonhoitopeltojen ja erilaisten monimuotoisuuskesantojen sekä muiden luonnon monimuotoisuutta edistävien toimenpiteiden suosio jatkunee kuten tähänkin asti. Maatalouden ympäristökorvausjärjestelmään sisältyvät monimuotoisuutta edistävät toimet tarjoavat viljelijöille suhteellisen riskittömän tuoton, mikä ylläpitää kiinnostusta toimiin, jos korvaustot vain säilyvät riittävinä. Biodiversiteetin kannalta suurin merkitys olisikin sillä, että kaikilla viljelyalueilla säilyy peltoaukeamittakaavassa riittävä suhteellinen osuus varsinaisen peltoviljelyn ulkopuolisia alueita kuten luonnonlaitumia, luonnonhoitopeltoja, monimuotoisuuskaistoja, suojavyöhykkeitä, suojakaistoja, pientareita, peltosaarekkeita tai muita vastaavia alueita (Aakkula & Leppänen 2014).

Biodiversiteetin kannalta merkitystä olisi myös sillä, mitä maataloudessa tapahtuu vieraslajien osalta. Maailmanlaajuisesti vieraslajit muodostavat kokonaisten elinympäristöjen häviämisen ja pirstoutumisen jälkeen toiseksi suurimman uhkatekijän luonnon monimuotoisuudelle. Vieraslajien leviämisen seurauksena lajiston monimuotoisuus yleensä keskimäärin vähenee, vaikka lajien määrä paikallisella tai alueellisella tasolla uusien lajien myötä hetkellisesti lisääntyisikin (Vieraslajiportaali 2019). Onkin todennäköistä, että ilmastonmuutoksen myötä Suomeen leviää entistä enemmän maataloudelle haitallisia vieraslajeja kuten tuohyönteisiä, rikkakasveja ja kasvitauteja aiheuttavia pieneliöitä. Tämä sinänsä motivoi toimimaan myös maataloudessa ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi, mutta maatalouden KHK-päästöjä vähentävillä toimenpiteillä on vain välillinen yhteys vieraslajien kautta muodostuvaan biodiversiteettiuhkaan.

Ravinnehuuhtoumien muutos

Ravinnehuuhtoumien muutosta ei maatalousskenaarioissa ole erikseen mallinnettu, mutta tuotannollisten muutosten pohjalta voidaan jossain määrin arvioida vaikutuksia ravinnehuu-

toumiin. Niiden lievää alentumista voidaan odottaa sekä Maatalous-WEM että Maatalous-LT-skenaarioissa vilja-alan ja koko viljellyn alan vähenemisen myötä. Ilmastonmuutoksen huomioon ottavissa skenaarioissa ravinnehuuhtoumat vähenevät erityisesti niillä alueilla, joilla laajaperäisen nurmialan osuus kasvaa. Tosin on huomattava, että ilmastonmuutoksen huomioon ottavissa skenaarioissa sään ääri-ilmiöiden lisääntyminen voi omalta osaltaan lisätä ravinnehuuhtoumia. Paikallisesti myös nurmikasvien ja aluskasvien käytön lisäämisellä turvepelloilla voi olla ravinnehuuhtoumia vähentäviä vaikutuksia.

Pitää myös ottaa huomioon, että talvien muuttuessa leudommiksi ja sateisemmiksi, voivat eroosio sekä ravinteiden vapautuminen ja huuhtoutuminen maaperästä lisääntyä. Tähän liittyy myös maan roudassa olemisajan lyhentyminen, joka omalta osaltaan lisää ravinteiden huuhtoutumisriskiä sekä pintavalunnan lisääntymisen että savimaiden mururakenteen heikentymisen takia. Talviaikaisen kasvipeitteisyyden hyödyt maan kasvukunnolle sekä ravinteiden sitomiselle korostuvat yhä enemmän. KHK-päästöjä ja ravinnehuuhtoumia voitaisiinkin molempia vähentää aluskasvien, seosviljelyn ja syyskylvöisten viljelykasvien käyttöä lisäämällä.

4.3. Vaikutukset metsätaloudessa ja maankäytössä

Kaikissa esitetyissä LULUCF-sektorin skenaariovaihtoehdoissa hakkuumäärät kasvavat vuoteen 2030 saakka. Tämän jälkeen hakkuumäärien kasvu tasaantuu ja ainoastaan skenaariossa LULUCF-LT2 hakkuumäärät kääntyvät selvään laskuun. LULUCF-LT2 skenaario, joka on lähinnä PITKO:n Muutos-skenaariota, on myös ainoa skenaario, jossa hakkuumäärät jäisivät kaudella 2040–2050 nykyisiä hakkuuta alemmalle tasolle johtuen metsäteollisuuden oletetusta rakennemuutoksesta (uudet tuotteet), ja tämän seurauksena pienenevästä puuraaka-aineen tarpeesta. Skenaarioiden oletusten mukaisesti kantohinnat sekä metsätalouden kustannukset pysyvät reaalisesti muuttumattomana. Kasvavat hakkuumäärät lisäävät kantorahatuloja ja metsätalouden kannattavuus pysyy tällöin hyvänä.

Merkittävä osa skenaarioiden mukaisesti kasvavien hakkuiden tulo- ja työllisyysvaikutuksista jää aluetalouksiin, mikä lisää niiden elinvoimaisuutta. Kasvavat hakkuumäärät perustuvat oletukseen, että korjatusta puusta valmistettaville metsäteollisuustuotteille ja bioenergialle on myös kysyntää. Metsäteollisuustuotteiden tuotannon kasvun ajureina toimivat globaalit megatrendit, kuten väestön kasvu ja ikääntyminen sekä kaupungistuminen ja kulutustottumusten muutos, jotka heijastuvat pakkausmateriaalien, pehmo- ja hygieniapapereiden sekä puupohjaisten rakennusmateriaalien kysyntään. Puupohjaisten tuotteiden kysyntää tukee myös ympäristötietoisuuden lisääntyminen ja ilmastonmuutoksen hillintään kytkeytyvä pyrkimys korvata fossiilisia raaka-aineita uusiutuvilla. Erityisesti odotuksia liittyy puupohjaisten tuotteiden mahdollisuuksiin korvata muovia pakkaamisessa sekä fossiilipohjaisia kuituja ja puuvillaa tekstiiliteollisuudessa.

Suomen metsien kiihtyvä kasvu, olemassa oleva infrastruktuuri, vakaat yhteiskunnalliset olot ja työvoiman osaaminen luovat pohjan niin kannattavalle metsätaloudelle, kansainvälisesti kilpailukykyiselle metsäteollisuudelle kuin uusille investoinneille. Sekä metsätalouden että -teollisuuden tulevaan kehitykseen vaikuttavat kuitenkin voimakkaasti lukuiset Suomen ulkopuoliset tekijät, kuten globaalit talouden suhdannesykliit, valuuttakurssien muutokset tai kauppa-, ilmasto- ja energiapoliittiset ratkaisut. Näiden vaikutukset metsäteollisuuden tuotantomääriin, hakkuisiin, kantohintoihin tai metsäsektorin työvoimaan voivat olla merkittäviä (Rantala ym. 2018). Vastaavanlaisia shokkeja voivat aiheuttaa ilmaston lämpenemisen myötä lisääntyvät bioottiset ja abioottiset metsätuhot. Esimerkiksi myrskytuhot voivat alueellisesti ja hetkellisesti vaikuttaa merkittävästikin hakkuiden määrään. Erilaisten shokkien vai-

kutukset hakkuumääriin ja hiilinielujen kehitykseen on kuitenkin rajattu lähtökohtaisesti skenaariotarkastelujen ulkopuolelle.

Kasvat hakkuut voivat olla muiden yhteiskuntapoliittisten tavoitteiden kannalta ongelmallisia. Vaikka niillä on positiivisia tulo- ja työllisyysvaikutuksia, ne voivat olla ristiriidassa metsien muiden käyttömuotojen ja muiden ekosysteemipalveluiden kuin puun tuotannon kanssa. Muiden käyttömuotojen merkityksen odotetaan kasvavan tulevaisuudessa ja sitä kautta myös konfliktien määrä voi kasvaa. Metsien monimuotoisuuden lisääminen, yleiset suoje-lunäkokoikat, hiilinielujen lisääminen, vesistö- ja maisemavaikutusten suurempi huomioi-minen, metsien virkistyskäytön lisääntyminen ja muiden elinkeinojen, kuten luontomatkailun ja porotalouden, kasvavat tarpeet muuttavat metsätalouden rakennetta ja tulevat todennäköi- sesti muuttamaan lainsäädäntöä, metsänhoitosuosituksia sekä metsien käsittelyä. Yhteis- kunnallisesti metsien käytöstä voi syntyä merkittäviä eturistiriitoja ja eri käyttömuotojen yh- teensovittaminen voi olla vaikeaa hakkuiden kasvaessa.

Muutokset metsänomistajakunnassa

Skenaarioiden hakkuumäärien lisäys ei taustoita Suomen raakapuumarkkinoilla tapahtuvaa yleistä rakennemuutosta ja vaikutusta puun tarjontaan. Metsäomistajien ikääntyminen ja kaupungistuminen, preferenssien ja arvopohjan muutokset sekä omistusrakenteen sirpalei- suus yhdessä luonnon virkistyskäytön ja luontomatkailun kasvun kanssa vaikuttavat yhä enenemässä määrin raakapuun tarjontaan ja metsänkäyttöön tulevaisuudessa (Hänninen ym. 2011; Haltia ym. 2017). Kaupungistumisen myötä merkittävä yhteiskunnallisesti vaikut- tava tekijä on paitsi metsänomistajien myös kansalaisten ja erityisesti nuorten vieraantumi- nen metsistä, mikä voi heijastua suhtautumisessa metsien käyttöön ja käyttömuotoihin.

Tässä tullaan jälleen myös tietopohjaan ja erilaisiin tarpeisiin viestiä tutkitun tiedon pohjalta metsänomistajille ja myös eri metsäalan yrittäjille erilaisista vaihtoehtoisista toimista metsis- sä ja niiden ilmastovaikutuksista. Lasketuissa skenaarioissa ei ole erikseen tarkasteltu edel- lä mainittuja vaikutuksia, mutta tällaiselle systeemille ja integroidulle tarkastelulle voisi olla tarve muun muassa ohjauskeinoista tehtävien päätösten tueksi.

Metsäsektorin työllisyys

Sekä metsäteollisuuden että -talouden työvoiman määrä vähenee kaikissa skenaarioissa trendinomaisesti työn tuottavuuden kasvaessa; tosin metsäteollisuuden suhdannevaihtelut aiheuttavat syklistä vaihtelua ja metsätaloudessa kasvavat puunkorjuu- ja metsänhoitotyöt hidastavat työllisyyden alenemista. Skenaarioiden välisten erojen vaikutukset jäävät vähäi- siksi, sillä ajava voima on digitalisaation, palvelualustojen ja muun teknologiakehityksen aiheuttama työn tuottavuuden kasvu läpi koko metsätalouden arvoketjun. Samaan aikaan on huomattava trendi, jossa nuorten kiinnostus metsäalaa kohtaan koulutuksen osalta on ollut laskussa. Tällä on vaikutusta käytännössä osaavien työntekijöiden saamiseen lähitule- vaisuudessa ja tätä kautta myös alueelliseen työllistymiseen ja metsien talouskäyttöön. Vaikka perinteisen metsäsektorin työllisyys vähenee pitkällä aikavälillä, muiden metsää hyödyntävien elinkeinojen (mm. luontomatkailu) työllistävä vaikutus voi kuitenkin kasvaa.

Biodiversiteetin muutos

Hakkuumäärien kasvaessa paineet luonnon monimuotoisuuden turvaamiseen kasvavat. Merkittävä osa Suomen uhanalaisista lajeista on metsälajeja ja metsätalous on merkittävin metsäluonnon monimuotoisuutta heikentävä tekijä. Metsänkäsitteilymenetelmillä ja niiden muutoksilla voidaan vaikuttaa monimuotoisuuden säilymiseen. Hakkuiden kasvaessa tarve uudenlaisille monimuotoisuutta turvaaville politiikkakeinoille kasvaa.

Huomattava osa Suomen puustosta(23 %) ja hakkuumahdollisuuksista (20 %) on paksuturpeisilla mailla. Niillä on suuri merkitys myös maaperän hiilivarastojen kannalta. Turvemaiden käyttöön ja hoitoon liittyvät kysymykset tulevatkin olemaan jatkossa hyvin keskeisellä sijalla, kun arvioidaan metsätalouden hiilinieluvaikutuksia. Hakkuutason kasvu edellyttää useiden tutkimusten perusteella resurssien kohdentamista myös suojeluun ja monimuotoisuuden kannalta tärkeiden metsän ominaispiirteiden säilyttämiseen. Näitä ovat muun muassa järeän lahoppuun määrän turvaaminen. Uusien tulokaslajien vaikutuksia ei skenaarioissa huomioitu, mutta ne voivat olla merkittäviä niin monimuotoisuuden osalta kuin myös esimerkiksi uusien metsätuholaisten myötä tulevien mahdollisten taloudellisten vaikutusten osalta, mikäli torjuntatoimiin ei panosteta ennalta.

Ravinnehuuhtoumien ja turvetuotannon muutos

Metsätalouden ravinnehuuhtoumat ovat jo nousseet tärkeäksi ympäristökestävyyteen liittyväksi puheenaiheeksi, sillä niitä koskevat arviot ovat parin vuoden kuluessa kymmenkertaisesti uusia mittaus- ja laskentatapojen ja tutkimustulosten vuoksi. Skenaarioiden hakkuumäärät poikkeavat toisistaan varsin vähän, joten skenaarioiden välillä ei ole suuria eroja vesistövaikutuksiin. Sosiaalisen kestävyuden näkökulmasta hakkuiden määrien pienikin kasvu voi kuitenkin johtaa ympäristösyillä perusteltuihin konflikteihin, joita kuitenkin voidaan Suomessa ratkoa tutkimustietoa hyödyntäen erilaisia sidosryhmätilaisuuksia ja osallistamismenetelmiä hyödyntäen, vaikka paineet metsien monimuotoiselle käytölle kasvaisivat.

Turvetuotannon alasajon aluetaloudellisten vaikutusten tarkastelua on tehty Etelä-Savon ja Keski-Suomen osalta (Storhammar & Tohmo 2018). Sen mukaan turpeen tuotannon nopea alasajo synnyttäisi paineita investoida tuotantolaitosten ja logistiikkaketjujen uudistamiseen sekä heikentäisi huoltovarmuutta väliaikaisesti. Turvetuotannon merkitys aluetaloudessa vaihtelee suuresti kunnittain, mutta jää molemmilla tarkastelussa mukana olleilla alueilla vähäisemmäksi kuin mökkeilyn ja matkailun yhteinen osuus. Arvion mukaan turvetuotannon alasajolla ei olisi negatiivisia vaikutuksia alueiden muiden toimijoiden talouteen.

Turpeesta voidaan myös tuottaa korkeamman jalostusarvon tuotteita kuten kuidut, aktiivihiili, kemikaalit ja komposiitit (Pohjois-Pohjanmaan Liitto 2015). Niiden kehitys turpeesta voi olla perusteltua, vaikka energiakäyttö lopetettaisiin, koska niiden vaatima ala pysynee energiaturvetta huomattavasti vähäisempänä.

Kosteikkoviljely olisi uusi menetelmä palauttaa turpepellot lähemmäksi luonnontilaa. Sen päästöjä vähentävät vaikutukset olisivat merkittävät, ja se voisi auttaa kehittämään uudenlaisia tuotteita kasvualustojen lisäksi esimerkiksi ekorakentamiseen. Ennen menetelmän yleistymistä tulisi sitä testata viljelykokeissa, sillä menetelmästä ei ole vielä riittävästi kokemuksia tilatasolla. Märkien peltojen viljelytoimet asettavat käytännön haasteita ja kosteikkoviljelykasveihin siirtyminen saattaisi poistaa pellon tukikelpoisuuden, mikä todennäköisesti vähentäisi menetelmän houkuttelevuutta. Tulevaisuuden maataloudessa voisi kuitenkin olla täysin hyväksyttävää maksaa maanomistajalle päästövähennysten tuottamisesta, mikä epäilemättä edesauttaisi menetelmän yleistymistä.

5. TULOSTEN TARKASTELUA, JOHTOPÄÄTÖKSET JA SUOSITUKSET

5.1. Maatalous

Tässä selvityksessä toteutetut maatalouden vertailuskenaariot (Maatalous-WEM ja Maatalous-WEMi) ja politiikkaskenaariot (Maatalous-LT ja Maatalous-LTi) osoittavat, että suuria vähennyksiä maatalouden KHK-päästöissä ei ole helppo saavuttaa, mikäli elintarvikkeiden kysyntä ja maatalouspolitiikka pysyvät ennallaan. Käytössä olleilla keinoilla eli turvemaille kohdistuvan pellonraivauksen rajoittamisella, turvepeltojen kasvipeitteisyyden lisäämisellä ja niiden vesitalouden hallinnalla sekä lannan biokaasutuksen tehostamisella on mahdollista saavuttaa vuoteen 2050 mennessä maatalouden KHK-päästöissä n. 30 % vähennys vuoteen 1990 ja n. 20 % vähennys vuoteen 2016 verrattuna (taulukko 14, taulukko 15). Tätä voidaan pitää merkittävänäkin vähennyksenä koska se voi toteutua ilman että maatalous-tuotanto vähenee.

Taulukko 14. Maatalouden KHK-kokonaispäästöt maatalousskenaarioissa.

Mt CO ₂ -ekv.	1990	2005	2016	2020	2030	2040	2050
Maatalous-WEM	7,473	6,395	6,473	6,563	6,599	6,604	6,594
Maatalous-WEMi			6,473	6,568	6,563	6,530	6,524
Maatalous-LT			6,473	6,488	6,012	5,628	5,293
Maatalous-LTi			6,473	6,498	5,978	5,558	5,234

Taulukko 15. KHK-päästöjen suhteellinen muutos indeksillä ilmaistuna eri maatalousskenaarioissa. (Maatalous-WEM-skenaarion KHK-päästöt vuonna 1990 = 100) [Maatalous-WEM-skenaarion KHK-päästöt vuonna 2016 = 100]

	1990	2005	2016	2020	2030	2040	2050
Maatalous-WEM	(100) [115]	(86) [99]	(87) [100]	(88) [101]	(88) [102]	(88) [102]	(88) [102]
Maatalous-WEMi			(87) [100]	(88) [101]	(88) [101]	(87) [101]	(87) [101]
Maatalous-LT			(87) [100]	(87) [100]	(80) [93]	(75) [87]	(71) [82]
Maatalous-LTi			(87) [100]	(87) [100]	(80) [92]	(74) [86]	(70) [81]

Kokonaistavoitteeseen eli 80-95 % KHK-päästövähennykseen vuoteen 2050 mennessä vuoden 1990 tasosta verrattuna maataloudessa saavutettava vähennys näyttäytyy vaatimattona. Tähän on monia syitä. Ensinnäkin käytetty politiikkaskenaario Maatalous-LT laadittiin lähtökohtaisesti siten, että huomio on maatalouden maankäyttöä ohjaavissa maatalouspoliittisissa toimenpiteissä. Tavoitteena oli katsoa, minkälaisiin KHK-päästövähennyksiin maataloudessa on mahdollista päästä, jos tuotantomäärien tai viljelyksessä olevan pinta-alan ei haluta ratkaisevasti muuttuvan. Näin ollen EU:n yhteisen maatalouspolitiikan (CAP) oletettiin säilyvän pääpiirteittäin nykyisen kaltaisena Maatalous-LT-politiikkaskenaariossa. Tällainen oletus on siinäkin mielessä perusteltu, että ilmastopoliittisten tavoitteidensa kiris-

tämisestä huolimatta EU mitä todennäköisimmin asettaa jatkossakin ruokaturvan eli riittävän korkean elintarvikeomavaraisuuden yhdeksi CAP:n keskeisistä päämääristä.

Suomen maataloudessa KHK-päästöt ovat jo pitkään kehittyneet siten, että turvepeltoalueiden KHK-päästöt kasvavat ja muiden peltoalueiden KHK-päästöt vähenevät. Siksi KHK-päästöjen väheneminen on kokonaisuudessaan jäänyt pieneksi. Jos turvepeltojen raivaus jatkuu nykyisellään, on vaikea saada aikaan laskelmissa näkyviä KHK-päästövähennyksiä. Ensimmäinen askel kohti maatalouden vähenevää KHK-päästökehitystä olisikin turvepeltojen pinta-alan kasvun estäminen. Se on ainoa ehdottoman tehokas keino, sillä muihin keinoihin liittyy joko isoja epävarmuuksia tai päästöjen siirtymistä toiseen raportointiluokkaan.

Arvioiden mukaan ilmaston lämpeneminen IPCC RCP2.6 -skenaarion mukaisesti vaikuttaisi maataloustuotantoon vain vähän ja tuotannon onnistunut sopeutuminen ja tehostuminen voisi aiheuttaa jo pientä vähenemistä väkilannoitetyn käytössä ja sitä kautta myös KHK-päästöissä. Tässä selvityksessä ei ole kuitenkaan yritetty arvioida kohonneen lämpötilan vaikutusta KHK-päästöihin, koska tämä edellyttäisi muutoksia kasvihuonekaasuintentaarion laskennoissa käytettäviin parametreihin.

Viljelty pinta-ala ei Maatalous-LT-skenaarioissa muuttunut paljonkaan vuoteen 2050 mennessä, vaikka skenaarion taustalla olevat oletukset turvepeltoihin kohdistuvista politiikkatoimista olivat varsin radikaaleja. Näin siksi että kaikki nykyinenkään peltoala ei ole täysimääräisesti viljelyssä, eikä pellon kokonaistarpeen arvioida kasvavan. Koska metsitetyt ruohikkoalueet siirtyvät metsämaan luokkaan, ruohikkoalueiden metsitys aiheutti dityppioksidipäästöjen siirtymää LULUCF-sektorille, missä päästökerroin on kuitenkin pienempi kuin maataloussektorilla. Tulos nurmialan suhteellisen osuuden noususta vilja-alan vähenemisen seurauksena lienee realistinen ja edesauttaa KHK-päästöjen vähentämistä. Samoin säättösalaajittujen turvepeltojen määrän lisääminen on täysin mahdollinen, joskin investointeja ja niiden rahoitusta edellyttävä ratkaisu ja toimii KHK-päästöjen vähentämisessä. Sen sijaan kosteikkoviljelyn osuus nousi Maatalous-LT-skenaariossa jopa epärealistisen korkealle tasolle, koska siinä oletettiin kaiken kasvuturpeen käytön korvautuvan kosteikkoviljelyllä tuotteella. Kyse on kuitenkin yhdestä kaikkein vaikuttavimmasta toimesta turvemaiden pelloksi raivauksen lopettamisen jälkeen, joten sen pitäminen keinovalikoimassa on tärkeää, vaikka kosteikkoviljelyn yleistymistä ei voidakaan pitää aivan lähitulevaisuuden asiana.

Tehdyt arviot maataloustuotannon ja pellonkäytön kehityksestä eivät sisällä erilaisia pelto-markkinoiden kitkatekijöitä, kuten maanomistajien mahdollista periaatteellista haluttomuutta myydä maitaan tai maakauppoihin ja vuokrasopimuksiin liittyviä vaihdantakustannuksia. Maatalouden kokonaisuutta kuvaava DREMFA-tasapainomalli ei myöskään ole alueluokituksestaan tarpeeksi hienojakoinen, jotta se voisi ottaa huomioon Maatalous-LT-skenaariion mahdolliset peltomaan saatavuutta heikentävät vaikutukset yksittäisissä kunnissa, joissa turvemaita on jopa yli puolet peltoalasta. Käytetyllä aluejaolla nykyinen peltoala sinänsä riittää kaikilla alueilla, vaikka turvemaata osin poistuisikin tuotantokäytöstä. Näin ollen viljanviljelyn ja nautaeläinten lukumäärän vähetessä maidon ja naudanlihan tuotantomääriä rajoittavaa viljelyalan niukkuutta ei esiinny missään vaiheessa lähestyttäessä vuotta 2050. Lisäksi lehmien rehunkäytön tehokkuus kohenee hitaasti samalla, kun maidon keskituotos per lehmä nousee. Tällöin nuorta karjaa on aiempaa vähemmän ja tuotantoon riittää aiempaa pienemmältä alalta korjattu rehu. Näin käy etenkin ilmastonmuutoksen huomioon ottavissa maatalousskenaarioissa, joissa nurmen satotasot maltillisesti kasvavat onnistuneen ilmastonmuutokseen sopeutumisen seurauksena.

Tilakoon kasvattaminen ja maatalouden elinkelpoisuus voi turvemaavaltaisilla alueilla olla ristiriidassa KHK-päästöjen vähenemisen kanssa. Etenkin äskettäin investoineilla maataloilla

on vaikeaa ottaa turvepeltoja pois maataloustuotannosta muuten kuin suurilla lisäkustannuksilla. Jos turvemaat valjastetaan laajamittaisesti KHK-päästöjen vähentämiseen, osa aiotuista laajennusinvestoinneista maatilojen elinkelpoisuuden turvaamiseksi voivat jäädä useilla tiloilla turvemaavaltaisissa kunnissa tekemättä ja tilojen toiminta loppua. Olennaista on päästä soveltamaan KHK-päästöjä vähentäviä keinoja turvemailta ja samalla ohjata maataloustuotantoa turvemailta kivennäismaille. Ellei tätä edistetä samalla, kun turvemaita ohjataan pois viljelykäytöstä, voi maataloustuotanto vähentyä ainakin paikallisesti ja väliaikaisesti. Pitemmän päälle maataloustuotanto turvemailta korvautuu tuotannolla kivennäismailta. Tulevista ohjauskeinoista riippuu, millä kustannuksilla.

Arvio KHK-päästöjen vähentämismahdollisuuksista jää Maatalous-LT-politiikkaskenaariossa selvästi alhaisemmaksi kuin esimerkiksi ne arviot, jotka sisältyvät EU:ssa tehtyihin pitkän aikavälin visioihin (EC 2018a), joiden mukaan jopa miltei puolet maatalouden KHK-päästöistä voitaisiin vähentää lähivuosisikymmeninä. Tähän on useita syitä, joista merkittävin on se, että Maatalous-LT-politiikkaskenaariossa on keskitytty vain maankäyttöä ohjaaviin maatalouspoliittisiin toimiin. EU-arvioissa puolestaan nostetaan esiin myös merkittävät ruokavalion muutokset ja erilaiset Suomessa vähämerkityksiset tuotantotekniset keinot.

Maatalouden KHK-päästöihin olisi mahdollista vaikuttaa huomattavasti laajamittaisella ruokavalioiden muutoksella. Kaikissa maatalousskenaariossa lihantuotanto aleneekin hitaasti tuotantopanosten ja tuotteiden hintasuhteiden muutosten takia, millä on myös vähentävää vaikutusta maatalouden KHK-päästöihin. Kotimaisen lihantuotannon väheneminen johtaa lihan tuonnin kasvuun, jos kotimainen kysyntä ei vähene. Jos ja kun ruokavaliot kehittyvät tulevaisuudessa vähemmän eläintuotteita sisältäviksi, se tulee epäilemättä vähentämään maatalouden KHK-päästöjä. Vaikutukset riippuvat kuitenkin suuresti siitä, millaiset tuotteet korvaavat eläintuotteita ja tuotetaanko ne Suomessa vai ulkomailla. Lisäksi ruokavalioiden muutoksiin liittyvistä KHK-päästöjen vähentymisen suuruusluokista on kirjallisuudessa hyvinkin erilaisia arvioita, mutta esimerkiksi van de Kamp ym. (2018) mukaan siirtyminen ravitsemuksellisesti täysipainoiseen lihattomaan ruokavalioon voisi vähentää KHK-päästöjä noin kolmanneksen.

EU:n visiossa keskeiset viljelytekniset keinot KHK-päästöjen vähentämiseksi ovat turvepeltojen viljelemättä jättämisen lisäksi digitalisaation ja erilaisen älyteknologian avulla edistettävä täsmäviljely, eläinjalostus ja nitrifikaatioinhibiittorit (EC 2018b). Täsmäviljelyn avulla tahtaava tuotantopanosten entistä optimaalisempi kohdentaminen luonnollisesti parantaa tuotannon tehokkuutta ja sitä kautta vähentää KHK-päästöjä tuoteyksikköä kohti. Eläinjalostuksen keinoin on mahdollista vaikuttaa sekä tuotantoeläinten rehuhyötysuhteeseen että niiden aineenvaihdunnassaan tuottamiin KHK-päästöihin. Molemmat ovat sinänsä tärkeitä aihealueita, mutta Suomen oloissa niillä saavutettavat KHK-päästövähennykset tuskin muodostuisivat kovin merkittäviksi. Suomessa eläintuotokset ja rehuhyötysuhteet ovat jo suhteellisen korkealla tasolla. Nitrifikaatioinhibiittorit ovat puolestaan kyseenalainen keino, koska ne lisäävät ammoniakkin päästöjä (Lam ym. 2017) ja voivat päätyä maataloustuotteisiin (Chen ym. 2014). EU:n vision kuvaus ei mahdollista tarkempaa analyysiä keinojen sovellettavuudesta Suomen oloihin tai eroista tämän selvityksen skenaarioihin.

Maatalousskenaariot osoittavat, että nopein ja tehokkain tapa KHK-päästöjen alentamiseen maataloudessa tuotantoa vähentämättä ovat turvemaihin kohdistuvat toimenpiteet. Turvemaiden pelloksi raivauksen lopettamisella, turvepeltojen ympärivuotisen kasvipeitteisyyden lisäämisellä ja vesitalouden säätelyllä voidaan jo olennaisesti vähentää maatalouden KHK-päästöjä. Olisi myös perusteltua kehittää vapaaehtoisuuteen ja erilaisiin kannustimiin perustuvia ohjaustoimenpiteitä, joilla tällä hetkellä viljelyksessä olevia turvepeltoja poistettaisiin pysyvästi maatalouskäytöstä joko metsittämällä tai ennallistamalla. Tämä edellyttäisi kuitenkin

kin huolellista tapauskohtaista tarkastelua, sillä muutokset maankäytössä voivat johtaa vaikeasti ennakoitaviin muutoksiin KHK-päästöissä pitkällä aikavälillä. Ylipäänsä KHK-päästöjen vähentämisen kannalta olisi suotavaa, että maatalouskäytöstä poistuvat pellot metsitettäisiin nopeasti, koska peltojen metsityksen myönteiset ilmastovaikutukset toteutuvat täysimääräisinä vasta pitemmällä aikavälillä.

5.2. Metsätalous ja maankäyttö

LULUCF-sektorin vertailuskenaariossa (LULUCF-WEM) ja politiikkaskenaarioissa (LULUCF-LT1, LULUCF-LT2 ja LULUCF-LT2i) metsien nielu on määräävä tekijä koko sektorin kasvihuonekaasutaseessa. Metsät ja puutuotteet ovat ainoat sektorin osa-alueet, jotka tuottivat nettonielun eli kasvihuonekaasujen päästöt olivat poistumia pienemmät kaikissa skenaarioissa. Vertailuskenaariossa sektorin nettonielu on pienin, 50 milj. t CO₂-ekv., ja politiikkaskenaariossa LULUCF-LT2i, jossa taustalla oli PITKO-hankkeen Muutos-skenaario ilmastomuutosskenaario RCP2.6, suurin -112 milj. t CO₂-ekv. (taulukko 16). Ilmastomuutoksen sisältävässä skenaariossa on mukana lämpötilan ja ilman hiilidioksidipitoisuuden nousun vaikutus metsien puuston kasvuun ja metsämaan kivennäismaiden maaperän hiilivaraston muutokseen, mutta ei vastaavia vaikutuksia maatalousmailla, eikä vaikutusta turpeen hajoamiseen. Ilmastomuutoksen negatiivisia vaikutuksia puuston kehitykseen ei ole otettu huomioon kasvun kehitysarvioissa.

Taulukko 16. LULUCF-sektorin nielun kehitys vertailu- ja politiikkaskenaarioissa.

Mt CO ₂ -ekv.	1990	2005	2016	2020	2030	2040	2050
LULUCF-WEM	-14,698	-24,400	-21,647	-30,831	-29,592	-39,062	-49,620
LULUCF-LT1			-21,647	-29,665	-32,558	-45,136	-56,954
LULUCF-LT2			-21,647	-30,004	-39,153	-74,095	-94,348
LULUCF-LT2i			-21,647	-30,051	-43,003	-84,730	-111,814

Metsien nielun kehitys on samansuuntainen kaikissa skenaarioissa. Vuoteen 2030 nielu kasvaa nykytasosta maltillisemmin ja sen jälkeen huomattavasti nopeammin. Vertailuskenaariossa ja LULUCF-LT1-skenaariossa nielu vuoden 2016 tasoon verrattuna on kaksinkertainen ja LULUCF-LT2-skenaariossa kolminkertainen vuonna 2050. Vuoden 2030 jälkeen tapahtuva muutos on seurausta jo tehdyistä ja skenaarion alkuvuosille kohdistuvista uudistushakkuista ja metsän uudistamisesta kuuselle. Kuusimetsiköt saavuttavat kehitysvaiheen, jossa niiden vuosittainen tilavuuden nettolisäys kaksinkertaistuu nykyisestä, kun muilla puulajeilla nettolisäys nykyiseen verrattuna pienenee. Kasvun lisäksi tähän vaikuttaa myös hakuiden kohdistuminen eri puulajeihin.

Vertailuskenaariossa ja LULUCF-LT1-skenaariossa runkopuun (ainespuu ja energiaksi hakattu runkopuu) hakkuukertymät kehittyvät Kansallisen metsästrategian 2025 (2015) mukaisesti niin, että 80 milj. m³ vuodessa saavutetaan 2025 alkavalla 10-vuotiskaudella. Vastavalla ajanjaksolla politiikkaskenaarioissa LULUCF-LT2 ja LULUCF-LT2i runkopuun hakkuukertymä on 75 milj. m³ vuodessa. Tämän jälkeen hakkuut pienenevät 62 milj. m³:iin ja ovat taas hieman korkeammalla tasolla 2050. Tämä pieni 3,5 milj. m³:n kasvu tulee energiaksi käytettävästä runkopuusta. Metsähakkeen käyttö energiantuotannossa lisääntyy 50 %:lla vuodesta 2040 vuoteen 2050. Ainespuuhakkuiden kuitenkin supistuessa myös mahdollisuus korjata hakkuutähdettä ja kantoja energiapuuksi vähenee, joten MELA kohdisti tämän lisäyksen metsähakkeen runkopuuhun hakkuutähteiden ja kantojen sijaan. Tukki- ja kuitupuun

kertymissä eikä ainespuunkertymän rakenteessa tapahdu merkittäviä muutoksia missään skenaariossa. Puuntuotannollisesti ja taloudellisesti suurin kestävä hakkukertymä - laskelmassa on selvä ero skenaarioihin; siinä 60–80 % hakkuista kohdistuu uudistusaloille, kun skenaarioissa hakkuu jakautuvat lähes puoliksi kasvatus- ja uudistushakkuihin.

Hakkuiden kohdistumisessa ei juuri ole eroja skenaarioiden välillä, puuston tilavuus ja kasvu kehittyvät niissä samansuuntaisesti hakkuiden tason määrittäessä lähinnä mille tasolle päädytään vertailuskenaariossa ja LULUCF-LT1:ssä puustopääoma on 3,7 mrd. m³ ja kasvu 130 milj. m³ vuodessa. LULUCF-LT2-skenaariossa ylitetään 4 mrd. m³:n raja vuoden 2050 paikkeilla ja kasvu on tässä vaiheessa lähellä 140 milj. m³ vuodessa. Ilmaston muutoksen ottaminen mukaan skenaarioon nostaa vuotuisen kasvun yli 150 milj. m³ ja puuston kokonaistilavuus on lähellä 4,5 mrd. m³.

Vertailuskenaarioon nähden politiikkaskenaarioissa saatiin kosteikkojen KHK-päästöt noin 1 milj. t CO₂-ekv. pienemmiksi. LULUCF-LT1-skenaariossa vähennys saatiin aikaan lopettamalla uusien turvetuotantoalueiden raivaus metsistä ja muista kosteikoista vuoden 2020 jälkeen, ja päättämällä energiaturpeen nosto vuonna 2031. LULUCF-LT2-skenaariossa (sekä LULUCF-LT2i:ssä) turpeen käyttöä energiaksi ei kokonaan lopetettu vaan se väheni asteittain vuoteen 2050. Turvetuotannosta vapautunut ala metsitettiin kaikissa politiikkaskenaarioissa.

Maataloussektorin päästöjä vähentävillä turvemaihin kohdistuvilla toimilla pienenevät myös maankäyttösektorin CO₂-päästöt. Näitä toimenpiteitä ja ohjauskeinoja on käsitelty luvussa 5.1.

Kasvihuonekaasujen nettopäästöihin voidaan vaikuttaa myös kasvattamalla viljelymaan hiilivarastoja. Orgaanisen aineksen määrän kasvattaminen viljelyillä kivennäismailla on haastava tehtävä. Suomessa kuten muuallakin maailmassa kehitys on päinvastainen eli orgaanisen aineksen määrä tyypillisesti vähenee viljelyssä. Hiiltä voidaan kerryttää lisäämällä hiilisyötettä maahan ja samalla hillitsemällä hiilen poistumista maasta hiilidioksidina ilmaan tai veden kuljettamana vesistöihin. Suomen mittakaavan arviota kivennäismaiden hiilivarastojen kasvattamisen potentiaalista ei ole tehty. Jonkin verran sitä rajoittaa suhteellisen korkea lähtötaso, sillä hiiltä kertyy nopeammin maahan, jonka hiilipitoisuus on lähtötilanteessa alhainen. Koska Suomessa kasvukausi on lyhyt ja maaperän hiili on eniten alttiina hävikkeille paljaan maan kaudella, on tärkein hiilen hävikkiä estävä toimenpide peltojen kasvipeitteisenä pitäminen sadonkorjuun ja kylvön välisenä aikana. Tähän on monia keinoja kuten alus- ja kerääjäkasvit, monipuoliset viljelykierrat ja syyskylvö. Koska maaperään päätyvä hiili on peräisin yhteyttävistä kasveista, maaperän hiilivarastojen kasvattamisen kannalta paras vaihtoehto toteuttaa kasvipeitteisyys olisi pitää pelto vihreänä myös sadonkorjuun jälkeen. Syväjuuristen kasvien ottaminen osaksi viljelykiertoa lisää hiilisyötettä syvemmälle maahan, missä hiilipitoisuus on pienempi kuin pintamaassa.

Peltojen hiilipitoisuutta voidaan kasvattaa myös esimerkiksi maanparannusaineiden avulla tai vaikuttamalla lannan alueelliseen jakautumiseen. Kehittyneet lannankäsittelymenetelmät toisivat mahdollisuuden kuljettaa lantaa kauemmaksi eläintilojen keskittymistä, jolloin sekä niiden ravinteet että orgaaninen aines voidaan käyttää laajemmalla peltopinta-alalla. Pelkätään yhden keinoon käyttöönotto ei riitä kääntämään kivennäismaan peltoja hiilen nieluksi, vaan tarvitaan yhdistelmä keinoja ja toimien kohdentamista hiiliköyhimmille pelloille. Yhden toimen mitatut vaikutukset tyypillisesti vaihtelevat 0,1–0,3 t/ha välillä. Jos nykyisten kivennäismaan peltojen hiilivarasto kasvaisi neljä promillea (Minasny ym. 2017), olisi sillä saavutettava hiilinielu alle kolmasosan turvepeltojen päästöistä. Ei kuitenkaan tiedetä, onko niin

suuri kivennäismaiden hiilipitoisuuden nousu mahdollinen tai millä keinoin se Suomen olis-
sa voitaisiin toteuttaa.

Puutuotteet lisäävät LULUCF-sektorin nielua, jos tuotanto kasvaa, ja puuta käytetään pit-
käikäisiin tuotteisiin. Laskelmat on tehty perinteisille tuoteryhmille sahatavara, puulevyt sekä
paperi ja kartonki. Uusia tuotteita ei ole mukana, mitä voidaan pitää laskelmien heikkoutena.
Puutuotelaskenta perustuu metsäteollisuuden kotimaiseen raakapuun käyttöön. Jos tuonti-
puun käyttö lisääntyisi nykyistä, pienentäisi se puutuotteiden hiilinielua. Sama vaikutus olisi,
jos tuotantoa vähennettäisiin ja korvattaisiin tuonnilla.

Metaani- ja dityppioksidipäästöt vähenevät kaikissa skenaarioissa, myös vertailuskenaa-
riossa (taulukko 17). Suurin muutos on LULUCF-LT1-skenaariossa, jossa vuoden 2050
metaanipäästöt ovat nykytasoon verrattuna 6 % pienemmät ja dityppioksidipäästöt 4 % pie-
nemmmät. Myös kahdessa muussa politiikkaskenaariossa päästöt alenevat vertailuskenaa-
ria enemmän (LULUCF-WEM: CH₄ 2 % ja N₂O 2 %; LULUCF-LT2 ja LULUCF-LT2i: CH₄ 5 %
ja N₂O 3 %). LULUCF-sektorilla merkittävin kaasu on kuitenkin CO₂, jonka nieluna sektori
toimii.

**Taulukko 17. LULUCF-sektorin kasvihuonekaasupäästöjen ja -poistumien ke-
hitys kaasuittain ja eri skenaarioissa.**

Mt CO ₂ -ekv.	1990	2016	2020	2030	2040	2050
LULUCF-WEM						
CO ₂	-18,372	-24,664	-33,824	-32,558	-42,016	-52,567
CH ₄	1,545	0,920	0,915	0,908	0,904	0,902
N ₂ O	2,125	2,093	2,078	2,058	2,050	2,044
LULUCF-LT1						
CO ₂	-18,372	-24,664	-32,658	-35,781	-48,255	-59,975
CH ₄	1,545	0,920	0,915	0,902	0,866	0,862
N ₂ O	2,125	2,093	2,078	2,094	2,060	2,000
LULUCF-LT2						
CO ₂	-18,372	-24,664	-32,991	-42,096	-77,021	-97,243
CH ₄	1,545	0,920	0,912	0,898	0,886	0,877
N ₂ O	2,125	2,093	2,075	2,045	2,040	2,017
LULUCF-LT2i						
CO ₂	-18,372	-24,664	-33,038	-45,946	-87,656	-114,709
CH ₄	1,545	0,920	0,912	0,898	0,886	0,877
N ₂ O	2,125	2,093	2,075	2,045	2,040	2,017

EU:n Puhdas maapallo kaikille -visiossa yksi keskeisistä strategisista elementeistä kohti
päästöneutraalia taloutta on käyttää hyväksi kaikki biotalouden tarjoamat mahdollisuudet
sekä luoda välttämättömiä hiilinieluja (EC 2018a). Maa- ja metsätalouden tehtävänä on tuot-
taa elintarvikkeita, rehua ja kuituja, mutta myös tukea EU:n talouden muille sektoreille pide-
tään olennaisena. Kustannustehokkaasti ja kestävästi tuotetulla biomassalla on päästöneut-
raalissa taloudessa merkittävä rooli, kun sitä käytetään lisääntyvässä määrin energiantuo-
tantoon ja teollisuuden raaka-aineena. Tehokkaimmiksi keinoiksi lisätä metsäbiomassan
tuotantoa nähdään metsäalan kasvattaminen metsittämällä ja metsäkatoa ehkäisemällä,
nopeakasvuisten puulajien osuuden lisääminen, hakkuiden optimointi sekä älykäs metsän-
hoito (EC 2018b).

Suomen nykyinen metsänielu on saavutettu kestäväällä metsänhoidolla, johon kuuluu mm. ajallaan suoritettut kasvatushakkuut ja uudistamisen jälkeen kasvupaikalle sopivan puulajin valinta. Vieraiden puulajien käyttöä niiden nopeakasvuisuuden takia ei voi pitää niihin liittyvien riskien (esim. puuaineksen laatu, tuhoherkkyys, vierasperäiset kasvitautit ja tuholaiset) takia kestävä metsänhoidon mukaisena ratkaisuna. Metsityksellä ja metsäkadon ehkäisyllä Suomessa ei saada merkittävästi lisättyä metsänielua, vaikka niillä on merkitystä muiden maankäyttömuotojen päästöjen vähentämisessä. Biomassan kasvatukselle energiantuotantoon (sähkö, biopolttoaineet) ja kemianteollisuuden (esim. biomuovit) raaka-aineeksi potentiaalisia kohteita ovat pellot, joita ei tarvita maataloustuotannossa, sekä käytöstä poistuvat turvetuotantoalueet. Tämä olisi vaihtoehtoinen toimenpide metsitykselle. Puita nopeampikasvuuisilla kasveilla on mahdollista saada ripeämmin aikaan päästövähennyksiä LULUCF-sektorilla.

Skenaariot ovat arvioita siitä, miten KHK-päästöt ja nielut mahdollisesti kehittyvät, jos tehtäisiin selvityksessä esitetyt toimenpiteet. Niitä tulee tarkastella suhteessa käytettyihin olettuksiin. Siten puuston nielun toteutumisen edellytys on, että toimenpiteet tehtäisiin ja kohdistettaisiin kuten MELA-laskelmissa. Metsälaskelmissa kasvun oletuksella on huomattava merkitys puuston nielun kehitykseen (ks. luku 2.2). Jos puuston kasvu palautuisi esimerkiksi vuoden 2017 jälkeen vuosien 1984–2013 keskimääräiselle indeksikorjatun kasvun tasolle, niin puuston hiilinielu jäisi koko jaksolla vuodessa noin 20 milj. CO₂-ekv. tonnia alemmalle tasolle ollen vuonna 2050 noin 30 milj. t CO₂-ekv. vuodessa. Skenaarioiden luotettavuus vähenee mitä pitemmälle tulevaisuuteen skenaariot ulottuvat lähtötilanteesta.

Arvio LULUCF-sektorin EU:n ilmastotavoitteen toteutumisesta 2021–2030

EU:n 2030 energia- ja ilmastopakettiin sisältyvän LULUCF-sektorin velvoitteen toteutumista kaudella 2021–2030 arvioitiin suhteessa LULUCF-WEM, LULUCF-LT1 ja LULUCF-LT2 skenaarioihin. Vuonna 2018 annetun EU:n jäsenmaita koskeva asetuksen (EU 2018b) mukaan LULUCF-sektorin laskennalliset päästöt eivät saa olla laskennallisia poistumia suuremmat kausilla 2021–2025 ja 2026–2030. Sektorin KHK-päästöjä ja -poistumia tullaan seuraamaan kuudessa tililuokassa (metsitetty maa, metsäkatoalue, hoidettu viljelysmaa, hoidettu ruohikkoalue, hoidettu metsämaa ja hoidettu kosteikko), jotka laskemalla yhteen saadaan LULUCF-sektorin tilanne. LULUCF-skenaarioiden tulokset ryhmiteltiin uudelleen vastaamaan EU:n tilinpitoluokkia.

Kunkin tilin vaikutus LULUCF-sektorin veloitteeseen saadaan soveltamalla laskentasääntöjä todellisiin päästöihin ja poistumiin. Metsityksen ja metsäkadon nettopäästö/-poistuma lasketaan tilinpitoon täysimääräisenä. Viljelysmaan, ruohikkoalueiden ja kosteikkojen viisivuotiskauden nettopäästöjä/-poistumia verrataan vuosien 2005–2009 keskimääräiseen viidellä kerrottuun päästöön/poistumaan. Metsien tilannetta verrataan vertailutasoon. Jos kauden nettonielu on pienempi kuin viidellä kerrottu vertailutaso, erotus lasketaan päästönä metsämaan tiliin. Jos taas, kauden nettonielu on viidellä kerrottua vertailutasoa suurempi, voidaan erotus laskea tileihin poistumana (nieluna). Hyödyksi laskettavan poistuman määrää on kuitenkin rajoitettu. Suomi on esittänyt metsien vertailutasoksi -34,77 milj. t CO₂-ekv. kaudelle 2021–2025. Enimmillään Suomi voi saada metsistä ilman metsäjoustoa hyötyä 3,5 % vuoden 1990 kokonaispäästöistä, josta viidellä vuodelle saadaan 12,5 milj. t CO₂-ekv. (Tilastokeskus 2018b). Metsien tili sisältää myös puutuotteet.

Olettaen, että metsien vertailutaso on sama koko veloittekauden 2021–2030, niin tämän selvityksen skenaarioiden mukaan LULUCF-sektorille tullaan metsistä saamaan 12,5 milj. t CO₂-ekv hyötyä. Vertailuskenaariossa se ei kuitenkaan riitä kattamaan metsäkadon, viljelysmaiden ja kosteikkojen päästöjä, vaan joustoja tarvittaisiin yli 6 milj. t CO₂-ekv. Poliitikaskenaarioista LULUCF-LT1 ja LULUCF-LT2 saadaan molemmista tulokseksi laskennalli-

nen poistuma; ensin mainitusta 10 ja jälkimmäisestä 15 milj. CO₂-ekvivalenttitonnia (taulukko 18). Tähän ei kuitenkaan päästä ilman metsien nielua, vaan muut tilit tuottavat laskennallisen päästön. LULUCF-LT2-skenaariossa saadaan viljelysmaalle 14 milj. t CO₂-ekv. laskennallinen poistuma (eli päästöt alhaisemmat kuin perusjaksolla), se ei riitä kompensoimaan metsäkadon päästöjä. Metsäkadosta aiheutuvat päästöt ovat LULUCF-LT1-skenaariossa alhaisemmat, koska siinä turvemaihin kohdistettiin laaja-alaisia metsän ja kosteikkojen raivausta vähentäviä toimia. Samassa skenaariossa metsityksellä saatiin aikaan muita skenaarioita hieman suurempi nielu. Tämä kuitenkin edellytti mm. ruohikkoaluiden metsittämistä yhden vuoden aikana, mitä käytännössä ei voida toteuttaa. Tilinpidossa metsityksellä ei saada merkittävää tulosta, koska laskenta kohdistuu iältään 1–20-vuotiaisiin metsitysaloihin.

Metsitys ja metsäkadon ehkäiseminen ovat globaalisti ilmastotoimien keskipisteessä. Suomessa metsäkatu suhteessa metsän pinta-alaan ei ole merkittävä. Vuosittain metsäkadon seurauksena metsämaata otetaan muuhun käyttöön noin 0,1 % metsämaan alasta eli alle 20 000 ha. Metsäkadon merkitys tulee KHK-päästöistä (6 % Suomen kokonaispäästöistä), ja siitä kuinka ne lasketaan mukaan LULUCF-sektorin EU:n ilmastotavoitteeseen. Metsäkadon suurin päästö tapahtuu muutosvuonna kun alueen puusto ja muu kasvillisuus poistetaan. Alue pysyy tämän jälkeen 20 vuotta metsäkatoalueena, ja uuden maankäytön mukaiset päästöt kohdentuvat siten metsäkadolle. Myös metsityksen vaikutus lasketaan vastaavasti. Kun metsityksestä on kulunut 20 vuotta, siirtyy alueen laskenta metsämaan alle. Siten metsityksen hiilinielua kasvattava vaikutus ei näy tilinpidossa metsitetyn maan tililuokassa, kun puuston lisääntyvän kasvun vaiheessa alue poistuu näistä metsitystilistä. Ilmaston kannalta metsityksellä on kuitenkin myönteinen vaikutus.

Mukaan on laskettu myös kosteikkojen vaikutus, vaikka sen laskenta ei EU-asetuksen mukaan ole pakollista jaksolla 2021–2025.

Taulukko 18. Arvio LULUCF-sektorin ilmastovelvoitteen toteutumisesta LULUCF-WEM-, LULUCF-LT1- ja LULUCF-LT2-skenaarioiden mukaan velvoitekaudella 2021–2030 (yhteensä-rivillä positiivinen arvo kuvaa laskennallista päästöä, jolloin velvoitetta ei saavuteta; negatiivinen arvo kuvaa laskennallista poistumaa, jolloin velvoite täyttyy).

Mt CO ₂ -ekv.	LULUCF-WEM	LULUCF-LT1	LULUCF-LT2
Metsitetty maa	-1,900	-5,300	-1,600
Metsäkatoalue	30,600	25,500	28,200
Hoidettu viljelysmaa	2,800	-0,300	-14,500
Hoidettu ruohikkoalue	-0,600	-4,500	-0,600
Hoidettu kosteikko	0,300	-0,300	-2,100
Hoidettu metsämaa	-25,000	-25,000	-25,000
Yhteensä	6,300	-9,900	-15,400

LULUCF-sektorin keskeinen ilmastopoliittinen rooli

LULUCF-sektorilla ilmastotavoitteiden saavuttamista voidaan edistää ylläpitämällä ja kasvatamalla hiilinieluja sekä vähentämällä KHK-päästöjä. Myös tulevaisuudessa metsien merkitys hiilinielun ylläpidossa on keskeinen, koska metsä ovat ainoa maankäyttömuoto, joka käytännössä voi tuottaa nettonielun. Tämä edellyttää kuitenkin sitä, että säilytetään metsien puuston kasvun ja poistuman (luonnonpoistuma ja hakkuupoistuma) tase positiivisena samalla, kun huolehditaan myös metsien maaperän hiilivarastosta. Metsäkadon ehkäiseminen etenkin turvemaihin on tehokas KHK-päästöjä vähentävä toimi, koska sen vaikutus on välitön

ja vähentää sekä LULUCF- että maataloussektorin kokonaispäästöjä. Metsityksen hiilinielua lisäävä vaikutus on selvästi hitaampaa. Metsityksellä saadaan kuitenkin vähennettyä maaperän KHK-päästöjä käytöstä poistuvilla maatalousmailla ja turvetuotantoalueilla sekä kerrytettyä biomassaa ja hiiltä maaperään.

6. LÄHTEET

Aakkula, J. & Leppänen, J. (toim.) 2014. Maatalouden ympäristötuen vaikuttavuuden seurantatutkimus (MYTVAS 3): Loppuraportti. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja 3/2014: 265 s.

Chen, X.H., Zhou, L.X., Zhao, Y.G., Pan, S.D. & Jin, M.C. 2014. Application of nanoring amino-functionalized magnetic polymer dispersive micro-solid-phase extraction and ultra fast liquid chromatography-tandem mass spectrometry in dicyandiamide residue analysis of powdered milk. *Talanta* 119:187–192.

EC 2018a. European Commission: A Clean Planet for all - A European strategic long-term vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy. COM(2018) 773 final (Brussels, 28.11.2018).

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

EC 2018b. IN-DEPTH ANALYSIS IN SUPPORT OF THE COMMISSION COMMUNICATION COM(2018) 773 A Clean Planet for all A European long-term strategic vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy.

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

EU 2018a. EUROOPAN PARLAMENTIN JA NEUVOSTON ASETUS (EU) 2018/1999 energiaunionin ja ilmastotoimien hallinnosta, Euroopan parlamentin ja neuvoston asetusten (EY) N:o 663/2009 ja (EY) N:o 715/2009, Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivien 94/22/EY, 98/70/EY, 2009/31/EY, 2009/73/EY, 2010/31/EU, 2012/27/EU ja 2013/30/EU, neuvoston direktiivien 2009/119/EY ja (EU) 2015/652 muuttamisesta sekä Euroopan parlamentin ja neuvoston asetuksen (EU) N:o 525/2013 kumoamisesta.

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

EU 2018b. REGULATION (EU) 2018/841 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 30 May 2018 on the inclusion of greenhouse gas emissions and removals from land use, land use change and forestry in the 2030 climate and energy framework, and amending Regulation (EU) No 525/2013 and Decision No 529/2013/EU.

https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv:OJ.L_.2018.156.01.0001.01.ENG

Grönroos, J., Munther, J. & Luostarinen, S. 2017. Calculation of atmospheric nitrogen and NMVOC emissions from Finnish agriculture - Description of the revised model. Finnish Environment Institute.

<https://helda.helsinki.fi/handle/10138/229364>

Haakana, M., Ollila, P., Regina, K., Riihimäki, H. & Tuomainen, T. 2015. Menetelmä maankäytön kehityksen ennustamiseen: Pinta-alojen kehitys ja kasviuonekaasupäästöt vuoteen 2040. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 51/2015: 32s.

https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/520307/luke-luobio_51_2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Haltia E., Rämö A-K., Pynnönen S., Valonen M. & Horne P. 2017. Miksi metsien taloudellisia mahdollisuuksia jätetään käyttämättä? – Metsänomistajien aktiivisuus ja siihen vaikuttaminen. PTT Raportteja 255. 112s.

- Hamberg, L., Henttonen, H. & Tuomainen, T. 2016. Puusta valmistettujen tuotteiden hiilivaraston muutoksen laskenta kasvihuonekaasuinventaariossa – Menetelmäkehitys Suomen kasvihuonekaasuinventaarioon. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 73/2016.
https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/537716/luke-luobio_73_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Hirvelä, H., Härkönen, K., Lempinen, R. & Salminen, O. 2017. MELA2016 Reference Manual. Natural resources and bioeconomy studies 7/2017. Natural Resources Institute Finland (Luke). 547 p.
<http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-358-1>
- Hänninen H., Karppinen H. & Leppänen J. 2011. Suomalainen metsänomistaja 2010. Metlan työpapereita 208.
<http://urn.fi/URN:ISBN:978-951-40-2317-0>
- Höglind, M., Thorsen, S.M. & Semenov, M.A., 2013. Assessing uncertainties in impact of climate change on grass production in Northern Europe using ensembles of global climate models. Agric. For. Meteorol. 170, 103–113.
<https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2012.02.010>
- IEA 2018. World Energy Outlook 2018.
<https://www.iea.org/weo2018/>
- Ilmastolaki 2015. Ilmastolaki 22.5.2015/609, Finlex-tietokanta, oikeusministeriö.
<https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2015/20150609>
- IPCC 2018. IPCC Special Report: Global Warming of 1.5 °C.
<https://www.ipcc.ch/sr15/>
- 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. & Troxler, T.G. (toim.). IPCC, Switzerland.
- van de Kamp, M. E., van Dooren, C., Hollander, A., Geurts, M., Brink, E.J., van Rossum, C., Biesbroek, S., de Valk, E., Toxopeus, I.B. & Temme, E.H.M. 2018. Healthy diets with reduced environmental impact? – The greenhouse gas emissions of various diets adhering to the Dutch food based dietary guidelines. Food Research International, 104 (2018): 14–24.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.06.006>
- Kellomäki, S. & Väisänen, H. 1997. Modelling the dynamics of the forest ecosystem for climate change studies in the boreal conditions. Ecological Modelling 97: 121–140.
- Koistinen, A., Luuro, J-P. & Vanhatalo, K. (toim.) 2016. Metsänhoidon suositukset energiapuun korjuuseen, työopas. Tapion julkaisuja.
https://www.metsanhoitosuosituksset.fi/wp-content/uploads/2017/05/Metsanhoitosuosituksset_energiapuun_korjuuseen_Tapio_2016_C.pdf
- Koljonen ym. 2019. Pitkän aikavälin kokonaispäästökehitys. VN TEAS -julkaisusarja 24/2019.
- Koljonen, T., Soimakallio, S., Asikainen, A., Lanki, T., Anttila, P., Hildén, M., Honkatukia J., Karvosenoja, N., Lehtilä, A., Lehtonen, H., Lindroos, T.J., Regina, K., Salminen, O., Savolahti, M., Siljander, R. & Tiittanen, P. 2017. Ilmasto- ja energiastrategian vaikutusarviot. Yhteenvetoraportti. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 21/2017. 107 s.
- Korhonen, K.T., Ihalainen, A., Ahola, A., Heikkinen, J., Henttonen, H.M., Hotanen, J-P., Nevalainen, S., Pitkänen, J., Strandström, M. & Viiri, H. 2017. Suomen metsät 2009–2013 ja niiden kehitys 1921–2013. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 59/2017.
- Kärkkäinen, L., Haakana, M., Heikkinen, J., Helin, J., Hirvelä, H., Jauhiainen, L., Laturi, J., Lehtonen, H., Lintunen, J., Niskanen, O., Ollila, P., Paltonen-Sainio, P., Regina, K., Salminen, O., Tuomainen, T., Uusivuori, J., Wall, A. & Packalen, T. 2019. Maankäyttösektorin toimien mahdollisuudet ilmastotavoitteiden saavuttamiseksi. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 67/2018.
<http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-287-618-8>
- Lam, S.K., Suter, H. Mosier, A.R., Chen, D. 2017. Using nitrification inhibitors to mitigate agricultural N₂O emission: a double-edged sword? Global Change Biology 23, 485-489.

- 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.
<http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-264-5>.
- 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. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 19/2017. 59 s. ISSN 2342-7639 (Verkkojulkaisu).
<http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-383-3>
- 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. 2015. Evaluating adaptation and the production development of Finnish agriculture in climate and global change. *Agricultural and Food Science* 24: 219-234.
<http://ojs.tsv.fi/index.php/AFS/article/view/51080>
- 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>
- Luke 2019a. MELA-ohjelmisto.
<http://mela2.metla.fi/mela/mela/index.htm>
- Luke 2019b. MELA laatuseloste.
<http://www.luke.fi/MELA-metsalaskelmat>
- Luostarinen, S., Grönroos, J., Hellstedt, M., Nousiainen, J. & Munther, J. 2017. Suomen normilanta - laskentajärjestelmän kuvaus ja ensimmäiset tulokset. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 47/2017. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 54 s.
<http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-441-0>
- Matala, J., Ojansuu, R., Peltola, H., Sievänen, R. & Kellomäki, S. 2005. Introducing effects of temperature and CO2 elevation on tree growth into a statistical growth and yield model. *Ecological Modelling* 181: 173–190.
- Minasny, B., Malone, B.P., McBratney, A.B. et al. 2017. Soil carbon 4 per mille. *Geoderma* 292: 59-86.
- MMM 2015. Kansallinen metsästrategia 2025. Valtioneuvoston periaatepäätös 12.2.2015. Maa- ja metsätalousministeriö 6/2015.
<https://mmm.fi/documents/1410837/1504826/Kansallinen+mets%C3%A4strategia+2025/c8454e55-b45c-4b8b-a010-065b38a22423>
- OECD-FAO 2018. OECD-FAO Agricultural Outlook 2018-2017.
<http://www.agri-outlook.org>
- Pahkala, K., Hakala, K., Kontturi, M. & Niemeläinen, O. 2009. Peltobiomassat globaalina energianlähteenä. Maa- ja elintarviketalous 137. Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus. Jokioinen. 53 s.
<http://www.mtt.fi/met/pdf/met137.pdf>
- Pohjois-Pohjanmaan liitto 2015. Turpeen uudet jalostusmahdollisuudet.
<https://www.pohjois-pohjanmaa.fi/file.php?3667>
- Purola, T., Lehtonen, H., Liu, X., Tao, F. & Palosuo, T. 2018. Production of cereals in northern marginal areas: An integrated assessment of climate change impacts at the farm level. *Agricultural Systems* 162: 191-204.
<https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.01.018>

Pöyry Management Consulting Oy. 2017. Metsäbiomassan kustannustehokas käyttö. Valtioneuvoston selvitys ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 23/2017.

<http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-287-356-9>

Rantala S., Mustonen M. & Katila P. (toim.). 2018. Metsät muuttuvassa maailmassa: kansainväliset trendit ja keskeiset haasteet : Luonnonvarakeskuksen (Luke) ja Suomen ympäristökeskuksen (SYKE) taustaselvitys Kansainvälisen luonnonvarapolitiikan yhteistyöverkostolle. Luonnonvarakeskus, Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 1/2018.

Ruosteenoja, K., Jylhä, K & Kämäräinen, M. 2016a. Climate projections for Finland under the RCP forcing scenarios. Geophysica, Volume 51, Issue 1: 17–50.

http://www.geophysica.fi/pdf/geophysica_2016_51_1-2_017_ruosteenoja.pdf

Ruosteenoja, K., Räisänen, J., Venäläinen, A., Kämäräinen, M. & Pirinen, P. 2016b. Terminen kasvukausi lämpenevässä ilmastossa. Terra, 128:1: 3–15.

<http://en.ilmatieteenlaitos.fi/documents/31422/83635880/Ruosteenoja+Terminen+kasvukausi+%C3%A4mpenev%C3%A4ss%C3%A4%20ilmastossa+2016/5cd98a30-cab8-421d-970b-432ceb67fefd>

Storhammar E. & Tohmo T. 2018. Turvetuotannon aluetaloudellinen merkitys – turvetuotanto ja sen vaihtoehdot. Jyväskylän yliopiston kauppakorkeakoulun julkaisusarja 211/2018.

<https://jyx.jyu.fi/bitstream/handle/123456789/59518/978-951-39-7561-6.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Särkkä, L., Tuomola, P. & Jokinen, K. 2016. Ruokohelpi- ja järviruokopohjaisten materiaalien soveltuvuus tomaatin kasvualustaksi: Loppuraportti.

<http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-302-4>

Tao, F., Rötter, R.P., Palosuo, T., Höhn, J., Peltonen-Sainio, P., Rajala, A. & Salo, T. 2015. Assessing climate impacts on wheat yield and water use in Finland using a superensemble-based probabilistic approach. Clim. Res. 65, 23–37.

TEM 2017. Valtioneuvoston selonteko kansallisesta energia- ja ilmastostrategiasta vuoteen 2030. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja 4/2017.

<http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-327-190-6>

Tilastokeskus 2015. Väestöennuste 2015-2065.

http://tilastokeskus.fi/til/vaenn/2015/vaenn_2015_2015-10-30_fi.pdf

Tilastokeskus 2018a. Nuorten määrä uhkaa vähentyä huomattavasti syntyvyyden laskusta johtuen.

https://www.stat.fi/til/vaenn/2018/vaenn_2018_2018-11-16_tie_001_fi.html

Tilastokeskus 2018b. Greenhouse gas emissions in Finland 1990 to 2016. National Inventory Report under the UNFCCC and the Kyoto Protocol. 15 April 2018.

<https://unfccc.int/documents/65334>

Tilastokeskus 2019. Greenhouse gas emissions in Finland 1990 to 2017. Draft. National Inventory Report under the UNFCCC and the Kyoto Protocol. Submission to the European Union. 15 January 2019.

http://www.stat.fi/static/media/uploads/tup/khkinv/fi_nir_eu_2017_2019-01-15.pdf

Tähti, H. & Rintala, J. 2010. Biometaanin ja -vedyn tuotantopotentiaali Suomessa. Jyväskylän yliopiston Bio- ja ympäristötieteiden laitoksen tiedonantoja 29.

<http://urn.fi/URN:ISBN:978-951-39-4043-0>

UNFCCC 2015. United Nations Framework Convention on Climate Change: Adoption of the Paris Agreement 12.12.2015.

<https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/l09r01.pdf>

Vieraslajiportaali 2019. Vieraslajien aiheuttamat uhat ja riskit.

<http://www.vieraslajit.fi/fi/node/23>

van Vuuren, D., den Elzen, M., Lucas, P., Eickhout, B., Strengers, B., van Ruijven, B., Wonink, S. & van Houdt, R. 2007. Stabilizing greenhouse gas concentrations at low levels: an assessment of reduction strategies and costs. Climatic Change 81(2): 119-159.

<https://doi.org/10.1007/s10584-006-9172-9>

van Vuuren D. P., J. Edmonds, M. Kainuma, K. Riahi, A. Thomson, K. Hibbard, G. C. Hurtt, T. Kram, V. Krey, J. F. Lamarque, T. Masui, M. Meinshausen, N. Nakicenovic, S. J. Smith & S. K. Rose 2011. The representative concentration pathways: an overview. *Climatic Change* 109: 5–31.

<https://doi.org/10.1007/s10584-011-0148-z>

YM 2018. Pariisin ilmastopimukselle neuvoteltiin vahvat säännöt. Ympäristöministeriön tiedote 15.12.2018 klo 23.05.

<http://www.ym.fi/fi->

[FI/Ajankohtaista/Tiedotteet/Tiedotteet_2018/Pariisin_ilmastopimukselle_neuvoteltii\(48847\)](http://www.ym.fi/fi-)

YM 2017. Valtioneuvoston selonteko keskipitkän aikavälin ilmastopoliitikan suunnitelmasta vuoteen 2030 – Kohti ilmastoviisasta arkea.

<http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-11-4748-7>

Äijälä, O., Koistinen, A., Sved, J., Vanhatalo, K., & Väisänen, P. (toim.) 2014. Metsänhoidon suosituksset. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion julkaisuja.

http://tapio.fi/wp-content/uploads/2015/06/Metsanhoidon_suosituksset_ver3_netiti_1709141.pdf

Liite 1. Arvioidut KHK-päästövähennykset liittyen lannan energiapotentiaaliin biokaasuna.

Sari Luostarinen ja Kristiina Regina, Luonnonvarakeskus (Luke)

Laskenta

Lantamäärät ja niiden orgaanisen aineen (VS) pitoisuus laskettiin Suomen normilanta -järjestelmän avulla (Luostarinen ym. 2017a,b). Laskennasta huomioitiin suoraan eläinsuojasta tulevan lannan (ex housing) määrät ja VS-pitoisuus oletuksella, että lanta pyritään ohjaamaan biokaasuprosessiin korkeintaan hyvin lyhyellä välivarastoinnilla. Huomioitujen lantatyypit olivat lietelanta, kuivikelanta, kuivikepohjalanta ja erikseen kerätty kuivalanta. Erikseen kerättyä virtsaa ei huomioitu sen alhaisen orgaanisen aineen määrän vuoksi, ts. ei tuota merkittävästi biokaasua. Laitumelle jäävän lannan osuutta ei huomioitu naudoilla. Käytetyt eläinmäärät olivat vuodelta 2017 muille eläimille, paitsi vuodelta 2016 hevosilla ja turkiseläimillä.

Biokaasupotentiaalin laskentaa varten kuivat lannat laskettiin kunkin tarkastellun eläinluokan kohdalla yhteen ja lietelannat pidettiin erillään. Biokaasupotentiaali huomioitiin keskimääräisenä metaanintuottopotentiaalina (BMP), metaanin ollessa se energiapitoinen komponentti kaasussa (Taulukko A). Yhdessä kuutiossa metaania on 10 kWh energiaa, mitä käytettiin muuntoa metaanista energiaksi.

Kokonaislantamäärät ja niiden teoreettinen energiapotentiaali laskettiin vertailuksi tilanteelle 2017 sekä ennusteena vuodelle 2050. Eläinmäärät olivat muuten kuten päästöskenaarioissa, mutta lampaille arvioitiin lievä kasvu. Laskennassa ei huomioitu mahdollista muutosta lannankäsittelyssä, vaan se pidettiin Suomen maatalouden tyyppipäästöjen laskennan vuoden 2015 tilanteen mukaisena (Grönroos ym. 2017).

Taulukko A. Lantojen keskimääräiset metaanintuottopotentiaalit.

	BMP (m ³ CH ₄ /tVS)	Lähde
Naudat, liete	200	Luke Maaninka / Baltic Manure-hanke
Naudat, kuiva	200	Luke Maaninka / Baltic Manure-hanke
Siat, liete	320	Lantateko ym. Luken hankkeet
Siat, kuiva	230	Baltic Manure-hanke
Munituskanat	260	TEHOLANTA-hanke
Broilerit	160	TEHOLANTA-hanke
Kalkkunat	150	TEHOLANTA-hanke
Muu siipikarja	150	kalkkunanlannan mukaan
Hevoset ja point	160	Luke
Lampaat ja vuohet	100	Tähti & Rintala 2010
Turkiseläimet	216 (ketut) 250 (minkit)	Turkisteho-hanke

Lisäksi laskettiin arvio teknistaloudellisesti toteutettavasta energiapotentiaalista vuonna 2050. Laskennassa oletettiin eri eläinryhmien lannoista erilaisten osuuksien olevan käytettävissä biokaasulaitoksissa (Taulukko B). Arvio on Luken asiantuntija-arvio, joka perustuu arvioon tilakoon suurenemisesta ja biokaasun liikennepolttoainekäytön ja ravinnekiertojen kasvattamisen tarpeesta.

Taulukko B. Biokaasulaitoksiin päätyvän lannan arvioidut osuudet vuonna 2050.

	Osuus biokaasulaitoksiin %
Naudat, liete	60
Naudat, kuiva	40
Siat, liete	60
Siat, kuiva	40
Munituskanat	40
Broilerit	30
Kalkkunat	30
Hevoset	30
Lampaat ja vuohet	0
Turkiseläimet	60

Tulokset

Lannan teoreettinen energiapotentiaali biokaasuna vuonna 2050

Suomessa muodostuisi laskennan perusteella noin 12,25 miljoonaa tonnia erilaisia lantoja vuonna 2050 laskettuna eläinsuojasta poistettavalle lannalle ja pois lukien laitumelle jäävä lanta. Erikseen kerätty virtsa tästä poistaen teoreettisesti biokaasulaitoksissa prosessoitava lantamäärä olisi tällöin ollut noin 11,5 milj. t/a.

Suomen lantojen teoreettinen biokaasupotentiaali energiana on esitetty taulukossa C.

Taulukko C. Suomen lantojen energiapotentiaali biokaasuna vuonna 2050. Laitumelle jäävän lannan osuus vähennettynä, erilliskerättyä virtsaa ei huomioitu.

	Laidunlanta vähennetty		Energiaa biokaasusta	
	Lanta (t/a)	VS (t/a)	MWh/a	TWh/a
Naudat, liete	4 974 934	345 632	691265	0,69
Naudat, kuiva	3 179 289	825499	1650998	1,65
Siat, liete	2 105 740	137399	439677	0,44
Siat, kuiva	62 414	11115	25564	0,03
Munituskanat	109338	27969	72719	0,07
Broilerit	141984	79337	126940	0,13
Kalkkunat	10 145	5310	7965	0,01
Hevoset	676 904	202033	323252	0,32
Lampaat ja vuohet	15 927	11040	11040	0,01
Turkiseläimet	186 057	46991	109488	0,11
Yhteensä	11 462 731	1 692 325	3 458 909	3,46

Lannan teknistaloudellinen energiapotentiaali biokaasuna vuonna 2050

Taulukossa B esitetyillä oletuksilla biokaasulaitoksiin päätyvästä lannasta ja taulukon C lantamäärien ja niiden energiasisällön mukaan vuonna 2050 lantabiokaasua voisi tuottaa noin 1,6 TWh vuosittain (Taulukko D).

Taulukko D. Ennuste vuoden 2050 eläin- ja lantamäärien mukaisesta lantabiokaasun tuotannosta huomioiden taulukossa B esitetyt osuudet kunkin eläinluokan biokaasulaitoksiin päätyvän lannan osuuksista.

	Energiaa biokaasusta	
	MWh/a	TWh/a
Naudat, liete	414759	0,41
Naudat, kuiva	660399	0,66
Siat, liete	263806	0,26
Siat, kuiva	10226	0,01
Munituskanat	29088	0,03
Broilerit	38082	0,04
Kalkkunat	2390	0,00
Hevoset	96976	0,10
Lampaat ja vuohet	0	0,00
Turkiseläimet	65693	0,07
Yhteensä	1581418	1,58

Arvio päästövähennyksistä

Jos taulukon D mukaisen biokaasumäärän oletetaan korvaavan kevyttä polttoöljyä energi-
anlähteenä, on päästövähennys maatalouden energiankäytössä noin 0,4 Mt CO₂-ekv. Myös
lannankäsittelyn päästöjen voidaan arvella vähentyvän hieman, arviolta 0,06 Mt CO₂-ekv.
vuonna 2050.

Liite 2. Arvio tuotannon kehityksestä Maatalous-WEM- ja Maatalous-WEMi-skenaarioissa.

Taulukko A. Arvio tuotannon kehityksestä Maatalous-WEM-skenaariossa vuoteen 2050.

	1990	2000	2017	2020	2030	2040	2050	2050/2017
Kaikki naudat (kappaletta)	1359705	1086800	893200	884884	820732	782410	752215	0,84
Lypsylehmät (kpl)	489918	372400	275000	263667	256678	245083	238733	0,87
Emolehmät (kpl)	14176	29600	59900	68804	51689	48886	43891	0,73
Siat (kpl)	1394100	1296000	1135598	1101349	1077451	1062817	1051621	0,93
Lampaat ja vuohet (kpl)	109158	108600	161200	161200	161200	161200	161200	1,00
Hevoset (kpl)	43900	54500	78000	82000	82000	82000	82000	1,05
Siipikarja (kpl)	9028300	10784400	13135600	12867438	12954253	12448388	12536240	0,95
Lypsylehmien keskituotos (litraa/lehmä/vuosi)	5547	6786	8500	8806	9630	10424	10499	1,24
Maidontuotanto (milj. l.)	2718	2471	2338	2322	2472	2555	2506	1,07
Väkilannoitus (tonnia N)	228470	167276	164956	153743	151989	151025	151975	0,92
Väkilannoitus, (keskim. kg N/ha)	109	83	74	80	84	87	89	1,21
1000 ha								
Viljat ja muut kasvit	1406	1319	1271	1225	1172	1096	1021	0,80
Nurmiala	682	687	717	704	631	647	687	0,96
Kesanto	183	181	254	240	240	240	240	0,94
Viljelty ala	2271	2187	2242	2169	2043	1982	1947	0,87
Tuotantomäärät, milj. Kg								
Syysvehnä	137	148	153	65	86	131	59	0,39
Kevätvehnä	490	391	649	521	367	271	332	0,51
Ruis	244	108	114	94	85	52	39	0,35
Ohra	1720	1985	1460	1495	1579	1655	1658	1,14
Kaura	1662	1413	1014	1273	1200	1084	924	0,91
Sekavilja	NA	51	29	69	68	41	11	0,37
Vilja yhteensä		4095	3418	3517	3385	3234	3023	0,88
Öljykasvit	117	71	91	119	113	110	44	0,48
Herne	9	12	9	11	10	10	9	1,03
Peruna	881	785	612	648	631	626	626	1,02
Sokerijuurikas	1125	1046	430	395	253	193	183	0,42

Taulukko B. Arvio tuotannon kehityksestä Maatalous-WEMi-skenaariossa vuoteen 2050.

	2017	2020	2030	2040	2050	2050/2017
Kaikki naudat (kappaletta)	893200	884884	841982	794001	744225	0,83
Lypsylehmät (kpl)	275000	263667	262676	246459	240841	0,88
Emolehmät (kpl)	59900	68804	53675	51865	38782	0,65
Siat (kpl)	1135598	1101349	1079119	1065926	1050610	0,93
Lampaat ja vuohet (kpl)	161200	161200	161200	161200	161200	1,00
Hevoset (kpl)	78000	81000	82000	82000	82000	1,05
Siipikarja (kpl)	13135600	13424480	12904971	13026681	12538849	0,95
Lypsylehmien keskituotos (litraa/lehmä/vuosi)	8500	8806	9637	10476	10637	1,25
Maidontuotanto (milj. l.)	2338	2322	2532	2582	2562	1,10
Epäorgaaninen typpilannoitus, tonnia N	164956	153743	143729	136033	138794	0,84
Epäorg. typpilannoitus keskim. kg N/ha	74	80	84	82	85	1,15
1000 ha						
Viljat ja muut kasvit	1271	1225	1093	1053	942	0,74
Nurmiala	717	704	627	603	696	0,97
Kesanto	254	240	280	280	280	1,10
Viljelty ala	2242	2169	2001	1936	1918	0,86
Tuotantomäärät, milj. kg						
Syysvehnä	153	65	43	38	38	0,25
Kevätvehnä	649	521	426	394	356	0,55
Ruis	114	94	88	89	25	0,22
Ohra	1460	1495	1565	1661	1660	1,14
Kaura	1014	1273	1255	1180	954	0,94
Sekavilja	29	69	56	28	7	0,25
Vilja yhteensä	3418	3517	3433	3391	3040	0,89
Öljykasvit	91	119	114	111	37	0,41
Herne	9	11	10	10	9	1,03
Peruna	612	648	632	626	626	1,02
Sokerijuurikas	430	395	251	197	188	0,44

Liite 3. Maankäytön muutokset maankäyttöluokittain eräissä LULUCF-skenaarioissa

Taulukko A. Maankäytön muutokset maankäyttöluokittain LULUCF-WEM-skenaariossa.

Maankäyttö muutoksen jälkeen	Maankäyttö ennen muutosta	2015	2021	2031	2041	2050
		ha / vuosi				
Metsämaa	Viljelysmaa, kiv.	880	680	680	680	680
	Viljelysmaa, org.	140	140	140	140	140
	Ruohikkoalueet, kiv.	1 698	1 698	1 698	1 698	1 698
	Ruohikkoalueet, org.	523	523	523	523	523
	Turvetuotanto	1 311	1 489	1 311	1 191	1 191
	Kosteikko	576	577	575	575	575
	Rakennettu maa	870	870	870	870	870
Viljelysmaa	Metsämaa, kiv.	2 100	2 100	1 900	1 900	1 900
	Metsämaa, org.	1 150	1 150	1 050	1 050	1 050
	Ruohikkoalueet, kiv.	210	210	210	210	210
	Ruohikkoalueet, org.	40	40	40	40	40
	Turvetuotanto	670	670	570	436	436
	Kosteikko	180	180	180	180	180
Ruohikkoalueet	Metsämaa, kiv.	345	345	345	345	345
	Metsämaa, org.	131	131	131	131	131
	Viljelysmaa, kiv.	1 845	1 845	1 845	1 845	1 845
	Viljelysmaa, org.	530	530	530	530	530
	Turvetuotanto	62	62	62	50	50
	Kosteikko	32	32	33	32	33
Turvetuotanto	Metsämaa	596	596	852	852	852
	Kosteikko	244	244	348	348	348
Kosteikko	Metsämaa	487	488	487	487	487
	Turvetuotanto	376	406	376	305	305
Rakennettu maa	Metsämaa	9 934	10 070	9 394	7 836	7 058
	Viljelysmaa	983	997	927	771	694
	Ruohikkoalueet	497	503	469	391	351
	Kosteikko	426	432	405	340	306
	Muu maa	180	182	171	143	128

Taulukko B. Maankäytön muutokset maankäyttöluokittain LULUCF-LT1-skenaariossa

		2015	2021	2031	2041	2050
Maankäyttö muutoksen jälkeen	Maankäyttö ennen muutosta	ha / vuosi				
Metsämaa	Viljelysmaa, kiv.	880	2525	2525	2525	2525
	Viljelysmaa, org.	140	670	670	670	670
	Ruohikkoalueet, kiv.	1 698	84 680	1 578	0	0
	Ruohikkoalueet, org.	523	43 416	1 805	0	0
	Turvetuotanto	1 311	2 627	74 047	0	0
	Kosteikko	576	577	575	575	575
	Rakennettu maa	870	870	870	870	870
Viljelysmaa	Metsämaa, kiv.	2 100	2 100	1 900	1 900	1 900
	Metsämaa, org.	1 150	0	0	0	0
	Ruohikkoalueet, kiv.	210	210	210	210	210
	Ruohikkoalueet, org.	40	0	0	0	0
	Turvetuotanto	670	0	0	0	0
	Kosteikko	180	0	0	0	0
Ruohikkoalueet	Metsämaa, kiv.	345	0	0	0	0
	Metsämaa, org.	131	0	0	0	0
	Viljelysmaa, kiv.	1 845	0	0	0	0
	Viljelysmaa, org.	530	0	0	0	0
	Turvetuotanto	62	0	0	0	0
	Kosteikko	32	0	0	0	0
Turvetuotanto	Metsämaa	596	0	0	0	0
	Kosteikko	244	0	0	0	0
Kosteikko	Metsämaa	487	488	487	487	487
	Turvetuotanto	376	0	0	0	0
Rakennettu maa	Metsämaa	9 934	10 070	9 394	7 836	7 058
	Viljelysmaa	983	997	927	771	694
	Ruohikkoalueet	497	503	469	391	351
	Kosteikko	426	432	405	340	306
	Muu maa	180	182	171	143	128

Taulukko C. Maankäytön muutokset maankäyttöluokittain LULUCF-LT2-skenaariossa

Maankäyttö muutoksen jälkeen	Maankäyttö ennen muutosta	2015	2021	2031	2041	2050
		ha / vuosi				
Metsämaa	Viljelysmaa, kiv.	880	680	5871	4248	4248
	Viljelysmaa, org.	140	140	1067	777	777
	Ruohikkoalueet, kiv.	1 698	1 698	1 698	1 698	1 698
	Ruohikkoalueet, org.	523	523	523	523	523
	Turvetuotanto	1 311	2 277	2 099	1 979	1 979
	Kosteikko	576	577	575	575	575
	Rakennettu maa	870	870	870	870	870
Viljelysmaa	Metsämaa, kiv.	2 100	2 100	1 900	1 900	1 900
	Metsämaa, org.	1 150	1 150	1 050	1 050	1 050
	Ruohikkoalueet, kiv.	210	210	210	210	210
	Ruohikkoalueet, org.	40	40	40	40	40
	Turvetuotanto	670	670	570	436	436
	Kosteikko	180	180	180	180	180
Ruohikkoalueet	Metsämaa, kiv.	345	345	345	345	345
	Metsämaa, org.	131	131	131	131	131
	Viljelysmaa, kiv.	1 845	1 845	6 319	4 919	4 919
	Viljelysmaa, org.	530	530	1 578	1 251	1 251
	Turvetuotanto	62	62	62	50	50
	Kosteikko	32	32	33	32	33
Turvetuotanto	Metsämaa	596	0	0	0	0
	Kosteikko	244	0	0	0	0
Kosteikko	Metsämaa	487	488	487	487	487
	Turvetuotanto	376	406	376	305	305
Rakennettu maa	Metsämaa	9 934	9 898	7 272	4 381	2 602
	Viljelysmaa	983	976	710	428	252
	Ruohikkoalueet	497	492	360	216	129
	Kosteikko	426	423	311	189	111
	Muu maa	180	188	149	88	56

Liite 4. Puuston runkotilavuuden, kasvun ja hakkuukertymän kehitys LULUCF-skenaarioissa.

Taulukko A. Puuston runkotilavuuden (milj. m³) ja puuston hiilivaraston (milj. t) kehitys 2011-2055.

	2011	2015	2025	2035	2045	2055
LULUCF-WEM / LULUCF-LT1						
Metsä- ja kitumaan runkopuun tilavuus, milj. m³	2 360,6	2 478,1	2 780,4	3 027,8	3 335,3	3 717,7
Mänty	1 190,8	1 261,5	1 416,7	1 528,9	1 649,9	1 770,7
Kuusi	710,7	749,6	856,0	985,3	1 169,1	1 427,8
Koivu	381,7	394,2	433,4	440,8	448,2	457,0
Muu lehtipuu	77,4	72,8	74,2	72,7	68,0	62,2
Puuntuotannon metsämaan runkotilavuus, milj. m³	2 090,4	2 186,8	2 431,8	2 622,1	2 873,2	3 199,7
Mänty	1 039,3	1 098,3	1 222,5	1 304,1	1 394,2	1 484,0
Kuusi	640,7	673,6	763,4	875,5	1 042,4	1 284,2
Koivu	339,7	349,2	379,8	379,1	378,9	380,3
Muu lehtipuu	70,7	65,8	66,1	63,4	57,7	51,3
Puuntuotannon metsämaan tukkitilavuus, milj. m³	639,5	686,9	795,5	919,0	1 093,9	1 330,4
Puuntuotannon metsämaan kuitutilavuus, milj. m³	1 297,9	1 341,8	1 512,5	1 599,8	1 675,8	1 772,0
Puuston sitoma hiili, milj. t C	827,7	868,0	975,2	1 063,0	1 172,5	1 304,9
LULUCF-LT2						
Metsä- ja kitumaan runkopuun tilavuus, milj. m³	2 360,6	2 476,2	2 765,7	3 065,2	3 593,3	4 197,6
Mänty	1 190,8	1 260,3	1 422,1	1 592,2	1 850,6	2 104,2
Kuusi	710,7	748,8	848,2	970,3	1 209,0	1 538,9
Koivu	381,7	394,3	424,3	433,4	464,9	490,5
Muu lehtipuu	77,4	72,8	71,2	69,3	68,9	64,0
Puuntuotannon metsämaan runkotilavuus, milj. m³	2 090,4	2 184,9	2 417,1	2 659,6	3 131,3	3 679,7
Mänty	1 039,3	1 097,1	1 227,9	1 367,4	1 594,9	1 817,5
Kuusi	640,7	672,7	755,6	860,5	1 082,3	1 395,3
Koivu	339,7	349,3	370,7	371,7	395,5	413,8
Muu lehtipuu	70,7	65,8	63,0	60,0	58,5	53,1
Puuntuotannon metsämaan tukkitilavuus, milj. m³	639,5	685,2	782,7	926,1	1 182,6	1 518,8
Puuntuotannon metsämaan kuitutilavuus, milj. m³	1 297,9	1 342,2	1 511,9	1 630,9	1 839,9	2 056,6
Puuston sitoma hiili, milj. t C	827,7	867,4	970,1	1 075,5	1 260,0	1 467,1

LULUCF-LT2i						
Metsä- ja kitumaan runkopuun tilavuus, milj. m³	2 360,6	2 476,1	2 777,6	3 129,9	3 758,9	4 512,4
Mänty	1 190,8	1 260,5	1 430,9	1 632,0	1 945,8	2 276,7
Kuusi	710,7	748,7	851,8	994,5	1 274,6	1 673,7
Koivu	381,7	394,1	423,7	433,7	468,5	496,3
Muu lehtipuu	77,4	72,8	71,3	69,7	70,0	65,8
Puuntuotannon metsämaan runkotilavuus, milj. m³	2 090,4	2 184,8	2 427,9	2 719,5	3 286,4	3 977,2
Mänty	1 039,3	1 097,3	1 236,0	1 404,4	1 684,0	1 979,8
Kuusi	640,7	672,7	759,0	883,6	1 145,6	1 526,3
Koivu	339,7	349,0	369,9	371,2	397,3	416,5
Muu lehtipuu	70,7	65,8	63,1	60,3	59,5	54,6
Puuntuotannon metsämaan tukkitilavuus, milj. m³	639,5	685,4	788,6	960,0	1 275,9	1 708,5
Puuntuotannon metsämaan kuitutilavuus, milj. m³	1 297,9	1 342,0	1 517,9	1 658,5	1 903,5	2 166,9
Puuston sitoma hiili, milj. t C	827,7	867,3	974,1	1 098,2	1 318,2	1 576,9
Suurin puuntuotannollisesti ja taloudellisesti kestävä						
Metsä- ja kitumaan runkopuun tilavuus, milj. m³	2 360,6	2 476,7	2 548,2	2 583,1	2 660,8	2 821,8
Mänty	1 190,8	1 261,3	1 293,4	1 302,1	1 271,8	1 250,3
Kuusi	710,7	750,5	792,8	838,2	954,2	1 127,5
Koivu	381,7	392,9	397,7	383,0	379,3	390,7
Muu lehtipuu	77,4	71,9	64,3	59,8	55,6	53,3
Puuntuotannon metsämaan runkotilavuus, milj. m³	2 090,4	2 185,4	2 199,6	2 177,4	2 198,7	2 303,9
Mänty	1 039,3	1 098,1	1 099,2	1 077,2	1 016,0	963,7
Kuusi	640,7	674,4	700,2	728,4	827,5	983,9
Koivu	339,7	347,9	344,1	321,3	310,0	314,0
Muu lehtipuu	70,7	64,9	56,2	50,5	45,3	42,4
Puuntuotannon metsämaan tukkitilavuus, milj. m³	639,5	689,4	672,4	671,1	689,2	727,2
Puuntuotannon metsämaan kuitutilavuus, milj. m³	1 297,9	1 340,2	1 411,1	1 411,9	1 405,3	1 471,1
Puuston sitoma hiili, milj. t C	827,7	867,3	896,5	914,9	952,6	1 020,3

Taulukko B. Puuston kasvu ja kokonaispoistuma 2011-2054.

	2011-2014	2015-2024	2025-2034	2035-2044	2045-2054
LULUCF-WEM / LULUCF-LT1					
Kasvu, milj. m ³ /v	106,2	111,8	115,3	122,5	129,8
Kasvu puuntuotannon metsämaa, milj. m ³	99,6	105,1	108,3	115,1	122,2
Runkopuun kokonaispoistuma, milj. m ³ /v	77,1	81,6	90,6	91,7	91,5
LULUCF-LT2					
Kasvu, milj. m ³ /v	106,1	111,8	115,4	125,0	136,8
Kasvu puuntuotannon metsämaa	99,6	105,0	108,4	117,6	129,2
Runkopuun kokonaispoistuma, milj. m ³ /v	77,3	82,8	85,4	72,2	76,4
LULUCF-LT2i					
Kasvu, milj. m ³ /v	106,2	113,2	121,1	136,1	153,2
Kasvu puuntuotannon metsämaa	99,7	106,3	113,7	128,1	144,8
Runkopuun kokonaispoistuma, milj. m ³ /v	77,3	83,0	85,9	73,2	77,9
Suurin puuntuotannollisesti ja taloudellisesti kestävä					
Kasvu, milj. m ³ /v	106,1	109,7	108,6	112,9	121,4
Kasvu puuntuotannon metsämaa	99,6	102,9	101,6	105,6	113,8
Runkopuun kokonaispoistuma, milj. m ³ /v	77,1	102,5	105,1	105,2	105,2

Taulukko C. Runkopuun hakkuukertymä sekä oksien ja kantojen korjuumäärä vuosina 2011-2054, milj. m³/v

	2011-2014	2015-2024	2025-2034	2035-2044	2045-2054
LULUCF-WEM / LULUCF-LT1					
Runkopuun hakkuukertymä, milj. m ³ /v	62,8	71,5	80,2	81,4	81,2
Ainespuukertymä, milj. m ³ /v	54,2	61,7	68,1	69,3	69,2
Mänty	24,8	29,4	34,3	35,9	35,9
Kuusi	20,4	23,3	24,6	24,5	24,5
Lehtipuu	8,9	9,0	9,1	8,9	8,8
Tukkikertymä, milj. m ³ /v	23,2	26,7	28,3	29,0	28,9
Mäntytukki	10,0	12,1	13,9	14,8	14,8
Kuusitukki	12,0	13,4	13,2	12,9	12,9
Lehtitukki	1,1	1,2	1,3	1,3	1,3
Kuitukertymä, milj. m ³ /v	31,0	35,0	39,8	40,3	40,2
Mäntykuitu	14,8	17,3	20,4	21,1	21,1
Kuusikuitu	8,4	10,0	11,5	11,6	11,7
Lehtikuitu	7,8	7,7	7,9	7,6	7,5
Ainespuukertymä hakkuutavoittain, milj. m ³ /v	54,2	61,7	68,1	69,3	69,2
Harvennushakkuu	21,8	16,5	27,0	29,5	32,1
Ylispuiden poisto	1,7	2,0	3,6	2,9	2,1
Päätehakkuu	30,7	43,3	37,5	36,8	35,0
Energiapuukertymä, milj. m ³ /v	12,3	17,2	19,2	19,3	19,3
Runkopuu	8,6	9,8	12,1	12,1	12,0
Oksat	3,4	6,6	6,2	6,2	6,3
Kanto ja > 10 cm juuret	0,3	0,9	0,9	1,0	1,0
LULUCF-LT2					
Runkopuun hakkuukertymä, milj. m ³ /v	62,8	72,7	75,1	61,6	65,1
Ainespuukertymä, milj. m ³ /v	54,2	63,2	65,2	51,8	51,6
Mänty	24,8	28,5	29,5	23,4	23,4
Kuusi	20,4	24,2	25,0	19,9	19,9
Lehtipuu	9,0	10,4	10,7	8,5	8,3
Tukkikertymä, milj. m ³ /v	23,2	28,4	28,4	24,6	24,6
Mäntytukki	10,0	12,2	12,2	10,6	10,6
Kuusitukki	12,0	14,6	14,6	12,7	12,7
Lehtitukki	1,2	1,5	1,6	1,4	1,4
Kuitukertymä, milj. m ³ /v	31,0	34,8	36,8	27,2	27,0
Mäntykuitu	14,8	16,3	17,3	12,9	12,9
Kuusikuitu	8,5	9,6	10,4	7,2	7,2
Lehtikuitu	7,8	8,9	9,2	7,2	6,9
Ainespuukertymä hakkuutavoittain, milj. m ³ /v	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Harvennushakkuu	21,5	16,0	28,2	25,3	28,8
Ylispuiden poisto	1,8	2,1	3,4	2,5	1,3
Päätehakkuu	30,9	45,0	33,5	24,0	21,5
Energiapuukertymä, milj. m ³ /v	12,4	17,3	16,4	15,4	20,0
Runkopuu	8,6	9,6	9,9	9,7	13,5
Oksat	3,0	6,8	5,5	4,7	5,5
Kanto ja > 10 cm juuret	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0

LULUCF-LT2i					
Runkopuun hakkuukertymä, milj. m ³ /v	62,8	72,8	75,2	61,7	65,3
Ainespuukertymä, milj. m ³ /v	54,2	63,2	65,2	51,8	51,6
Mänty	24,8	28,5	29,5	23,4	23,4
Kuusi	20,4	24,2	25,0	19,9	19,9
Lehtipuu	9,0	10,5	10,7	8,5	8,4
Tukkikertymä, milj. m ³ /v	23,2	28,4	28,4	24,6	24,6
Mäntytukki	10,0	12,2	12,2	10,6	10,5
Kuusitukki	12,0	14,6	14,6	12,7	12,7
Lehtitukki	1,2	1,6	1,6	1,4	1,4
Kuitukertymä, milj. m ³ /v	31,0	34,8	36,8	27,2	27,1
Mäntykuitu	14,8	16,3	17,3	12,9	12,9
Kuusikuitu	8,5	9,6	10,4	7,2	7,2
Lehtikuitu	7,8	8,9	9,2	7,2	7,0
Ainespuukertymä hakkuutavoittain, milj. m ³ /v	54,2	63,2	65,2	51,8	51,6
Harvennushakkuu	21,6	15,9	29,3	27,3	31,2
Ylispuiden poisto	1,7	2,1	3,5	2,7	1,3
Päätehakkuu	30,9	45,2	32,3	21,8	19,2
Energiapuukertymä, milj. m ³ /v	12,3	17,3	16,4	15,4	20,1
Runkopuu	8,6	9,6	10,0	9,9	13,7
Oksat	2,9	6,7	5,4	4,6	5,5
Kanto ja > 10 cm juuret	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Suurin puuntuotannollisesti ja taloudellisesti kestävä					
Runkopuun hakkuukertymä, milj. m ³ /v	62,8	92,7	95,7	95,5	95,4
Ainespuukertymä, milj. m ³ /v	54,2	85,4	87,1	87,2	87,2
Mänty	24,8	41,2	41,3	44,0	42,4
Kuusi	20,4	29,8	31,7	29,9	33,0
Lehtipuu	9,0	14,4	14,2	13,2	11,8
Tukkikertymä, milj. m ³ /v	23,2	40,2	39,7	40,3	40,8
Mäntytukki	10,0	19,8	19,3	21,0	19,9
Kuusitukki	12,0	17,6	0,0	16,4	0,0
Lehtitukki	1,2	2,8	2,7	2,8	2,5
Kuitukertymä, milj. m ³ /v	31,0	45,2	47,4	46,9	46,3
Mäntykuitu	14,8	21,4	22,0	23,0	22,5
Kuusikuitu	8,4	12,2	13,9	13,5	14,6
Lehtikuitu	7,8	11,6	11,5	10,4	9,3
Ainespuukertymä hakkuutavoittain, milj. m ³ /v	54,2	85,4	87,1	87,2	87,2
Harvennushakkuu	20,9	17,7	27,0	26,2	28,8
Ylispuiden poisto	1,7	2,7	3,7	3,1	2,9
Päätehakkuu	31,6	65,1	56,4	57,9	55,4
Energiapuukertymä, milj. m ³ /v	12,3	17,2	17,4	17,4	17,5
Runkopuu	8,6	7,3	8,6	8,3	8,2
Oksat	3,4	8,9	7,8	8,1	8,2
Kanto ja > 10 cm juuret	0,3	1,0	1,0	1,0	1,0

