

Luonnonvara- ja  
biotalouden  
tutkimus 20/2019

## Suomen metsien hiilinielun vertailutason arviointi

Aleksi Lehtonen, Olli Salminen, Risto Sievänen, Tarja Tuomainen, Paula Ollila, Tuula Packalen, Antti Asikainen, Sirpa Thessler, Anssi Ahtikoski, Esa Uotila ja Raisa Mäkipää

Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 20/2019

# Suomen metsien hiilinielun vertailutason arviointi

Alexi Lehtonen, Olli Salminen, Risto Sievänen, Tarja Tuomainen, Paula Ollila,  
Tuula Packalen, Antti Asikainen, Sirpa Thessler, Anssi Ahtikoski, Esa Uotila  
ja Raisa Mäkipää

Luonnonvarakeskus, Helsinki 2019

Viittausohje:

Lehtonen, A., Salminen, O., Sievänen, R., Tuomainen, T., Ollila, P., Packalen, T., Asikainen, A., Thessler, S., Ahtikoski, A., Uotila, E. & Mäkipää, R. 2019. Suomen metsien hiilinielun vertailutason arviointi. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 20/2019. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 32 s.

2. korjattu painos



ISBN 978-952-326-734-3 (Painettu)

ISBN 978-952-326-735-0 (Verkkajulkaisu)

ISSN 2342-7647 (Painettu)

ISSN 2342-7639 (Verkkajulkaisu)

URN <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-735-0>

Copyright: Luonnonvarakeskus (Luke)

Kirjoittajat: Aleksi Lehtonen, Olli Salminen, Risto Sievänen, Tarja Tuomainen, Paula Ollila, Tuula Packalen, Antti Asikainen, Sirpa Thessler, Anssi Ahtikoski, Esa Uotila ja Raisa Mäkipää

Julkaisija ja kustantaja: Luonnonvarakeskus (Luke), Helsinki 2019

Julkaisuvuosi: 2019

Kannen kuva: Erkki Oksanen / Luke

Painopaikka ja julkaisumyynti: PunaMusta Oy, <http://luke.juvenesprint.fi>

## Tiivistelmä (ja/tai Abstrakti)

Aleksi Lehtonen<sup>1)</sup>, Olli Salminen<sup>1)</sup>, Risto Sievänen<sup>1)</sup>, Tarja Tuomainen<sup>1)</sup>, Paula Ollila<sup>1)</sup>, Tuula Packalen<sup>2)</sup>, Antti Asikainen<sup>2)</sup>, Sirpa Thessler<sup>1)</sup>, Anssi Ahtikoski<sup>3)</sup>, Esa Uotila<sup>1)</sup> ja Raisa Mäkipää<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Luonnonvarakeskus (Luke), Latokartanonkaari 9, 00790 Helsinki

<sup>2)</sup>Luonnonvarakeskus (Luke), Yliopistokatu 6 B, 80100 Joensuu

<sup>3)</sup>Luonnonvarakeskus (Luke), Paavo Havaksentie 3, 90570 Oulu

Metsien hiilinielulla on suuri merkitys ilmastonmuutoksen hillitsemisessä, minkä vuoksi EU on liittännyt LULUCF-asetuksessa maankäyttösektorin päästöt ja nielut ilmasto- ja energiapolitiisiin tavoitteisiin ja asettaa jäsenmaiden metsille hiilinielujen vertailutasot. Luonnonvarakeskus sai Maa- ja metsätalousministeriöltä tehtäväksi arvioida Suomen metsien hiilinielun vertailutason projektiokaudelle 2021 – 2025 EU:n LULUCF asetuksen mukaisesti. Tässä raportissa kuvataan Suomen metsien vertailutasoprojektin tulokset. Metsien tuleva kehitys projisoitiin MELA-ohjelmiston avulla, jonka jälkeen hiilivarastojen muutokset ja muut kasvihuonekaasupäästöt määritettiin kasvihuonekaasuintentaarion menetelmien mukaisesti. Tässä laskennassa arvioitiin myös puutuotteiden hiilivaraston muutokset ns. tuotantomenetelmän avulla.

LULUCF asetuksen mukaan vertailutaso tuli määrittää siten, että ennuste metsien hiilinielusta perustuu toteutuneisiin metsänhoidon menetelmiin viitekaudelta 2000–2009. LULUCF-laskentaohjeisto jakaa viitekauden metsänhoidon kuvauksen laadulliseen ja määrälliseen osaan. Laadullisesti metsänhoito kuvattiin viitekauden metsänhoitosuosituksilla, jotka määrittävät projektion laskennassa käytetyn optimoinnin lähtöaineiston. Metsänhoidon määrällisessä kuvauksessa käytettiin viitekauden hakkuupinta-aloja. LULUCF-asetuksen edellyttämä metsien rakenteen dynaaminen kehitys otettiin huomioon suhteuttamalla projektiokauden pääte- ja kasvatushakkuiden pinta-alat viitekaudella toteutuneisiin osuuksiin vastaavista hakkuumahdollisuuksista.

Yllä kuvattujen määrittelyiden jälkeen projektiio laskettiin lineaarisella optimoinnilla, jossa tavoitefunktiona oli nettotulojen nykyarvon maksimointi ja rajoitteena yllä kuvatut hakkuupinta-alat. LULUCF-asetuksen ja -laskentaohjeistuksen mukaisesti vertailutasolaskennan on pohjaututtava viitekaudella toteutuneeseen ja raportoituun kehitykseen eikä laskennassa saa ottaa huomioon metsätaloudelle asetettuja tavoitteita. Nettotulojen nykyarvon laskennassa käytettiin diskonttokoron lähtökohtana viitekauden tilastoitua puuntuotannon sijoitustuottoa (3,6 %), joka kuvaa metsänomistajien ja puunostajien päätöksiä hakkuiden ajoittumisesta ao. jaksolla eikä ota kantaa tulevan ja nykyisen kulutuksen suhteelliseen arvoon (yhteiskunnallinen korko, social discount rate). Lisäksi tutkimme sovelletun korkokannan vaikutusta tuloksiin. Näin ollen Suomen metsien vertailutaso laskettiin käyttäen 2,5 %, 3 %, 3,5 % ja 4 % korkoa.

Tulosten mukaan Suomen metsien vertailutaso puutuotteiden kanssa vaihteli jaksolle 2021–2025 -50 milj. tn. CO<sub>2</sub> ekv. ja -30 milj. tn. CO<sub>2</sub> ekv. välillä vuodessa riippuen nettotulojen nykyarvon laskennassa sovelletusta korosta. Suomen ehdotus EU:lle on 3,5 % tuottovaatimukseen perustuva vertailutaso, perustuen siihen että jaksolta 2000–2009 dokumentoitu yksityismetsien puuntuotannon sijoitustuotto oli 3,6 % ja LULUCF asetuksen mukaan laskennan tuli osoittaa mikä hiilinielu olisi jossa metsänomistajat olisivat jatkaneet metsien hyödyntämistä samalla tavalla kuin 2000–2009. Vertailutaso on puutuotteiden kanssa -34,77 milj. tn. CO<sub>2</sub> ekv. vuodessa ja ilman puutuotteita -27,88 milj. tn. CO<sub>2</sub> ekv. vuodessa.

Asiasanat: Hiilinielu, LULUCF, maaperä, metsät, puutuotteet, vertailutaso.

# Sisällys

<b>1. Vertailutasolaskennan taustaa</b> .....	<b>5</b>
1.1. Taustaa.....	5
1.2. Lakiteksti .....	6
1.3. Vertailutason määrittäminen.....	6
<b>2. Kestävän metsänhoidon määrittäminen jaksolle 2000–2009</b> .....	<b>8</b>
2.1. Kestävän metsänhoidon laadullinen kuvaus viitekaudelle 2000–2009 .....	8
2.2. Kestävän metsänhoidon määrällinen kuvaus viitekaudelle 2000–2009.....	9
2.3. Kestävän metsänhoidon kohdentumisen kuvaus viitekaudelle 2000–2009.....	9
2.3.1. Puuntuotannon sijoitustuotto.....	10
<b>3. Suomen metsien kasvihuonekaasupäästöjen ja -nielujen kehityksen simulointi jaksolle 2021–2060</b> .....	<b>12</b>
3.1. Menetelmä.....	12
3.2. Puuston kehitys.....	13
3.2.1. Puuston kehityksen laskenta.....	13
3.2.2. Puuston kehityksen arvioinnissa käytetty lähtöaineisto.....	13
3.2.3. MELA-ohjelmiston kasvumallien kalibrointi.....	14
3.2.4. Käsittelyvaihtoehtojen simulointi MELA-ohjelmistolla .....	15
3.2.5. Säädata.....	16
3.3. Maaperän kasvihuonekaasutaseet .....	16
3.3.1. Kangasmaiden maaperän hiilivaraston muutos.....	17
3.3.2. Metsäisten turvemaiden maaperän hiilen varastonmuutokset .....	17
3.3.3. Metsäisten turvemaiden kasvihuonekaasupäästöt (CH <sub>4</sub> ja N <sub>2</sub> O).....	17
3.4. Muut kasvihuonekaasupäästöt.....	18
3.5. Puutuotteet.....	18
<b>4. Tulokset</b> .....	<b>19</b>
4.1. MELA-ohjelmiston puuston kasvun vaikutus tuloksiin .....	21
4.2. Vertailu kasvihuonekaasuinventaarion tulosten kanssa.....	22
<b>5. Tulosten tarkastelu ja päätelmät</b> .....	<b>24</b>
5.1. Päätulosten arviointia .....	24
5.2. Parannusehdotukset.....	25

# 1. Vertailutasolaskennan taustaa

## 1.1. Taustaa

Ilmastopimuksen osapuolikokouksessa Pariisissa saavutettiin vuonna 2015 neuvottelutulos, jossa kaikki maat sitoutuivat hillitsemään ilmastomuutosta omilla toimillaan. Pariisin sopimuksessa maat sitoutuivat yhteiseen tavoitteeseen, jonka mukaan ilmaston lämpeneminen hidastetaan siten, että maailman keskilämpötila ei nouse yli kahta astetta verrattuna esiteolliseen aikaan ja tavoitellaan lämpötilan nousun pitämistä alle 1,5 asteessa. Pariisin sopimus tuli voimaan marraskuussa 2016 ja sen on tähän mennessä (maaliskuu 2019) ratifioinut 185 maata ilmastopimuksen 197 maasta. Kansainvälisesti asetettu maailmanlaajuinen tavoite voidaan saavuttaa, jos sekä päästöjä pystytään vähentämään merkittävästi, että nieluja pystytään kasvattamaan. Sopimuksen tavoitteiden mukaan ihmisen toiminnan aiheuttamien kasvihuonekaasupäästöjen ja nielujen tulee olla tasapainossa kuluvan vuosisadan jälkipuoliskolla.

Pariisin sopimuksen ydintä on kansallisesti määritellyt panokset (Nationally Determined Contributions, NDC) kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä, joihin maa sitoutui sopimuksen ratifioidessaan. Sopimuksen mukaisesti tavoitteita kiristetään asteittain ja maat esittävät uudet NDC:t viiden vuoden välein. Euroopan Unioni (EU) on ratifioinut Pariisin sopimuksen eli laillisesti sitoutunut vähentämään päästöjään esittämänsä NDC:n<sup>1</sup> mukaisesti 40 % vuoteen 2030 mennessä vuoden 1990 tasosta. Lisäksi EU sitoutui liittämään maankäyttösektorin (LULUCF-sektorin) ilmastopoliittisiin tavoitteisiin vuoteen 2020 mennessä.

Euroopan komissio antoi kesällä 2016 asetusehdotuksen LULUCF (maankäyttö, maankäytön muutokset ja metsätalous) -sektorin sisällyttämisestä 2030 energia- ja ilmastopakettiin. Kyseinen LULUCF-asetus<sup>2</sup> hyväksyttiin toukokuussa 2018. Asetus edellyttää jäsenmaita varmistamaan, että LULUCF-sektorin kokonaispäästöt ovat korkeintaan nolla kuitenkin niin, että asetetut metsien vertailutasot ja asetuksen laskentasäännöt huomioidaan. Asetuksen mukaisesti jäsenmaat toimittivat vuoden 2018 aikana komissiolle metsien hiilinielun vertailutason jaksolle 2021–2025. Vuonna 2023 toimitetaan metsien vertailutaso jaksolle 2026–2030. Kevään 2019 aikana jäsenmaiden toimittamat vertailutasot tarkastetaan, jolla varmistetaan että ne on määritetty asetuksen periaatteiden mukaisesti. Mahdolliset muutokset vertailutasoihin komission suositusten mukaisesti tehdään vuoden 2019 loppuun mennessä ja komissio vahvistaa vertailutasot vuonna 2020.

LULUCF-asetuksen mukaan jokainen jäsenmaa tuottaa sovittuja kriteerejä noudattaen hoidetun metsämaan vertailutason jaksolle 2021–2025 ja 2026–2030. Vertailutasot määritetään, jotta voidaan ylläpitää ja vahvistaa metsien hiilensidontakykyä pitkällä aikajänteellä Pariisin ilmastopimuksen mukaisesti.

---

<sup>1</sup> Intended Nationally Determined Contribution of the EU and its Member States 5/10/2016  
<https://www4.unfccc.int/sites/ndcstaging/PublishedDocuments/European%20Union%20First/LV-03-06-EU%20INDC.pdf>

<sup>2</sup> EUROOPAN PARLAMENTIN JA NEUVOSTON ASETUS (EU) 2018/841, annettu 30 päivänä toukokuuta 2018, maankäytöstä, maankäytön muutoksesta ja metsätaloudesta aiheutuvien kasvihuonekaasujen päästöjen ja poistumien sisällyttämisestä vuoteen 2030 ulottuviin ilmasto- ja energiapolitiikan puitteisiin sekä asetuksen (EU) N:o 525/2013 ja päätöksen N:o 529/2013/EU muuttamisesta.

## 1.2. Lakiteksti

Asetuksen tavoitteena on liittää maankäyttösektori EU:n ilmastopoliittisiin tavoitteisiin ja varmistaa se, että muiden sektoreiden päästövähennykset eivät aiheuta päästöjen lisääntymistä LULUCF sektorilla. Haastavaksi asetuksen laadinnan teki se tosiasia, että metsät, sekä metsätalous on hyvin erilaisia jäsenmaiden välillä. Hyväksytyin asetuksen artiklasta 8, kohta 5 poistettiin sana ”intensiteetti”, joka viittaa siihen että kuinka intensiivisesti metsiä on käytetty ja käytetään. Tosin kyseinen sana löytyy edelleen sekä asetuksen alkuteksteistä että liitteestä. Lisäksi artiklaan tuotiin Pariisin sopimuksen hengen mukainen lisäys jossa sanotaan että vertailutaso ei saa estää kohtuuttomasti metsien käyttöä, jos kuitenkin voidaan ylläpitää ja vahvistaa metsien nieluja pitkällä aikavälillä. Alla asetuksesta artiklan 8 kohta 5:

*”Metsien vertailutaso perustuu kestävän metsänhoidon käytäntöjen, sellaisina kuin ne on dokumentoitu kautena 2000–2009 jäsenvaltioiden metsien dynaamisten ikään liittyvien metsien ominaisuuksien osalta, jatkamiseen parhaan saatavilla olevan tiedon mukaisesti.*

*Ensimmäisen alakohdan mukaisesti määritetyissä metsien vertailutasoissa on otettava huomioon dynaamisten ikään liittyvien metsien ominaisuuksien tulevat vaikutukset, jotta ei aiheuttomasti rajoiteta metsänhoidon intensiteettiä kestävän metsänhoidon käytäntöjen keskeisenä osana, tavoitteena ylläpitää tai vahvistaa pitkän aikavälin hiilinieluja. Jäsenvaltioiden on osoitettava, että menetelmät ja tiedot, joita käytetään ehdotetun metsien vertailutason määrittämiseksi kansallisessa metsätalouden tilinpitosuunnitelmassa, ovat johdonmukaiset hoidettua metsämaata koskevassa raportoinnissa käytettävien menetelmien ja tietojen kanssa.”*

Metsien vertailutaso on asetukseen pohjautuva hiilinielutaso jaksolle 2021–2025, johon verrataan kasvihuonekaasuinventaarion tuottamia arvioita jaksolla toteutuneista metsien nieluista vuoden 2027 aikana. Siksi on tärkeää, että vertailutaso on tehty kasvihuonekaasuinventaarion kanssa yhdenmukaisilla menetelmillä. Lisäksi asetus edellyttää, että vertailutasolaskennassa sovellettava malli kykenee tuottamaan nykytilanteeseen saakka samat hiilinielujen kehitykset kuin kasvihuonekaasuinventaariossa on jo raportoitu.

Lakiteksti liittää metsät ja maankäyttösektorin osaksi Euroopan unionin 2030 ilmasto- ja energiapolitiikkaa. Euroopan Unionin 2030 ilmasto- ja energiapolitiikan perustana on kolme tavoitetta: (1) 40 % vähennys kasvihuonekaasupäästöissä, (2) uusiutuvan energian osuutta lisätään vähintään 27 %, ja (3) lisäksi parannetaan energiatehokkuutta 27 % vuoteen 1990 verrattuna. Näiden edellämainittujen tavoitteiden avulla EU siirtyy alhaisen hiilen talouteen, jossa tarjotaan toimijoille kilpailukykyinen energian hinta, pyritään energiaomavaraisuuteen, vähennetään energian tuontia ja kuitenkin ylläpidetään toimintaympäristö, jossa talous kasvaa ja luodaan hyvinvointia.

## 1.3. Vertailutason määrittäminen

Maa- ja metsätalousministeriö antoi Luonnonvarakeskukselle tehtäväksi toukokuussa 2017 sekä arvioida LULUCF-asetusta, että tehdä arvion metsien vertailutasosta jaksolle 2021–2025 sekä tuottaa siitä EU:n LULUCF-asetuksen mukainen raportti vuoden 2018 loppuun mennessä. Tehtävää varten koottiin työryhmä, joka analysoi asetuksen erityisesti vertailutason laskentaa koskevilta osin ja perehtyi komission antamaan laskentaa koskevaan ohjeistukseen. Työryhmän puheenjohtaja toimi Alekski Lehtonen ja jäseninä seuraavat henkilöt: Olli Salminen, Risto Sievänen, Tarja Tuomainen, Paula Ollila, Tuula Packalen, Antti Asikainen, Sirpa Thessler ja Raisa Mäkipää. Lisäksi konsultoitii Luonnonvarakeskuksesta tutkijoita Jussi Uusivuori, Anssi Ahtikoski ja Esa Uotila. Työryhmällä oli useita yhteiskokouksia ministeriöidens edustajien kanssa. Niiden puheenjohtajana toimi Maa- ja metsätalousministeriö, metsäneuvos Heikki Granholm ja sihteerinä neuvotteleva virkamies Jaana Kaipainen.

Työryhmän tehtävänä oli

(1) Perehtyä EU:n LULUCF-asetustekstiin ja laskennasta annettuun komission ohjeistukseen, joiden lopullinen sisältö oli selvillä heinäkuussa 2018.

(2) Arvioida mitä malleja/laskentajärjestelmiä voidaan käyttää laskennassa. Päädettiin MELA-ohjelmistoon ja siihen tukeutuviin maaperän hiilivarastojen ja muiden päästöjen malleihin.

(3) Päivittää käytettävät mallit niin metsien kasvun tason suhteen kuin vastaamaan kasvihuonekaasu-raportoinnin menetelmiä.

(4) Määrittää laskentatapa, joka jatkaa kauden 2000–2009 metsänhoitoa vertailutason kausille vastaten LULUCF-asetuksen vaatimuksia.

(5) Tehdä laskennat ja laatia yhdessä Maa- ja metsätalousministeriön kanssa EU:lle lähetettävä Suomen vertailutasoraportti.

Työryhmässä tuotettiin laskentatavan puitteissa vaihtoehtoja vertailutasolle eri korkokannoilla. Niistä valittiin vertailutason määrittämisessä käytetty korkokanta keskusteluissa, joihin osallistui työryhmän jäseniä, Maa- ja metsätalousministeriön edustajat ja Luken pääjohtaja Johanna Buchert. Tämän jälkeen Suomen metsien vertailutasoraportti<sup>3</sup> (National Forestry Accounting plan for Finland) valmistui joulukuussa 2018 ja tämä esitys Suomen metsien hiilinielun vertailutasoksi lähetettiin EU:lle joulukuun lopussa 2018.

Vertailutasoraportti EU:lle on suppea eikä mahdollista yksityiskohtien avaamista. Tämän raportin tavoitteena on kertoa tarkemmin lähestymistavasta ja menetelmistä, joiden avulla arvioitiin Suomen metsien vertailutaso. Raportissa pyritään vastaamaan kysymyksiin miten ja miksi sekä esitellään laskennan tuloksia em. raporttia laajemmin.

---

<sup>3</sup> Submission of the National Forestry Accounting plan including a proposed forest reference level (2021 – 2025) for Finland <https://mmm.fi/documents/1410837/1504826/Suomen+vertailutasoraportti/96423a2c-c70d-3daa-ef7f-b867b321600a>



## 2. Kestävän metsänhoidon määrittäminen jaksolle 2000–2009

### 2.1. Kestävän metsänhoidon laadullinen kuvaus viitekaudelle 2000–2009

Vertailutason laskennassa metsänhoidon tuli noudattaa viitekaudella 2000–2009 toteutuneen kestävän metsätalouden mukaista metsien käsittelyä ja toisaalta velvoitekaudella tuli ottaa huomioon metsien rakenteessa tapahtuvat muutokset. Suomen vertailutason laskennassa asetuksen ohjetta noudatettiin soveltamalla metsiköiden käsittelyyn Tapion (2006) hyvän metsähoidon suosituksia noudattavia toimia. Suositukset on annettu erikseen Etelä-, Väli- ja Pohjois-Suomelle, joten vertailutason laskennassa sovellettiin myös samaa aluejakoa (Taulukko 1).

Metsänhoitosuositukset ohjeistavat mm. puulajinvalintaa, uudistamistapoja, metsikön varhaisvaiheen hoitoa ja hakkuita. Suositusten sisältämät harvennusmallit määrittävät esimerkiksi puulajeittain ja kasvupaikoittain kasvatushakkuiden ajankohdan ja poistettavan puuston määrän. Suositusten mukaiset uudistamisläpimitta- ja uudistamisikäohjeet määrittävät puolestaan metsikön aikaisimman mahdollisen päätehakkuuajankohdan. Puusto voidaan uudistaa suositusten mukaisesti, joko luontaisesti siemenpuu- tai suojuspuuhakuulla, tai avohakuun jälkeen viljellen. Vuoden 2013 suosituksista ja metsälaista poiketen metsien käsittelyn tuli perustua ns. tasaikäisrakenteiseen metsätalouteen, ts. vuoden 2013 metsälain sallima eri-ikäisrakenteinen metsätalous ei viitekaudella ollut mahdollinen.

Metsikkökohtaisten käsittelyohjeiden lisäksi metsänhoidon kuvauksessa oli kiinnitettävä toimenpiteiden laajuus, mikä vaikuttaa hakkuumääriin. Tähän harkittiin IIASA:n ohjeiden Forsell ym. (2018) mukaista lähestymistapaa, jossa seurataan, harvennus- ja päätehakkuiden pinta-aloja sekä myös intensiteettiin pohjautuvia menetelmiä, joissa hakkuumääriä tarkastellaan suhteessa metsien puuston määrään tai kasvuun. IIASAn ohjeiden esimerkitapausten perusteella päädyttiin harvennus- ja päätehakkuiden suhteellisiin pinta-aloihin perustuvaan lähestymistapaan. Se valittiin, koska katsottiin sen huomioivan metsien rakenteessa tapahtuvat muutokset LULUCF-asetuksen mukaisesti ja koska menetelmän soveltaminen on yksinkertaista ja läpinäkyvää.

**Taulukko 1.** Hyvän metsähoidon suositusten (Tapio 2006) mukaiset uudistamisläpimitta- ja uudistamisikäsuositukset.

	Puuston keskiläpimitta, cm			Puuston keski-ikä, v		
	Etelä-Suomi	Väli-Suomi	Pohjois-Suomi	Etelä-Suomi	Väli-Suomi	Pohjois-Suomi
<b>Mänty</b>						
Tuore kangas	26–32	24–28	23–27	70–90	80–100	90–120
Kuivahko kangas	25–30	23–27	22–26	80–100	90–110	100–130
Kuiva kangas	22–26	22–25	21–25	90–120	100–130	120–150
<b>Kuusi</b>						
Lehtomainen kangas	28–32	26–30	23–26	70–90	70–90	100–130
Tuore kangas	26–30	25–28	22–25	70–90	80–100	110–130
<b>Rauduskoivu</b>						
Lehtomainen kangas	28–32	26–30	21–23	60–70	60–70	50–60
Tuore kangas	27–30	25–28	21–23	60–70	60–70	50–60
<b>Hieskoivu</b>						
Kaikki kasvupaikat	23–27	22–25	19–21	60–70	60–70	50–60

## 2.2. Kestävän metsänhoidon määrällinen kuvaus viitekaudelle 2000–2009

Metsäteollisuuden puunkäytön kasvaessa Suomessa aloitettiin jo 1950-luvulla metsien rakenteen voimaperäinen nuorentaminen ja puuntuotannon kannalta metsien tuotantokyvyn parantaminen uudistamalla vajaatuottoisiksi luokiteltuja vanhoja, harvoja tai puuntuotannollisesti väärän puulajin metsiköitä. Nämä erityisesti 1960-luvun lopun jälkeen perustetut metsät ovat saavuttaneet harvennuskypsyyden, mikä näkyy harvennuspinta-alojen voimakkaana kasvuna 1990-luvun puolivälin jälkeen ja kehitys on jatkunut edelleen.

Viitekaudella 2000–2009 hakkuita tehtiin noin 585 000 ha vuodessa, joista harvennushakkuita oli 350 000 ha, päätehakkuita 170 000 ha ja siemenpuuna toimineiden ylispuiden poistoa ja muita hakkuita noin 65 000 ha. Kasvatusemetsien pinta-ala oli VMI10:n (2004–2008) mukaan noin 11,7 milj. ha ja uudistuskypsien metsien pinta-ala 2,5 milj. ha. Harvennushakkuita tehtiin viitekaudella keskimäärin noin 3 %:lla kasvatusemetsien pinta-alasta ja päätehakkuita vastaavasti 6,7 %:lla uudistuskypsien metsien alasta. Metsien erilaisesta kehitysvaiheesta johtuen osuudet vaihtelivat laskenta-alueittain (Taulukko 2).

Vertailutason laskennassa oletettiin hakkuiden noudattaneen viitekaudella Tapion hyvän metsähoitoon mukaista tarvetta ja tämä oletus siirrettiin harvennus- ja päätehakkuiden osalta vertailujaksolle niiden suhteellisina osuuksina viitekauden kasvatusemetsien ja uudistuskypsien metsien kokonaispinta-alasta. Ylispuiden poisto oletettiin tehtävän velvoitekaudella aina tarvittaessa hyvän metsähoitoon suositusten mukaisesti uuden puuston synnyttävä. Muita hakkuutapoja ei voitu laskelmissa ottaa huomioon.

Laskelmissa käytettiin kaudella 2000–2009 toteutuneita hakkuiden suhteellisia pinta-aloja (Taulukko 2) rajoitteena ohjaamaan hakkuiden ja niihin liittyvien toimenpiteiden kohdentumista metsiköihin.

**Taulukko 2.** Kasvatus- ja uudistamishakkuiden pinta-alat jaksolla 2000–2009.

	1000 ha			Uudistuskypsi- en metsien pinta-ala	Kasvatus- hakkuu %	Pääte- hakkuu %
	Kasvatushakkuu- ala vuodessa	Uudistushakkuu- ala vuodessa	Kasvatusemetsi- en pinta-ala			
Etelä-Suomi	128,7	58,0	3031,4	856,3	<b>4,2</b>	<b>6,8</b>
Väli-Suomi	127,0	54,2	3747,3	739,0	<b>3,4</b>	<b>7,3</b>
Pohjois- Suomi	97,0	56,2	4956,0	933,6	<b>2,0</b>	<b>6,0</b>
Suomi	352,8	168,3	11734,7	2528,9	<b>3,0</b>	<b>6,7</b>

## 2.3. Kestävän metsänhoidon kohdentumisen kuvaus viitekaudelle 2000–2009

Vertailutason MELA-laskennassa hakkuiden määrittämiseen käytettiin alueellista optimointia, joka maksimoi tarkastelujaksolla nettotulojen nykyarvon siten, että metsänhoitosuosituksen mukaisten käsittelyjen joukosta optimiratkaisuun valikoituivat kuviot, jotka toteuttivat viitekauden (2000–2009) mukaiset suhteelliset hakkuupinta-alat velvoitekaudella (2021–2025). Nettotulojen nykyarvo on yleisesti hyväksytty tapa arvottaa metsätaloudessa syntyviä tuloja ja menoja. Nettotulojen nykyarvon laskennassa yhteismitallistetaan eri ajankohtien tulot ja menot diskonttaamalla ne nykyhetken valitulla korkokannalla (Kuuluvainen ja Valsta 2009).

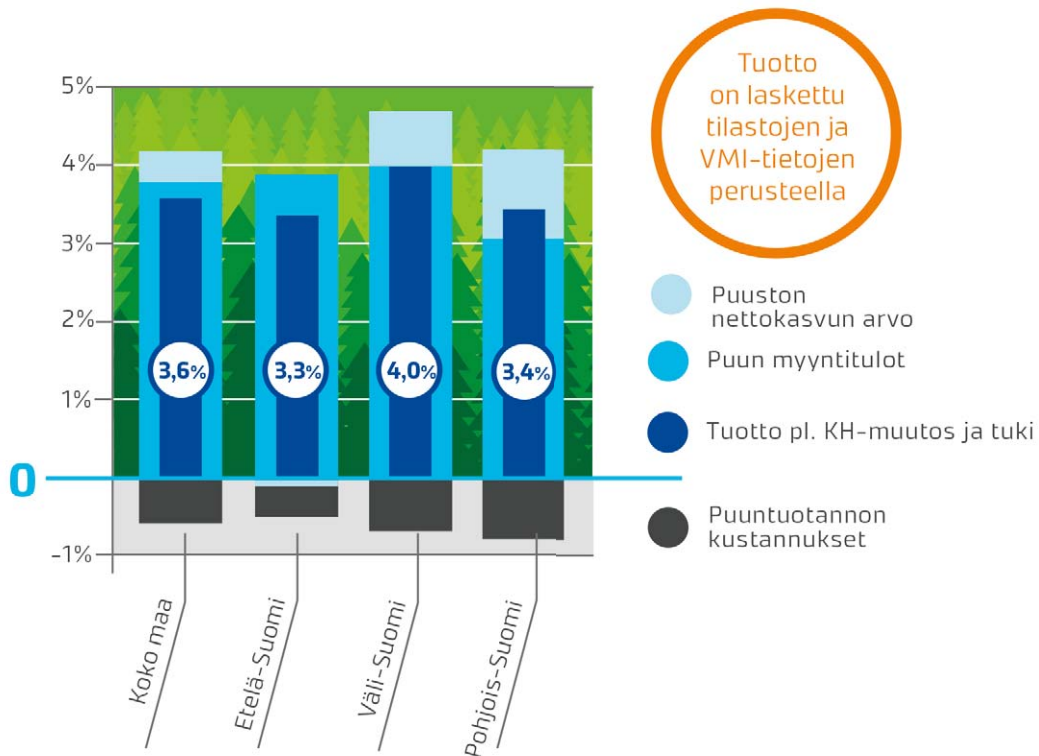
LULUCF-asetuksessa määritellään, että vertailutason tulee perustua jaksolla 2000–2009 toteutuneeseen metsänhoitoon ja metsänhoidon tulee olla dokumentoitua. Asetustekstin lisäksi IIASAn ohjeistuksessa korostettiin sitä, että vertailulaskelmissa käytettävät kaikki muuttujat olisivat jälkikäteen todennettavissa oikeiksi, ts. ne olisivat dokumentoituja. Näin ollen myös nettotulojen nykyarvolaskennassa käytettävän laskentakorkokannan olisi pohjaututtava viitekaudella (2009–2009) dokumentoituihin/raportoituksiin lukuarvoihin. Käytännössä ainoaksi vaihtoehdoksi muodostui Luonnonvarakeskuksen tilastoima yksityismetsien puuntuotannon sijoitustuotto. Tässä yhteydessä on ratkaisevaa korostaa, että puuntuotannon sijoitustuotto on luonteeltaan yksityiseen investointiin rinnastettavissa oleva taloustunnus. Toisaalta, ilmastonmuutos on lähtökohtaisesti globaali, yhteiskuntaa koskettava ilmiö ja taloustieteellisesti tarkasteltuna negatiivinen julkishyödyke, haitake (Stern ym. 2007, Seo 2013). Näin ollen, taloustarkasteluissa, jotka käsittelevät ilmastonmuutosta ja ylipäänsä ilmastonmuutokseen liittyviä toimenpiteitä, olisi perusteltua käyttää yhteiskunnallista korkoa (engl. social discount rate). Yhteiskunnallinen korko määrittää tulevan kulutuksen suhteellisen arvon nykykulutukseen nähden (esim. Tuomala 1997), ja kirjallisuudessa se on usein määritetty ns. *Ramsey*n säännön (engl. Ramsey Rule) mukaan (Gollier 2010, Freeman ym. 2018). EU Komission määrittämällä aikataululla olisi käytännössä kuitenkin ollut mahdotonta määrittää yhteiskunnallinen korko siten, että kaikki koron määrittämiseen tarvittavat osatekijät (*Ramsey*n säännön mukaisesti) olisivat empiirisesti estimoituja, eritoten jos estimaattien olisi pitänyt heijastaa viitejakson (2000–2009) taloudellista kehitystä (Freeman ym. 2018). Näin ollen, tässä raportissa päädyttiin soveltamaan puuntuotannon sijoitustuottoon tukeutuvaa korkoa, joka pyöristettiin 3,5 %:iin.

Vertailutason laskennassa rajoitettua alueellista optimointia ja siinä sovellettua metsätalouden sijoitustuottoon perustunutta laskentakorkoa ei käytetty puuntuotannon tai sen arvon maksimointiin rajoittamattoman metsikköoptimoinnin tapaan. Optimoinnin käsittelyketjuihin hyväksyttiin vain Tappion (2006) metsänhoitosuosituksen mukaiset käsittelyt, ja tämä eroaa rajoittamattomasta metsikköoptimoinnista (Hyytiäinen ym. 2010), jossa käsittelyihin voi kuulua radikaaleja vaihtoehtoja, jotka eivät ole metsänhoitosuosituksen tai metsälain mukaisia. Koska laskentakorkokannalla on kuitenkin ratkaiseva merkitys tavoitefunktion arvoon ja tämän mukaisiin vuotuisiin hakkuumääriin, tuotettiin vertailutasolaskelmat myös koroilla 2,5 %, 3,0 % ja 4,0 %. Raportin tulosten tarkastelussa pohditaan lisää laskentakorkokannan valintaa ja merkitystä tuloksiin.

### 2.3.1. Puuntuotannon sijoitustuotto

Puuntuotannon sijoitustuotto on Luken tilastopalvelujen julkaisema tuottoindeksi, joka kuvaa yksityismetsistä (ml. kunnat, seurakunnat ym.) puustopääomalle saatua vuotuista tuottoa. Se lasketaan saatujen tulojen (puunmyyntitulot ja valtion tuet), puuntuotannon kustannusten (metsänhoito- ja metsänparannuskustannukset ml. metsänomistajan oman työn arvo ja hallinto ym. menot), omaisuuden arvonmuutosten (kantohintojen muutos ja nettokasvun arvo) ja pääoman suhteen luonnollisena logaritmimuunnoksena. Pääomana käytetään hakkuuarvoa (pystypuuston tilavuus x kantohinta). Pystypuumäärien vuotuiset muutokset perustuvat Luken valtakunnan metsien inventointituloksiin, markkinahakkuisiin ja yksityismetsänomistajien omaan käyttöön ottaman puutavaran määriin. Luken tilastotietokannasta löytyvät tuotot metsäkeskuksittain jaksolle 1990–2011 ja maakunnittain jaksolle 2012–2017. Metsäkeskuksittaiset tulokset on laskettu metsämaan puustolla, maakunnittaiset puuntuotannon metsämaan puustolla. Suomen metsien hiilinielun vertailutasoa varten vuosien 2000–2009 tuoton keskiarvo laskettiin koko maalle ja kolmelle suuralueelle tilaston perusaineistolla (Kuva 1). Referenssikorko laskettiin ilman kantohintojen muutoksen ja valtion tukien vaikutusta tuottoon. Laskentamenetelmä on alun perin kehitetty eri sijoitusluokkien tuottojen vertailuun (Lausti and Penttinen 1998, Penttinen and Lausti 2004, Penttinen 2007).

## Puuntuotannon sijoitustuotto (%)



**Kuva 1.** Yksityismetsien puuntuotannon sijoitustuotto ja sen jakautuminen nettokasvun arvoon, puun myyntituloihin ja puuntuotannon kustannuksiin.

Suomessa hakattiin viitekaudella 2000–2009 runkopuuta keskimäärin 59,4 milj. m<sup>3</sup> vuodessa, josta teollisuuden käyttämää ainespuuta oli 53,3 milj. m<sup>3</sup>/v. Ainespuun hakkuut olivat 78 % metsäteollisuuden raakapuun käytöstä. Viitejaksolla tuotiin puuta poikkeuksellisen paljon, keskimäärin 15,2 milj. m<sup>3</sup>/v, kun 1990-luvulla tuonti oli 8,3 m<sup>3</sup>/v ja vuoden 2010 jälkeen se on ollut noin 9 milj. m<sup>3</sup>/v. Valtakunnan metsien 10. inventoinnin (2004–2008) aineistoon perustuvien hakkuumahdollisuusarvioiden (Luke 2019) mukaan metsänhoitosuosituksia noudattaen hakattavissa oleva puusto oli 1 235 milj. m<sup>3</sup>, joka on noin 61 % puuntuotannon maan puustosta (2 022 milj. m<sup>3</sup>) ja 10 vuodelle jaksotettuna 123,5 milj. m<sup>3</sup>/v. Metsätalouden sijoitustuoton katsottiin kuvaavan sitä, miten hakkuut ja niitä seuranneet metsänhoitotoimet kohdentuivat viitekaudella metsänhoitosuositusten mahdollistamaan nähden. Sijoitustuotto perustuu yksityismetsiin, mutta sitä voidaan käyttää kaikkia metsänomistajia koskevana keskiarvona, sillä yksityismetsien hakkuut olivat noin 85 % kokonaiskertymästä ja toisaalta teollisuuden tai valtion metsien sijoitustuotosta ei ole tilastoja saatavilla.

### 3. Suomen metsien kasvihuonekaasupäästöjen ja -nielujen kehityksen simulointi jaksolle 2021–2060

Vaihtelut puuston kasvussa ja hakkuumäärissä vaikuttavat keskeisesti metsien hiilinieluun. Puuston hiilivaraston muutos on suurin yksittäinen osa hiilivaraston kokonaismuutoksesta. Lisäksi puuston kariketuotos ja hakkuutähteet ovat syöte, joka ajaa maaperän hiilivaraston muutosta. Näin ollen sekä puuston kasvun ennuste, että arvio tulevasta hakkuumääristä ovat keskeiset komponentit kun metsien hiilinielun tulevaa kehitystä arvioidaan.

Puuston kehityksen ennustamiseen arvioitiin hankkeen käynnistyessä useita malleja: EFISCEN (Schelhaas ym. 2015), MELA2016 (Hirvelä ym. 2017), MOTTI (Hynynen ym. 2015) ja PREBAS (Minunno ym. 2016). Valinta päättyi MELA2016-malliin. Sitä on käytetty lukuisissa aiemmissa metsien hiilen kiertoa käsittelevissä skenaariolaskelmissa (esim. Lehtonen ym. 2016), näissä laskelmissa MELA-ohjelmisto on kytketty yhteen kasvihuonekaasuinventaarion menetelmien kanssa. Tämä mahdollistaa sen, että maaperän hiilivaraston muutokset voidaan arvioida sekä kangasmailta, että ojitetuilta orgaanisilta metsämailta mahdollisimman yhdenmukaisesti kasvihuonekaasuinventaarion kanssa. Lisäksi MELA-ohjelmiston tulosten avulla on mahdollista toteuttaa kasvihuonekaasuinventaarion mukainen puutuotteiden hiilivaraston muutoksen laskenta. MELA-ohjelmisto on myös mainittu IIASA:n ohjeessa yhtenä vaihtoehtoisena mallina metsien vertailutason määrittämiseen (Forsell ym. 2018). MOTTI malli sisältää käytännössä samat kasvumallit kuin MELA2016, joten sen käyttö olisi tuottanut samat lopputulokset. EFISCEN ja PREBAS mallien käyttö olisi vaatinut merkittävää lisäresursointia, jotta niiden avulla olisi pystytty tuottamaan arvio Suomen metsien vertailutasosta kasvihuonekaasuinventaarion kanssa yhdenmukaisilla menetelmillä annetussa aikataulussa.

#### 3.1. Menetelmä

Suomen metsien vertailutaso arvioitiin siten, että MELA-ohjelmiston tuloksiin yhdistettiin Yasso07-maaperämalli, KHK-inventaarion laskentamenetelmät ojitettujen suometsien KHK-päästöille, puutuotteiden hiilivaraston muutokselle, kulotukselle ja typpilannoitukselle (Kuva 2). Laskennan lähtöaineistona käytettiin VMI11-aineistoa (2009–2013). MELA-mallinnus toteutettiin siten, että Suomi oli jaettu kolmeen laskenta-alueeseen.



Kuva 2. Suomen metsien vertailutason laskentakehikko.

## 3.2. Puuston kehitys

### 3.2.1. Puuston kehityksen laskenta

Vertailutason laskennassa puuston kehitys ja puuston hiilivaranto laskettiin MELA2016-ohjelmistolla (Hirvelä ym. 2017), joka on Suomen oloihin kehitetty metsätalouden analyysi- ja suunnitteluohjelmisto (Siitonen ym. 1996). MELA (METSÄLASKELMA) koostuu puutason luonnonprosessi- (Hynynen ym. 2002, Ojansuu ym. 1991, Ojansuu 1996, Hynynen 1996, Hökkä 1996, 1997, Hökkä ym. 1997, Hökkä ym. 2000, Nuutinen ym. 2000, Jutras ym. 2003 ja Nuutinen ym. 2004) ja tuottavuusmalleihin (Kuitto ym. 1994, Rummukainen ym. 1995, Väkevä ym. 2001, Metsäpalkkarakenteen ... 2008, Laitila ym. 2004, 2007, Kärhä ym. 2004, 2006, Heikkilä ym. 2005) perustuvasta metsiköiden käsittely- ja kehitysvaihtoehtoja tuottavasta metsikkösimulaattorista ja näitä vaihtoehtoja vertailevasta lineaarisen optimoinnin JLP-ohjelmistosta (Lappi 1992). MELA-ohjelmistoa on Suomessa sovellettu METSÄ2000-arviosta lähtien erityisesti hakkuumahdollisuuksien ja erilaisten hakkuutavoitteiden vaikutusten arviointiin: mm. Kansallinen metsäohjelma 2010 (1999), 2015 (2007), Suomen biodiversiteettiohjelman arviointi (2004), Kansallinen energia- ja ilmastostrategia (2008, 2016), Energia- ja ilmastotiekartta 2050 (2014), Kansallinen metsästrategia 2025 (2015) ja Suomen metsien vertailutason laskenta (2011) kaudelle 2013–2020.

### 3.2.2. Puuston kehityksen arvioinnissa käytetty lähtöaineisto

Vertailutason laskennan lähtökohdaksi valittiin valtakunnan metsien 11. inventoinnin (VMI11) vuosina 2009–2013 mitatut metsävaratiedot, koska se muodosti viitekaudelle lähes välittömän jatkeen. VMI11-aineistosta laskentaan otettiin mukaan metsä- ja kitumaan koealat (59 317 kpl), jotka puuntuotannon käytön rajoitusten osalta jaettiin kolmeen käsittelyluokkaan: ensisijaisesti puuntuotannossa, rajoitetussa puuntuotannossa ja puuntuotannon ulkopuolella oleviin. Tuloksissa, kuten mm. puus-

ton hiilivarantoa koskeissa arvioissa, ovat mukana puuntuotannon maan lisäksi puuntuotannon ulkopuolella olevat alueet kuten luonnon- ja kansallispuistot, luonnonsuojelulain nojalla rauhoitetut ja Metsähallituksen omilla päätöksillä suojellut maat sekä monimuotoisuuden kannalta erityisen tärkeän elinympäristön vaatimukset täyttävät kohteet, vaikka niille ei tehtykään toimenpiteitä. Koko metsä- ja kitumaan pinta-ala oli yhteensä 22,8 miljoonaa hehtaaria (metsämaa 20,3 milj. ha ja kitumaa 2,5 milj. ha), ja puuston tilavuus 2 332 miljoonaa kuutiometriä. Puuntuotantoon käytettävissä olevaan metsä- ja kitumaahan kuuluivat ensisijaisen ja rajoitetun puuntuotannon alueet. Ensisijaisesti ja rajoitetusti puuntuotantoon käytettävissä oleva metsämaan pinta-ala oli 18,4 miljoonaa hehtaaria ja vastaava puuston tilavuus 2 093 miljoonaa kuutiometriä

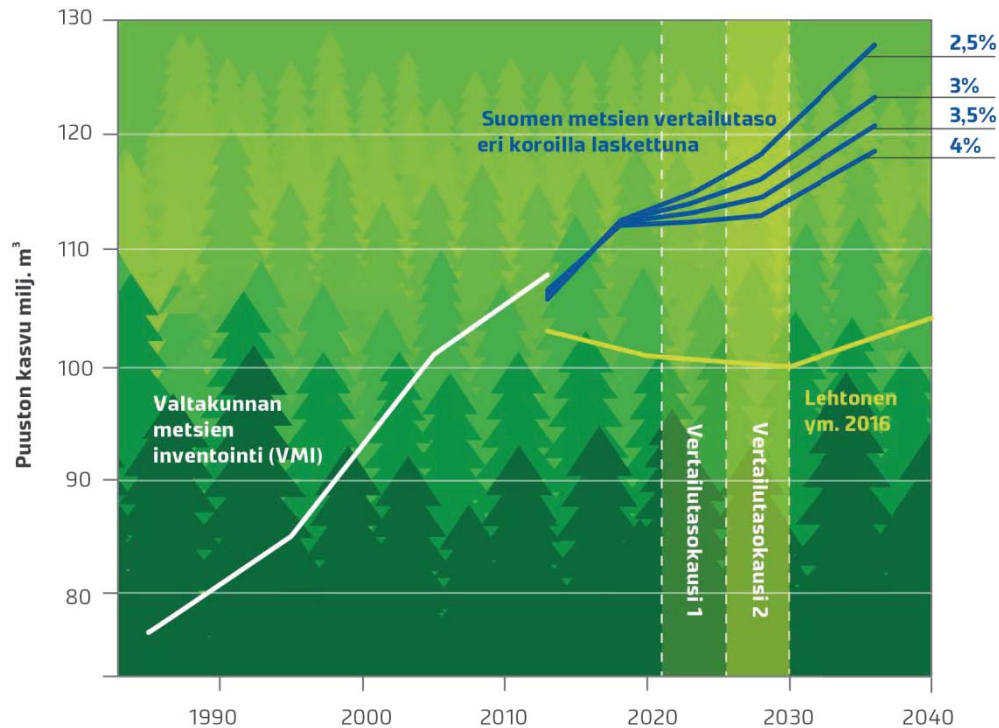
### 3.2.3. MELA-ohjelmiston kasvumallien kalibrointi

Vertailutason laskentasäännöstö edellytti, että sovellettava laskentamenetelmä ja siinä käytettävät ohjelmistot pystyivät tuottamaan dokumentoidun historiatiedon. MELA2016-ohjelmistossa kasvun laskentaa varten puun pohjapinta-alan kasvumalli on kalibroitu VMI11 (2009–2013) mitatun läpimitan kasvun osalta vastaamaan vuosien 1984–2013 läpimitan kasvun indeksikorjattua keskitasoa. Vaikka indeksikorjattu kalibrointi lisää kasvua, on sillä saatu tilavuuskasvun arvio selvästi mitattua pienempi (Lehtonen ym. 2016). Vertailutason laskentaa varten testattiin myös kalibrointivaihtoehtoa, jossa kalibrointi tehtiin käyttäen indeksikorjaamatonta VMI11:ssä mitattua puiden läpimitan kasvua. Tämäkään kalibrointi ei täyttänyt laskentamallille asetettua vaatimusta. Näiden laskentavaihtoehtojen mukaiset tulokset on esitetty luvussa 5 kuvaaman kasvun tason vaikutusta tuloksiin.

Tässä selvityksessä MELA2016:n tuottamaa tilavuuskasvun arviota tarkennettiin ottamalla huomioon kalibrointijakson keskivuodesta (1999) vuoteen 2017 tapahtunut keskilämpötilan ja ilman hiilidioksidipitoisuuden nousun vaikutus puuston kasvuun siten, että kalibrointijakson keskivuodelle laskettiin edeltäneiden 30 vuoden (1970–1999) lämpötilan ja CO<sub>2</sub>:n keskiarvot ja vuodelle 2017 vastaavasti vuosien 1988–2017 lämpötilan ja CO<sub>2</sub>:n keskiarvot ja näiden keskiarvojen erotukset annettiin syöteenä MELA-ohjelmistoon. Niiden vaikutukset kasvuun saatiin Matala ym. (2003) funktioiden avulla, jotka perustuvat FinnFor -ohjelmiston (Kellomäki ja Väisänen 1997) tuloksiin. Etelä-Suomessa lämpötilakeskiarvojen muutos oli keskimäärin 0,89 astetta ja Pohjois-Suomessa 0,99 astetta; CO<sub>2</sub> pitoisuuden muutos oli koko Suomessa 41,2 ppm. Vuodesta 2017 eteenpäin käytettiin vuodelle 2017 lasketuja arvoja, siis oletettiin vuoden 2017 jälkeen vakioilmasto. Toisin sanoen laskelmissa ei otettu huomioon ilmastonmuutoksen vaikutusta vuodesta 2017 eteenpäin. Tällä MELA-ohjelmiston parametrisyötteellä vuosien 2011–2014 kasvu saatiin vastaamaan VMI11:ssä mitattua kasvua (Kuva 3). Puuston hiilinielun vertailu kasvihuonekaasuinvetoinnin arvioon on esitetty kuvassa 7.

Kasvun tason päivityksellä on varsin merkittävä vaikutus puuston kehityksen ennusteisiin (Kuva 3). Vaikka vertailutasolaskelmissa ei otettu ilmastonmuutoksen vaikutusta mukaan laskelmiin, ennustettu metsien kasvu on runsaasti nykytasoa suurempi, vaikka myös hakkuut olisivat nykyistä suuremmat.

## Puuston kasvu, Valtakunnan metsien inventointi (VMI) ja MELA-ohjelmisto



**Kuva 3.** MELA-ohjelmiston kasvuennuste Suomen metsille (sininen) eri korkojen mukaisilla ennusteilla. Valkoinen viiva kuvaa VMI-mittauksiin perustuvan metsien kasvun. Vertailun vuoksi mukana on Lehtonen ym. (2016) työssä käytetyn MELA-ohjelmiston politiikkaskenaarion kasvuennuste (keltainen viiva). Siinä MELA-ohjelmiston kasvumallit oli kalibroitu vuosien 1984–2013 läpimitan kasvun indeksikorjattuun tasoon ja vuotuinen runkopuun hakkuukertymä oli noin 80 Mm<sup>3</sup> jaksolle 2025–2034.

### 3.2.4. Käsittelyvaihtoehtojen simulointi MELA-ohjelmistolla

MELA:n metsikkösimulaattori tuottaa kullekin metsikölle automaattisesti joukon vaihtoehtoisia kehityspolkuja, jotka koostuvat luonnonprosesseista (puiden synty, kasvu ja kuoleminen), hakkuista ja metsänhoitotöistä. Metsien käsittely noudatti kaikissa käsittelyvaihtoehdoissa Tapion (2006) hyvän metsänhoidon suosituksia. 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, ja aina simuloitiin myös vaihtoehtona lepo, ts. kasvatus ilman toimenpiteitä. Rajoitetun puuntuotannon maalla vain ainespuu hakkuu oli mahdollinen ja sallittuja hakkuutapoja olivat kasvatushakkuut (harvennukset ja ylispuiden poisto) sekä luontainen uudistaminen. Kitumaille ei tehty hakkuuta. Kokonaan puuntuotannon ulkopuolella olevilla alueilla ei sallittu mitään toimenpiteitä. (ks. <http://www.luke.fi/MELA-metsalaskelmat>).

Puuston hiilivaraston muutos (nielu/päästö) laskettiin varastonmuutosmenetelmää noudattaen peräkkäisten tilojen erotuksena. Arvio puuston sisältämästä hiilestä (50 % puuston kuiva-aineesta) saatiin männyn, kuusen ja koivun läpimitaan ja pituuteen perustuvilla biomassamalleilla (Repola 2008, Repola 2009). Biomassoja sovellettiin myös energiapuun korjuussa, ja niiden avulla tuotettiin myös



arvio hakkuutähteiden määrästä maaperän hiilivaraston muutoksen laskentaa varten (Tuomi ym. 2011).

Puun tilavuuden laskenta MELA-ohjelmistossa perustuu Laasasenahon (1982) yhtälöihin ja tilavuuden jako puutavaralajeihin Snellmanin (1984) yhtälöihin. Puun läpimittaan ja pituuteen perustuva apteeraus ei ota huomioon rungon mahdollisia laatua alentavia tekijöitä, joten simuloidun puuston osalta tukkitilavuutta korjataan Mehtätalon (2002) tukkivähennysmallilla. Siinä tukkivähennys siirtyy kuituksi.

Puuntuotannon taloudellinen tulos laskettiin ainespuulle tienvarsihintoihin perustuen ja energiapuuhun sovellettiin käyttöpisteessä hakkeelle maksettua hintaa. Tienvarsihinnat saatiin lisäämällä toteutuneisiin kantohintoihin keskimääräiset toteutuneet korjuukustannukset. Metsähakkeen käyttöpistehinnat noudattivat tilastoituja keskihintoja. Kustannusten laskenta perustui työlajien tilastoituihin yksikköhintoihin ja tuottavuusmallien mukaisiin ajanmenekkeihin, jotka ottivat huomioon mm.. korjuuolosuhteiden vaikutuksen (poistettavien puiden järeys, hehtaarikohtainen poistuma ja jätettävän puuston määrä ja maaperä). Sovelletut hinnat ja kustannukset on esitetty <http://www.luke.fi/MELA-metsalaskelmat> VMI-tulosten laatuselosteessa.

### 3.2.5. Säädata

Laskelmissa käytettiin kasvihuonekaasuinventaariorissa käytettyä Ilmatieteen laitoksen Suomelle 1km x 1km ruudukkoon tilastoimaa säädataa (Statistics Finland 2019). Se sisältää kuukausittaiset tiedot lämpötilasta ja sadannan määrästä. Kasvihuonekaasuinventaariorissa datasta poimittiin 10km x 10km ruudukko, joista laskettiin vuotuiset keskilämpötilat, lämpötila-amplitudit ja sadannat. Vuotuinen sää laskettiin aritmeettisena keskiarvona ruudukon pisteistä Etelä- ja Pohjois-Suomelle. Laskelmissa käytettiin eri vuosina kasvihuonekaasuinventaariorin käytännön mukaan 30 vuoden taannehtivaa (vuosi ja 29 vuotta taaksepäin) keskiarvoa. Vuodesta 2017 eteenpäin käytettiin vuoden 2017 arvoja.

## 3.3. Maaperän kasvihuonekaasutaseet

Maaperälaskuissa käytettiin samaa menetelmää kuin kasvihuonekaasuraportoinnissa. Kasvihuonekaasuraportoinnin laskentaa on kuvattu NIR (National Inventory Report) -raportissa (Statistics Finland 2019) (alaluku 6.4.2.1 ja Appendix\_6e), tämän laskennan metelmiä on kuvattu raporteissa Lehtonen ym. (2016) ja Sievänen ym. (2014). Kasvihuonekaasuraportoinnissa maaperälaskelmissa lähtötietoina ovat Valtakunnan metsien inventoinnin mittaukset sekä hakkuutilastot, joista lasketaan kasvillisuuden tuottama vuosittainen kariketuos. Se koostuu elävän puuston tuottamasta, luonnonpoistuman ja hakkuutähteiden karikkeesta. Vertailutasolaskelmissa vastaavat karikkeen komponentit laskettiin MELA-ohjelmiston tuottamista hakkuutähteiden biomassan, luonnonpoistuman ja puuston määrän arvioista (Kuva 4). Luonnonpoistuman ja elävän puuston tuottaman karikkeen määrä arvioitiin biomassakertoimien ja karikkeen tuotoskertoimien avulla samoin kuin kasvihuonekaasuinventaariorissa (Statistics Finland 2019). Laskelmat tehtiin Etelä- ja Pohjois-Suomelle erikseen kuten kasvihuonekaasuraportoinnissa.



**Kuva 4.** MELA-ohjelmiston tuottaman karike- ja biomassatiedon avulla laskettiin maaperän hiilen varastomuutos sekä kangasmailla, että ojitetuilla metsäisillä turvemailla.

### 3.3.1. Kangasmaiden maaperän hiilivaraston muutos

Kangasmailla MELA-ohjelmiston avulla tuotettu kariketuoituksen määrä toimi Yasso07-mallin (Tuomi ym. 2011) syöttötietona. Yasso07-malli ennustaa hiilivaraston koon seuraavaksi vuodeksi ( $W_{k+1}$ ) tämän vuoden kariketuoituksen ( $K_k$ ), säätelijöiden  $S_k$  (lämpötila- ja sadantatiedot) ja hiilivaraston koon ( $W_k$ ) avulla:  $W_{k+1} = Y(W_k, K_k, S_k)$ . Varastonmuutos on kahden perättäisen vuoden varastojen erotus. Säätelijöinä käytettiin ajalla 2011–2017 lämpötilan ja sadannan 30 vuoden liukuvia keskiarvoja. Vuodesta 2018 eteenpäin säätelijät eivät muuttuneet, ja käytettiin vuoden 2017 arvoja. Kivennäismaan maaperän hiilivaraston alkuarvona vuonna 2011 ( $W_{2011}$ ) käytettiin kasvihuonekaasuinventaarion viimeisimmän inventaariolaskelman arviota tuolle vuodelle.

### 3.3.2. Metsäisten turvemaiden maaperän hiilen varastonmuutokset

Metsäisillä turvemailla turpeen hajoamisen nopeutta ei tällä hetkellä pystytä arvioimaan mallien avulla, vaan sen arvioinnissa käytetään mittauksiin perustuvia pinta-alaperustaisia hiilen päästökertoimia. Päästökertoimen mittaa turpeen hajoamisnopeutta. Turpeen hiilivaraston muutos arvioidaan yksinkertaisesti karikesyötteen ja turpeen hajoamisen erotuksena (Statistics Finland 2019). Karikesyötteenä on kaikki maanalainen kuollut aines (kuolleet juuret). Turpeen hajotusnopeus on mitattu viidelle eri turvekangastyypille (Statistics Finland 2019), joiden pinta-alojen avulla voidaan laskea turpeen hajoaminen metsäisillä turvemailla.

Maanpäällisen lahoppuun vaikutuksen oletettiin olevan pieni vakionielu ( $7,5 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ vuosi}^{-1}$  ja  $7,2 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ vuosi}^{-1}$  Etelä- ja Pohjois-Suomessa) kuten kasvihuonekaasuraportoinnissa.

### 3.3.3. Metsäisten turvemaiden kasvihuonekaasupäästöt ( $\text{CH}_4$ ja $\text{N}_2\text{O}$ )

Metaanin ( $\text{CH}_4$ ) vaihto maaperän ja ilmakehän välillä arvioitiin erikseen sekä sarkojen pinnasta että ojista. Sarkojen maaperän metaanivaihto perustuu ojitusalueen kuivatustilanteeseen. Ojitetut turvekankaat, joissa kuivatustilanne on hyvä, ovat pieni metaanin nielu, kun taas huonommassa ojituskuuonossa olevat turvekankaat ovat metaanin päästölähde. Sarkojen metaanipäästöjen ja metaaninielujen osalta laskenta perustuu Ojanen ym. (2010) työn päästökertoimiin. Ojien metaanipäästö arvioitiin IPCC:n ohjeiden mukaan (Hiraishi ym. 2014), olettaen ojan leveydeksi 1 metri. Ojitetujen orgaanisten maiden maaperän  $\text{N}_2\text{O}$ -päästöt arvioitiin Ojanen ym. (2010) päästökertoimien avulla, kuitenkin

siten, että huomioitiin Ojanen ym. (2018) päivityksessä annetut päästökertoimet. Kyseisiä päästökertoimia sovellettiin VMI11-aineiston mukaisten pinta-ala tietojen kanssa, jolloin saatiin arvio kokonaispäästöistä.

### 3.4. Muut kasvihuonekaasupäästöt

Typpilannoituksen N<sub>2</sub>O-päästöt sisällytettiin vertailutasoon käyttämällä vuosille 2000–2009 raportoituja keskiarvoisia päästöjä kasvihuonekaasuinventaarista. Vuotuinen päästö on 0,0124 miljoonaa hiilidioksidiekvivalenttitonnia.

Kulotuksen metaani- ja dityppioksidipäästöt sisällytettiin vertailutasoon vuosien 2000–2009 keskimääräisenä päästönä. Hiilidioksidipäästöjä kulotuksesta ei raportoida, koska hakkuutähteiden päästöt otetaan huomioon jo biomassalaskennassa hakkuupoistumana. Yhteenlaskettu metaani- ja dityppioksidipäästö kulotuksesta on 0,0013 miljoonaa hiilidioksidiekvivalenttitonnia vuodessa.

Typen mineralisaatio kivennäismailla otettiin huomioon, mutta se ei tuottanut päästöjä, koska kivennäismaiden maaperän hiilivarasto kasvoi.

### 3.5. Puutuotteet

Puutuotteiden hiilivaraston muutokset arvioitiin kotimaisesta puusta tehdyille tuotteille (ns. tuotantolähestymistapa). Mukana laskennassa ovat myös vientiin menneet tuotteet, mutta ei tuontipuuta. Laskenta tehtiin kolmelle tuoteryhmälle: sahatavara, puulevyt ja paperituotteet (massat). Laskennassa käytettiin ensimmäisen asteen hajoamisfunktiota ja oletuspuoliintumisaikoja puutuotteiden hajoamiselle. Puutuotteiden puoliintumisaika tarkoittaa sitä aikaa, jonka kuluessa puutuotteiden sisältämä hiilivarasto pienenee puoleen alkuperäisestä arvostaan. Käytetyt puoliintumisaajat ovat sahatavaraalle 35 vuotta, puulevyille 25 vuotta ja paperituotteille 2 vuotta. Menetelmä on yhdenmukainen kasvihuonekaasuinventaarion menetelmän kanssa (Statistics Finland 2019).

Puutuotteiden hiilivaraston muutoksen laskenta aloitettiin kasvihuonekaasuinventaariorissa ilmastosopimuksen raportoinnissa käytetystä hiilivarastosta vuonna 2010. Kasvihuonekaasuinventaariorissa laskennan aloitusvuosi on 1900, jolloin varasto alkaa kertyä nolasta. Vuodesta 2011 eteenpäin mallin syötteenä käytettiin MELA-mallinnuksesta saatuja ainespuukertymiä. MELA:n laskentajaksoille tuotamat kertymät interpoloitiin lineaarisesti vuosien välille. Puutuotteiden tuotantosuhteet vuodesta 2011 eteenpäin on määritetty samoiksi kuin ne olivat keskiarvoisesti ajanjaksolla 2000–2009 kotimaisen puun osalta.

Metsäkatoa ja metsitystä ei otettu tässä laskennassa huomioon, koska sen määrästä ei ole tehty enustetta. Toteutuneet puutuotteet metsäkatoaloita tulee poistaa puutuotteiden vertailutasosta ns. teknisenä korjauksena. Metsitysaloilta kertyvät puutuotteet saavat olla mukana vertailutasossa, mikäli niitä ei pystytä erottelemaan.

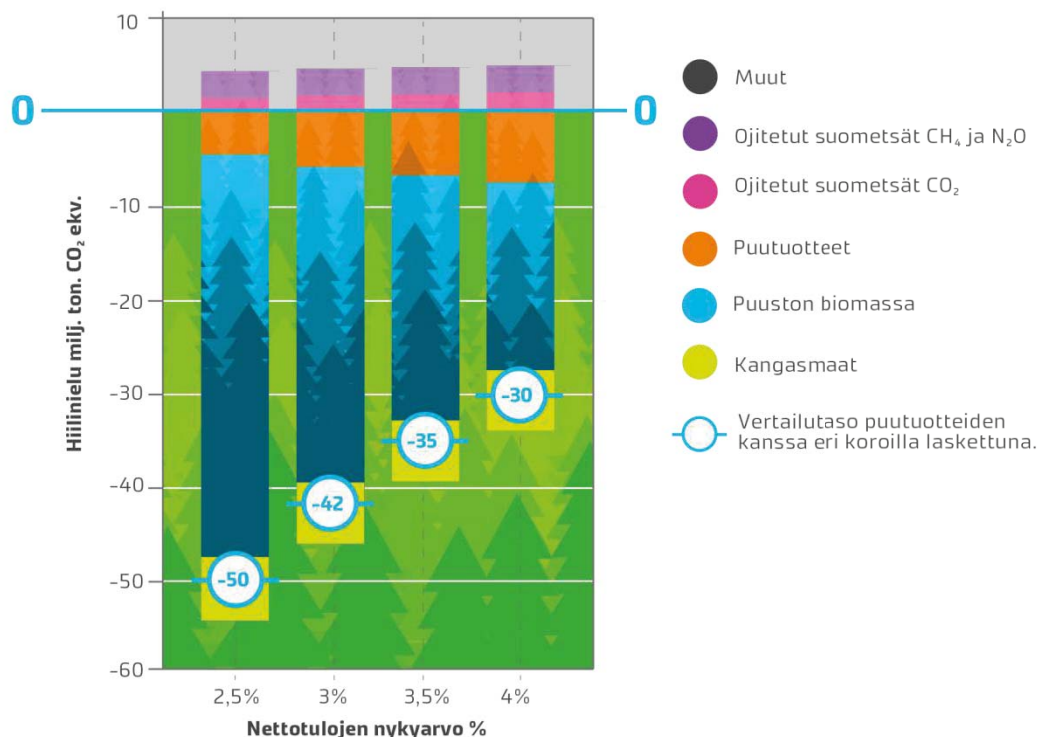
Energiapuuksi korjattu puu ja kaatopaikoilla olevat puutuotteet on laskettu välittömän hajoamismenetelmän perusteella.

## 4. Tulokset

Suomen metsien vertailutasolaskenta tehtiin neljällä eri korkovaihtoehdolla (Kuva 5), joista 3,5 % korolla laskettu vertailutaso lähetettiin Euroopan komissioon arvioitavaksi (Taulukko 3, Liitetaulukot 1 ja 2). Nettotulojen nykyarvon laskentakorko vaikutti merkittävästi tuloksiin siten, että korkeampi korko johti suurempaan hakkuutasoon, pienempään puuston biomassan hiilinieluun ja suurempaan puutuotteiden hiilinieluun (Kuva 5 ja Taulukko 5). Suomen metsien vuosittainen nieluennuste puutuotteiden kanssa vaihteli jaksolle 2021–2025 -50 ja -30 milj. tonnia CO<sub>2</sub> ekv. välillä riippuen valitusta korkokannasta. Korkokanta vaikutti erityisesti hiilivarastojen muutoksiin puustossa, maaperässä ja puutuotteissa (Liitetaulukko 1). Alhaisimman (2,5 %) koron vaihtoehdolla toteutettu simulointi MELA-mallilla ei tuottanut viitejakson 2000–2009 dokumentoituja suhteellisia hakkuupinta-aloja eikä siten vastannut LULUCF-asetuksen vaatimuksia.

Suomen lähettämä ehdotus metsien vertailutasoksi on noin 35 milj. tonnia CO<sub>2</sub> ekv. puutuotteiden kanssa ja noin 28 milj. tonnia CO<sub>2</sub> ekv. ilman puutuotteita ja perustuu 3,5 % korolla tehtyyn nettotulojen nykyarvon MELA-optimointiin.

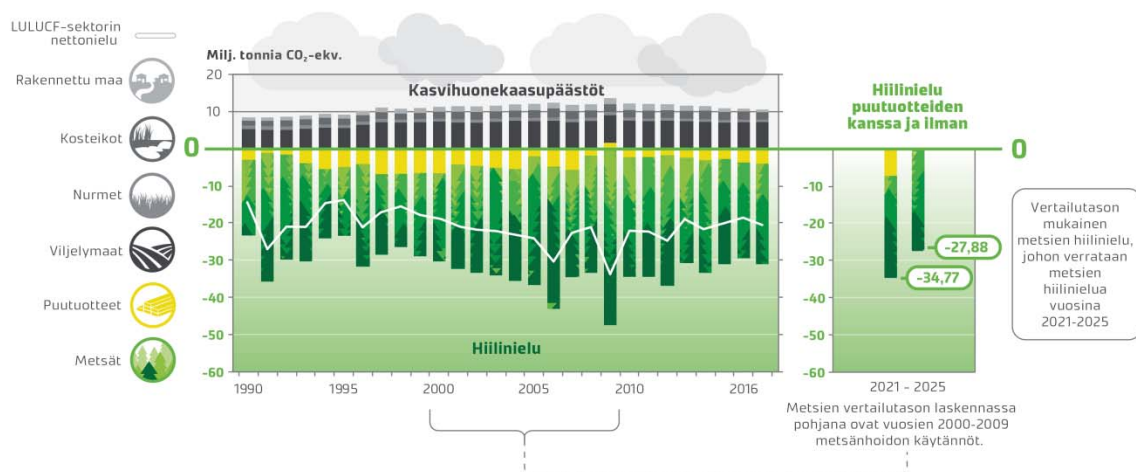
### Suomen metsien vertailutaso eri koroilla



**Kuva 5.** Suomen metsien vertailutaso kun nettotulojen nykyarvo laskettu vaihtoehdoisilla koroilla (2,5 %–4,0 %).

Tammikuussa 2019 julkaistun kasvihuonekaasuinventaarion (Statistics Finland 2019) mukaan Suomen metsien hiilinielu oli vuonna 2017 noin -27 milj. tonnia CO<sub>2</sub>, joka on noin 1 milj. tonnia CO<sub>2</sub> suurempi kuin määritetty vertailutaso (ilman puutuotteita) (Kuva 6).

## Metsä- ja maankäyttösektorin (LULUCF) kasvihuonekaasupäästöt ja hiilinielut Suomessa



**Kuva 6.** Maankäyttösektorin kasvihuonekaasutase ja Suomen metsien vertailutaso. Kasvihuonekaasuinventaarion tulokset perustuvat 15.1.2019 julkaisuun (Statistics Finland 2019).

Suomen metsien vertailutason vuosittainen hiilinielu vaihtelee välillä -27 ja -29 milj. tonnia CO<sub>2</sub> ekv. jaksolla 2016–2030, kun laskentakorkona on käytetty 3,5 % (Taulukko 3). Puuston biomassan nielu on lähes vakioinen, ollen noin -26 milj. tonnia CO<sub>2</sub> ekv. jaksolla 2016–2030. MELA-laskennan tuloksena saatu hakkuumäärä on jaksolle 2016–2025 suurempi kuin 2010-luvulla on tilastoitu (vertailutasossa se on noin 83 milj. m<sup>3</sup>). Laskelman mukainen arvio toteutunutta suuremmasta hakkuumäärästä aiheuttaa sen, että hakkuutähteiden määrä kasvaa ja sen seurauksena maaperän hiilivarasto kasvaa hetkellisesti. Ojitettujen orgaanisten maaperien päästö pienenee jaksolle 2021–2030 kuten kasvihuonekaasuinventariossa on aikaisemmin havaittu. Kasvanut puuston määrä lisää karikesyötettä maaperään ja pienentää maaperän nettohiilidioksidipäästöä. Lisääntyvät hakkuut kasvattavat merkittävästi puutuotteiden hiilinielua vertailutasolaskennassa, kun puutuoteryhmien tuotantosuhteet oletetaan samoiksi kuin viitejaksolla 2000–2009 (Taulukko 3). Ennusteet puutuotteiden tulevasta hiilivaraston muutoksesta tuoteryhmittäin on annettu Liitetaulukossa 4.

**Taulukko 3.** Hiilivarastojen ja KHK-päästöjen kehitys jaksolla 2011–2030 perustuen 3,5 % nettotulojen nykyarvokorkoon.

Hiilivaraston muutokset ja KHK-päästöt	2011–2015 (Mt CO <sub>2</sub> ekv. yr <sup>-1</sup> )	2016–2020 (Mt CO <sub>2</sub> ekv. yr <sup>-1</sup> )	2021–2025 (Mt CO <sub>2</sub> ekv. yr <sup>-1</sup> )	2026–2030 (Mt CO <sub>2</sub> ekv. yr <sup>-1</sup> )
Puuston biomassa (CO <sub>2</sub> )	-36,83	-26,04	-25,95	-26,13
Kangasmaat, kuollut puu ja karike (CO <sub>2</sub> )	-8,41	-8,72	-6,49	-6,74
Orgaaniset maat, kuollut puu ja karike (CO <sub>2</sub> )	5,19	4,07	1,71	1,05
<b>Puusto ja maa yhteensä (CO<sub>2</sub>)</b>	<b>-40,05</b>	<b>-30,69</b>	<b>-30,73</b>	<b>-31,82</b>
Ojituksen päästöt (N <sub>2</sub> O)	1,92	1,92	1,92	1,92
Ojituksen päästöt (CH <sub>4</sub> )	0,92	0,92	0,92	0,92
Kulutus (CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O)	0,0013	0,0013	0,0013	0,0013
Typpilannoitus (N <sub>2</sub> O)	0,0124	0,0124	0,0124	0,0124
Puutuotteet (CO <sub>2</sub> )	-3,76	-8,02	-6,90	-6,45
<b>Metsien hiilinielu ilman puutuotteita</b>	<b>-37,20</b>	<b>-27,84</b>	<b>-27,88</b>	<b>-28,97</b>
<b>Metsien hiilinielu puutuotteiden kanssa</b>	<b>-40,95</b>	<b>-35,86</b>	<b>-34,77</b>	<b>-35,42</b>

## 4.1. MELA-ohjelmiston puuston kasvun vaikutus tuloksiin

MELA-ohjelmiston kasvun taso päivitettiin LULUCF-asetuksen mukaiseksi siten, että kasvumallin tuottama ennuste biomassan hiilivaraston muutoksesta vertautuu kasvihuonekaasuinventaarion tuottamaan arvioon (Kuva 7). Kasvun tason päivityksen vaikutusta tuloksiin arvioitiin laskemalla MELA-ohjelmistolla metsien vertailutaso siten, että kasvun taso perustui 1) vuosien 1984–2013 indeksikorjattuun VMI11 puiden mitatun läpimitan kasvun kalibrointiin, joka on MELA2016 -ohjelmiston oletuksena (Taulukko 4) ja 2) indeksikorjaamattoman VMI11 puiden mitatun läpimitan kasvun kalibrointiin (Liitetaulukko 3)

Keskeinen tulos tästä vertailusta oli se, että puuston kasvu oli merkittävästi pienempi ilman kasvun tason korjausta, mutta toisaalta MELA-ohjelmiston tuottama arvio runkopuun hakkuukertymästä ja kokonaispoistumasta olivat lähes yhtä suuria päivitetyn puuston kasvun kanssa ja ilman (Taulukko 4), sillä nämä määräytyvät vertailujaksolle nykypuuston perusteella. Pienemmän kasvun ja lähes saman kokonaispoistuman seurauksena metsien hiilinielu oli noin 10 milj. tonnia CO<sub>2</sub> ekv. pienempi jaksolle 2021–2025 MELA-ohjelmistoilla jossa kasvun tasoa ei ollut korjattu vastaamaan VMI11 mittauksessa mitattua kasvua (Taulukko 5). Tulos oli yhdenmukainen tässä esitetyn kanssa myös tilanteessa, jossa kasvuluvut perustuivat indeksikorjaamattomaan VMI11:ssä mitatun läpimitan kasvun kalibrointiin (Liitetaulukko 3).

**Taulukko 4.** Puuston kasvun, hakkuiden, puuston biomassan nielun ja metsien nielun kehitys jaksolla 2016–2030 perustuen eri nettotulojen nykyarvokorkoihin.

Korkoprosentti		Yksikkö	2016–2020	2021–2025	2021–2025	2026–2030
2,50 %	Puuston kasvu	milj. m <sup>3</sup>	112,4	114,9	118,3	127,8
2,50 %	Hakkuut	milj. m <sup>3</sup>	70,7	70,7	72,0	71,9
2,50 %	Puuston biomassan nielu	milj. tn. CO <sub>2</sub>	-40,4	-42,7	-45,9	-58,7
2,50 %	Metsien nielu ilman puutuotteita	milj. tn. CO <sub>2</sub>	-40,46	-45,27	-51,22	-67,89
2,50 %	Metsien nielu	milj. tn. CO <sub>2</sub>	-45,61	-49,96	-55,63	-71,61
3,00 %	Puuston kasvu	milj. m <sup>3</sup>	112,37	114,01	116,14	123,26
3,00 %	Hakkuut	milj. m <sup>3</sup>	77,55	77,60	81,36	85,97
3,00 %	Puuston biomassan nielu	milj. tn. CO <sub>2</sub>	-32,48	-33,45	-32,08	-36,63
3,00 %	Metsien nielu ilman puutuotteita	milj. tn. CO <sub>2</sub>	-33,46	-35,85	-36,37	-42,37
3,00 %	Metsien nielu	milj. tn. CO <sub>2</sub>	-40,21	-41,86	-42,47	-48,24
3,50 %	Puuston kasvu	milj. m <sup>3</sup>	112,27	113,16	114,55	120,80
3,50 %	Hakkuut	milj. m <sup>3</sup>	83,01	83,07	84,91	89,58
3,50 %	Puuston biomassan nielu	milj. tn. CO <sub>2</sub>	-26,04	-25,95	-26,13	-29,31
3,50 %	Metsien nielu ilman puutuotteita	milj. tn. CO <sub>2</sub>	-27,84	-27,88	-28,97	-33,11
3,50 %	Metsien nielu	milj. tn. CO <sub>2</sub>	-35,86	-34,77	-35,42	-39,43
4,00 %	Puuston kasvu	milj. m <sup>3</sup>	112,15	112,38	113,01	118,69
4,00 %	Hakkuut	milj. m <sup>3</sup>	87,52	87,57	88,43	90,28
4,00 %	Puuston biomassan nielu	milj. tn. CO <sub>2</sub>	-20,70	-19,90	-20,30	-25,82
4,00 %	Metsien nielu ilman puutuotteita	milj. tn. CO <sub>2</sub>	-23,18	-21,53	-22,00	-27,96
4,00 %	Metsien nielu	milj. tn. CO <sub>2</sub>	-32,24	-29,18	-28,80	-34,14

**Taulukko 5.** Puuston kehitys ja hiilinielut jaksolle 2011–2030. Kasvatus- ja uudistualat rajoitteena, 3,5 % korkokanta perustuen MELA 2016 sisältämään vuosien 1984–2013 indeksikorjattuun VMI11 kalibrointiin.

Puuston määrät, 1000 milj. m <sup>3</sup>	2011	2016	2021	2026
Puuston määrä	2360,7	2472,1	2527,3	2581,7
Puuston määrä, puuntuotannon maa	2090,5	2178,0	2207,5	2235,9
Puuston kasvu ja poistuma, milj. m <sup>3</sup> /vuodessa	2011–2015	2016–2020	2021–2025	2026–2030
Puuston kasvu (koko maa)	98,3	101,6	101,7	102,4
Poistuma	76,1	90,5	90,8	90,9
- Luonnonpoistuma	9,9	6,9	7,1	7,6
Hakkuut	63,5	81,0	81,1	81,3
Puuston hiilinielu, milj. tonnia CO <sub>2</sub> ekv. vuodessa	-27,18	-15,56	-15,07	-16,50
Maaperän hiilinielu, milj. tonnia CO <sub>2</sub> ekv. vuodessa	-0,25	-0,98	-1,11	-1,61

## 4.2. Vertailu kasvihuonekaasuinventaarion tulosten kanssa

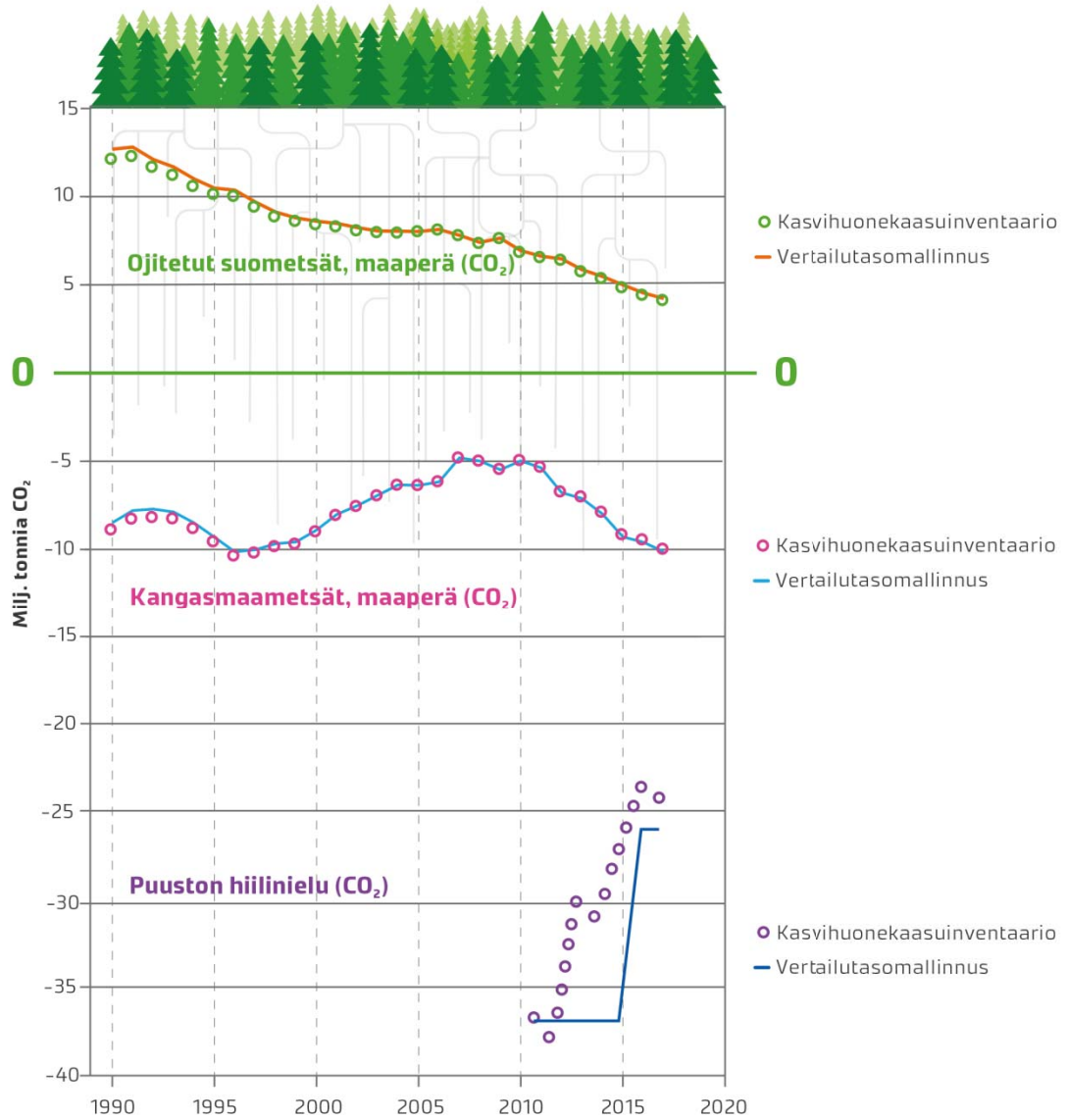
Vertailutason arvioinnin ohjeistuksen mukaan oli näytettävä, että laskentajärjestelmä pystyy tuottamaan samat tulokset kuin kasvihuonekaasuinventaario. Tätä varten verrattiin puuston ja maaperän hiilen varastonmuutoksia inventaariotuloksiin.

Puuston osalta MELA -ohjelmiston tuottamaa arviota voitiin verrata käytetyn VMI11 aineiston johdosta vain jaksolle 2011–2015. Vuosien 2011–2015 hakkuukertymiä soveltaen MELA:lla saatu puuston kasvu tälle jaksolle oli 106 milj. kuutiometriä vuodessa, joka vastasi riittävän hyvin VMI12:n vuonna 2018 julkaistua 107 milj. kuutiometrin kasvua, jossa mitatun kasvun keskivuosi on 2013. MELA:n kokonaispoistuman arvio vuosille 2011–2015 on 76,4 milj. m<sup>3</sup>/v, kun tilastoitu luku samoille vuosille on 77,5 milj. m<sup>3</sup>/v. Vertailujaksolla keskeiset puuston nieluun vaikuttavat tekijät vastaavat näin tilastoituja ja MELAlaskennan mukainen nieluarvio seuraa päällekkäisen jakson aikana kutakuinkin kasvihuonekaasuinventaarion tuloksia.

Maaperän varastonmuutoksia verrattiin kasvihuonekaasuinventaarion tuottamiin tuloksiin ajalla 1990–2017 kivennäismaille ja ojitetuille suometsille erikseen (Kuva 7). Vertailussa käytettiin laskujen syöttötietoina kasvihuonekaasuinventaarion laskelmissa käytettyjä kariketuoituksen arvioita. Kun vertailutasoarvioinnin maaperälaskelmat olivat lähtökohtaisesti yhdenmukaiset kasvihuonekaasuinventaarion kanssa, ei ole ihme, että vertailu menee kohdalleen. Vähäiset erot, erityisesti 1990-luvulla johtuvat pienistä karikeositteiden luokittelun poikkeamista vertailutasolaskennan ja kasvihuonekaasuinventaarion kesken.

Vertailutasolaskenta tuottaa puutuotteille merkittävästi suuremman nielun (-8,02 milj. t. CO<sub>2</sub>) vuosille 2016–2020 kuin kasvihuonekaasuinventaariossa on raportoitu vuodelle 2017 (-4,0 milj. t. CO<sub>2</sub>) (Statistics Finland 2019). Puutuotteiden osalta laskennan tavoitteena ei ole tuottaa oikeaa historiatietoa vaan jatkaa kehitystä kuten se oli vuosina 2000–2009. Vuoden 2010 loppuun saakka tulos on yhdenmukainen kasvihuonekaasuinventaarion kanssa.

## Kasvihuonekaasuinventaario ja Vertailutasolaskennan vertailu



**Kuva 7.** Vertailu vertailutasolaskennan ja KHK-inventaarion välillä. Ojitettujen suometsien maaperän CO<sub>2</sub> päästöt, sekä kangasmaiden maaperän CO<sub>2</sub> nielut jaksolle 1990–2017. Puuston biomassan CO<sub>2</sub>-nielut 2011–2017.



## 5. Tulosten tarkastelu ja päätelmät

### 5.1. Päätulosten arviointia

Puuston kasvu on viimeisen vuosikymmenen aikana lisääntynyt (Korhonen ym. 2017) ja sen huomiointi ennustemallissa (MELA) vaikuttaa tuntuvasti metsien hiilinielun verrattuna aikaisempiin arvioihin. Nopeutuneen kasvun lisäksi tähän vaikuttaa myös metsien ikäluokkarakenne, joka tulee pysymään kasvulle suosiollisena vielä kaudella 2021–2025. Metsien hiilinielun vertailutaso kaudella 2021–2025 on likimain yhtä suuri kuin viimeisimmän inventaariolaskennan mukainen arvio vuoden 2017 metsien nielusta (Statistics Finland 2019). Tämä perustuu siihen, että puuston kasvun ja poistuman erotus on sama jaksolla 2021–2025 kuin viimeisimmässä kasvihuonekaasuinventaariossa. Vuotuinen hakkuutaso vertailujaksolla on 83 milj. m<sup>3</sup>, eli noin 6 milj. m<sup>3</sup> korkeampi kuin vuoden 2017 hakkuut (Viitanen ja Mutanen 2018). Viimeisin arvio Suomen metsien puuston kasvusta on noin 107 milj. m<sup>3</sup> (Luonnonvarakeskus 2018) ja vertailutasolaskennassa jaksolle 2021–2025 arvio metsien kasvusta on noin 113 milj. m<sup>3</sup>.

Pitkäikäisiä puutuotteita (sahatavara ja puulevyt) tuotettiin suhteessa enemmän viitekaudella 2000–2009 kuin tällä hetkellä (Peltola 2014), joten vertailutasotavoitteen täyttyminen puutuotteiden osalta vaatisi pitkäikäisten puutuotteiden tuotantomäärien kasvattamista suhteessa lyhytikäisiin massatuotteisiin. LULUCF-asetus ei rajoita pitkäikäisistä puutuotteistakertyvän hiilinielun käyttöä LULUCF-sektorin muiden päästöjen kompensoinnissa, mikäli metsänielu on suurempi kuin vertailutaso, joten puutuotteiden nielun kasvattaminen vertailutasoa suuremmaksi toisi joustoa maankäyttösektorin päästöjen kompensoimiseen.

LULUCF-asetuksen mukaisesti myös maankäytön muutosten päästöt ja nielut otetaan huomioon, kun asetuksen mukainen tilinpito suoritetaan vuonna 2027. Nykyisin päästöt metsien raivaamisesta muuhun maankäyttöön ovat vuosittain noin 3 milj. tonnia CO<sub>2</sub>. Metsityksen nielut puolestaan ovat merkittävästi pienemmät. Maatalousmaiden päästöjä ei ole vielä pystytty vähentämään jakson 2005–2009 päästöihin verrattuna. Metsien hiilinielun ylittäessä vertailutason saataisiin vuosittaisesta nielusta osa käyttää maatalousmaiden päästöjen kompensoimiseen. Tuleva metsien hiilinielun kehitys riippuu puun kysynnästä ja hakkuumäärästä, eikä voida olettaa että metsien kasvavalla hiilinielulla saadaan kompensoitua nykyisen maatalousmaan ja uusien peltojen raivauksen aiheuttamia päästöjä. Tämä tarkoittaa sitä että maankäyttösektorilla on löydettävä vaikuttavia keinoja hillitä maatalouden aiheuttamia päästöjä. Jos maatalousmaiden päästöjä ei pystytä hillitsemään ja metsien hiilinielut jäävät vertailutasoa pienemmiksi, Suomella on mahdollisuus hyödyntää LULUCF-asetukseen neuvoteltua erityiskompensatiota ja ns. metsäjoustoa (art. 13). Mikäli ne eivät riitä tai ole käytettävissä, niin LULUCF sektorin päästöjä joudutaan kompensoimaan tekemällä päästövähennyksiä taakanjakosektorilla tai ostamalla nieluja tai päästövähennysoikeuksia muilta EU-jäsenmailta.

Vertailutasolaskennassa käytettiin sellaista alueellista (eli useita metsiköitä käsittävää) optimointia, jossa sovelletaan metsälain ja metsänhoito-ohjeiden mukaisia hakkuita. Sovelletussa alueellisessa optimoinnissa hakkuiden määrä oli em. ohjeiden lisäksi rajattu kaudella 2000–2009 toteutuneeseen hakkuiden suhteellisiin pinta-alaosuuksiin. Näissä laskelmissa nettotulojen nykyarvon korkotaso vaikuttii hakattavien kohteiden valintaan, jonka vaikutuksesta hakkuumäärät ja nielu vaihtelivat voimakkaasti sovelletusta korkoprosentista riippuen. Vertailutason laskentaohjeiston linjausten mukaan myös sovellettavan koron pitää perustua vuosilta 2000–2009 dokumentoituihin tietoihin ja Suomen vertailutason pohjaksi valittiin hakkuulaskenta, jossa käytetty korko (3,5 %) oli lähinnä tilastoitua.

Nettotulojen nykyarvon laskennassa sovellettiin korkokantaa, joka pohjautui puuntuotannon sijoitustuottoon viitejaksolta (2000–2009). Tähän päädyttiin ensisijaisesti EU Komission asettaman aikataulun johdosta – annetussa aikataulussa ei yksinkertaisesti olisi ollut mahdollista toteuttaa teoreettises-

ti perustellumman korkokannan, ts. yhteiskunnallisen koron, estimointia empiirisesti ottaen huomioon viitejakson (2000–2009) taloudellinen kehitys (esim. Dasgupta 2008, Howard 2013, Groom ja Hepburn 2017, Freeman 2018). Toisaalta, nettotulojen nykyarvo esitetään tässä raportissa myös vaihtoehtoisilla koroilla: 2,5 %, 3,0. % ja 4,0 %, mikä antaa kattavan yleiskuvan korkokannan vaikutuksesta hiilinieluun ja vuotuisiin hakkuisiin raportissa sovelletussa laskentaympäristössä (alueellinen optimointi MELA-ohjelmistolla s.e. tavoitefunktiona on nettotulojen maksimointi). Kirjallisuudesta tiedetään, että korkokannan määrittämiseen liittyy merkittäviä käytännöllisiä (Freeman ym. 2018) ja eritoten teoreettisia ongelmia (Weitzman 1998, Gollier 2002, Weitzman 2007). Lisäksi, näyttäisi olevan myös perusteltua käyttää ajan suhteen alenevaa korkokantaa (Freeman ym. 2015), eritoten pitkän aikavälin taloustarkasteluissa, kuten metsätaloudessa (Knoke ym. 2017, Price 2018). Toisaalta on myös esitetty että metsätalouden laskelmissa sovellettava laskentakorko voisi olla 2,8 %–3,5 %, jos aikajänne ei ylitä 150 vuotta (Davies & Kerr 2015).

Laskelmissa ei otettu huomioon ilmastomuutoksen vaikutusta puuston kasvuun vuoden 2017 jälkeen. Se olisi ollut mahdollista ja EU-asetuksen mukaan sallittua. MELA-ohjelmistossa on optiona vuotuisen keskilämpötilan ja ilman hiilidioksidipitoisuuden vaikutus puiden kasvuun, ja kangasmaiden hiilen varastonmuutos riippuu vuoden keskilämpötilasta ja sadannasta. Varovaisuussyistä ilmastomuutosta ei kuitenkaan otettu mukaan. Ensinnäkin säätekijöiden vaikutus ei ollut mukana kaikissa keskeisissä laskennan komponenteissa tai oli vain osittain. Tiedetään esimerkiksi, että turvemaiden hiilidioksidipäästöt riippuvat lämpötilasta (Ojanen ym. 2010); tämä vaikutus puuttuu käytetyistä päästökertoimista. Toiseksi, MELA-ohjelmistossa säätekijöiden vaikutuksen puiden kasvuun välittävät funktiot eivät ota huomioon maaperän tyyppien mahdollista riittävyttä kiihtyvässä kasvussa, eikä mukana ole myöskään arviota mahdollisesti lisääntyvien häiriötekijöiden vaikutuksista. Jos ilmastomuutos, esimerkiksi IPCC:n RCP2.6-skenaario, olisi otettu mukaan laskelmiin, tuloksena olisi luultavasti ollut korkeampi vertailutaso lisääntyneen metsien kasvun vaikutuksesta.

Tuloksiin sisältyy merkittävää epävarmuutta, tämä epävarmuus koostuu sekä kasvihuonekaasuinventaarion menetelmistä, että MELA -ohjelmiston kasvunennusteen epävarmuudesta. Kasvihuonekaasuinventaarion mukaan metsien hiilinielun 95 % luottamusväli on +/- 31 % metsien hiilinielun ennusteesta (Statistics Finland 2019). Tässä laskennassa epävarmuus on vähintään yhtä suurta, koska puuston kasvumallin soveltaminen lisää epävarmuutta.

## 5.2. Parannusehdotukset

EU:n LULUCF-asetus koskee jaksoa 2021–2030 ja liittyy maankäyttösektorin ja metsien hiilinielut ilmastopoliittisiin tavoitteisiin. Tämän jakson jälkeen tarvitaan hyvin todennäköisesti uusi LULUCF-asetus, joka vastaa Pariisin ilmastopoliittisen sopimuksen mukaan asteittain kasvaviin sitoumuksiin hillitään ilmastomuutosta.

Tässä vertailutasolaskennassa ei huomioitu ilmastomuutoksen vaikutusta tulevaan puuston kasvuun, eikä myöskään mahdollisten lisääntyvien metsätuhoriskien vaikutusta metsien kehitykseen. Ilmasto- ja metsäpolitiikan tueksi olisi kuitenkin arvokasta olla parhaat mahdolliset metsien kehityksen ennusteet käytettävissä. Tämä edellyttää, että metsien kehitystä kuvaavat mallit sisältävät kuvauksen mekanismeista, jotka huomioivat muuttuvat ympäristöolosuhteet (esim. lämpötila, CO<sub>2</sub> pitoisuus, sekä maaperän ravinteet ja veden tarjonta) ja kykenevät ennustamaan tulevaisuuden kehityskulut (ml. tuhoriskit) muuttuvassa ilmastossa.

Nykyinen LULUCF-asetus antaa jäsenmaille lukuisia vaihtoehtoisia tapoja arvioida metsiensä vertailutason suuruus. Tästä seuraa se, että maat voivat valita useista vaihtoehdoista kansalliseen politiikkaan soveltuvimman lähestymistavan, kun määritetään metsien vertailutasoa. LULUCF-asetus ei velvoita arvioimaan ja raportoimaan vertailutasolaskennan epävarmuutta, johon vaikuttaa sekä käytettävissä

oleva tietopohja että valittu lasekntamenetelmä. Läpinäkyvyyden parantamiseksi ja erityisesti LU-LUCF-asetuksen mahdollistaman maiden välisen nielucaupan ilmastovaikutusten arvioimiseksi vertailutason epävarmuuden arviointi olisi perusteltua. Sekä vertailutasojen tarkastamisen, että sopimuksen osapuolten välisen luottamuksen kannalta olisi yksinkertaisempaa ja läpinäkyvämpää se, että tulevassa metsien ilmastosääntelyssä sovittaisiin yhdessä muutama lähestymistapa laskea metsille tuleva vertailutaso.

## Viitteet

- Dasgupta, P. 2008. Discounting climate change. *Journal of risk and uncertainty* 37 (2–3):141–169.
- Forsell N, Korosuo A, Federici S, Gusti M, Rincón-Cristóbal J-J, Rüter S, Sánchez-Jiménez B, Dore C, Brajterman O and Gardiner J. (2018). Guidance on developing and reporting Forest Reference Levels in accordance with Regulation (EU) 2018/841. Available online at: [https://ec.europa.eu/clima/policies/forests/lulucf\\_en](https://ec.europa.eu/clima/policies/forests/lulucf_en).
- Davies, O., and Kerr, G. 2015. Comparing the costs and revenues of transformation to continuous cover forestry for Sitka spruce in Great Britain. *Forests* 6:2424–2449.
- Freeman, M.C., Groom, B., Panipoulou, K. ja Pantelides, T. 2015. Declining discount rates and the Fisher effect: Inflated Past, Discounted Future. *Journal of Environmental Economics and Management* 73:32–49.
- Freeman, M.C., Groom, B and Spackman, M. 2018. Social Discount rates for Cost-Benefit Analysis: A Report for HM Treasury. A summary report from two workshops on recent advantages in social discounting practice and theory.
- Gollier, C. 2002. Time horizon and the discount rate. *Journal of Economic Theory* 107:463–473.
- Gollier, C. 2010. Ecological discounting. *Journal of Economic Theory* 145:812–829
- Groom, B. and Hepburn, C. 2017. Looking back at social discount rates: the influence of papers, presentations and personalities on policy. *Review of Environmental Economics and Policy* 11(2): 336–356.
- 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. Metsäntutkimuslaitos, Joensuun tutkimuskeskus. 56 s.
- Hiraishi, T., Krug, T., Tanabe, K., Srivastava, N., Baasansuren, J., Fukuda, M. and Troxler, T.G., 2014. 2013 supplement to the 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories: Wetlands. IPCC, Switzerland.
- Hirvelä, H., Härkönen, K., Lempinen, R. & Salminen, O. 2017. MELA2016 Reference manual. *Natural resources and bioeconomy studies* 7/2017. 547 s. URN: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-358-1>.
- Howard, G. 2013. Discounting for personal and social payments: Patience for others, impatience for ourselves. *Journal of Environmental Economics and Management* 66:583–597.
- Hynynen, J. 1996. Puuston kehityksen ennustaminen MELA-järjestelmässä. *Julkaisussa: Hynynen, J. & Ojansuu, R. (toim.). Puuston kehityksen ennustaminen – MELA ja vaihtoehtoja. Tutkimusseminaari Vantaalla 1996. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 612: 21–37
- 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. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 835. 116 s.
- Hynynen, J., Salminen, H., Ahtikoski, A., Huuskonen, S., Ojansuu, R., Siipilehto, J., Lehtonen, M., Eerikäinen, K., 2015. Long-term impacts of forest management on biomass supply and forest resource development: a scenario analysis for Finland. *European Journal of Forest Research*. 134, 415–431. <https://doi.org/10.1007/s10342-014-0860-0>.
- Hyytiäinen, K., Tahvonen, O. & Valsta, L. 2010. Taloudellisesti optimaalisista harvennuksista ja kiertoajoista männylle ja kuuselle. *Metlan työraportteja* 143. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-951-40-2216-6>.
- Hökkä, H. 1996. Suometsien uudet kasvu- ja pituusmallit. *Julkaisussa: Hynynen, J. & Ojansuu, R. (toim.). Puuston kehityksen ennustaminen – MELA ja vaihtoehtoja. Tutkimusseminaari Vantaalla 1996. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 612: 57–68.
- Hökkä, H. 1997. Models for predicting growth and yield in drained peatland stands in Finland. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 651. 45 + 53 s.

- Hökkä, H., Alenius, V. & Penttilä, T. 1997. Individual-tree basal area growth models for Scots pine, pubescent birch and Norway spruce on drained peatlands in Finland. *Silva Fennica* 31(2): 161–178.
- Hökkä, H., Alenius, V. & Salminen, H. 2000. Predicting the need for ditch network maintenance in drained peatland sites in Finland. *Suo* 51(1): 1–10.
- Jutras, S., Hökkä, H., Alenius, V. and Salminen, H. 2003. Modeling Mortality of Individual Trees in Drained Peatland Sites in Finland. *Silva Fennica* 37(2):235-251.
- Kellomäki, S. and Väisänen, H., 1997. Modelling the dynamics of the forest ecosystem for climate change studies in the boreal conditions. *Ecological modelling*. 97(1–2):121–140.
- Knoke, T., Paul, C., and Härtl, F. 2017. A critical view on benefit-cost analyses of silvicultural management options with declining discount rates. *Forest Policy and Economics*. 83:58–69. [dx.doi.org/10.1016/j.forpol.2017.06.005](https://doi.org/10.1016/j.forpol.2017.06.005)
- Korhonen, K.T., Ihalainen, A., Ahola, A., Heikkinen, J., Henttonen, H.M., Hotanen, J.P., Nevalainen, S., Pitkänen, J., Strandström, M. and Viiri, H., 2017. Suomen metsät 2009–2013 ja niiden kehitys 1921–2013.
- Kuitto, P.-J., Keskinen, S., Lindroos, J., Oijala, T., Rajamäki, J., Räsänen, T. & Terävä, J. 1994. Puutavaran koneellinen hakkuu ja metsäkuljetus. Summary: Mechanized cutting and forest haulage. *Metsätehon tiedotus 410 (Metsäteho Report 410)*. 38 s. + appendices
- Kuuluvainen, J. ja Valsta, L. 2009. *Metsäekonomian perusteet*. Gaudeamus, Helsinki University Press. 332 s.
- Kärhä, K., Vartiamäki, T., Liikkanen, R., Keskinen, S. & Lindroos, J. 2004. Hakkuutähteen paalauksen ja paalien metsäkuljetuksen tuottavuus ja kustannukset. *Metsätehon raportti 179*. <http://www.metsateho.fi/uploads/4djb1xxw0otzss5.pdf>.
- Kärhä, K., Keskinen, S., Liikkanen, R. & Lindroos, J. 2006. Kokopuun korjuu nuorista metsistä. *Metsätehon raportti 193*. 79 s. + 3 liitettä. [http://www.metsateho.fi/uploads/Raportti\\_193\\_KK\\_ym.pdf](http://www.metsateho.fi/uploads/Raportti_193_KK_ym.pdf).
- Laasasenaho, J. 1982. Taper curve and volume functions for pine, spruce and birch. *Metsäntutkimuslaitos*.
- Laitila, J., Asikainen, A., Sikanen, L., Korhonen, K.T. & Nuutinen, Y. 2004. Pienpuuhakkeen tuotannon kustannustekijät ja toimituslogiikka. *Metlan työraportteja 3*. <http://urn.fi/URN:ISBN:951-40-1932-6>
- Laitila, J., Ala-Fossi, A., Vartiamäki, T., Ranta, T. & Asikainen, A. 2007. Kantojen noston ja metsäkuljetuksen tuottavuus. *Metlan työraportteja 46*. *Metsäntutkimuslaitos*. 26 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-951-40-2033-9>
- Lappi, J. 1992. JLP: A linear programming package for management planning. *Finnish Forest Research Institute, Research Papers 414*. 134 s.
- Lausti, A. & Penttinen, M. 1998. The analysis of return and its components of nonindustrial private forest ownership by forestry board districts in Finland. *Silva Fennica* 32(1): 75–94. Available at <https://silvafennica.fi/article/701>
- Lehtonen, A., Salminen, O., Kallio, M., Tuomainen, T. and Sievänen, R., 2016. Skenaariolaskelmiin perustuva puuston ja metsien kasvihuonekaasutaseen kehitys vuoteen 2045: Selvitys maa- ja metsätalousministeriölle vuoden 2016 energia- ja ilmastostrategian valmistelua varten.
- Luonnonvarakeskus 2018. Tiedote ” Valtakunnan metsien 12. inventointi (VMI12): Puuvarat kasvavat edelleen”. 9.10.2018.
- Mehtätalo, L. 2002 Valtakunnalliset puukohtaiset tukkivähennysmallit männyille, kuuselle, koivuille ja haavalle. *Metsätieteen aikakauskirja 4/2002*: 579–591.
- Nuutinen, T., Hirvelä, H., Hynynen, J., Härkönen, K., Hökkä, H., Korhonen, K.T. & Salminen, O. 2000. The role of peatlands in Finnish wood production – an analysis based on large-scale forest scenario modelling. *Silva Fennica* 34(2):131-153. <https://doi.org/10.14214/sf.636>
- Nuutinen, T., Hirvelä, H., Härkönen, K. & Hökkä, H. 2004. Valtakunnan metsien 9. inventointiin perustuvat hakkuumahdollisuusarviot vuosille 2002–2031 Pohjois-Pohjanmaan metsäkeskuksen alueella. *Metsätieteen aikakauskirja 3B/2004*: 419–435.

- Ojanen, P., Minkkinen K., Alm J., Penttilä T (2010) Soil-atmosphere CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O fluxes in boreal forestry-drained peatlands. *Forest Ecology and Management* 260: 411–421.
- Ojanen, P., Minkkinen, K., Alm, J. and Penttilä, T., 2018. Corrigendum to “Soil-atmosphere CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O fluxes in boreal forestry-drained peatlands” [For. Ecol. Manage. 260 (2010) 411–421]. *Forest Ecology and Management*, 412: 95–96.
- Ojansuu, R., Hynynen, J., Koivunen, J. & Luoma, P. 1991. Luonnonprosessit metsälaskelmassa (MELA) – Metsä 2000 -versio. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 385. 59 s.
- Ojansuu, R. 1996. Kangasmaiden kasvupaikan kuvaus MELA-järjestelmässä. (Description of mineral soils in the MELA System, in Finnish). In: Hynynen, J. & Ojansuu R. (eds.). 1996. Puuston kehityksen ennustaminen–MELA ja vaihtoehtoja. Tutkimusseminaari Vantaalla 1996. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 612 (Finnish Forest Research Institute, Research Papers 612): 39–56.
- Peltola, A., 2014. Metsätilastollinen vuosikirja 2014.
- Penttinen, M. & Lausti, A. 2004. The competitiveness and return components of NIPF ownership in Finland. *Liiketaloudellinen Aikakauskirja - The Finnish Journal of Business Economics* 2/2004: 143-156. Available at <https://dissertationesforestaes.fi/article/1827>
- Penttinen, M. 2007. Portfolio management and the competitiveness of forest ownership. *Dissertationes Forestales* 43. 48 p. Available at <http://www.metla.fi/dissertationes/df43.htm>
- Price, C. 2018. Declining discount rate and the social cost of carbon: forestry consequences. *Journal of forest economy*. Vol 13: 39-45. doi.org/10.1016/j.jfe.2017.05.003
- Repola, J., 2008. Biomass equations for birch in Finland. *Silva Fennica* 42(4): 605–624.
- Repola, J., 2009. Biomass equations for Scots pine and Norway spruce in Finland. *Silva Fennica* 43(4): 625–647.
- Rummukainen, A., Alanne, H. & Mikkonen, E. 1995. Wood procurement in the pressure of change–resource evaluation model till year 2010. *Acta Forestalia Fennica* 248.
- Schelhaas, M.J., Nabuurs, G.J., Hengeveld, G., Reyer, C., Hanewinkel, M., Zimmermann, N.E. and Cullmann, D. 2015. Alternative forest management strategies to account for climate change-induced productivity and species suitability changes in Europe, *Regional Environmental Change* 15: 1581–1594
- Seo, S.N. 2013. Economics of global warming as a global public good: Private incentives and smart adaptations. *Regional Science, Policy and Practice* 5(1): 83–95.
- Snellman, C.-G. 1984. Runkokäyrät ja tilavuusfunktiot VAX:illa. Käyttöohjemoniste. Metsäntutkimuslaitos. 9 s.
- Sievänen, R., Salminen, O., Lehtonen, A., Ojanen, P., Liski, J., Ruosteenoja, K. and Tuomi, M., 2014. Carbon stock changes of forest land in Finland under different levels of wood use and climate change. *Annals of forest science*, 71(2): 255–265.
- Siitonen, M., Härkönen, K., Hirvelä, H., Jämsä, J., Kilpeläinen, H., Salminen, O. & Teuri, M. 1996. MELA handbook 1996 edition. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja [Research papers] 622. Metsäntutkimuslaitos–The Finnish Forest Research Institute. 452 s.
- Statistics Finland 2019. Greenhouse gas emissions in Finland 1990 to2017 Draft. National Inventory Report under the UNFCCC and the Kyoto protocol. Submission to the European Union. 15 January 2019. Statistics Finland.
- Stern, N.2007. *The Economics of Climate Change: The Stern Review*, Cambridge University Press.
- Tapio 2006. Hyvän metsänhoidon suositukset. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. Metsäkustannus Oy.
- Tuomala, M.1997. *Julkistalous*. Gaudeamus, Tammer-Paino Oy. 372 s.
- Tuomi, M., Rasinmäki, J., Repo, A., Vanhala, P. and Liski, J., 2011. Soil carbon model Yasso07 graphical user interface. *Environmental Modelling & Software*, 26(11): 1358–1362.
- Viitanen, J. ja Mutanen, A., 2018. Metsäsektorin suhdannekatsaus 2018–2019.
- Väkevä, J., Kariniemi, A., Lindroos, J., Poikela, A., Rajamäki, J. & Uusi-Pantti, K. 2001. Puutavaran metsäkuljetuksen ajanmenekki. Metsätehon raportti 123 (Korjattu versio 7.10.2003). 41 + 3 s. [http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/metsatehon\\_raportti\\_123.pdf](http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/metsatehon_raportti_123.pdf).

- Weitzman, M.L. 1998. Why the far-distant future should be discounted at its lowest rate. *Journal of Environmental Economics and Management* 36: 201–208.
- Weitzman, M.L. 2007. A Review of the Stern Review on the Economics of Climate Change. *Journal of Economic Literature* 45(3): 703–724.

## Liitetaulukot

**Liitetaulukko 1.** Nettotulojen nykyarvokoron vaikutus puuston hiilitaseisiin vertailutasolaskennassa.

Nettotulojen nykyarvo MELA-ohjelmistossa	2,5 %	3 %	3,5 %	4 %
Puuston määrät, 1000 milj. m <sup>3</sup>	<b>2021</b>	<b>2021</b>	<b>2021</b>	<b>2021</b>
Puuston määrä	2662,7	2630,8	2604,7	2582,9
Puuston määrä, puuntuotannon maa	2337,2	2305,3	2279,2	2257,4
Puuston kasvu ja poistuma, milj. m <sup>3</sup> /vuodessa	<b>2021–2025</b>	<b>2021–2025</b>	<b>2021–2025</b>	<b>2021–2025</b>
Puuston kasvu (koko maa)	114,9	114,0	113,2	112,4
Poistuma	81,4	88,2	93,7	98,2
- Luonnonpoistuma	8,0	7,9	8,0	8,0
Hakkuut	70,7	77,6	83	87,6
- Ainespuukertymä	65,0	71,8	77,3	81,7
- Energia runkopuu (sis. polttopuun)	5,7	5,8	5,8	5,8
- Energia runkopuu ainespuukokoinen	5,3	5,3	5,3	5,3
Metsähake ja polttopuu	9,3	10,2	11,00	11,6
puuston hiilinielu milj. tonnia CO <sub>2</sub> ekv. vuodessa	<b>42,7</b>	<b>33,5</b>	<b>26</b>	<b>19,9</b>

**Liitetaulukko 2.** Puuston määrän, puuston kasvun, luonnonpoistuman kehitys jaksolla 2011–2025 MELA-ohjelmiston mukaan 3,5 % NPV korolla laskettuna.

Puuston määrät, 1000 milj. m <sup>3</sup>	2011	2016	2021	2026
Puuston määrä	2360,71	2508,98	2604,68	2702,08
Puuston määrä, puuntuotannon maa	2090,47	2212,46	2279,19	2347,60
Puuston kasvu ja poistuma, milj. m <sup>3</sup> /vuodessa	<b>2011–2015</b>	<b>2016–2020</b>	<b>2021–2025</b>	<b>2026–2030</b>
Puuston kasvu (koko maa)	106,03	112,27	113,16	114,55
Poistuma	76,41	93,14	93,69	95,38
- Luonnonpoistuma	10,00	7,39	7,97	8,43
Hakkuut	63,47	83,01	83,07	84,91
- Ainespuukertymä	55,20	77,25	77,25	79,11
- Energia runkopuu (sis. polttopuun)	8,27	5,76	5,82	5,80
- Energia runkopuu ainespuukokoinen	7,52	5,27	5,27	5,27
Metsähake ja polttopuu	12,83	11,00	11,00	11,20
Puuston hiilinielu, milj. tonnia CO <sub>2</sub> ekv. vuodessa	<b>36,83</b>	<b>26,04</b>	<b>25,95</b>	<b>26,13</b>



**Liitetaulukko 3.** Puuston kehitys ja hiilinielut jaksolle 2011–2030. Kasvatus- ja uudistualat rajoitteena, 3,5 % korkokanta perustuen indeksikorjaamattomaan VMI11 kalibrointiin.

Puuston määrät, 1000 milj. m <sup>3</sup>	2011	2016	2021	2026
Puuston määrä	2360,7	2483,5	2541,1	2600,4
Puuston määrä, puuntuotannon maa	2090,5	2189,6	2221,5	2254,7
Puuston kasvu ja poistuma, milj. m <sup>3</sup> /vuodessa	2011–2015	2016–2020	2021–2025	2026–2030
Puuston kasvu (koko maa)	100,7	104,4	105,1	105,7
Poistuma	76,1	92,9	93,2	92,9
- Luonnonpoistuma	10,0	7,1	7,3	7,5
Hakkuut	63,5	83,3	83,4	83,3
- Ainespuukertymä	55,2	77,6	77,6	77,6
- Energia runkopuu (sis. polttopuun)	8,3	5,8	5,8	5,7
- Energia runkopuu ainespuukokoinen	7,5	5,3	5,3	5,3
Metsähake ja polttopuu	12,8	11,1	11,1	11,1
Puuston hiilinielu, milj. tonnia CO <sub>2</sub> ekv. vuodessa	-30,99	-16,99	-17,06	-18,51
Maaperän hiilinielu, milj. tonnia CO <sub>2</sub> ekv. vuodessa	-0,54	-2,28	-2,46	-2,87

**Liitetaulukko 4.** Puutuotteiden hiilivaraston muutos tuoteryhmittäin (Milj. tonnia CO<sub>2</sub>) vuosille 2010 (toteutunut) ja kausille 2011–2015, 2016–2020, 2021–2025 (vertailutasolaskennan sääntöjen mukaan laskettu kehitys).

Korko	Tuoteryhmä	2010	2011–2015	2016–2020	2021–2025
<b>2,5 %</b>	Sahatavara	-1,97	-3,48	-4,29	-4,10
	Puulevyt	-0,09	-0,15	-0,37	-0,45
	Paperituotteet	-0,13	0,39	-0,50	-0,14
	<b>Yhteensä</b>	<b>-2,19</b>	<b>-3,24</b>	<b>-5,16</b>	<b>-4,69</b>
<b>3,0 %</b>	Sahatavara	-1,97	-3,60	-5,18	-5,07
	Puulevyt	-0,09	-0,16	-0,50	-0,60
	Paperituotteet	-0,13	0,24	-1,06	-0,33
	<b>Yhteensä</b>	<b>-2,19</b>	<b>-3,53</b>	<b>-6,75</b>	<b>-6,01</b>
<b>3,5 %</b>	Sahatavara	-1,97	-3,71	-5,90	-5,78
	Puulevyt	-0,09	-0,18	-0,61	-0,71
	Paperituotteet	-0,13	0,12	-1,51	-0,40
	<b>Yhteensä</b>	<b>-2,19</b>	<b>-3,76</b>	<b>-8,02</b>	<b>-6,90</b>
<b>4,0 %</b>	Sahatavara	-1,97	-3,79	-6,48	-6,37
	Puulevyt	-0,09	-0,19	-0,70	-0,81
	Paperituotteet	-0,13	0,03	-1,88	-0,48
	<b>Yhteensä</b>	<b>-2,19</b>	<b>-3,95</b>	<b>-9,07</b>	<b>-7,65</b>



luke.fi

Luonnonvarakeskus  
Latokartanonkaari 9  
00790 Helsinki  
puh. 029 532 6000