

**LISÄÄ TAI VAIHDA
KUVA TÄHÄN**

[Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus XX/20XX]

Hiilineutraali Suomi 2035 Maankäyttö- ja maataloussektorin perusskenaario (WEM)

LUONNOS 11.6.2021

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

Hiilineutraali Suomi 2035 Maankäyttö- ja maataloussektorin perusskenaario (WEM)

LUONNOS 11.6.2021

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

Sisällys

1. Laskentamenetelmät	5
1.1. Maatalouden osittaistasapainomalli DREMFA.....	5
1.2. Metsävarojen kehityksen mallinnus MELA-ohjelmistolla	6
1.3. Maankäytön ja maankäytön muutosten pinta-alojen määrittäminen.....	9
1.4. Kasvihuonekaasupäästöjen ja poistumien laskenta	9
1.4.1. Laskentamenetelmä ja lämmitysvaikutusarvot (GWP).....	9
1.4.2. Maataloussektorin päästölaskenta	10
1.4.3. LULUCF-sektorin päästölaskenta.....	10
2. Skenaarioiden kuvaukset	12
2.1. Maatalous	12
2.1.1. Perusskenaario (WEM).....	12
2.2. Metsätalous ja maankäyttö.....	14
2.2.1. Perusskenaario (WEM).....	17
3. Kasvihuonekaasupäästövaikutukset.....	24
3.1. Maataloussektori.....	24
3.2. LULUCF-sektori	25
4. Viitteet.....	28
5. Liitteet	32
5.1. Puuta jalostavan teollisuuden ja energiantuotannon puuntarve sekä hakkuukertymätavoite	32
5.2. Metsikkösimuloinnin kuvaus MELA2016-ohjelmistolla.....	33
5.2.1. Metsiköiden kehityspolkujen simulointi.....	33
5.2.2. Kasvuntason kalibrointi	34
5.2.3. Puutavaralajeittainen tilavuuksien laskenta	34
5.2.4. Hintaoletukset.....	34
5.3. Metsien kehityksen ennustamisen erot MALUSEPO- ja HIISI-laskelmien välillä	38
5.4. Puuston runkotilavuuden, kasvun ja hakkuukertymän kehitys WEM-skenaariossa.....	3
5.5. Maankäytön muutokset WEM-skenaariossa	3

1. Laskentamenetelmät

1.1. Maatalouden osittaistasapainomalli DREMFA

Heikki Lehtonen

DREMFA (Dynamic multiREgional sector Model of Finnish Agriculture; Lehtonen 2001, 2015) 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 tukivyyöhykkejaon mukaisesti. Näin saavutetaan varsin tarkka tukipolitiikan kuvaus. Poro-, hevos- ja lammastaloutta ei ole DREMFA-mallissa mukana ja näiden eläinten määrien on oletettu maatalouden skenaariotarkasteluissa pysyvän lähellä 2019 tasoa vuoteen 2050. Myöskään turkistarhausta ja puutarhataloutta ei ole mallissa mukana. Malli kuitenkin kattaa yli 95 % maatalousmaan käytöstä.

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

Maatalouden tuote- ja panoshinnat määräytyvät pääosin EU- ja globaalilla tasolla, ja siten ulkoiset panos- ja tuotehinnat pätevät ulkomaankaupassa eli viennissä ja tuonnissa. Kotimaan markkinoilla maataloustuotteiden hintataso voi kuitenkin vähäisessä määrin poiketa EU:n keskihinnosta. Tuotekohtaiset hintapoikkeamat vastaavat viimeisen 20 vuoden aikana toteutuneita poikkeamia ja ne toteutuvat mallin maidon ja lihan tuottajahinnoissa siten, että kotimaiset ja ulkomaiset tuotteet ovat epätäydellisiä substituutteja keskenään. Ne voivat siten korvata toisiaan varsin pitkälle, mutta kuitenkin rajallisesti ollen laadullisesti erilaisia. Esimerkiksi Suomeen tuodaan ja Suomesta viedään osin erilaista lihaa (eri ruhonosia) ja eri maitotuotteita (joita mallissa mukana yhteensä 18 erilaista).

Eläinten rehunkulutus muuttuu hintasuhteiden ohjaamana ruokintasuositusten antamissa 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 1995–2019 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 2050.

Malli on alun perin suunniteltu ja toteutettu siten, että sen avulla on mahdollista arvioida erityisesti CAP:in (Common Agricultural Policy) muutosten vaikutuksia: EU:n maataloustuet tukiehtoineen ja Suomen kansalliset maataloustuet vaikuttavat maataloustuotannon määrään, sijoittumiseen ja maataloustuloon Suomessa. Viimeisin tähän liittyvä julkaistu tutkimus on Lehtonen & Niemi (2018). DREMFA-mallia on sovellettu myös arvioitaessa

markkinamuutosten, ympäristötukijärjestelmän (Lehtonen & Rankinen 2015) ja muuttuvan ilmaston vaikutuksia maatalouden tuotantoon, pellonkäyttöön ja tuloihin (Lehtonen 2015).

DREMFIA-mallinnus huomioi Tilastokeskuksen väkilukuennusteet (Suomen virallinen tilasto 2019) ja energian ennustetun hintakehityksen vuosisadan puoliväliin asti. DREMFIA-sektorimalliin on mahdollista sisällyttää eri skenaarioissa määriteltyjä muutoksia kasvien sadoissa, maatalouden tuottavuudessa, panoskäytössä ja maataloustuissa sekä maatalouden lopputuotteiden ja panoshintojen EU-hinnoissa. Esimerkiksi epäorgaanisten lannoitteiden hintojen nousu, joka aiheutuu fossiilisen energian hintojen noususta, vaikuttaa mallissa suoraan kasvin lannoitusta ja satotasoa vähentävästi. Uudet ja osin muita tukia korvaavat maataloustuet matalan lannoitustason nurmille kannustavat tyyppiä sitovien apilanurmiseosten käyttöön. Tämä toteutuu mallissa siten, että voimakkaaseen epäorgaaniseen typpilannoitukseen perustuvan säilörehunurmen tuotanto vähenee ja korvautuu osittain matalamman lannoituksen ja satotason nurmituotannolla (Lehtonen & Niskanen 2016). Biokaasutuotannon vaikutukset kotieläintuotantoon voidaan ottaa huomioon olettamalla pieni energiakustannusten väheneminen kotieläintaloudessa.

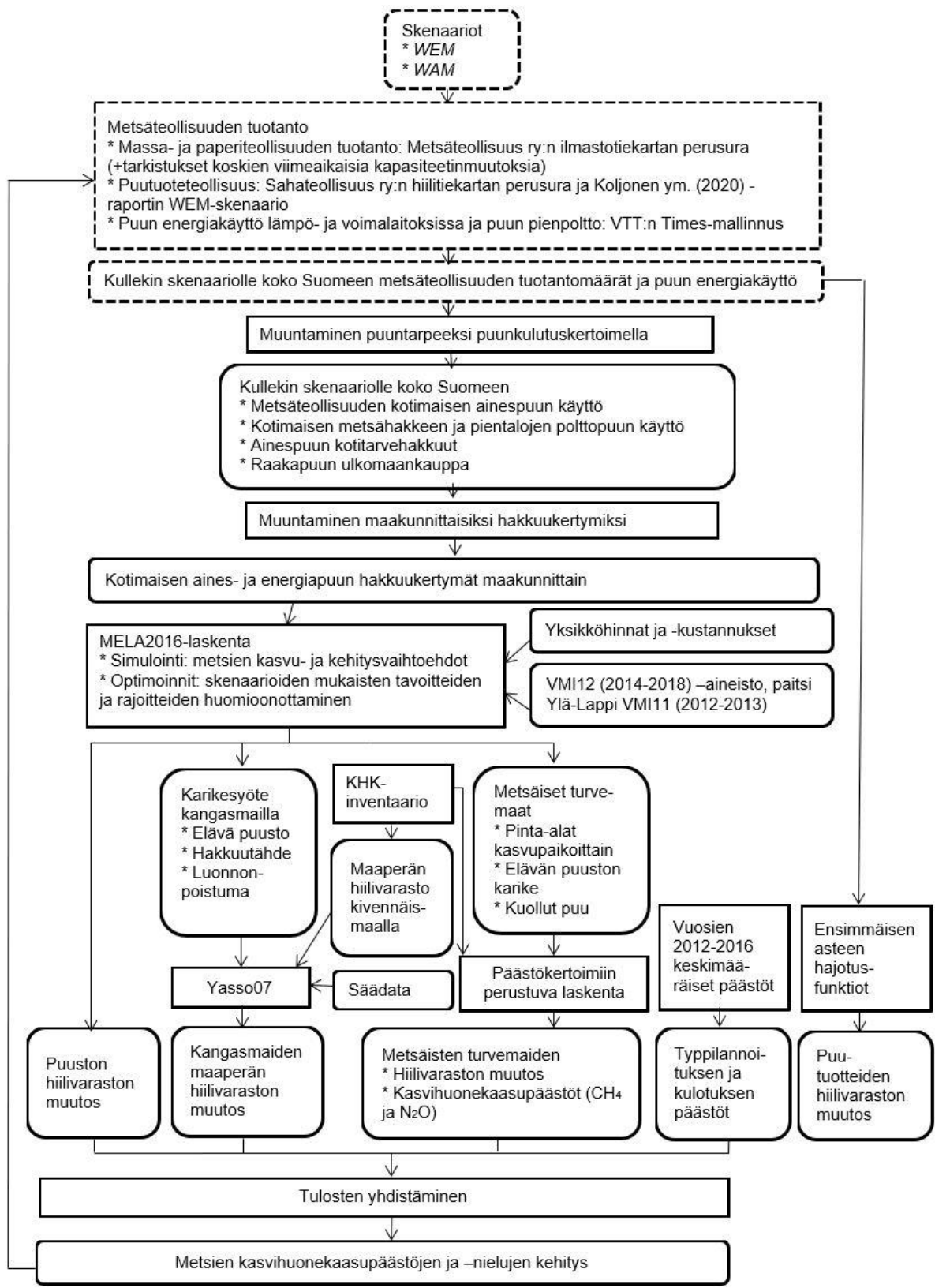
DREMFIA tuottaa tässä tutkimuksessa kasvihuonekaasulaskennan lähtötiedoiksi väkilannoituksen typpimäärän, pellonkäytön ja eläinmäärät tärkeimmille eläinluokille: naudoille, sioille ja siipikarjalle.

1.2. Metsävarojen kehityksen mallinnus MELA-ohjelmistolla

Hannu Hirvelä, Harri Kilpeläinen, Leena Kärkkäinen

Luonnonvarakeskuksen MELA-ohjelmisto (MEtsäLAskelma; Siitonen ym. 1996, Hirvelä ym. 2017) on metsien tuotanto- ja käyttömahdollisuuksien analysointiin sekä metsien käytön suunnitteluun kehitetty laskentaväline. Suomen oloihin laadittua ohjelmistoa voidaan käyttää erilaisissa metsiä koskevissa valtakunnallisissa ja alueellisissa vaihtoehtolaskelmissa ja vaikutusarvioiden laadinnassa. MELA-ohjelmiston avulla lasketaan valtakunnan metsien inventoinnin (VMI) aineistoihin perustuen alueellisia tuotanto- ja käyttömahdollisuusarvioita, joiden tuloksia esitetään MELA Tulospalvelussa (Luke 2021c). Nykyisin käytössä oleva ohjelmiston versio on MELA2016 (Hirvelä ym. 2017).

WEM-skenaarion kotimaisen ainespuun, metsähakkeen ja polttopuun käyttöä vastaava hakkuuprojektiio sekä sille ehdollinen metsävarojen kehitys ja poistuma laskettiin koko Suomelle MELA2016-ohjelmistolla (Hirvelä ym. 2017). Maakunnittaiset hakkuukertymätavoitteet huomioiva laskenta tuotti tietoa hakkuukertymien lisäksi mm. puuston tilavuudesta, kasvusta, hakkuu- ja luonnonpoistumasta sekä niiden kehityksestä tarkastelujakson 2016-2055 aikana. Kuva 1 on havainnollistettu metsävaroja koskevan laskennan kulkua WEM-skenaariossa. Kotimaisen aines- ja energiapuun hakkuukertymätavoitteet (ks. luku 2.2) ohjasivat metsävarojen kehitysennusteiden laadintaa MELA-ohjelmistolla, jolla laskettuja tuloksia hyödynnettiin edelleen kangasmaiden maaperän ja metsäisten turvemaiden hiilivaraston muutoksen arvioinnissa (ks. luku 1.4.3).



Kuva 1. Laskennan vaiheet metsien kasvihuonekaasupäästöjen ja -nielujen kehityksen ennustamiseksi.

Laskennan lähtötilanteen metsävaratietona käytettiin valtakunnan metsien 12. inventoinnin (VMI12) maastoaineistoa mittaavuosilta 2014–2018 (Valtakunnan ... 2018). Ylä-Lapin osalta laskenta perustui tuoreimpaan eli vuosina 2012–2013 mitattuun VMI11:n maastoaineistoon (Valtakunnan ... 2013). Aineisto edusti keskimäärin vuoden 2016 metsävarojen tilannetta ja vuosi 2016 oli myös skenaariolaskennassa aloitusvuosi. Metsä- ja kitumaan koealoihin perustuvia laskentayksiköitä oli yhteensä 57 720 (Luke 2021c). Metsänkäytön rajoitusten kuvaamiseksi laskentayksiköt jaettiin kolmeen käsittelyluokkaan: ensisijaisesti puuntuotannossa, rajoitetussa puuntuotannossa ja puuntuotannon ulkopuolella oleviin. Laskentayksikön käsittelyluokka rajaa kohteelle sallitut metsikkökohtaiset hakkuu- ja metsänhoitotoimenpiteet. Metsävaroja koskevat tulokset kattavat kaikki kolme luokkaa yhteensä, vaikka puuntuotannon ulkopuolisille alueille ei kohdistettu toimenpiteitä.

MELA-metsikkösimulaattori tuotti jokaiselle laskentayksikölle automaattisesti joukon vaihtoehtoisia kehityspolkuja, jotka koostuivat luonnonprosesseista (puiden synty, kasvu ja kuoleminen), hakkuista ja metsänhoitotoimista. Metsien käsittely noudatti Tapion metsänhoidon suosituksia (Äijälä ym. 2014, Koistinen ym. 2016). Metsiköiden kehityspolkujen tuottaminen MELA2016-ohjelmistolla on kuvattu tarkemmin luvussa 5.2.1 ja MELA Tulospalvelussa (Luke 2021c).

Hakkuuprojektiot määritettiin maakuntakohtaisesti laadituissa optimointilaskelmissa, joissa tavoitteena oli maksimoida puuntuotannon taloudellista tulosta (nettotulojen nykyarvoa) maakunnassa neljän prosentin tuottovaatimuksella ja rajoitteina maakunnalle metsäteollisuuden ennustetun puunkäyttötarpeen pohjalta asetetut tavoitteet aines- ja energiapuun hakkuista laskelmakauden 2016-2055 aikana. Ainespuulle kertymätavoitteet määritettiin puutavaralajeittain ja energiapuulle ositteittain erikseen kutakin kymmenvuotiskautta kohden. Puuntuotannon taloudellinen tulos laskettiin ainespuulle tienvarsihintoihin ja energiapuulle käyttöpisteessä hakkeelle maksettuihin hintoihin perustuen. Optimoinnissa puutavaralajikohtaisille hakkuukertymätavoitteille annettiin oletusarvoisesti $\pm 0,5$ prosentin vaihteluvälit laskelman teknisen toteutettavuuden varmistamiseksi.

Tienvarsihinnat saatiin lisäämällä tilastoituihin kantohintoihin keskimääräiset toteutuneet korjuukustannukset. Metsähakkeen käyttöpistehinnat noudattivat tilastoituja keskihintoja. Kustannusten laskenta perustui työlajien tilastoituihin yksikköhintoihin ja tuottavuusmallien mukaisiin ajanmenekkeihin, jotka ottivat huomioon esim. puunkorjuussa poistettavien puiden järeyden, hehtaarikohtaisen poistuman, jätettävän puuston määrän ja maaperän kantavuuden. Tarkemmat kuvaukset maakunnittain laadittujen laskelmien hintaoletuksista aluekohtaisine hinta- ja kustannustietoineen on esitetty luvussa 5.2.4 ja MELA Tulospalvelussa (Luke 2021c).

MELA2016-ohjelmistossa puun pohjapinta-alan kasvumalli on kalibroitu VMI11-aineiston läpimitan kasvunmittausten perusteella ja lisäksi näin tuotettua tilavuuskasvun arviota tarkennettiin ottamalla huomioon kalibrointijakson keskivuodesta 1999 vuoteen 2017 tapahtunut ilman keskilämpötilan ja hiilidioksidipitoisuuden nousun vaikutus puuston kasvuun (ks. tarkemmin luku 5.2.2). Vastaavaa menetelmää kasvuarvion osalta on käytetty Maatalous- ja LULUCF-sektorien päästö- ja nielukehitys vuoteen 2050 –raportissa (Aakkula ym. 2019), Hiilineutraali Suomi 2035 – Skenaariot ja vaikutusarviot –raportissa (Koljonen ym. 2020) ja MELA Tulospalvelussa (Luke 2021) esitettyjen arvioiden laadinnassa.

WEM-skenaariot laadinnassa käytettiin samaa aineistoa ja aineiston käsittelyluokkien määrittelyjä sekä samoja vaihtoehtoisten kehityspolkujen simulointimäärittelyjä kuin MELA Tulospalvelussa (Luke 2021c) esitettyjen arvioiden laadinnassa. Hiilineutraali Suomi 2035 – Skenaariot ja vaikutusarviot -raportissa (Koljonen ym. 2020) esitettyyn WEM-skenaarioon verrattuna tässä käytettiin ajantasaisempaa tietoa laskenta-aineistosta, hinta- ja

kustannustiedoista sekä hukkapuun laskennasta ainespuuhakkuissa. MELA-ohjelmistolla laadittujen skenaariolaskelmien välisiä eroja on kuvattu tarkemmin luvussa 5.3.

1.3. Maankäytön ja maankäytön muutosten pinta-alojen määrittäminen

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

Maankäytön ja maankäytön muutosten pinta-alat tuotettiin Haakanan ym. (2015) kuvaamalla menetelmällä, jossa maankäytön muutosskenaarioiden taustalla ovat tapahtuneista maankäytön muutoksista lasketut trendit ja keskiarvot vuotuisista muutospinta-aloista. Historiatietoihin yhdistetään skenaarion oletukset. WEM-skenaario perustuu pitkälti tapahtuneisiin muutoksiin ja päätettyihin politiikkatoimiin, kun taas WAM-skenaariossa päästövähennystavoitteet sisällytetään maankäytön muutospinta-aloihin. Historiatietoihin yhdistetään DREMFA-mallin mukainen pellonkäyttö, joka sovitetaan laskentakokonaisuuteen. Times-VTT-mallin energijärjestelmän kehityksestä johdetaan turpeen energiakäytön, aurinkovoiman, tuulivoiman sekä kasviperäisen bioenergian vaikutukset maankäyttöön. Rakennuskannan kehitysennustetta ohjataan Suomen ympäristökeskuksen (SYKE) rakennetun maan mallin tuloksesta lasketulla rakennetun maan suhteellisella kehityskululla vuoteen 2020 nähden. SYKEN mallinnus kattaa yhdyskuntarakentamisen, vapaa-ajan asunnot ja muun rakennetun maan (liikennealueet, maa-ainesten otto, kaatopaikat, ym.) ja huomioi poistuvan rakennuskannan ja väestöennusteen (Tiitu ym. 2015).

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

1.4. Kasvihuonekaasupäästöjen ja poistumien laskenta

1.4.1. Laskentamenetelmä ja lämmitysvaikutusarvot (GWP)

Kasvihuonekaasujen päästöt ja poistumat pyrittiin laskemaan mahdollisimman yhdenmukaisesti Suomen kasvihuonekaasuinventaarion (KHK-inventaario) luokitusten ja menetelmien kanssa (Tilastokeskus 2021). Inventaarion luokitukset ja menetelmät perustuvat

YK:n ilmastosopimuksen ja IPCC:n laatimiin raportointiohjeisiin. Laskennat noudattavat 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories -ohjeita (IPCC 2006). Eloperäisten maiden päästöjen laskennassa on käytetty ohjeen kosteikkoliitettä (IPCC 2013, 2014).

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

1.4.2. Maataloussektorin päästölaskenta

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

Maataloussektorin päästölaskenta saa DREMFA-mallista maataloustuotannon lähtötiedot: väkilannoituksen typpimäärän, pellonkäytön ja eläinmäärät tärkeimmille eläinluokille, eli naudoille, sioille ja siipikarjalle. Laskenta huomioi niiden lisäksi myös porojen, lampaiden, hevosten sekä turkiseläinten lukumäärät. Määrät pysyvät vuoden 2019 tasolla. Kalkitus ja urean käyttö pysyvät nykyisellä tasolla. DREMFA-mallista tulevat pellonkäytön pinta-alat sovitetaan yhteen muun maankäytön kanssa (kappale 1.3), ja päästöt lasketaan näillä muokatuilla pinta-aloilla, jotka ovat samat kuin LULUCF-sektorin laskennassa.

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

1.4.3. LULUCF-sektorin päästölaskenta

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

Metsämaan (ollut metsämaata yli 20 vuotta) puuston hiilivaraston muutokset laskettiin MELA-mallinnuksen tuottamien puuston biomassavarastojen hehtaariohtaisista erotuksista 10-vuotiskausittain, jotka kerrottiin metsämaan WEM-skenaarion pinta-alalla. Kansallisen määritelmän mukaiselle metsä- ja kitumaan pinta-alalle lasketut MELA-tulokset skaalattiin näin vastaamaan KHK-inventaariossa käytettyä metsäpinta-alaa (Tilastokeskus 2021). Elävästä ja luonnonpoistumapuustosta syntyvän karikkeen ja hakkuissa metsään jäävän karikkeen syötteen

maaperälaskentaan ovat myös MELA-tuloksia. Metsitetyille alueille (ollut metsämaata korkeintaan 20 vuotta) puuston hiilivaraston muutos laskettiin kuten KHK-inventaariossa Valtakunnan metsien inventoinnin aineistoihin perustuvilla metsitysalueiden keskimääräisillä puuston kasvu- ja poistuma-arvioilla (Tilastokeskus 2021). Kivennäismaiden maaperän hiilivaraston muutokset estimoitiin Yasso07-maamallilla ja ojitettujen turvemaiden CO₂-, CH₄- ja N₂O-päästöt laskettiin kasvihuonekaasuinventaarion päästökertoimilla (Tilastokeskus 2021). Typpilannoituksen N₂O-päästöt ja kulutuksen CH₄-ja N₂O-päästöt laskettiin vuosina 2015–2019 toteutuneiden päästöjen keskiarvona, kuten on raportoitu, ja metsitysalueille laskettiin myös typen mineralisaatiosta aiheutuva N₂O-päästö (Tilastokeskus 2021). Metsäisten turvemaiden kasvupaikkajakaumat saatiin MELA-laskennan tuloksena.

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

Puutuotteiden vaikutus laskettiin käyttäen tuotantoon perustuvaa lähestymistapaa ja menetelmä oli ensimmäisen asteen hajoamisfunktio käyttäen tuotteiden puoliintumisaikoja ja tuoteryhmäkohtaisia muuntokertoimia (Tilastokeskus 2021). Puutuotteiden pääryhmät ovat sahatavara, puulevyt, paperi ja kartonki. Sahatavaralle käytettiin 35 vuoden puoliintumisaikaa, puulevyille 25 vuoden ja paperille ja kartongille 2 vuoden. Metsäteollisuuden tuotannon kehityksen on kuvattu luvussa Metsäteollisuuden tuotantomäärät (Taulukko 1). Tuotantoluvut päivitettiin vuoteen 2020 siltä osin ja sillä tarkkuudella, kun ennakkotietoja oli saatavilla (Luke 2021). Käytetty menetelmä perustuu IPCC 2006 -ohjeeseen ja on kuvattu Suomen inventaarioraportissa (IPCC 2006, Tilastokeskus 2021, Hamberg ym. 2016).

2. Skenaarioiden kuvaukset

2.1. Maatalous

2.1.1. Perusskenaario (WEM)

Heikki Lehtonen

Lähtöoletukset

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

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

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

Maataloustuotteiden tuotehintojen maailmanmarkkinoilla ja Euroopassa on oletettu kehittyvän kuten arvioidaan julkaisussa OECD-FAO Agricultural Outlook 2020–2029, jossa oletetaan mm. IEA (2020) mukaiset energian hinnat. Tuotehintojen on WEM-skenaariossa oletettu pysyvän entisellään 2029 jälkeen. Koska maataloustuotteiden ja elintarvikkeiden kysyntä on lähivuosikymmeninä globaalisti vahvaa, tuotantopanosten hinnannousut voidaan hinnoitella maataloustuotteiden hintoihin. Näin ollen maataloustuotteiden reaali hinnat pysyvät likimain ennallaan useimmissa tuotteissa. Pientä reaalihintojen nousua tapahtuu eräissä yksittäisissä maitotaloustuotteissa kuten maitojauheissa, mutta kokonaisuutena maitosektorillakin on hyvin maltillinen ja reaalisesti vakaa hintakehitys. Taustalla OECD-FAO (2020) hintaennusteissa vuoteen 2029 on oletuksia ja globaalitason mallinnustuloksia siitä, että maailman elintarviketalous pystyy edelleen vastaamaan ruuan kysynnän kasvuun eri tavoin 2020-luvulla.

Maatalouspolitiikka on oletettu WEM-skenaariossa samanlaiseksi kuin 2014–2020 kauden maatalouspolitiikka. Mahdollisia EU-tukien muutoksia ei ole huomioitu vuoden 2020 jälkeen. Pinta-alalle maksettavien tukien pienillä muutoksilla olisi hyvin vähäinen vaikutus maatalouden tuotantomääriin. Tuottavuus kasvaa maataloudessa etenkin lypsykarjataloudessa, jossa toteutuu laajamittainen siirtyminen yhden lypsyrobotin yksiköistä kahden tai useamman

robotin yksiköihin 2020–2030-luvuilla. Tämä muutos on jo käynnissä ja lisää työn käytön tehokkuutta tuotannossa (Lehtonen ym. 2017). Myös muussa kotieläintaloudessa tuottavuuden kasvu jatkuu lähinnä työn tuottavuuden osalta, mutta vähemmän kasvintuotannossa, jossa satotasojen oletetaan säilyvän likimain ennallaan ilman muutostrendiä.

Maataloustuotannon ja pellonkäytön kehitys

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

Maidontuotanto alenee tulosten mukaan runsaat 6 % 2019-2040 ja runsaat 8 % 2019-2050. Tämä johtuu em. kustannusnousuista ja satojen alenemisistä. Voimakkaan rakennekehityksen ja lehmien keskituotoksen nousun ansiosta maidontuotannon taso vähenee hyvin hitaasti. Naudanlihantuotanto vähenee selvästi nopeammin, noin 88 milj. kg tasolta (2019) noin 72 milj. kg:aan vuoteen 2040 ja vähän alle 70 milj. kg:aan vuoteen 2050. Tämä yli 20 % väheneminen johtuu siitä, että nautakarjan lukumäärä vähenee samalla kun lypsylehmien keskituotos nousee ja vasikoiden määrä vähenee, eivätkä naudanlihan reaalihintojen hidaskasvu aleneminen ja vakioksi oletettu nautakarjalouteen suunnattu maataloustuki anna mahdollisuuksia kuin vähäiseen emolehmätuotannon kasvattamiseen.

Sianlihantuotanto (171 milj. kg vuonna 2019) vähenee hitaasti noin 10 milj. kg alle kotimaisen kulutuksen (169 milj. kg/ vuosi), noin 160 milj. kg:aan vuoteen 2040. Eri ruhonosien kauppa eli sianlihan samanaikainen tuonti ja vienti jatkuu. Siipikarjanlihantuotanto jatkuu myös lähellä kotimaista kulutusta, noin 150 milj. kg:n vuositasolla. Kanamunien tuotanto jatkuu myös likimain ennallaan WEM-skenaariossa.

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

WEM-skenaario ottaa huomioon maatalouspolitiikan kokonaisuuden, joka kannustaa suoraan ja epäsuorasti peltojen nurmipeitteisyyteen. Tämä ilmenee siten, että Suomessa nimenomaan tuotantonurmien (rehunurmien) pinta-ala on kasvanut viime vuosina, vaikka nautojen kokonaismäärä on alentunut. WEM-skenaariossa pellonkäyttö säilyy lähes ennallaan nurmien

osalta – jos nautakarjan vääjäämätön hidas väheneminen (tarvitaan entistä vähemmän lypsylehmiä ja muuta nautakarjaa saman maitomäärän tuottamiseen kuin ennen) johtaakin tuotantonurmien alan vähenemiseen, se korvautuu nurmipeitteisen kesantoalan kasvulla. Tällöin myös turvemaidella likimain entinen osuus on nurmipeitteistä. Turvemaiden pitkäaikainen nurmiviljely -toimenpide, joka kuuluu Suomessa EU:n yhteisen maatalouspolitiikan (CAP) ympäristökorvaus-kokonaisuuteen, ei ole noussut suosituksi. Korvaus per ha on liian alhainen suhteessa siihen, että viljelijä siihen sitoutuisi ja siten pidättäytyisi muiden kasvien viljelystä. Viljelijä saa pidettyä joustavammin pellon hallinnassaan ilman tätä sitoumusta. Tulosten mukaan peltoala pysyy silti pääosin nurmipeitteisenä alueilla, joilla turvemaita on keskimääräistä enemmän.

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

2.2. Metsätalous ja maankäyttö

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

Muutokset maailmanmarkkinoilla heijastuvat Suomen metsäteollisuuden tuotantoon

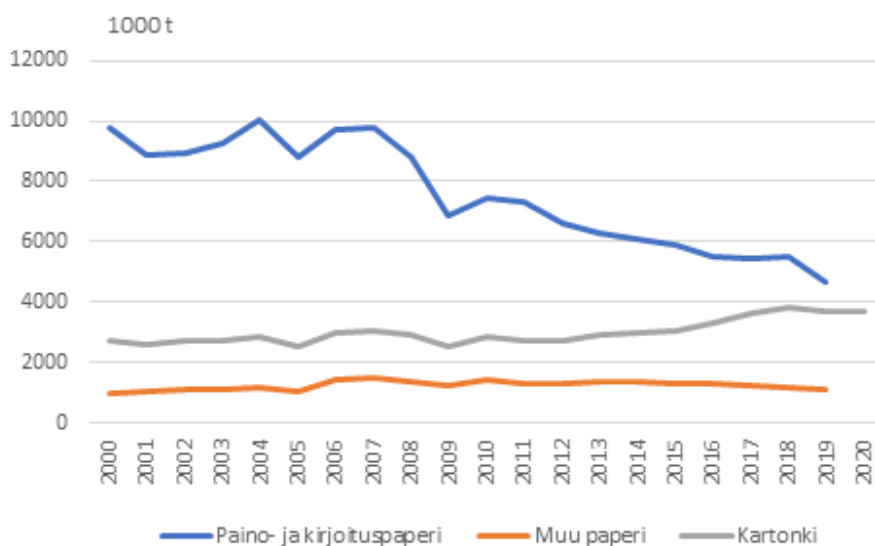
Metsäteollisuustuotteiden maailmanmarkkinanäkymiin ja tuotantoon Suomessa vaikuttavat tulevana vuosikymmeninä normaalien suhdannevaihteluiden lisäksi niin sanotut globaalit megatrendit, kuten väestönkasvu, elintason nousu, kaupungistuminen, ilmastonmuutos, maailmantalouden painopisteiden muuttuminen,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

Suomessa megatrendit ovat heijastuneet etenkin massa- ja paperiteollisuuteen, jossa paperin tuotanto on laskenut voimakkaasti vuoden 2007 jälkeen. Vuonna 2020 paperia tuotettiin Suomessa 4,5 miljoonaa tonnia, mikä oli lähes 60 prosenttia vähemmän kuin keskimäärin vuosina 2000–2008 ennen finanssikriisiä ja sitä seurannutta globaalia taloustaantumaa. Lasku on kohdistunut erityisesti paino- ja kirjoituspaperiin muiden paperien (esim. pehmo-, tarra-, laminaatti-, ja pakkauspaperit) tuotannon pysyessä suhteellisen vakaana.

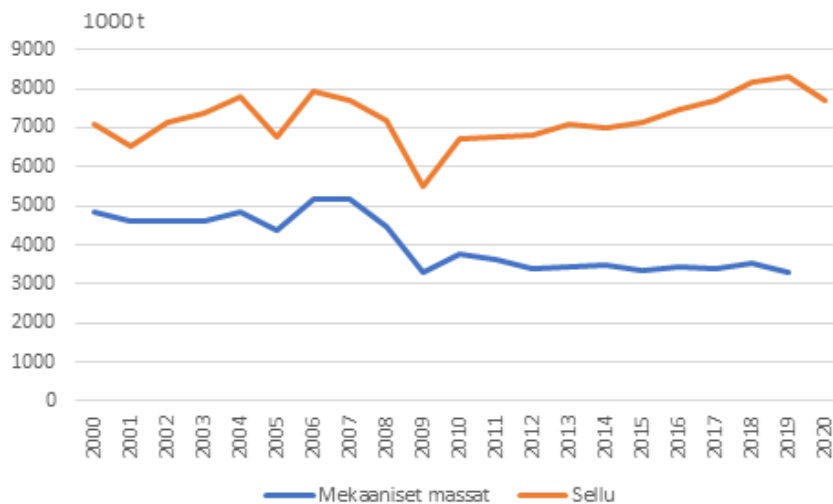
Tuoreimpia paperikapasiteetin leikkauksia ovat aikakauslehtipaperikoneen sulkeminen UPM:n Rauman tehtaalla vuonna 2019, UPM:n sanomalehti- ja mekaanista painopaperia tuottaneen Kaipolaan tehtaan sulkeminen Jämsässä vuonna 2020 sekä Stora Enson Oulun tehtaan kahden hienopaperikoneen sulkeminen samoin vuonna 2020. Yhteensä edellä mainitut koneiden sulkemiset leikkasivat paperien tuotantokapasiteettia lähes kahdella miljoonalla tonnilla vuodessa. Kartonkien kysyntä maailmalla on sen sijaan kasvanut verkkokaupan ja

pakkaamistarpeen nopean kasvun myötä. Suomessa kartongin tuotanto on noussut selvästi vuodesta 2015 alkaen, kun kartonkikoneisiin investoitiin Kotkassa ja Varkaudessa. Tuorein kartonki-investointi on Stora Enson Oulun tehtaalla vuoden 2021 alussa valmistunut hienopaperikoneen muutos kraftlainerikoneeksi. Oulun tehtaalla on myös optio muuttaa toinen käytöstä poistettu hienopaperikone kartongin tuotantoon. Vuoden 2021 helmikuussa Metsä Board ilmoitti uudistavansa Kemin kartonkitehtaansa, jolloin sen tuotantokapasiteetti kasvaa.

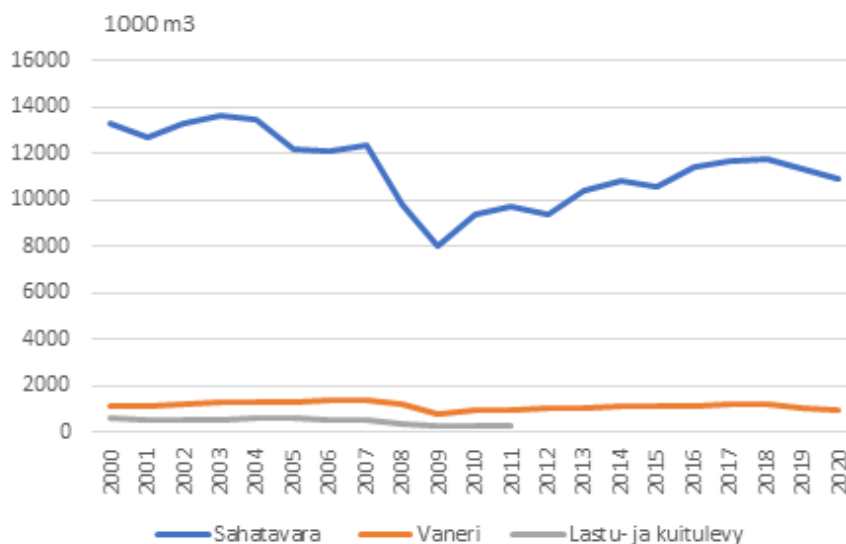
Paperin tuotannon väheneminen on heijastunut erityisesti mekaanisten massojen tuotantoon. Vuonna 2020 Suomessa tuotettiin mekaanisia massoja noin 2,3 miljoonaa tonnia ja määrä oli noin kolmanneksen pienempi kuin keskimäärin vuosina 2015–2019 (Kuva 3). Mekaanisesta massasta yli 90 prosenttia kulutetaan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



Kuva 2. Paperin ja kartongin tuotannon kehitys Suomessa 2000–2020. Vuonna 2020 ei ole julkaistu paperin tuotannon jakoa paino- ja kirjoituspaperiin. Yhteensä paperia tuotettiin 4 520 tonnia vuonna 2020. Lähde: Luke 2021.



Kuva 3. Mekaanisten massojen ja sellun tuotanto Suomessa 2000–2020. Vuoden 2020 osalta on julkaistu ainoastaan sellun tuotantomäärä. Lähde: Luke 2021.



Kuva 4. Sahatavara, vanerin sekä kuitu- ja lastulevyn tuotanto Suomessa 2000–2020. Tietoturvasyistä lastulevyn tuotantomääriä ei ole julkaistu vuoden 2011 jälkeen ja kuitulevyn tuotantomääriä vuoden 2012 jälkeen. Lähde: Luke 2020.

Puutuoteteollisuudessa sahatavaran tuotantomäärät notkahtivat kansainvälisen finanssikriisin vuosina 2008 ja 2009. Vaikka sahatavaran tuotantomäärät ovat elpyneet vuodesta 2010, eivät ne ole yltäneet 2000-luvun alkuvuosien tasolle (Kuva 4). Sahatavaran vientimäärä nousi kuitenkin vuonna 2017 kaikkien aikojen ennätykseen, lähes 9,4 miljoonaan kuutiometriin, kansainvälisen huippusuhdanteen vetämänä.

Sahateollisuuden kehitykseen on vaikuttanut sahatavaran kysynnän hiipuminen kotimaassa, kilpailun kiristyminen vientimarkkinoilla ja Venäjän raakapuun vientitullit. Vuosina 2000–2008 sahatavaraa kulutettiin Suomessa keskimäärin runsaat 5 miljoonaa kuutiometriä vuodessa, kun viime vuosina kulutus on ollut noin 3 miljoonaa kuutiometriä. Kulutuksen laskuun on vaikuttanut etenkin omakotirakentamisen väheneminen. Ennen kesäkuussa 2007 voimaan

tullutta Venäjän raakapuun vientitullien korotusohjelmaa Suomessa sahattiin vuosittain myös huomattavia määriä tuontihavutukkia. Huippuvuonna 2004 Suomen sahateollisuus käytti 3,7 miljoonaa kuutiometriä tuontipuuta, kun viime vuosina tuontipuun käyttö on jäänyt alle 0,3 miljoonaan kuutiometriin. Sahatavaran tuotannon kasvu ja kilpailun kiristyminen Euroopassa on pakottanut suomalaisia sahoja etsimään markkinoita Euroopan ulkopuolelta. Tämän seurauksena etenkin Aasian merkitys sahatavaran viennin kohdemarkkinana on korostunut 2010-luvulla.

Investoinnit sahatavaran tuotantoon ovat kokoluokaltaan olleet suhteellisen vaatimattomia verrattuna esimerkiksi investointeihin sellun tuotantoon. Toisaalta sahaiinvestoinneissa on havaittavissa jossain määrin piristymistä. Viime vuosina sahat ovat investoineet esimerkiksi kuivaamokapasiteettiin, tukkien lajitteluun sekä sahalinjojen uudistamiseen. Lisäksi Metsä Wood päätti kesällä 2020 rakentaa kokonaan uuden suursahan Raumalle. Investointipäätös liittyy Metsä Fibren Kemin sellutehdasinvestointiin, johon liittyen myös jotkut Pohjois-Suomessa toimivista sahoista ovat ilmoittaneet investointipäätöksistä ja sahausken lisäyosuunnitelmista. Etelä-Suomessa etenkin kuusitukin sahausken kasvua rajoittaa raaka-aineen saatavuus.

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

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

2.2.1. Peruskenaario (WEM)

Metsäteollisuuden tuotantomäärät

Metsäteollisuustuotteiden tuotannon WEM-skenaario pohjautuu Metsäteollisuus ry:n ilmastotiekartassa ja sen taustaselvityksissä sekä Sahateollisuus ry:n hiilitiekartassa esitettyihin perusuriin Suomen metsäteollisuuden kehityksestä vuoteen 2050 saakka (Metsäteollisuus ry 2020, AFRY/Pöyry 2020, Sahateollisuus ry 2020). Metsäteollisuus ry:n ilmastotiekartan metsäteollisuuden tuotanto perustuu Pöyryn/AFRYn ennusteisiin eri tuoteryhmien globaalin kysynnän kehityksestä vuoteen 2030 saakka. Tämän jälkeen tuotantomäärät on ekstrapoloitu Luken arvioon sovittaen, millä viitataan Luken tekemään ilmastotiekartan osaan metsien

käsittelyistä, hakkuumääristä sekä puuston ja maaperän hiilitaseista (Luke 2020). Sahateollisuus ry:n hiilitiekartan perusurassa sahatavaran tuotantomäärä noudattelee Koljonen ym. (2020) -raportin WEM-skenaariota, joka puolestaan pohjautuu Pöyryn ennusteisiin Suomen metsäteollisuuden kehityksestä (Pöyry 2016).

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

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

Puun energiakäytön lämpö- ja voimalaitoksissa oletetaan WEM-skenaariossa kasvavan 2020-luvulla. Turpeen käytön merkittävä väheneminen ja kivihiilen käytön kieltäminen energiantuotannossa vuonna 2029 lisäävät energiapuun tarvetta. Vuosikymmenen päästä muiden energiantuotantomuotojen, kuten geotermisen energian ja tuulivoimaloiden, kehittyminen sekä rakennusten lämmöneristävyyden paraneminen supistavat hieman puun energiakäytön tarvetta. Puun energiakäytön kehitys perustuu VTT:n TIMES-mallinnuksen tuloksiin

Metsäteollisuuden käyttöön päätyvän raakapuun tuonnin oletetaan WEM-skenaariossa pysyvän samalla tasolla kuin vuosina 2015–2019 keskimäärin, kun taas energiantuotantoon päätyvän hakkeen tuonti vakiintuu 1,4 miljoonaan kuutiometriin vuodessa. Raakapuun viennin oletetaan sellun tuotannon kasvun vuoksi painuvan vähäiseksi. Massan tuonnin oletetaan pysyvän samalla tasolla kuin vuosina keskimäärin vuosina 2015-2019.

Kotimaisen puun hakkuukertymät määräytyvät metsäteollisuustuotteiden tuotantomäärien, puun energiakäytön sekä puun tuontimäärien perusteella. Laskentaperiaatteet puunjalostuksen ja puun energiakäytön puuntarpeen arvioimiseksi on kuvattu tarkemmin liitteessä 5.1.

Taulukko 1. Metsäteollisuuden tuotantomäärät 2010–2040. Vuosien 2010–2020 luvut perustuvat tilastoihin (Luke 2021). Vuosien 2025–2040 luvut perustuvat metsäteollisuuden WEM-skenaarioon

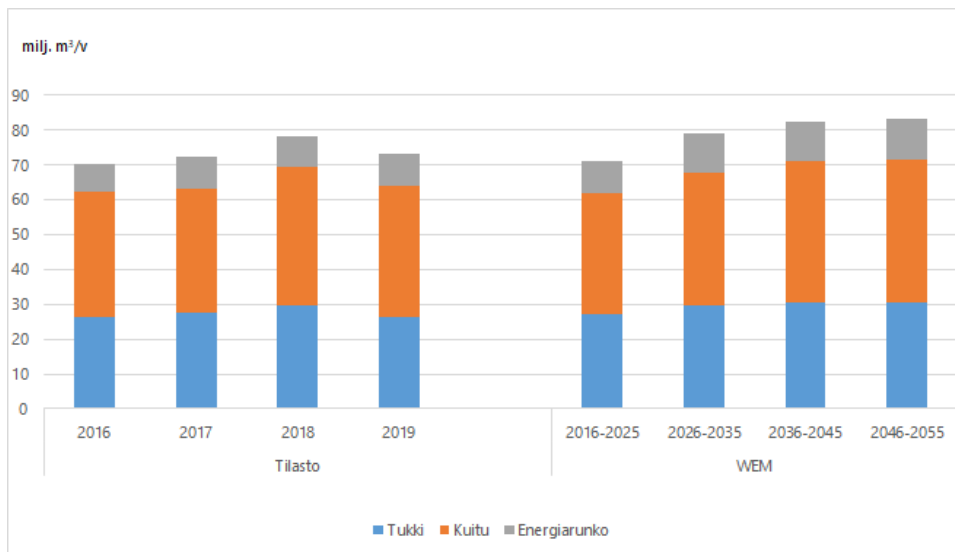
Tuote	Yksikkö	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
Paperi	1 000 t	8 929	7 254	4 520	3 590	3 428	3 296	3 162
Kartonki	1 000 t	2 830	3 065	3 690	4 123	4 491	4 921	4 921
Paperi + kartonki	1 000 t	11 759	10 319	8 210	7 713	7 919	8 217	8 083
Markkinasellu, netto*	1 000 t	1 582	2 522	3 702	4 822	5 344	5 739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

*Markkinasellu, netto = sellun tuotanto – käyttö kotimaassa – sellun vienti

** Xx-luvut VTT:ltä

Hakkuut ja metsien kehitys WEM-skenaariossa

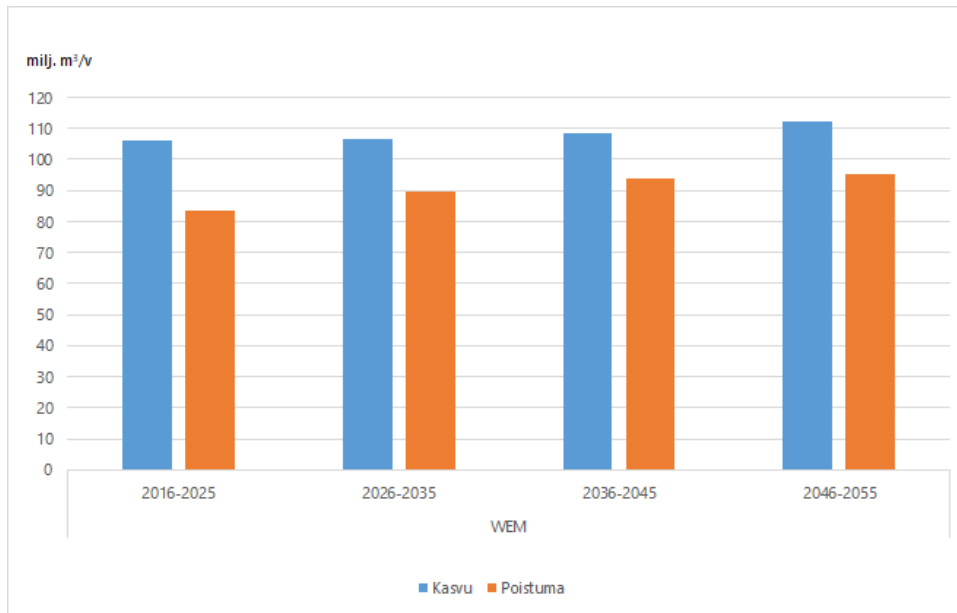
Runkopuun vuosittainen hakkuukertymä on WEM-skenaariossa koko maan osalta vuosina 2016–2025 keskimäärin runsas 71 miljoonaa kuutiometriä, joka on runsas 2 miljoonaa kuutiometriä alhaisempi kuin vuosien 2016–2019 tilastoitu (Luke 2021a) keskimääräinen vuotuinen hakkuukertymä (Kuva 5). Ero johtuu pääosin WEM-skenaarion pienemmästä kuitupuun hakkuukertymästä. Runkopuun hakkuukertymä sisältää metsäteollisuuden käyttöön ohjautuvan kotimaisen ainespuun (tukki- ja kuitupuun) ja energiakäyttöön päätyvän kotimaisen runkopuun (ml. kotitalouksien polttopuu). Runkopuun lisäksi WEM-skenaariossa latvuksia ja kantoja arvioidaan korjattavan energiapuuksi yhteensä 4 miljoonaa kuutiometriä vuodessa.



Kuva 5. Vuosien 2016–2019 tilastoidut (Luke 2021a) ja skenaarioille arvioidut runkopuun kausittaiset hakkuukertymät ajanjaksolla 2016–2055.

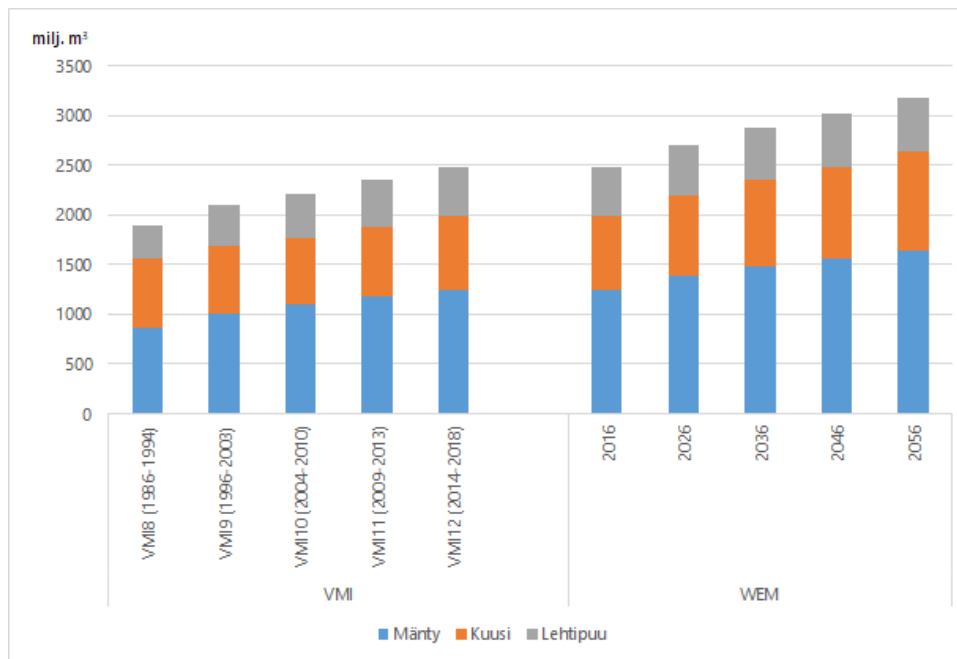
WEM-skenaariossa runkopuun vuotuinen hakkuukertymä nousee vuosina 2026–2035 keskimäärin noin 79 miljoonan kuutiometrin tasolle. Lisäystä vuosien 2016–2025 hakkuukertymään on lähes 8 miljoonaa kuutiometriä vuodessa, josta tukkipuuta on vajaa 3 miljoonaa, kuitupuuta runsas 3 miljoonaa ja energiarunkopuuta vajaa 2 miljoonaa kuutiometriä. Vuosina 2036–2045 hakkuukertymä nousee runsaan 82 miljoonan ja vuosina 2046–2055 hieman yli 83 miljoonan kuutiometrin vuositasolle. Vuosina 2046–2055 tukkikertymä on runsas 30 miljoonaa, kuitukertymä vajaa 41 miljoonaa ja energiarunkopuun kertymä 12 miljoonaa kuutiometriä vuodessa, joiden lisäksi korjataan latvuksia ja kantoja energiapuuksi kaikkiaan vajaa 7 miljoonaa kuutiometriä.

Vuosina 2016–2025 WEM-skenaariossa runkopuun kasvun arvioidaan olevan metsä- ja kitumaalla keskimäärin 106 miljoonaa kuutiometriä vuodessa (Kuva 6). Vuosina 2036–2045 kasvun arvioidaan nousevan 108 miljoonan kuutiometrin tasolle ja vuosina 2046–2055 noin 112 miljoonan kuutiometrin tasolle. Vastaavasti runkopuun vuotuisen kokonaispoistuman arvioidaan olevan runsas 83 miljoonaa kuutiometriä vuosina 2016–2025. Kokonaispoistuma sisältää hakkuukertymän lisäksi luonnonpoistuman sekä hakkuissa, taimikonhoidossa ja raivauksessa metsään jäävän runkopuun. Kasvun ja poistuman eron arvioidaan pienenevän kolmannelle kymmenvuotiskaudelle (2036–2045) asti. Vuosina 2046–2055 runkopuun kokonaispoistuman arvioidaan ylittävän 95 miljoonan kuutiometrin tason.



Kuva 6. Skenaarioiden tuloksena saadut kausittaiset arviot runkokuun kasvusta ja poistumasta metsä- ja kitumaalla ajanjaksolla 2016–2055.

Puuston runkotilavuus metsä- ja kitumaalla oli VMI12-mittausten mukaan laskelman alkutilanteessa vajaa 2,5 miljardia kuutiometriä (Luke 2021b). WEM-skenaariossa puuston runkotilavuuden arvioidaan nousevan vuoteen 2026 mennessä 2,7 miljardiin kuutiometriin ja vuoteen 2056 mennessä vajaan 3,2 miljardiin kuutiometriin (Kuva 7). Koko 40 vuoden tarkastelujakson aikana puulajikohtaisesti lisääntyy eniten männyn tilavuus, vajaalla 0,4 miljardilla kuutiometrillä. Luvussa 5.4 on esitetty tarkemmin runkotilavuuden, kasvun ja hakkuukertymän kehitys WEM-skenaariossa koko maan osalta ajanjaksolla 2016–2056.



Kuva 7. Puuston kokonaistilavuus metsä- ja kitumaalla VMI-mittausten mukaan (Luke 2021b) sekä skenaarioiden mukaiset arviot puuston kokonaistilavuuden tulevasta kehityksestä ajanjaksolla 2016–2056.

Maankäytön kehittyminen

Metsämaan pinta-alalle ei asetettu lähtöoletuksia, ei myöskään metsitykselle tai metsäkadolle. Muutokset metsämaan pinta-alassa ovat siten seurausta muutoksista muussa maankäytössä.

Viljelysmaiden pinta-alan osalta muutokset perustuivat historiatietoon, kuitenkin niin ettei kokonaisalan annettu kasvaa. Maankäytön muutokset sallittiin sekä viljelysmaaksi että viljelysmaan siirtyminen muuhun käyttöön. Luokan sisällä oli mahdollista tapahtua muutoksia kivennäis- ja turvemaiden pinta-aloissa, minkä seurauksena kivennäismaiden osuus pieneni ja orgaanisten maiden osuus kasvoi. Muutosten myötä viljelysmaiden ala Etelä-Suomessa hieman pieneni ja kasvoi Pohjois-Suomessa, koko maan tasolla alan pysyessä nykyisellä tasolla. Lisäksi DREMFA-mallin tulokset viljellyn peltoalan vähenemisestä vaikuttivat päästölaskennassa arvioituun viljelysmaiden pinta-alojen muutoksiin 2040-luvulla.

Ruohikkoalojen pinta-aloissa ei oletettu kasvua koko maan tasolla, kuitenkin muutokset viljelysmaista ruohikkoalueiksi noudattivat historiatietoja ja muita laskennan malleja ja oletuksia. DREMFA-mallin mukaan viljelty peltoala pienenee 2040-luvulla ja vastaavasti ruohikkoalueiden pinta-ala kasvaa.

Rakennettavien tuulivoimaloiden kokonaismäärä arvioitiin TIMES-VTT -mallin tuulivoiman kokonaisenergiantuotantomääristä tämänhetkisten voimaloiden kapasiteetin (n. 3 MW) perustella. Tuulivoiman maankäyttövaikutuksia arvioitiin hyödyntämällä maanmittauslaitoksen paikkatietoaineistoa nykyisten tuulivoimaloiden jakautumisesta maa- ja metsätalouksille, sekä niiden jakautumista Etelä- ja Pohjois-Suomeen. Tulevien voimaloiden oletettiin noudattavan keskimäärin samoja jakaumia. Yhden tuulivoimalan vaatimaksi alaksi arvioitiin 2 hehtaaria keskimääräisellä 2–5 MW:n voimalakoolla (Niemi 2019, Mikkonen 2019).

Rakennettavan aurinkoenergiatuotannon määrä ja maankäyttövaikutukset arvioitiin TIMES-VTT -mallin tuotantoluvuista olettamalla, että yhden TWh:n tuottamiseksi aurinkovoimalla vaaditaan noin 1000 hehtaaria maa-pinta-alaa (Lehtilä 2019). Koska historiatietoa maalle sijoitettavien aurinkovoimaloiden maankäytöstä on toistaiseksi hyvin niukasti saatavilla, jaettiin tulevan aurinkovoiman maankäyttö suhteessa 1/3 metsämaalle, 1/3 maatalousmaalla ja 1/3 rakennetulle maalle. Tämän lisäksi rakennettavan aurinkovoiman oletetaan sijoittuvan voittopuoleisesti Etelä-Suomeen.

Energiaturpeen tuotannon kehitys johdettiin TIMES-VTT -mallin tuottamasta turpeen energiakäytöstä (PJ/v). Energiaturpeen tuotantoalan oletettiin vähenevän samassa suhteessa kuin turpeen energiakäytön. Muuhun kuin energiakäyttöön tarkoitettua turpeen (kasvu-, kuivike- ym.) tuotannon oletettiin pysyvän ennallaan. Tuotannosta vapautuneet alueet siirtyivät uuteen maankäyttöön viiden vuoden kuluttua tuotannon päättymisestä. Jälkikäytöstä 68 % oli metsitystä, viljelysmaita 15 %, ruohikkoalueita 6 %, kosteikkosoita 5 %, kosteikkoalaita 5 % ja rakennettua maata reilu 1 %. Jakaumat perustuvat osittain historiatietoon ja osittain Bioenergia ry:n julkaisemaan jälkikäyttöjakaumaan, jossa on 75 % metsitystä, 20 % peltoviljelyä, 5 % kosteikkoa (Bioenergia ry 2019). Esimerkiksi turvetuotantoalueiden metsitysosalat skenaariojaksolla ovat lähempänä Bioenergia ry:n julkaisemaa osuutta, KHKI-pinta-aloissa niitä on ollut hyvin vähän.

Ojitettuja soita siirtyy historiatiedon mukaan edelleen metsämaaksi. Kosteikkosoiden muutos metsämaaksi perustui 10 vuoden historiatietoon muutoin käytetyn viiden vuoden jakson sijaan, koska se vastasi paremmin VMI:n julkaisemia lukuja pinta-alojen kehityksestä.

WEM-skenaariossa metsämaan pinta-ala pienenee noin 100 000 hehtaarilla vuoteen 2040.

Viljelysmaan ja ruohikkoalueiden pinta-alat pysyvät nykyisellä tasolla. Kosteikkoalan väheneminen on seurausta pienemmästä turvetuotantoalasta, näiden siirtyessä muihin luokkiin turvetuotannon päätyttyä. Rakennetun maan ala kasvaa nykyisestä noin 150 000 hehtaarilla vuoteen 2040 mennessä.

Vuosittaiset muutosalat uuden maankäytön mukaan sekä vuosina 2021–2040 maankäytön kokonaisalat ovat raportin lopun liitteiden Taulukko 12.

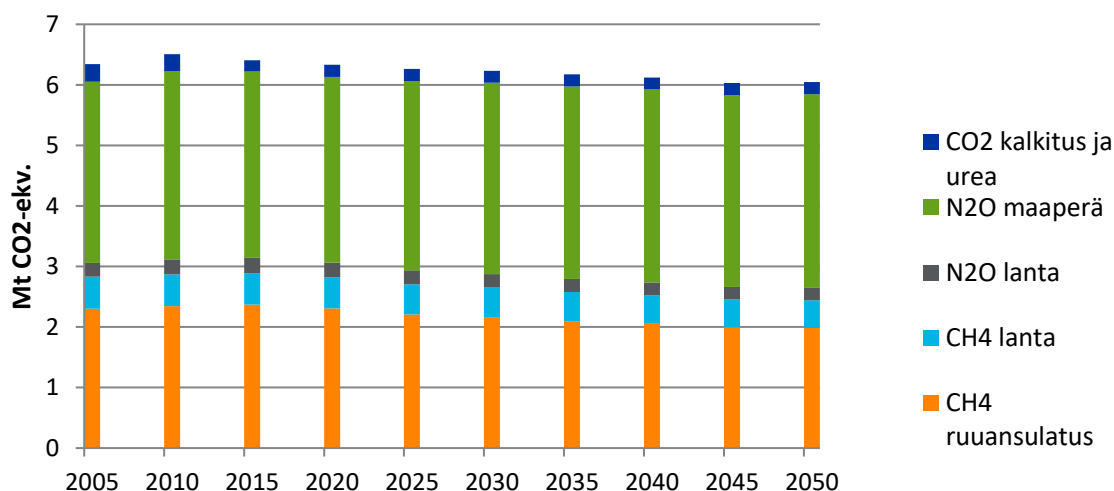
3. Kasvihuonekaasupäästövaikutukset

3.1. Maataloussektori

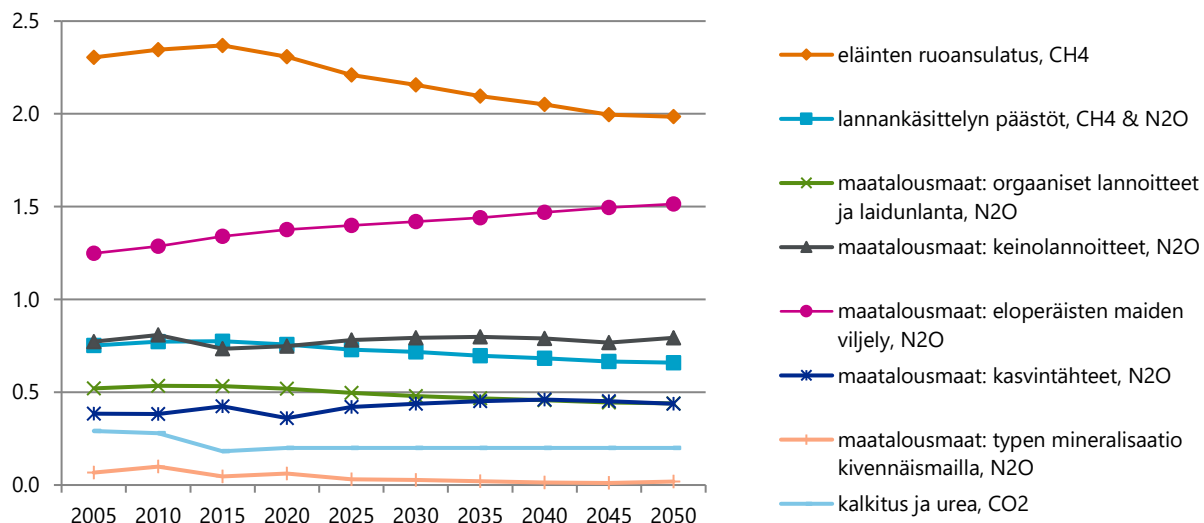
WEM-skenaariossa maataloussektorin päästöt vähenevät 6,34 miljoonasta hiilidioksidiekvivalenttitonniin vuonna 2005 6,17 miljoonaan hiilidioksidiekvivalenttitonniin vuoteen 2035 (-2 %) ja 6,05 miljoonaan hiilidioksidiekvivalenttitonniin (-6 %) vuoteen 2050 mennessä (Kuva 8).

Nautojen määrän väheneminen vähentää ruoansulatuksen metaanipäästöjä. Nautojen ja sikojen määrän väheneminen vähentää lannankäsittelyn päästöjä (Kuva 9).

Päästöt maatalousmaista kasvavat, koska eloperäisten maiden viljely lisääntyy edelleen aiempien vuosien tapaan (Kuva 9). Väkilannoitteiden päästöt pysyvät ennallaan. Lannanlevityksen ja laidunlannan päästöt vähenevät hieman eläinten määrän vähenemisen myötä. Lisääntyvä nurmiala ja kerääjäkasvien nykyisenkaltaisena jatkuva käyttö lisäävät kasvintähteiden päästöä, mutta vähentävät typen mineralisaation päästöä kivennäismailta, joten niiden nettovaikutus jää pieneksi (Kuva 9).



Kuva 8. Maataloussektorin päästöt WEM-skenaariossa

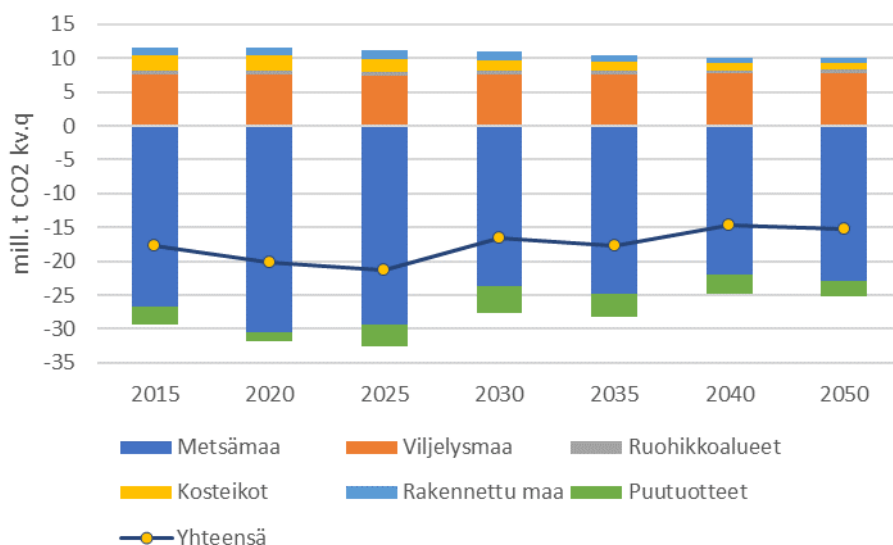


Kuva 9. Maataloussektorin päästöt WEM-skenaariossa, maatalousmaiden päästöt eriteltyinä

3.2. LULUCF-sektori

Tarja Tuomainen, Markus Haakana, Paula Ollila, Antti Wall, Jaakko Heikkinen, Jukka-Pekka Myllykangas, Boris Tupek

WEM-skenaariossa LULUCF-sektorin nettonielu vuonna 2035 on -17,8 miljoonaa hiilidioksidiekvivalenttia tonnia (Kuva 10, Taulukko 2). Metsämaan nielu on suurimmillaan vuonna 2025 -29,3 miljoonaa tonnia CO₂-ekv., pienimmillään vuonna 2040 -14,6 miljoonaa tonnia CO₂-ekv. Puutuotteisiin varastoitui koko skenaariojaksolla hiiltä vaihdellen kuitenkin metsäteollisuuden tuotannon mukaisesti. Muut LULUCF-sektorin luokat tuottavat nettopäästöä. Viljelysmaan 7,6 miljoonaa CO₂-ekv. tonnin nettopäästö kasvaa 7,8 miljoonaan CO₂-ekv. tonniin vuoteen 2050, kun ruohikkoalueiden, kosteikkojen ja rakennetun maan päästöt alenevat.

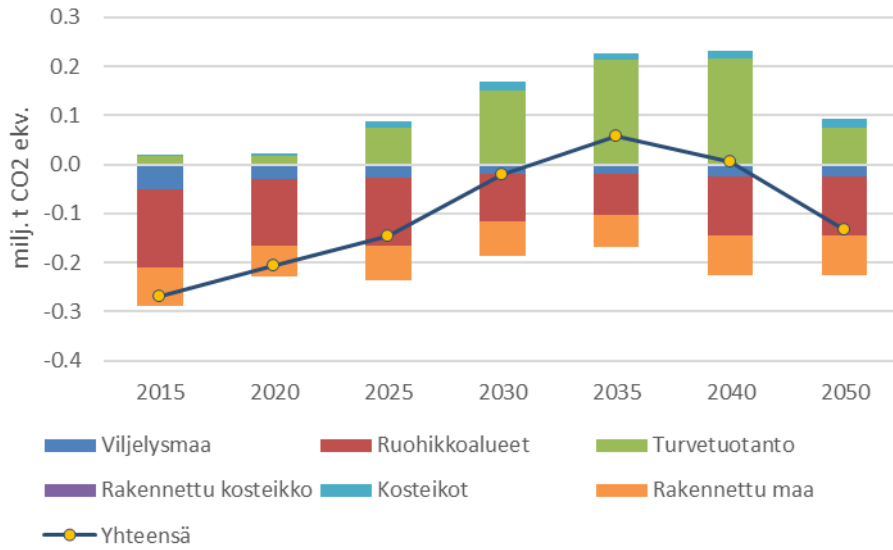


Kuva 10. LULUCF-sektorin nettonielun kehitys päästöluokittain WEM-skenaariossa.

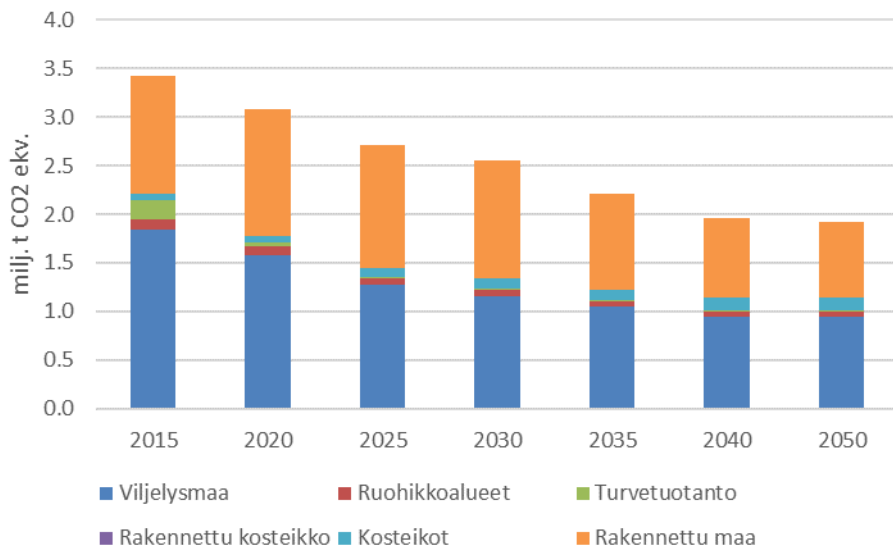
Taulukko 2. LULUCF-sektorin päästöt päästöluokittain WEM-skenaariossa, miljoona hiilidioksidiekvivalentti tonnia. Vuosi 2015 vastaa KHK-inventaarion arvoja AR5:n GWP-kertoimilla ja vuodet 2020–2050 ovat WEM-skenaarion tuloksia.

	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2050
Metsämaa	-26,62	-30,52	-29,34	-23,67	-24,71	-21,91	-22,90
Viljelysmaa	7,56	7,62	7,45	7,55	7,62	7,69	7,82
Ruohikkoalueet	0,68	0,62	0,61	0,59	0,59	0,56	0,53
Kosteikot	2,14	2,12	1,89	1,62	1,29	1,07	0,87
Rakennettu maa	1,23	1,31	1,27	1,23	1,00	0,82	0,79
Puutuotteet	-2,75	-1,21	-3,22	-3,92	-3,56	-2,82	-2,26
Yhteensä	-17,75	-20,07	-21,34	-16,60	-17,78	-14,58	-15,14

Turvepohjaisten maiden metsityksen seurauksena metsityksen nielu pienenee aiheuttaen 0,06 miljoonan CO₂-ekv. tonnin nettopäästön vuonna 2035 (kuva 12). Metsäkadon nettopäästö alenee noin kolmesta miljoonasta 2,2 miljoonaa tonniin CO₂-ekv. (kuva 13) pienemmästä pellon raivausalaista sekä pienemmästä metsämaasta rakennetuksi maaksi muuttuvasta alasta.



Kuva 11. Metsityksen nettonielun/-päästön kehitys WEM-skenaariossa.



Kuva 12. Metsäkadosta aiheutuvien päästöjen kehitys WEM-skenaariossa.

4. Viitteet

- Aakkula, J., Asikainen, A., Kohl, J., Lehtonen, A., Lehtonen, H., Ollila, P., Regina, K., Salminen, O., Sievänen, R. & Tuomainen, T. 2019. Maatalous- ja LULUCF-sektorien päästö- ja nielukehitys vuoteen 2050. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 20/2019. [http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161408/20-2019-MALULU .pdf](http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161408/20-2019-MALULU.pdf)
- Bioenergia ry. 2019. Turvetuotannosta poistuneet suonpohjat ovat jo hiilinieluja – metsitys tärkein jälkikäyttömuoto. Tiedotteet 8.3.2019. <https://www.bioenergia.fi/2019/03/08/turvetuotannosta-poistuneet-suonpohjat-ovat-jo-hiilinieluja-metsitys-tarkein-jalkikayttomuoto/>
- EC 2020. Commission guidance for reporting on GHG projections in 2021 under Art. 18 of the Regulation on the Governance of the Energy Union and Climate Action. Draft for consultation in CCC WG2, 25 June 2020
- IPCC 2007. Chapter 2: Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. IPCC AR4 WG1 2007.
- IPCC 2013 (Myhre, G.; Shindell, D.; Bréon, F.-M.; Collins, W. ym.). Chapter 8: Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. IPCC AR5 WG1 2013. pp. 659–740.
- Haakana, M., Ollila, P., Regina, K., Riihimäki, H. & Tuomainen, T. 2015. Menetelmä maankäytön kehityksen ennustamiseen: pinta-alojen kehitys ja kasvihuonekaasupäästöt vuoteen 2040. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 51/2015.
- Hamberg, L., Henttonen, H. & Tuomainen, T. 2016. Puusta valmistettujen tuotteiden hiilivaraston muutoksen laskenta kasvihuonekaasuinventaarissa – Menetelmäkehitys Suomen kasvihuonekaasuinventaarioon. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 73/2016. Saatavissa: https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/537716/luke-luobio_73_2016.pdf
- Heikkilä, J., Laitila, J., Tantt, V., Lindblad, J., Sirén, M., Asikainen, A., Pasanen, K. & Korhonen, K.T. 2005. Karsitun energiapuun korjuuvaihtoehdot ja kustannustekijät. Metlan työraportteja 10. Metsätutkimuslaitos, Joensuun tutkimuskeskus. 56 p. ISBN 951-40-1464-4 (pdf), ISSN 1795-150X (e-series). <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2005/mwp010.htm>
- Hirvelä, H., Härkönen, K., Lempiäinen, R. & Salminen, O. 2017. MELA2016 Reference Manual. Natural resources and bioeconomy studies 7/2017. Luonnonvarakeskus (Luke) 547 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-358-1>
- Hynynen, J., Ojansuu, R., Hökkä, H., Salminen, H., Siipilehto, J. & Haapala, P. 2002. Models for predicting the stand development – description of biological processes in MELA system. Metsätutkimuslaitoksen tiedonantoja 835. 116 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:951-40-1815-X>
- IEA 2020. World Energy Statistics and Balances, International Energy Agency, 2020.
- Koistinen, A., Liiro, J.-P. & Vanhatalo, K. (toim.) (2016). Metsänhoidon suositukset energiapuun korjuuseen, työopas. Tapion julkaisuja. http://tapio.fi/wp-content/uploads/2015/06/MHS-Energiapuun-korjuun-suositukset_verkkojulkaisu2.pdf

- Koljonen, T., Aakkula, J., Honkatukia, J., Soimakallio, S., Haakana, M., Hirvelä, H., Kilpeläinen, H., Kärkkäinen, L., Laitila, J., Lehtilä, A., Lehtonen, H., Maanavilja, L., Ollila, P., Siikavirta, H. & Tuomainen, T. 2020. Hiilineutraali Suomi 2035 - Skenaariot ja vaikutusarviot. VTT Technology 366. ISBN 978-951-38-8722-3 (pdf). ISSN 2242-122X (pdf). <https://doi.org/10.32040/2242-122X.2020.T366>
- Korhonen, K.T., Ihalainen, A., Heikkinen, J., Henttonen, H. & Pitkänen, J. 2007. Suomen metsävarat metsäkeskuksittain 2004-2006 ja metsävarojen kehitys 1996-2006. *Metsätieteen aikakauskirja* 2B/2007:149-213.
- Kuitto, P.-J., Keskinen, S., Lindroos, J., Oijala, T., Rajamäki, J., Räsänen, T. & Terävä, J. 1994. Puutavaran koneellinen hakkuu ja metsäkuljetus. Summary: Mechanized cutting and forest haulage. *Metsätehon tiedotus* 410 (Metsäteho Report 410). 38 pp. + appendices.
- Kärhä, K., Vartiamäki, T., Liikkanen, R., Keskinen, S. & Lindroos, J. 2004. Hakkuutähteen paalauksen ja paalien metsäkuljetuksen tuottavuus ja kustannukset. *Metsätehon raportti* 179. Metsäteho Oy, Helsinki. 88 + 6 s. ISSN 1459-773X, ISSN 1796-2374 (PDF). <http://www.metsateho.fi/uploads/4djb1xxw0otzss5.pdf>
- Kärhä, K., Keskinen, S., Liikkanen, R. & Lindroos, J. 2006. Kokopuun korjuu nuorista metsistä. *Metsätehon raportti* 193. Metsäteho Oy, Helsinki. 79 + 3 liitettä p. ISSN 1459-773X, ISSN 1796-2374 (PDF). http://www.metsateho.fi/uploads/Raportti_193_KK_ym.pdf
- Laasasenaho, J. 1982. Taper curve and volume functions for pine, spruce and birch. Männyn, kuusen ja koivun runkokäyrä ja -tilavuusyhtälöt. *Comm. Inst. For. Fenn.* 108. 74 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:951-40-0589-9>
- Laitila, J. 2010. Kantojen korjuun tuottavuus. *Metlan työraportteja* 150. Metsäntutkimuslaitos. 29 p. ISBN 978-951-40-2225-8 (pdf), ISSN 1795-150X (e-series). <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2010/mwp150.htm>
- Laitila, J., Asikainen, A., Sikanen, L., Korhonen, K.T. & Nuutinen, Y. 2004. Pienpuuhakkeen tuotannon kustannustekijät ja toimituslogiikka. *Metlan työraportteja* 3. Metsäntutkimuslaitos, Joensuun tutkimuskeskus. 58 p. ISBN 951-40-1932-6 (pdf), ISSN 1795-150X (e-series). <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2004/mwp003.htm>
- Laitila, J., Ala-Fossi, A., Vartiamäki, T., Ranta, T. & Asikainen, A. 2007. Kantojen noston ja metsäkuljetuksen tuottavuus. *Metlan työraportteja* 46. Metsäntutkimuslaitos. 26 p. ISBN 978-951-40-2033-9 (PDF), ISSN 1795-150X
- Lehtonen, H. 2001. Principles, structure and application of dynamic regional sector model of Finnish agriculture. Academic dissertation. Systems Analysis Laboratory, Helsinki University of Technology. Publisher: Agrifood Research.
- Lehtonen, H. 2015. Evaluating adaptation and the production development of Finnish agriculture in climate and global change. *Agricultural and Food Science* 24: 219–234.
- Lehtonen, H. & Niskanen, O. 2016. Promoting clover-grass: Implications for agricultural land use in Finland. *Land Use Policy* 59: 310–319.
- 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. doi:10.1016/j.envsci.2015.02.001

- Lehtonen, H., Niskanen, O., Karhula, T. & Jansik, C. 2017. Maatalouden rakennekehitys ja investointitarve vuoteen 2030. Markkinaskenaarioiden vaikutus maatalouden tuotantorakenteeseen (an English abstract: "Structural change and investment needs in Finnish agriculture by 2030"). Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 19/2017. 59 s. ISSN 2342-7639 (Verkkajulkaisu). URN: <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.
- Luke 2018. Luken tilastopalvelut, teollisuuspuun korjuu ja kaukokuljetus [viitattu 1.7.2018]. Saantitapa: <https://stat.luke.fi/teollisuuspuun-korjuu-ja-kaukokuljetus/>
- Luke 2019a. Luken tilastopalvelut, metsänhoito- ja metsänparannustyöt [viitattu 15.8.2019]. Saantitapa: <https://stat.luke.fi/metsanhoito-ja-metsanparannustyot/>
- Luke 2019b. Luken tilastopalvelut, teollisuuspuun kauppa [viitattu 15.8.2019]. Saantitapa: <https://stat.luke.fi/teollisuuspuun-kauppa/>
- Luke 2021a. Luken tilastopalvelut, hakkuukertymä ja puuston poistuma [viitattu 1.4.2021]. Saantitapa: <http://stat.luke.fi/hakkuukertyma-ja-puuston-poistuma/>
- Luke 2021b. Luken tilastopalvelut, metsävarat [viitattu 1.4.2021]. Saantitapa: <http://stat.luke.fi/metsavarat/>
- Luke 2021c. MELA Tulospalvelu, VMI12 (mittausvuodet 2014-2018) [viitattu 1.4.2021]. Saantitapa: <http://www.luke.fi/mela-metsalaskelmat/>
- Matala, J., Ojansuu, R., Peltola, H., Sievänen, R. and Kellomäki, S., 2005. Introducing effects of temperature and CO2 elevation on tree growth into a statistical growth and yield model. *Ecological Modelling*, 181(2-3):173-190. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2004.06.030>
- Mehtätalo, L. 2002. Valtakunnalliset puukohtaiset tukkivähennysmallit männyille, kuuselle, koivuille ja haavalle. *Metsätieteen aikakauskirja* 4/2002:579-591. <https://doi.org/10.14214/ma.6196>. Nuutinen, T., Hirvelä, H., Salminen, O., Härkönen, K. 2007. Alueelliset hakkuumahdollisuudet valtakunnan metsien 10. inventoinnin perusteella, maastotyöt 2004-2006. *Metsätieteen aikakauskirja* 2B/2007: 215-248.
- Metsäalan palkkauksen koulutusaineisto. 2010. Metsäalan työehtosopimus 1.6.2010 - 31.8.2012 - liite. Maaseudun Työnantajaliitto, Metsähallitus, Metsäteollisuus ry, Yksityismetsätalouden Työntajat, Puu- ja erityisalojen liitto.
- Mikkonen, A. 2019. Suomen tuulivoimayhdistys. Sähköposti 30.10.2019
- Niemi, P. 2019. Asiantuntija-arvio, tuulivoima-asiantuntija. Metsähallitus. Sähköposti 10.1.2019.
- OECD/FAO (2020), OECD-FAO Agricultural Outlook 2020-2029, FAO, Rome/OECD Publishing, Paris. <https://doi.org/10.1787/1112c23b-en>
- Rajamäki, J., Kariniemi, A. & Oijala, T. 1996. Koneellisen harvennushakkuun tuottavuus. Metsätehon raportti 8. Metsäteho Oy. Helsinki. 20 s. ISSN 1796-2374 (pdf).

- Rummukainen, A., Alanne, H. & Mikkonen, E. 1995. Wood procurement in the pressure of change - resource evaluation model till year 2010. Acta Forestalia Fennica 248. 98 pp. ISBN 951-40-1478-2, ISSN 0001-5636.
- Siitonen, M., Härkönen, K., Hirvelä, H., Jämsä, J., Kilpeläinen, H., Salminen, O., & Teuri, M. 1996. MELA Handbook - 1996 Edition. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 622. 455 s.
- Tiitu, M., Helminen, V., Järvenpää, E., Härmä, P., Hatunen, S. & Rehunen, A. 2015. Rakennetun alueen pinta-alan ennakointi – paikkatietoaineistojen ja -menetelmien hyödyntäminen rakennetun alueen muutosten laskennassa. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 28/2015. <http://hdl.handle.net/10138/155615>
- Tilasto: Energian hinnat. 2019. Tilastokeskus [viitattu 15.9.2019]. ISSN 1799-7984. Saantitapa: <https://www.stat.fi/til/ehi/tup.html/>
- Suomen virallinen tilasto (SVT) 2019. Väestöennuste [verkkajulkaisu].ISSN=1798-5137. 2019. Helsinki: Tilastokeskus [viitattu: 21.12.2020]. Saantitapa: http://www.stat.fi/til/vaenn/2019/vaenn_2019_2019-09-30_tie_001_fi.html
- Tilastokeskus 2021. Greenhouse gas emissions in Finland 1990 to 2019. National Inventory Report under the UNFCCC and the Kyoto Protocol. 15.3.2021.
- Valtakunnan metsien 11. inventointi (VMI11). 2013. Maastotyön ohjeet 2013. Koko Suomi ml. Ahvenanmaa. Metsäntutkimuslaitos. Moniste. 191 s.
- Valtakunnan metsien 12. inventointi (VMI12). 2018. Maastotyön ohjeet 2018. Koko Suomi ml. Ahvenanmaa. Luonnonvarakeskus. Moniste. 166 s.
- Viitanen, J., Mutanen, A. & Karvinen, S. (toim.) 2020. Metsäsektorin suhdannekatsaus 2020-2021. Luonnonvarakeskus. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 71/2020. 81 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-060-1>
- Väkevä, J., Kariniemi, A., Lindroos, J., Poikela, A., Rajamäki, J. & Uusi-Pantti, K. 2001. Puutavaran metsäkuljetuksen ajanmenekki. Metsäteho raportti 123 (Korjattu versio 7.10.2003). Metsäteho Oy, Helsinki. 41 + 3 p. ISSN 1796-2374 (pdf). <http://www.metsateho.fi/uploads/ytmjt7cukr.pdf>
- Äijälä, O., Koistinen, A., Sved, J., Vanhatalo, K. & Väisänen, P. (toim.) 2014). Metsänhoidon suositukset. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion julkaisuja. http://www.metsanhoitosuosituks.fi/wp-content/uploads/2016/08/Metsanhoidon_suosituks_Tapio_2014.pdf

5. Liitteet

5.1. Puuta jalostavan teollisuuden ja energiantuotannon puuntarve sekä hakkuukertymätavoite

Puuta jalostavan teollisuuden puuntarve perustuu WEM-skenaarion mukaisiin eri metsäteollisuustuotteiden tuotantomäärien kehityskulkuihin. Tuotantomäärät pohjautuvat Metsäteollisuus ry:n ja Sahateollisuus ry:n vähähiilitiekarttoihin, mutta etenkin massa- ja paperiteollisuuden osalta tuotantolukuja on tarkistettu kapasiteettileikkausten ja päätettyjen investointien mukaisesti. Eri tuotteiden tuotantoluvuista on laskettu tuotannon vaatimaa puumäärä noudattaen samaa menetelmää kuin Lehtonen ym. (2016), Aakkula ym. (2019) ja Koljonen ym. (2020) -raporteissa. Menetelmässä tietyn tuotteen yhden tonnin tai kuutiometrin tuotanto vaatii puunkulutuskertoimen mukaisen kiintokuutiometrimäärän (kuoreton) raakapuuta. Lisäksi tiettyjen tuotteiden, kuten sahatavaran ja vanerin, tuotanto tuottaa tietyn määrän sivutuotehaketta, joka hyödynnetään laskelmassa sellun tuotantoon. Tämän raportin laskelmissa puunkulutuskertoimet on kalibroitu metsäteollisuuden vuosien 2015-2019 tilastoitujen tuotantomäärien ja puun käyttömäärien avulla.

Laskelma tuottaa ensimmäisessä vaiheessa metsäteollisuuden tarvitseman raakapuun kokonaismäärän puutavaralajeittain, josta vähentämällä sivutuotehake päädytään eri puutavaralajien kokonaistarpeisiin. Näihin lisätään kuoren osuus kuorikertoimilla, jolloin tuloksena on eri puutavaralajien tarve kuorellisina kiintokuutiometreinä (Suomen metsätilastot 2019). Puutavaralajien tarpeesta vähennetään metsäteollisuuden käyttöön päätyvä tuontipuu, jonka määrän oletetaan WEM-skenaariossa olevan puutavaralajeittain yhtä suuren kuin vuosien 2015-2019 keskiarvon. Lopputuloksena syntyy arvio metsäteollisuuden kotimaisen ainespuun tarpeesta.

Energiantuotannon kiinteiden puupolttoaineiden tarve perustuu TIMES-mallinnuksen tulokseen, ja se koostuu puun energiakäytöstä lämpö- ja voimalaitoksissa sekä puun pienpoltosta. Pienpoltton puun oletetaan olevan runkopuuta ja lämpö- ja voimalaitosten käyttämän puun metsähaketta, joka koostuu runkopuusta, hakkuutähteistä (muu kuin runkopuu) sekä kannoista ja juurista. Metsähakkeesta on WEM-skenaarion mukaisesti 1,4 miljoonaa kiintokuutiometriä vuodessa tuontihaketta, joka on vähennetty energiantuotannon kotimaiseen puuhun kohdistuvasta puuntarpeesta. Energiantuotannon kotimaiseen puuhun kohdistuva kokonaistarve on jaettu runkopuuhun, hakkuutähteisiin sekä kantoihin ja juuriin vuosien 2015-2019 keskimääräisen jakauman mukaisesti.

Metsäteollisuuden ja lämpö- ja voimalaitosten sekä puun pienpoltton kotimaiseen puuhun kohdistuvaan tarpeeseen on lisätty ainespuun kotitarvehakkuut, joiden on oletettu WEM-skenaariossa pysyvän nykytasolla. Lopputuloksena on koko valtakunnan tason hakkuukertymätavoite, joka on jaettu maakunnittaisiksi hakkuukertymätavoitteiksi vuodesta 2020 hyödyntäen Koljonen ym. 2020 –raportissa käytettyjä maakuntien osuuksia valtakunnan tason korjuumääristä. Nämä puolestaan perustuvat tilastoihiin teollisuuspuun keskimääräisiin hakkuumääriin havuosina 2016–2018, metsähakkeen keskimääräinen käyttöön vuosina 2012–2018 sekä kotitalouksien polttopuun käyttöön (kts. Koljonen ym. 2020, liite A) Vuoteen 2019 saakka Hiisi-hankkeen laskelmissa käytetyt maakunnittaiset hakkuukertymät perustuvat tilastoihin. Maakunnittaisia hakkuukertymätavoitteita on käytetty MELA-

optimoinnissa alueellisina tavoitteina laskettaessa optimiratkaisun mukaisia hakkuumääriä sekä niiden kohdentumista.

5.2. Metsikkösimuloinnin kuvaus MELA2016-ohjelmistolla

5.2.1. Metsiköiden kehityspolkujen simulointi

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

Laskentayksiköiden käsittely perustui Tapion metsänhoidon suosituksiin (Äijälä ym. 2014, Koistinen ym. 2016). Ensisijaisen puuntuotannon maalla mahdollisia käsittelyvaihtoehtoja olivat kasvatushakkuut (runkolukuun ja pohjapinta-alaan perustuvat harvennukset ja ylispuiden poistot) ja uudistushakkuut (avo- ja siemenpuuhakkuut), säästöpuiden jättäminen uudistushakkuissa, raivaus, maanpinnan käsittely, metsänviljely (istutus ja kylvö), taimikonhoito ja ojitetuilla turvemilla reheviä korpia lukuun ottamatta hakkuiden yhteydessä kunnostusojitus. Avohakkuun jälkeen tehtiin aina metsänviljely. Taimikonhoito simuloitiin metsänhoidon suositusten mukaisesti. Kulotus, uudisojitus, pystypuiden karsinta, yläharvennus ja eri-ikäisrakenteisen metsän kasvatusta eivät olleet mukana simuloinneissa. Lisäksi lannoituksia ei simuloitu WEM-skenaariossa. Rajoitetun puuntuotannon maalla korjattiin vain ainespuuta ja sallittuja hakkuutapoja olivat vain kasvatushakkuut. Kitumilla ja kokonaan puuntuotannon ulkopuolella olevilla alueilla ei tehty mitään toimenpiteitä.

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

Harvennushakkuissa voitiin korjata joko vain ainespuuta, aines- ja energiapuuta integroituna korjuuna tai vain energiapuuta. Integroidussa korjuussa energiapuu koostui männyn, kuusen, koivun ja haavan osalta rinnankorkeusläpimitaluokista 4–9 cm ja muilla puulajeilla kaikista rinnankorkeusläpimitaltaan vähintään 4 cm:n paksuisista puista. Harvennushakkuiden energiapuu korjattiin kuivahkojen kankaiden ja tätä viljavampien kankaiden mänty- tai lehtipuuvälisissä metsiköissä kokopuuna. Energiapuu korjattiin rankapuuna em. kasvupaikkoja karummilla kangasmailla, turvemilla tai aina kun pääpuulaji oli kuusi. Avohakkuukohteilla voitiin korjata joko vain ainespuuta tai, kun kyseessä oli kivennäismailla lehtomainen, tuore tai kuivahko kangas, ainespuun lisäksi a) hakkuutähdettä (oksat ja latvahukkapuu) tai b) hakkuutähdettä ja kantoja. Kun avohakkuukohteessa korjattiin energiapuuta, 70 % hakkuutähteestä (oksat ja runkopuu) otettiin talteen. Kantojen nostokohteilla korjattiin läpimitaltaan vähintään 25 cm:n paksuiset kannot, joista saatiin talteen 85 %. Luontaisesti uudistettavilta aloilta korjattiin vain ainespuuta.

5.2.2. Kasvuntason kalibrointi

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

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

5.2.3. Puutavaralajeittainen tilavuuksien laskenta

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

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

5.2.4. Hintaoletukset

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

Ainespuun osalta tienvarsihinnat laskettiin lisäämällä toteutuneisiin kantohintoihin (€/m³) koko Suomessa keskimäärin toteutuneet korjuukustannukset (€/m³). Kantohinnat määritettiin

maakunnittain ja puutavaralajeittain siten, että kunkin puutavaralajin kantohintoina käytettiin vuosina 2009–2018 toteutunutta keskimääräistä yksikköhintaa (Luke 2019b) vuoden 2018 hintatasoon muutettuina (Taulukko 3). Koivukuidun hintaa käytettiin haavan tukki- ja kuitupuulle. Muiden lehtipuiden tukki- ja kuitupuulle käytettiin koivukuidun ensiharvennushintaa, joka oli keskimäärin 2,90 €/m³ alempi kuin koivukuidun keskihinta. Tienvarsihinnan laskennassa käytetty keskimääräinen korjuukustannus määritettiin vuosien 2009–2017 koko Suomessa keskimäärin toteutuneena reaalisena (vuoden 2018 rahanarvolla) korjuukustannuksena (Luke 2018) ja se oli tukkipuun osalta 7,80 €/m³ ja kuitupuun osalta 14,30 €/m³.

Taulukko 3. Laskelmissa käytetyt maakunnittaiset ja puutavarakohtaiset kantohinnat, jotka määritettiin vuosina 2009–2018 toteutuneina keskimääräisinä yksikköhintoina vuoden 2018 hintatasoon muutettuina.

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

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

Taulukko 4. Laskelmissa käytetyt metsähakkeen käyttöpistehinnat energijakeittain.

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

Simuloidut korjuukustannukset laskettiin korjuun ajanmenekin ja korjuun yksikköhintojen tulona. Taulukko 5 on esitetty laskelmissa käytetyt korjuun yksikköhinnat (vuoden 2018 rahanarvolla) ainespuun ja Taulukko 6 energiapuun osalta. Laskennassa käytetyt ajanmenekifunktiot perustuivat useisiin työaikatutkimuksiin ainespuun (mm. Kuitto ym. 1994, Rummukainen ym. 1995, Rajamäki ym. 1996, Väkevä ym. 2001, Metsäalan palkkauksen ... 2010) ja energiapuun korjuun (mm. Laitila 2010, Laitila ym. 2004, 2007, Kärhä ym. 2004, 2006, Heikkilä ym. 2005) osalta.

Taulukko 5. Laskelmissa käytetyt korjuun yksikköhinnat sisältäen palkkojen lisäksi yrittäjävoiton, henkilösivukustannukset ja työvälinekorvaukset.

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

Taulukko 6. Laskelmissa käytetyt energiapuun hankinnan yksikköhinnat sisältäen palkkojen lisäksi henkilösivukustannukset ja työvälinekorvaukset. Energiapuun korjuulle ei kohdistettu korjuu- tai haketustukia.

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

Metsänhoitotöiden kustannukset laskettiin työmäärien ja vuosina 2008–2017 toteutuneiden keskimääräisten, vuoden 2018 hintatasoon muutettujen yksikköhintojen (Luke 2019a) tulona (Taulukko 7).

Taulukko 7. Laskelmissa käytetyt alueittaiset metsänhoitotöiden yksikköhinnat, jotka määritettiin vuosina 2008–2017 toteutuneina keskimääräisinä yksikköhintoina vuoden 2018 hintatasoon muutettuina.

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

Etelä-Suomi: Uudenmaan, Varsinais-Suomen, Satakunnan, Kanta-Hämeen, Pirkanmaan, Päijät-Hämeen, Kymenlaakson, Etelä-Karjalan, Etelä-Savon ja Ahvenanmaan maakunnat
 Väli-Suomi: Pohjois-Savon, Pohjois-Karjalan ja Keski-Suomen maakunnat
 Pohjanmaa: Etelä-Pohjanmaan, Pohjanmaan ja Keski-Pohjanmaan maakunnat
 Pohjois-Suomi: Pohjois-Pohjanmaan, Kainuun ja Lapin maakunnat

5.3. Metsien kehityksen ennustamisen erot MALUSEPO- ja HIISI-laskelmien välillä

Taulukko 8. MALUSEPO- ja HIISI-laskelmien skenaariot sekä niiden väliset eroavuudet laskenta-aineiston ja laskennassa tehtyjen oletusten suhteen. HIISI-laskelmien osalta tarkemmat kuvaukset löytyvät luvusta 5.2.1.

	MALUSEPO	HIISI
Julkaisu, jossa tulokset raportoitu	Koljonen ym. (2020)	Koljonen ym. (2021) (HIISI-raportti, VTT)
Skenaariot/projektiot	WEM Jatkuva kasvu Säästö	WEM (määrittely poikkeaa MALUSEPO:sta) WAM
Laskelma-alue	- WEM: maakunta/AMO-alue - Muut: osa-alue (Etelä-, Kaakkois-, Väli- ja Pohjois-Suomi)	- WEM: maakunta - WAM: maakunta
Aineisto - VMI-aineisto	VMI11/12 (2013-2017), paitsi Ylä-Lapissa VMI11 (2012-2013)	VMI12 (2014-2018), paitsi Ylä-Lapissa VMI11 (2012-2013)
Ajanjakso, jolle tulokset esitetään	2015-2055	2016-2056
Hakkuukertymätasot skenaarioittain		
- Runkopuu (*)	WEM: 72,0 – 81,2 milj. m ³ /v Jatkuva kasvu: 75,5 – 81,8 milj. m ³ /v Säästö: 75,8 – 92,2 milj. m ³ /v	WEM: 71,1 – 83,1 milj. m ³ /v WAM: ei vielä tiedossa
- Energiapuu (*)	WEM: 17,2 – 19,3 milj. m ³ /v Jatkuva kasvu: 15,2 – 18,8 milj. m ³ /v Säästö: 14,2 – 20,2 milj. m ³ /v	WEM: 13,3 – 18,5 milj. m ³ /v WAM: ei vielä tiedossa
Muutokset laskelmissa		
- Runkopuun hukkapuun laskenta (ainespuuhakkuissa)	Puiden katkonnan perusteella, hukkapuuksi kuitupuun minimimittoja pienempi runkopuu. Lisäksi hakkuutähteen osuus hakkuupoistumasta kalibroitu VMI11-aineistosta arvioiduilla osuuksilla	Puiden katkonnan perusteella, hukkapuuksi kuitupuun minimimittoja pienempi runkopuu. Lisäksi hakkuutähteen osuus hakkuupoistumasta kalibroitu VMI12-aineistosta arvioiduilla osuuksilla
- Puutavaralajien hinnat	Keskimääräiset tilastoidut vuosilta 2008-2017	Keskimääräiset tilastoidut vuosilta 2009-2018
- Metsänhoitotöiden kustannukset	Keskimääräiset tilastoidut vuosilta 2007-2016	Keskimääräiset tilastoidut vuosilta 2008-2017

*) Kussakin skenaariossa on taustalla laskelma-aluekohtaiset oletukset puutavaralajeittaisille hakkuukertymille ja energiapuukertymän ositteille. Kaikissa skenaarioissa maksimoitiin laskelma-alueittain nettotulojen nykyarvoa 4 %:n tuottovaatimuksella.

5.4. Puuston runkotilavuuden, kasvun ja hakkuukertymän kehitys WEM-skenaariossa

Taulukko 9. Puuston runkotilavuuden (milj. m³) kehitys metsä- ja kitumaalla vuosina 2016–2056.

WEM	2016	2026	2036	2046	2056
Puuston runkotilavuus, milj. m³	2 475,2	2 702,6	2 869,9	3 015,8	3 184,1
Mänty	1 245,6	1 389,5	1 480,1	1 553,1	1 632,2
Kuusi	745,5	808,5	870,4	930,2	1 013,5
Lehtipuu	484,1	504,7	519,5	532,5	538,4

Taulukko 10. Puuston kokonaiskasvu ja kokonaispoistuma metsä- ja kitumaalla vuosina 2016–2055, milj. m³/v.

WEM	2016-25	2026-35	2036-45	2046-55
Runkopuun kokonaiskasvu, milj. m³/v	106,0	106,5	108,3	112,1
Runkopuun kokonaispoistuma, milj. m³/v	83,3	89,8	93,8	95,2

Taulukko 11. Runkopuun hakkuukertymä sekä latvuksien ja kantojen korjuumäärä vuosina 2016–2055, milj. m³/v.

WEM	2016-25	2026-35	2036-45	2046-55
Runkopuun hakkuukertymä, milj. m³/v	71,1	78,9	82,3	83,1
Ainespuukertymä, milj. m³/v	61,8	67,8	71,2	71,3
Mänty	27,8	32,3	33,8	33,3
Kuusi	24,0	26,5	28,4	28,9
Koivu	8,5	7,8	8,0	7,8
Muu lehtipuu	1,4	1,1	1,0	1,2
Tukkikertymä, milj. m³/v	27,0	29,8	30,4	30,5
Mänty	12,0	13,6	13,9	13,9
Kuusi	13,9	15,1	15,4	15,4
Koivu	0,9	1,0	1,0	1,0
Muu lehtipuu	0,2	0,1	0,1	0,1
Kuitukertymä, milj. m³/v	34,8	38,0	40,8	40,8
Mänty	15,8	18,7	19,8	19,4
Kuusi	10,1	11,4	13,0	13,5
Koivu	7,6	6,8	7,0	6,8
Muu lehtipuu	1,3	1,0	0,9	1,1
Ainespuukertymä hakkuutavoittain, milj. m³/v	61,8	67,8	71,2	71,3
Kasvatushakkuut	12,9	21,2	24,2	24,0
Uudistushakkuut	48,9	46,6	47,0	47,3
Energiapuukertymä, milj. m³/v	13,3	16,4	16,8	18,5
Runkopuu	9,3	11,1	11,1	11,9
Oksat, lehdet ja neulasat	3,3	4,5	4,8	5,6
Kannot	0,7	0,8	0,9	1,1

5.5. Maankäytön muutokset WEM-skenaariossa

Taulukko 12. Maankäytön muutokset 2021–2040 (ha/v) ja kokonaisuutosala vuonna 2040 (ha).

Uusi maankäyttö	Edellinen maankäyttö	2021	2025	2030	2035	2040	2021-2040
		ha/v					ha
Metsämaa	viljelysmaa	320	330	320	320	320	6480
	ruohikko	1960	1960	1940	1950	1960	39140
	kosteikko	1490	1490	1490	1490	1490	29800
	turvetuotanto	1260	3150	3150	3670	2100	56570
	rakennettu	1050	1050	1050	1050	1050	21000
Viljelysmaa	metsämaa	2390	2390	2390	2390	2390	47800
	ruohikko	170	170	170	170	170	3400
	kosteikko	50	50	50	40	50	1000
	turvetuotanto	750	750	750	790	750	13100
Ruohikkoalue	metsämaa	340	340	340	340	340	6800
	viljelysmaa	2420	2420	2420	2420	2420	47300
	turvetuotanto	210	210	210	210	210	4200
Rakennettu maa	metsämaa	8210	8520	8320	6600	5170	148590
	viljelysmaa	620	630	630	490	390	11170
	ruohikko	230	240	240	190	150	4250
	kosteikko	240	250	250	200	160	4510
	turvetuotanto	60	60	60	50	40	1070
	muu maa	300	310	280	210	160	4940
Kosteikko, muu	metsämaa	970	980	980	980	980	19540
	turvetuotanto	230	230	230	280	220	4800
Kosteikko, turvetuotanto	metsämaa	80	80	80	80	80	1600
	muu kosteikko	20	20	20	20	20	400



luke.fi

Luonnonvarakeskus
Latokartanonkaari 9
00790 Helsinki
puh. 029 532 6000