



Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 21/2023

Suomen metsien hakkuumahdollisuudet vuosina 2016–2045 valtakunnan metsien 12. inventointiin perustuen

Hannu Hirvelä, Kari Härkönen, Olli Salminen, Kyle Eyvindson ja
Reetta Lempinen

Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 21/2023

Suomen metsien hakkuumahdollisuudet vuosina 2016–2045 valtakunnan metsien 12. inventointiin perustuen

Hannu Hirvelä, Kari Härkönen, Olli Salminen, Kyle Eyvindson ja Reetta Lempinen

Viittausohje:

Hirvelä, H., Härkönen, K., Salminen, O., Eyvindson, K. ja Lempinen, R. 2023. Suomen metsien hakkuumahdollisuudet vuosina 2016–2045 valtakunnan metsien 12. inventointiin perustuen. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 21/2023. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 62 s.



ISBN 978-952-380-633-7 (Painettu)

ISBN 978-952-380-634-4 (Verkkajulkaisu)

ISSN 2342-7647 (Painettu)

ISSN 2342-7639 (Verkkajulkaisu)

URN <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-634-4>

Copyright: Luonnonvarakeskus (Luke)

Kirjoittajat: Hannu Hirvelä, Kari Härkönen, Olli Salminen, Kyle Eyvindson ja Reetta Lempinen

Julkaisija ja kustantaja: Luonnonvarakeskus (Luke), Helsinki 2023

Julkaisuvuosi: 2023

Kannen kuva: Hannu Hirvelä

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

Tiivistelmä

Hannu Hirvelä¹, Kari Härkönen¹, Olli Salminen², Kyle Eyvindson¹ ja Reetta Lempinen³

¹ Luonnonvarakeskus (Luke), Latokartanonkaari 9, 00790 Helsinki

² Luonnonvarakeskus (Luke), eläkkeellä

³ Luonnonvarakeskus (Luke), Yliopistokatu 6 B, 80100 Joensuu

Valtakunnan metsien 12. inventoinnin vuosina 2014–2018 mitatun maastoaineiston perusteella laskettu hakkuumahto eli metsänhoidon suosituksia noudattaen puuntuotannon metsämaalla hakattavissa olevan tukki- ja kuitupuun mitat täyttävän runkopuun vuotuinen määrä oli keskimäärin 138,9 milj. m³/v inventointia seuraavalla kymmenvuotiskaudella 2016–2025. Suurin ylläpidettävissä oleva aines- ja energiapuun hakkuukertymäarvio oli maakunnittaisista kestävyysrajoitteista johtuen keskimäärin 80,5 milj. m³/v runkopuuta vastaavalla kaudella. Arviota rajoitti erityisesti ainespuun hakkuukertymän kausittaiset tasaisuusvaatimukset ja Etelä-Suomen maakuntien alueilla lisäksi nettotulojen kausittaiset tasaisuusvaatimukset. Turvemaiden osuus ainespuukertymästä oli keskimäärin 22 % kaudella 2016–2025. 30 vuoden tarkastelujaksolla 2016–2045 suurin ylläpidettävissä oleva hakkuukertymäarvio oli keskimäärin 86,3 milj. m³/v, ja hakkuumahdollisuudet lisääntyivät laskelman aikana suhteellisesti eniten Päijät-Hämeen, Etelä-Karjalan, Etelä-Savon, Kainuun ja Lapin maakuntien alueilla.

Vuosina 2016–2018 tilastoitu runkopuun hakkuukertymä Suomessa oli keskimäärin 91 % suurimman ylläpidettävissä olevan hakkuukertymän arviosta kaudella 2016–2025 ja 85 % tarkastelujaksolla 2016–2045. Maakunnittain oli kuitenkin huomattavaa vaihtelua, sillä Uudenmaan, Kanta-Hämeen, Kymenlaakson ja Etelä-Karjalan maakuntien alueilla vuosina 2016–2018 tilastoitu runkopuun hakkuukertymä taso ylitti suurimman ylläpidettävissä olevan hakkuukertymän 30 vuoden tarkastelujakson keskimääräisen arvion.

Suurimman ylläpidettävissä olevan hakkuukertymäarvion mukainen runkopuun kokonaispoistuma oli keskimäärin 87 % runkopuun kasvuarviosta kaudella 2016–2025 ja 93 % tarkastelujaksolla 2016–2045 koko metsä- ja kitumaalla. Laskelma oli puuston runkotilavuutta lisäävä lukuun ottamatta Ahvenanmaan, Varsinais-Suomen, Satakunnan, Kanta-Hämeen, Pirkanmaan, Keski-Suomen ja Etelä-Pohjanmaan maakuntien alueita. Koko Suomessa runkotilavuuden arvioitiin lisääntyvän 30 vuoden tarkastelujaksolla 2 691 milj. m³:iin (+9 %).

Laskelmissa sovelletut oletukset mm. laskentakorkokannasta, kasvuntasosta ja ainespuuhakkuiden hukkapuusta vaikuttivat huomattavasti laadittuihin hakkuumahdollisuusarvioihin. Laskelmien tuloksena saatujen hakkuukertymätasojen lisäksi laskelmaoletukset vaikuttivat myös mm. kasvatus- ja uudistushakkuiden suhteelliseen edullisuuteen ja siten laskelmissa valittujen hakkuiden rakenteeseen.

Asiasanat: hakkuumahdollisuudet, hakkuumahto, hakkuureservi, nettotulojen maksimointi, suurin ylläpidettävissä oleva hakkuukertymä, toteutunut hakkuukertymä, MELA-ohjelmisto, valtakunnan metsien 12. inventointi

Sisällys

1. Johdanto	5
2. Aineisto ja laskelmaoletukset.....	7
2.1. Laskentakehikko.....	7
2.2. Laskenta-aineisto.....	8
2.3. Laskennan oletukset.....	10
2.3.1. Kasvuntason kalibrointi	10
2.3.2. Metsien käsittely- ja kehitysvaihtoehtojen simulointi	12
2.3.3. Puutavaralajeittainen tilavuuksien laskenta.....	14
2.3.4. Puun, puunkorjuun ja metsänhoidon kustannukset	15
2.3.5. Hiilidioksidin ja muiden kasvihuonekaasujen laskenta	18
2.4. Hakkuulaskelmien määrittely.....	18
3. Tulokset.....	22
3.1. Metsänhoidon suositusten mukainen hakkuumahto vuosille 2016–2025	22
3.2. Suurin nettotulo -laskelma.....	23
3.3. Suurin ylläpidettävissä oleva hakkuukertymä -laskelma	28
3.4. Vuosina 2016–2018 toteutunut hakkuukertymä -laskelma.....	33
4. Turvemaiden osuus hakkuumahdollisuuksista	35
5. Keskeisten laskentaoletusten vaikutus.....	38
5.1. Laskentakorkokanta.....	38
5.2. Kasvuntaso	41
5.3. Ainespuuhakkuiden hukkapuu.....	43
6. Hakkuumahdollisuusarvioiden kehitys VMI7-VMI12	45
7. Tulosten tarkastelu	48
Viitteet.....	53
Liitteet	60

1. Johdanto

Suomessa arvioitiin 2010-luvun alussa kotimaisen raakapuun käytön vähenevän paperin kysynnän laskun myötä vuoteen 2020 mennessä alle 60 milj. m³/v (Kärhä ym. 2010) tai jopa alle 52 milj. m³/v (Hetemäki & Hänninen 2009). Sellun ja kartongin kysynnän kasvun ja toisaalta Venäjän asettamien puutullien seurauksena hakkuumäärät ovat kuitenkin Suomessa nousseet 2010-luvulla ja vuonna 2018 metsistämme hakattiin ennätyselliset 78,2 milj. m³ runkopuuta, josta 69,2 milj. m³ oli teollisuuspuuta ja 8,9 milj. m³ lämpö- ja voimalaitosten sekä kotitalouksien polttopuuna käyttämää energiapuuta (Luke 2022a). Vaikka tiedot vuosilta 2019 ja 2020 osoittavat vuotta 2018 selvästi pienempiä hakkuumääriä, niin esillä olleet investointisuunnitelmat ja -päätökset kasvattavat toteutuessaan metsiemme vuosittaisia hakkuumääriä useilla miljoonilla kuutiometreillä, ellei samanaikaisesti jo olemassa olevaa tuotantokapasiteettia vähennetä. Vuonna 2021 runkopuun hakkuukertymä oli 76,3 milj. m³/v (Luke 2022a). Ukrainan sodan seurauksena asetetut Venäjän vastaiset pakotteet ovat lopettaneet puun tuonnin Venäjältä, millä on myös vaikutusta kotimaisen raakapuun hakkuisiin.

Metsien käytön kasvaessa ja monipuolistuessa vaatimukset hakkuumahdollisuuksien arviointia kohtaan ovat lisääntyneet. Nykyinen metsälainsäätö ei suoraan rajoita talousmetsien hakkuita, kunhan metsien uudistuminen on varmistettu. Käytännössä kuitenkin esim. kaavoitus voi rajoittaa paikallisesti hakkuita (Mattila & Korhonen 2010, Kärkkäinen ym. 2017) ja koko maan tasolla metsien käsittelyille ja hakkuille saattaa tulla rajoituksia niiden kansainvälisten sopimusten kautta, joihin Suomi valtiona on sitoutunut tai sitoutuu.

Tämän raportin tulokset on laskettu lähinnä puuntuotannon lähtökohdista, sillä laskenta perustuu voimassa oleviin ja käytännössä sovellettuihin metsänhoidon suosituksiin. Ekologiset, sosiaaliset ja kulttuuriset tekijät puuttuvat metsänhoidon suosituksista sellaisina selkein määrällisinä tavoitteina, joilla metsänomistajia suositeltaisiin nostamaan esim. lahoppuuston määrän tietylle kuutiomääräiselle hehtaarisolulle tai suojelemaan tietty pinta-ala metsämaan alasta, kuten FSC-sertifikaatti edellyttää. Vastaavasti hiilinieluja koskevia tavoitteita ei ole otettu mukaan laskelmiin, koska ainakaan toistaiseksi niihin liittyviä mahdollisia metsänkätön rajoitteita ei ole asetettu metsänomistajille eikä hiilen sidonnasta hakkuista pidättäytymällä makseta korvausta. Muu metsän käyttö on otettu huomioon lähinnä puuntuotannon rajoitusten kautta. Lakiin perustuvien suojelualueiden lisäksi puuntuotannon ulkopuolella laskelmissa jätettiin mm. Metsähallituksen omiin päätöksiin perustuvat suojelualueet. Lisäksi laskelmissa lehtoja käsiteltiin lehtipuita suosien, uudistushakkuissa jätettiin säästöpuita ja valitut säästöpuut olivat hakkuiden ulkopuolella koko laskennan ajan, luontaisesti kuollutta puuta ei korjattu talteen eikä kitumaille tehty mitään metsätaloustoimia. Rajoitetun puuntuotannon metsiä, joita ovat esim. ranta-, maisema- ja virkistyskäyttömetsät, käsiteltiin vain kasvatushakkuin.

Hakkuumahdollisuuksien ja niiden vaikutusten laskennassa on Suomessa yleisesti käytetty MELA-ohjelmistoa, joka on Suomen oloihin kehitetty metsätalouden analyysi- ja suunnitteluohjelmisto. Tässä raportissa esitettävät tulokset perustuvat sen nykyiseen MELA2016-versioon (Hirvelä ym. 2017). Keskeisimpiä laskelmatuloksia tarkastellaan pääosin Etelä- ja Pohjois-Suomen sekä koko maan tasolla. Maakunnittain tulokset on julkaistu Luonnonvarakeskuksen MELA Tulospalvelussa (Luke 2022b).

Tulokset perustuvat kolmeen hakkuulaskelmaan: suurimman nettotulon (NT), suurimman ylläpidettävissä olevan hakkuukertymän (SY) ja viime vuosina toteutuneen hakkuukertymän (TH) mukaiseen laskelmaan. Laskelmista on esitetty myös ainespuun hakkuumahto eli

metsänhoidon suositusten perusteella laskettu hakattavissa olevan tukki- ja kuitupuun mitat täyttävän runkopuun määrä. Laskelmat on tehty ottamatta huomioon puumarkkinoita, ts. metsäteollisuuden halua ja kykyä ostaa puuta, ja metsänomistajien puunmyyntihalukkuutta, johon vaikuttavat monet muutkin tekijät kuin puuston määrä ja/tai sen hinta (esim. Hänninen ym. 2011, Heinonen ym. 2020). Avoimessa markkinataloudessa puunostajat ja -myyjät kuitenkin ratkaisevat puumarkkinoilla, kuinka paljon puuta Suomessa hakataan.

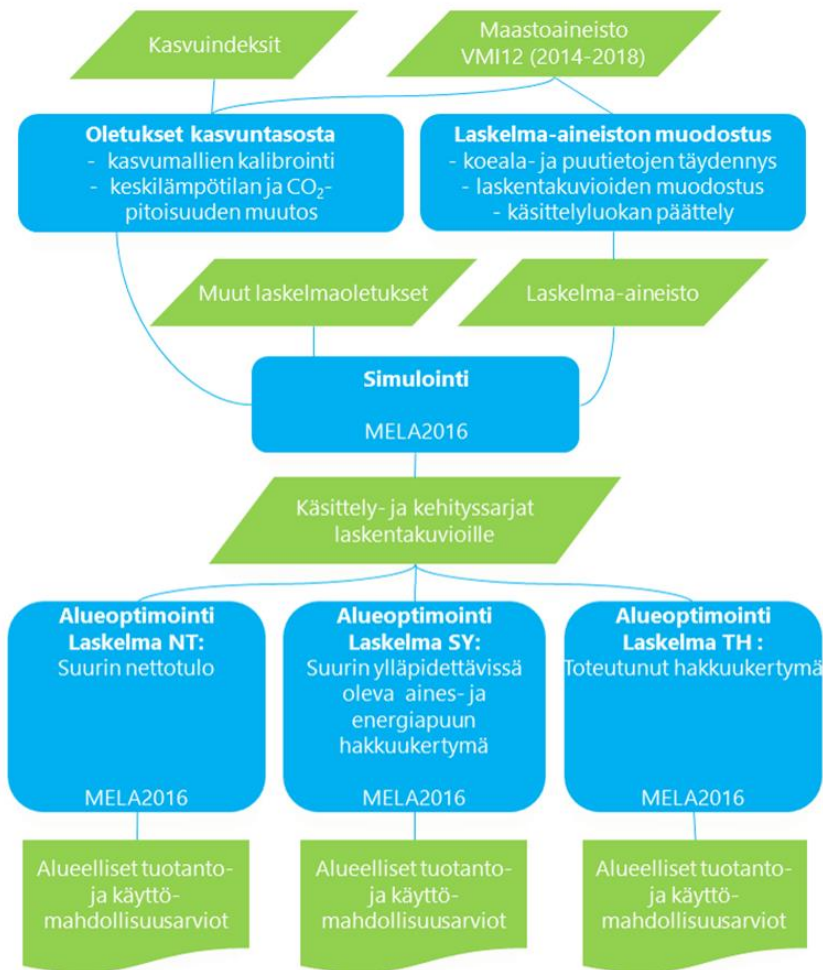
2. Aineisto ja laskelmaoletukset

2.1. Laskentakehikko

Suurimman nettotulon (NT), suurimman ylläpidettävissä olevan hakkuukertymän (SY) ja viime vuosina toteutuneen hakkuukertymän (TH) mukaiset hakkuulaskelmat ja niitä vastaavat puuston kehitysarviot laskettiin Luonnonvarakeskuksen (Luke) metsien käyttömahdollisuuksien analysointiin ja suunnitteluun kehitetyn MELA-ohjelmiston (Siitonen ym. 1996) uusimmalla MELA2016-versiolla (Hirvelä ym. 2017). MELA koostuu metsien kehitystä kuvaavien vaihtoehtojen käsittelyketjujen simuloinnista ja näistä vaihtoehtoista parhaan ratkaisun hakevasta lineaarisesta optimoinnista. Se ei sisällä hinnan ja määrän suhteen muuttuvia puun kysynnän ja tarjonnan funktioita, jotka tuottaisivat tasapainoratkaisun mukaisen hakkuukertymän, joten MELA on tässä mielessä puhtaasti puuvaroista lähtevä tarjontamalli. Puun kysyntä voidaan kuitenkin asettaa optimoinnin rajoitefunktioiksi ja laskea tavoitefunktion suhteen kysynnän toteuttavien hakkuiden optimaalinen allokointi. MELA-ohjelmistoa on hyödynnetty Metsä 2000 -ohjelmasta (The Forest 2000 ... 1986) ja sen tarkistuksesta (Siitonen 1990) lähtien useissa kansallisen, alue- ja paikallistason metsien käyttömahdollisuuksien arvioinneissa, mm. Kansallisen metsäohjelman 2010 (Nuutinen & Salminen 1999) ja 2015 (Salminen & Hirvelä 2008), Kansallisen metsästrategian 2025 (Kansallinen metsästrategia ... 2015) ja 2035 (Kärkkäinen ym. 2022), Energia- ja ilmastostrategian 2008 (Uusivuori ym. 2008) ja 2016 (Lehtonen ym. 2016), Valtioneuvoston metsäpoliittisen selonteon 2050 (Valtioneuvoston metsäpoliittinen ... 2014), Maankäyttösektorin ilmastosuunnitelman (Ollila ym. 2022) ja alueellisten metsäohjelmien valmisteluissa, metsien lisäsuojelun vaikutusarvioinneissa (Kniivilä ym. 2022) sekä metsien vertailutason määrittämisessä Kioto pöytäkirjan 2. kaudelle vuosille 2013–2020 (UNFCCC 2011) ja EU:n LULUCF-sektorin osalta vuosille 2021–2025 (National Forestry ... 2019).

Hakkuumahdollisuusarvioiden laskenta koostui 1) metsävara-aineiston muodostamisesta, 2) laskennan ja sen oletusten määrittelystä, 3) metsien käsittely- ja kehitysvaihtoehtojen simuloinnista sekä 4) hakkuulaskelmien määrittelystä lineaarisen optimoinnin tavoitteiksi ja rajoitteiksi (Kuva 1). Tapahtumamäärittelyihin pohjautuva vaihtoehtojen simulointi tuotti automaattisesti jokaiselle laskentayksikölle suuren joukon metsänhoidon suositusten mukaisia käsittely- ja kehitysketjuja. Tapahtumat koostuivat luonnonprosesseista (puiden synty, kasvu ja kuoleminen) sekä hakkuu- ja metsänhoitotöistä. Puuston kehitys perustui puukohtaisiin malleihin, joista keskeisimmät on kuvattu julkaisuissa Hynynen ym. (2002) ja Hirvelä ym. (2017). Laskentayksikön tiedot saatiin puutiedoista summaamalla.

Käsittelyvaihtoehtojen simulointiaika oli 50 vuotta, joka jakautui viiteen kymmenvuotiskauden. Tulokset esitetään vain ensimmäisen 30 vuoden ajalle (2016–2045), sillä mallien luotettavuus heikkenee sitä enemmän mitä kauemmas tulevaisuuteen edetään. Laskennan myöhemmät kaudet ovat mukana metsänkasvatuksen jatkuvuuden varmistamiseksi. Vaihtoehtojen varsinaisen simulointiajan jälkeen kutakin vaihtoehtoista käsittelyketjua jatkettiin vielä nettotulojen nykyarvon laskentaa varten seuraavaan uudistushakkuuseen tai maksimissaan 150 vuoteen asti. Nettotulojen nykyarvon laskenta on kuvattu tarkemmin julkaisuissa Salminen ym. (2013) ja Hirvelä ym. (2017). Simuloitujen vaihtoehtojen käsittelyjen joukosta valittiin maakunnittain puuston kehitykselle ja metsien käytölle aluekohtaiset vaatimukset parhaiten täyttävä käsittely- ja kehityssarja MELA-ohjelmiston sisältämän lineaarisen optimoinnin JLP-ohjelmiston (Lappi 1992) avulla. Aluekohtaisen optimiratkaisun lisäksi tuloksena saatiin sitä noudattavat käsittelyketjut jokaiselle laskentayksikölle.



Kuva 1. Hakkuumahdollisuusarvioiden laadinnan vaiheet.

2.2. Laskenta-aineisto

Laskennan alkutilanteen metsävaratietona käytettiin valtakunnan metsien 12. inventoinnissa (VMI12) vuosina 2014–2018 (Korhonen ym. 2021) mitattuja maastokoealoja lisättyä Ylä-Lapin alueen (Enontekiön, Inarin ja Utsjoen kuntien) vuosina 2012–2013 mitatuilla VMI11-maastokoealoilla (Korhonen ym. 2017). Laskenta-aineisto edusti keskimäärin vuoden 2016 metsävarojen tilannetta, joka oli myös laskelmien aloitusvuosi. Laskenta-aineisto sisälsi metsä- ja kitumaan koealat lukuun ottamatta puuttomia sivukuvioita, yhteensä 57 720 laskentayksikköä, joille laskelmissa simuloitiin yhteensä runsas 8,6 miljoonaa käsittely- ja kehitysketjua.

Puuntuotantoa koskevien rajoitusten huomioon ottamiseksi laskentayksiköt jaettiin kolmeen käsittelyluokkaan: ensisijaisesti puuntuotannossa, rajoitetussa puuntuotannossa ja puuntuotannon ulkopuolella oleviin (Taulukko 1). Rajoitetun puuntuotannon laskentayksiköillä vain kasvatushakkuut olivat mahdollisia hakkuutoimia ja puuntuotannon ulkopuolella olevilla laskentayksiköillä ei tehty mitään metsätaloustoimia. Laskelmissa kitumaat olivat alhaisesta puuntuotoskyvystä johtuen metsätaloustoimien ulkopuolella käsittelyluokasta riippumatta. VMI-aineistoa varten selvitettyjen puuntuotannon rajoitustietojen lisäksi käytössä olivat Metsähallituksen ilmoittamat omiin päätöksiin perustuvat rajoitukset sekä maastomittausten yhteydessä todetuista luonto-, maisema- tai muista arvoista johtuvat metsätalouden harjoittamiseen vaikuttavat rajoitukset. Samalla alueella voi olla osia, joissa rajoitusten vaikutukset ovat voimakkuudeltaan erilaisia, ja siten osalla alueista (mm. erämaat) puuntuotannon

rajoituksen voimakkuus (rajoitettu puuntuotanto, puuntuotannon ulkopuolella) määräytyi puuntuotannon rajoituksen tarkennuksen perusteella, joka kuvaa puuntuotannon rajoituksen luonteen (Korhonen ym. 2017). Laskelmissa oletettiin, että metsäpinta-ala, puuntuotannon rajoitukset ja metsien käsittelyn määritykset eivät muutu laskennan aikana.

Taulukko 1. Puuntuotannon rajoituksista johdetut käsittelyluokat laskenta-aineistossa. Muuttujien ja luokitusten tarkemmat selitykset, ks. Valtakunnan metsien ... (2013), (2018).

Puuntuotannon rajoitukset	Rajoitettu puuntuotanto	Puuntuotannon ulkopuolella
Luonnonsuojelulakiin perustuvat alueet		
Kansallis- ja luonnonpuistot		X
Soiden-, lehtojen- ja vanhojen metsien suojelualueet sekä muut luonnonsuojelualueet		X
Luonnonsuojelulla suojellut luontotyytit	X	X
Maisemansuojelualueet	X	X
Muut lakiin perustuvat alueet		
Erämaat	X	X
Ulkoilureittialueet ja valtion retkeilyalueet	X	
Erityisesti suojeltavan lajin esiintymisalueet ja Natura-alueet	X	X
Muut lakiin perustuvat suojelualueet, esim. yksityiset suojelualueet	X	X
Omistajan päätökseen perustuvat alueet		
Metsähallituksen suojelumetsät		X
Metsähallituksen alue-ekologisen suunnittelun luontokohteet ja muut puuntuotannon rajoitusalueet	X	X
Metsähallituksen suojametsäalueet	X	
Muut suojellut ja rajoitetun käytön alueet	X	X
Metsänjalostus-, tutkimus- ja havaintometsät	X	X
Puolustusvoimien harjoitusalueet	X	X
Virkistysalueet ja muut erikoisalueet	X	X
Määräaikainen yksityinen suojelualue	X	X
Suojeluun varatut alueet		
Kansallis- ja luonnonpuistojen kehittämissuojeluohjelma-alueet		X
Soidensuojelu-, lehtojensuojelu- ja vanhojen metsien suojeluohjelma-alueet		X
Rantojen-, lintuvesien- ja harjujensuojeluohjelma-alueet	X	X
Muut suojeluohjelma-alueet ja valtioneuvoston periaatepäätöksellä suojeluun varatut muut alueet		X
Kaava-alueet		
Maakunta-, yleis-, asema- ja ranta-asemakaava-alueet	X	X
Muut alueet		
Muut Metsähallituksen ilmoittamat omaan päätökseen perustuvat rajoitusalueet	X	X
Muut metsätalouden harjoittamiseen vaikuttavat arvot (metsäluonnon tärkeä elinympäristö, rantametsä, asutuksen välitön läheisyys, maisema-arvot, uhanalaisen tai harvinaisen eliölajin esiintymis- tai pesimisalue sekä muu toimenpiteitä rajoittava syy)	X	
Ahvenanmaalla metsätalousalueen ulkopuoliset alueet		X
Kitumaa	X	

Valtakunnan metsien 12. inventoinnin mukaan Suomessa oli metsä- ja kitumaata 22,81 milj. ha (Korhonen ym. 2021). Taulukon 1 mukaista käsittelyluokitusta noudattaen metsämaasta oli ensisijaisesti puuntuotannossa 17,28 milj. ha (85 %), rajoitetussa puuntuotannossa 1,16 milj. ha (6 %) ja puuntuotannon ulkopuolella 1,83 milj. ha (9 %) (Taulukko 2, Korhonen ym. 2021). Puuston runkotilavuus metsä- ja kitumaalla oli 2 475 milj. m³. Laskelma-aineistossa puuston tilavuus metsämaalla oli noin 2 400 milj. m³, josta puuntuotannossa (ensisijaisesti tai rajoitetussa puuntuotannossa) oli 91 % (lähes 2 200 milj. m³) ja puuntuotannon ulkopuolella 9 % (220 milj. m³) (Taulukko 2).

Taulukko 2. Metsä- ja kitumaan pinta-alat ja puuston runkotilavuudet käsittelyluokittain VMI12-aineistoon perustuvassa laskenta-aineistossa.

Käsittelyluokka	Metsämaa	Kitumaa	Yhteensä	
	Pinta-ala, milj. ha			Osuus, %
Ensisijaisesti puuntuotanto	17,28	- ¹⁾	17,28	75,8
Rajoitettu puuntuotanto	1,16	1,37	2,53	11,1
Puuntuotannon ulkopuolella	1,83	1,17	3,00	13,2
Yhteensä	20,28	2,54	22,81	100,0
	Tilavuus, milj. m ³			Osuus, %
Ensisijaisesti puuntuotanto	2 039	- ¹⁾	2 039	82,4
Rajoitettu puuntuotanto	151	34	185	7,5
Puuntuotannon ulkopuolella	220	32	252	10,2
Yhteensä	2 409	66	2 475	100,0

¹⁾ Puuntuotannon rajoitustietojen perusteella kitumaat olivat joko rajoitetussa puuntuotannossa tai puuntuotannon ulkopuolella. Laskelmissa kitumaat olivat kuitenkin metsätaloustoimien ulkopuolella käsittelyluokasta riippumatta.

2.3. Laskennan oletukset

2.3.1. Kasvuntason kalibrointi

MELA2016-ohjelmiston sisältämät puun pohjapinta-alan kasvumallit (Hynynen ym. 2002) on alun perin kalibroitu VMI8-kasvunmittausten perusteella, jotka oli indeksikorjattu kasvuindeksien avulla vuosien 1965–1994 keskimääräiseen läpimitan kasvun tasoon (Henttonen 2000, Hynynen ym. 2002). Tässä esitetyjä laskelmia varten metsämaan pohjapinta-alan kasvumallit kalibroitiin VMI11-kasvunmittausten (Valtakunnan metsien ... 2013) perusteella. Ennen kalibrointia kasvunmittaukset indeksikorjattiin vastaamaan vuosien 1984–2013 läpimitan kasvun keskitasoa (Korhonen ym. 2017). Indeksikorjauksella pyrittiin poistamaan sääolojen ym. satunnaisuuteen ja lyhytaikaisen vaihtelun vaikutus kasvuvarvion, koska hakkuumahdollisuusarviot laadittiin usean vuosikymmenen tarkastelujaksolle. Kalibrointiin käytettiin vuosina 2009–2013 mitattuja koepuita sellaisilta metsämaan koealoilta, jotka kuuluivat kokonaisuudessaan samaan metsikkökuvioon ja joita ei ollut hakkuin käsitelty viimeiseen 10 vuoteen (Taulukko 3).

Taulukko 3. Vuosina 2009–2013 mitattujen VMI11-koepuiden keskimääräiset pohjapinta-alan kasvut metsämaan kankailla sekä metsämaan ojittamattomalla ja ojitetulla turvemaalla.

Puulaji	Koepuita, kpl	Koepuiden pohjapinta-alan kasvu, cm ² /5 vuotta		
		VMI11, indeksikorjattu	MELA2016	
			Ilman kalibrointia	Kalibroitu
Kangas				
Mänty	17 592	42,1	41,6	43,9
Kuusi	11 958	50,7	57,2	52,4
Lehtipuu	8 049	35,9	30,1	34,0
Yhteensä	37 599	43,5	44,1	44,5
Ojittamaton turvema				
Mänty	785	24,8	8,5	18,1
Kuusi	557	28,0	17,2	23,3
Lehtipuu	586	19,3	9,4	13,3
Yhteensä	1 928	24,1	11,3	18,1
Ojitettu turvema				
Mänty	5 497	34,3	25,5	35,3
Kuusi	2 213	45,9	38,1	41,7
Lehtipuu	2 933	26,4	22,1	23,8
Yhteensä	10 643	34,5	27,2	33,4

Kalibroinnissa noudatettiin Hynysen ym. (2002) esittämää menetelmää. Kalibrointia varten koealojen kaikkien lukupuiden läpimitat laskettiin kasvunmittausjakson (edeltäneen 5 vuoden) alkuvuoteen vähentämällä malleilla laskettu viiden vuoden läpimitan kasvu puiden mitasta läpimitasta. Aineistoon sovitettiin lineaarinen sekamalli erikseen kangas- ja turvemaille, ja laadinta-aineistona käytettiin kriteerit täyttäviltä koealoilta mitattuja koepuita. Kasvunmittausjakson alkuvuoteen muutettujen koepuiden kasvua simuloitiin MELA2016-ohjelmistolla viisi vuotta ja simuloitua pohjapinta-alan kasvua verrattiin inventoinnissa mitattujen koepuiden indeksikorjattuun pohjapinta-alan kasvuun. Mitatun ja simuloidun kasvun erotukselle eli ennusteharhalle sovitettiin lineaarinen sekamalli (vrt. Hynynen ym. 2002, s. 71) erikseen kangas- ja turvemaalle. Kalibrointi tehtiin vain metsämaan malleille. Selittävinä muuttujina käytettiin puun läpimittaa ja ikää rinnankorkeudella, lämpösummaa, pohjois- ja itäkoordinaattia, merisyys- ja järvisyysindeksiä sekä veroluokasta ja ojitusilanteesta johdettuja dummy-muuttujia. Eri puulajit otettiin huomioon puulajiryhmittäisillä dummy-muuttujilla. Mallilla saatu ennusteharha lisättiin ennustettuun pohjapinta-alan kasvuun ja vastemuuttujan logaritmisesta aritmeettiseksi muuttamisesta syntyvä harha korjattiin empiirisellä korjauskertoimella (Hynynen ym. 2002, s. 71).

MELA2016-ohjelmiston kasvumalleissa on eräitä kalibroinnin jälkeisiä empiirisiä maksimikasvunvehtoja ja kasvuntasokertoimia, erityisesti ojittamattomien turvemaiden kohdalla (ks. Hynynen ym. 2002). Näitä ehtoja ei koepuuaineiston vähyyden vuoksi (ks. Taulukko 3) poistettu

muutoin kuin tasokerrointen osalta (ks. Hynynen ym. 2002), jolloin kalibrointimalli ei tässä ositteessa päässyt vaikuttamaan täysimääräisesti.

Tilavuuskasvun arviota tarkennettiin vielä ottamalla huomioon kalibrointijakson keskivuodesta 1999 vuoteen 2017 tapahtunut ilman keskilämpötilan ja hiilidioksidipitoisuuden nousun vaikutus MELA-ohjelmistoon liitettyjen Matalan ym. (2005) funktioiden avulla, jotka on laadittu FinnFor-mallilla (Kellomäki ym. 1993, Kellomäki ja Väisänen 1997) tehtyihin kasvunlisäys-arvioihin perustuen. 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 erotukset (Etelä-Suomi 0,890 °C ja 41,2 ppm sekä Pohjois-Suomi 0,996 °C ja 41,2 ppm) annettiin syötteenä Matalan ym. (2005) funktioihin. Arvot perustuivat Luken maatalous- ja LULUCF-kasvihuonekaasuinventaarion Ilmatieteen laitoksen aineistoista laskemiin vuosikeskiarvoihin Etelä- ja Pohjois-Suomelle. Vuodesta 2017 alkaen keskilämpötilan ja hiilidioksidipitoisuuden oletettiin säilyvän laskelmissa vuoden 2017 lasketulla tasolla.

Näin saatu tilavuuskasvun arvio simuloitaessa vain luonnonprosesseja vuodelle 2016 oli 107,5 milj. m³/v, kun se pelkästään vuosien 1984–2013 keskimääräiseen indeksikorjattuun kasvuntasoon kalibroituna oli vastaavasti 98,3 milj. m³/v ja alkuperäiseen vuosien 1965–1994 indeksikorjattuun kasvuntasoon kalibroituna oli 89,1 milj. m³/v (Taulukko 4). VMI12-aineistoon perustuva mitattu kasvu oli 107,8 milj. m³/v (Korhonen ym. 2021), joka määräytyi maastomittausta (2014–2018) edeltäneiden viiden täyden kasvukauden kasvumittausten perusteella. Keskilämpötilan ja hiilidioksiditason vaikutusta kalibroidun kasvun mukaisiin tuloksiin tarkastellaan tarkemmin luvussa 4.2.

Taulukko 4. MELA2016-ohjelmiston tuottama vuotuisen tilavuuskasvun arvio vuodelle 2016 (milj. m³/v) simuloitaessa vain luonnonprosesseja ja soveltaen a) kasvumallien kalibrointia vuosien 1984–2013 keskimääräisen läpimitan kasvun tasoon indeksikorjattujen VMI11-kasvunmittausten perusteella ja c) vain kasvumallien alkuperäistä kalibrointia vuosien 1965–1994 keskimääräisen läpimitan kasvun tasoon indeksikorjattujen VMI8-kasvunmittausten perusteella.

	Etelä-Suomi			Pohjois-Suomi			Suomi		
	Kangas	Turve- maa	Yht.	Kangas	Turve- maa	Yht.	Kangas	Turve- maa	Yht.
a	61,0	13,8	74,8	23,5	9,2	32,7	84,6	22,9	107,5
b	56,1	12,5	68,6	21,5	8,2	29,7	77,6	20,7	98,3
c	54,3	10,5	64,8	18,3	5,9	24,2	72,6	16,5	89,1

2.3.2. Metsien käsittely- ja kehitysvaihtoehtojen simulointi

Metsien käsittely perustui pääosin Tapion metsänhoidon suosituksiin (Äijälä ym. 2019) ja metsänhoidon suosituksiin energiapuun korjuuseen (Koistinen ym. 2019). Ensisijaisen puuntuotannon metsämaalla (ks. luku 2.2) mahdollisia metsätaloustoimia olivat kasvatushakkuu (runkolukuun ja pohjapinta-alaan perustuva harvennus sekä ylispuiden poisto), uudistushakkuu (avo- ja siemenpuuhakkuu), säästöpuiden jättäminen uudistushakkuissa, raivaus, maanpinnan käsittely, viljely joko kylvään tai istuttaen, taimikonhoito ja ojitetuilla turvemaidella kunnostusojitus harvennushakkuun yhteydessä. Avohakkuun jälkeen tehtiin aina viipymättä metsänviljely.

Laskelmissa vain mänty, kuusi ja koivu olivat uudistusaloilla viljeltäviä puulajeja ja siten muita lehtipuita syntyi vain luontaisesti. Taimikonhoito toteutettiin laskelmissa metsänhoidon suositusten mukaisesti aina, kun se oli mahdollinen toimenpide. Luontaisesti kuollutta puuta ei korjattu talteen. Kulotus, lannoitus, uudisojitus, pystypuiden karsinta, yläharvennus ja jatkuva-peitteisen metsän kasvatus eivät olleet mukana tarkastelussa. On kuitenkin huomattava, että laskelmissa sovellettuun kasvuntasoon sisältyi kasvumallien kalibrointijaksolla 1984–2013 toteutuneiden lannoitusten määrän vaikutus. Rajoitetun puuntuotannon metsämaalla sallittuja hakkuutapoja olivat vain kasvatushakkuut. Kitumailla ja puuntuotannon ulkopuolella olevilla alueilla ei tehty mitään metsätaloustoimia.

Uudistushakkuuvaihtoehto simuloitiin noudattaen metsänhoidon suositusten uudistamisikärajoja ja 2–3 %:n tuottovaatimukseen perustuvia uudistamiskelpoisen puuston läpimittarajoja, kun vähintään toinen raja täyttyi. Uudistushakkuissa jätettiin säästöpuuna 5 m³/ha ja säästöpuiden valinta kohdistui suurimpiin, vähintään 7 cm:n paksuisiin eläviin puihin puulajista riippumatta. Säästöpuiksi valitut puut säilyivät valintansa jälkeen koko laskennan ajan hakkuiden ulkopuolella.

Harvennushakkuissa ja taimikonhoidossa noudatettiin suositusten mukaisia runkoluku- ja pohjapinta-alarajoja. Pohjapinta-alaohjeeseen perustuva harvennus oli mahdollinen, kun harvennuskäyrä alempi leimauskäyrä saavutettiin. Puusto harvennettiin harvennusten jälkeistä puustoa kuvaavan pohjapinta-alavyöhykkeen puoliväliin. Hakkuut toteutettiin kymmenvuotiskausien puolivälissä, minkä vuoksi harvennuksissa pohjapinta-alan vaatimusta alennettiin 10 prosentilla. Siten harvennettavaksi tuli myös kohteita, jotka täyttivät pohjapinta-alavaatimuksen vasta 10-vuotiskauden jälkimmäisellä puoliskolla. 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 lisäksi simuloitiin aina myös puuston kasvatusvaihtoehto ilman hakkuutoimia.

Puiden poisto tapahtui MELA-ohjelmiston tapahtumamäärittelyihin sisältyvällä puiden poistohjeella. Tässä selvityksessä käytettiin laskelmissa yleisesti sovellettua pääpuulajia suosivaa alaharvennusta, jolloin harvennuksissa ja taimikonhoidossa poistettiin ensin muuta puustoa kuin pääpuulajia ja vasta sen jälkeen pääpuulajia, kunnes puuston tiheyden ja ohjeiden mukaisesti laskettu jäävän puuston määrä saavutettiin.

Harvennushakkuissa voitiin korjata joko vain ainespuuta (tukki- ja kuitupuuta), ainespuuta ja energiapuuta integroituna korjuuna tai vain energiapuuta. Integroidussa korjuussa energiapuu koostui männyn, kuusen, koivun ja haavan osalta rinnankorkeusläpimittaluokista 4–9 cm ja muilla puulajeilla kaikista rinnankorkeusläpimitaltaan vähintään 4 cm:n puista. Harvennushakkuiden energiapuu korjattiin kuivahkojen kankaiden ja tätä viljavampien kankaiden mänty- tai lehtipuuvaltaisissa puustoissa kokopuuna. Energiapuu korjattiin rankapuuna em. kasvupaikkoja karummilla kangasmailla, turvemailla tai kun pääpuulaji oli kuusi. Avohakkuukohteilla voitiin korjata joko vain ainespuuta tai, kun kyseessä oli kangasmaalla lehtomainen, tuore tai kuivahko kangas, ainespuun lisäksi a) hakkuutähdettä (oksat ja latvahukkapuu) tai b) hakkuutähdettä ja kantoja. Energiapuun korjuussa avohakkuiden hakkuutähteestä korjattiin talteen suositusten mukaisesti korkeintaan 70 % ja harvennushakkuiden kokopuukorjuussa korkeintaan 3 cm:n latvaläpimittaan. Kantojen nostokohteilla korjuu kohdistui vain vähintään

25 cm:n läpimitan kantoihin ja näistä korjattiin talteen korkeintaan 85 %. Luontaisesti uudistettavilta aloilta ja rajoitetun puuntuotannon metsämaalta korjattiin vain ainespuuta.

2.3.3. Puutavaralajeittainen tilavuuksien laskenta

MELA-ohjelmistossa rungon ja siitä saatavien puutavaralajien (tukki- ja kuitupuun) tilavuus kuorellisina kiintokuutiometreinä laskettiin Laasasenahon (1982) puun rinnankorkeusläpimitaan ja pituuteen perustuvien runkokäyräyhtälöiden avulla. Näin saatu metsä- ja kitumaan runkopuun kokonaistilavuus kalibroitiin maakunnittain laskelmien alkutilanteessa vastaamaan VMI:n arvioituja runkopuun tilavuuksia (Korhonen ym. 2021).

Runkojen jaossa puutavaralajeihin (apteerauksessa) käytettiin tukin kuorellisena minimiläpimittana männyllä 15 cm, kuusella 16 cm ja lehtipuilla 18 cm sekä kuitupuun kuorellisena minimiläpimittana männyllä 6,3 cm sekä kuusella ja lehtipuilla 6,5 cm. Tukkiosan minimipituus oli 4,3 m ja kuituosan 2,0 m. Tukkipuun määrää korjattiin vielä erillisellä tukkivähennysmallilla (Mehtätalo 2002), koska vain rungon mittoihin perustuva apteeraus ei ota huomioon puutavaralan laatuun liittyviä tekijöitä. Malli pienensi puulle laskettua tukkitilavuutta ja erotus siirtyi kuitupuuksi. Näin saatu tukkipuun määrä kalibroitiin lopuksi maakunnittain laskelmien alkutilanteessa vastaamaan VMI:n arvioituja tukkiosuuksia puulajeittain (Korhonen ym. 2021).

Rungon kokonaistilavuudesta kuitupuun minimimittoja pienempi osa on latvahukkapuuta, joka MELA2016-ohjelmistolla simuloituissa ainespuuhakkuissa jätetään metsään. Latvahukkapuun lisäksi ainespuuhakkuissa korjaamatta jäävät kuitupuuta pienemmät kaadetut rungot. Siten lähtöoletuksena kaikki vähintään kuitupuun minimimitat täyttävä runkopuu lasketaan metsästä korjattuun hakkuukertymään. Käytännössä hakkuissa hukkapuun määrä voi kuitenkin mm. kannonkorkeuden, käyttöpuun latvaläpimitan, hukkapuuleikkojen katkonnan ja metsään jäävän kaadetun ainespuukokoisen puun seurauksena poiketa siitä, mitä sovelletut mallit tuottavat.

VMI12-inventointitietojen perusteella runkopuun hakkuupoistumasta jäi metsään hukkapuuna uudistushakkuissa keskimäärin 3,3 % ja muissa hakkuissa 9,3 %. Laskelmia varten MELA2016-ohjelmiston hukkapuun laskentaa muutettiin siten, että jokaisessa pelkästään ainespuuta koskevassa hakkuutapahtumassa hukkapuun tavoiteosuus oli puulajeittain, hakkuutavoittain ja alueittain vähintään VMI12:n mukainen (Taulukko 5). Jos hukkapuuosuus oli sovellettujen mallien mukaisesti tätä alemmalla tasolla, hukkapuun määrä kalibroitiin VMI12:n tasolle ja ainespuukertymän vähennys tehtiin kuitupuusta. Lehtipuiden mahdollinen lisähukkapuu pyrittiin täyttämään ensin muulla lehtipuulla kuin koivulla. Hukkapuun kalibrointi koski vain ainespuuhakkuita, joissa ei korjattu samalla energiapuuta. Hukkapuun kalibroinnin vaikutuksia laskelmatuloksiin tarkastellaan tarkemmin luvussa 4.3.

Taulukko 5. Ainespuuhakkuissa sovelletut VMI12:n mukaiset hukkapuun suhteelliset osuudet puulajeittain ja hakkuutavoittain keskimäärin Etelä- ja Pohjois-Suomessa, % hakkuupoistumasta. Kasvatushakkuu sisälsi harvennushakkuun ja ylispuiden poiston.

	Uudistushakkuu	Kasvatushakkuu
Etelä-Suomi		
Mänty	1,6	5,1
Kuusi	2,1	7,6
Lehtipuu	8,8	16,5
Pohjois-Suomi		
Mänty	3,1	6,8
Kuusi	5,3	13,9
Lehtipuu	15,7	20,2

Hukkapuun kalibroinnin seurauksena vuosittaisen hukkapuun määrä vuosina 2016–2045 yli kaksinkertaistui (1,5 milj. m³/v vs. 3,3 milj. m³/v) vuosina 2016–2018 toteutuneella hakkuukertymän tasolla. VMI12:n mukainen arvio oli 3,8 milj. m³/v. Ero MELA-laskelman ja VMI12:ssa mitatun tuloksen välillä selittyy mm. hakkuiden kohdistumisesta eri metsiköihin: simuloidut hakkuut kohdistuivat VMI12:n hakkaamattomiin koeloihin, kun mitattu tulos perustui jo tehtyihin hakkuisiin eli hakattuihin koeloihin. Lisäksi alueoptimointi voi valita erilaiset hakkuukohteet kuin yksittäiset toimijat käytännössä.

2.3.4. Puun, puunkorjuun ja metsänhoidon kustannukset

Nettotulojen nykyarvon laskenta perustui ainespuun (tukki- ja kuitupuun) osalta tienvarsihintoihin ja energiapuun osalta käyttöpistehintoihin. Nettotulot saatiin vähentämällä näin laske- tuista hakkuutuloista ainespuun korjuun, energiapuun korjuun (sisältäen myös tienvarsihake- tuksen tai käyttöpaikkamurskauksen ja kuljetuksen käyttöpisteeseen) ja metsänhoidon kus- tannukset. Ainespuun maakunta- ja puutavaralajikohtaiset tienvarsihinnat saatiin lisäämällä vuosina 2009–2018 keskimäärin toteutuneisiin kantohintoihin (Taulukko 6) vuosina 2009– 2017 keskimäärin koko Suomessa toteutuneet korjuukustannukset (Luke 2022f), jotka olivat tukkipuulle 7,80 €/m³ ja kuitupuulle 14,30 €/m³ vuoden 2018 hintatasoon muutettuna. Koivu- kuidun hintaa käytettiin haavan tukki- ja kuitupuulle. Muiden lehtipuiden tukille ja kuidulle sovellettiin koivukuidun ensiharvennushintaa, joka oli keskimäärin 2,90 €/m³ alempi kuin koi- vukuidun keskihinta.

Taulukko 6. Tienvarsihintojen muodostamisessa sovelletut maakunta- ja puutavaralajikohtaiset kantohinnat, jotka määritettiin vuosina 2009–2018 toteutuneina keskimääräisinä yksikköhintoina (Luke 2022e) 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 käyttöpistehinnat (Taulukko 7) perustuivat Tilastokeskuksen (2019) energiatalon vuosien 2009–2018 määrillä painotettuun keskihintaan. Tilaston sisältämä hinta (€/MWh) muutettiin kuutiometrihinnaksi (€/m³) kertoimella 2. Tilastointi ei sisältänyt hintoja eri metsähakkeen jakeille, joten niille sovellettiin samaa käyttöpistehintaa.

Taulukko 7. Metsähakkeen käyttöpistehinnat energijakeittain (Tilastokeskus 2019) vuoden 2018 hintatasoon muutettuina.

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

Puun korjuun ja metsänhoidon kustannukset laskettiin yksikköhintojen (taulukot 8 ja 9) ja töihin käytetyn ajan tulona. Ainespuun korjuussa ja metsänhoitotöissä ajanmenekin laskenta

perustui pääosin puutason tuottavuusmalleihin (Kuitto ym. 1994, Rummukainen ym. 1995, Väkevä ym. 2001, Metsäalan palkkauksen ... 2010, Metsäalan työehtosopimus ... 2018). Energiapuun korjuussa keskeisimmät tuottavuusmallit olivat Laitila ym. (2004, 2007), Laitila 2010, Kärhä ym. (2004, 2006) ja Heikkilä ym. (2005).

Taulukko 8. Aines- ja energiapuun korjuussa sovelletut yksikköhinnat vuoden 2018 hintatasoon muutettuina. Hinnat sisältävät 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

Taulukko 9. Metsänhoitotöiden vuosina 2008–2017 keskimäärin toteutuneet yksikköhinnat hinta-alueittain (Luke 2022c) vuoden 2018 hintatasoon muutettuina.

Työlaji	Etelä-Suomi ¹⁾	Väli-Suomi ²⁾	Pohjanmaa ³⁾	Pohjois-Suomi ⁴⁾
Äestys, €/ha	279,00	252,00	222,00	195,00
Auraus/mätästys, €/ha	391,00	381,00	372,00	313,00
Männyn kylvö (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

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

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

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

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

2.3.5. Hiilidioksidin ja muiden kasvihuonekaasujen laskenta

Kasvihuonekaasujen laskenta käsitti puuston ja maaperän sisältäen näin Suomen metsien kasvihuonekaasuraportoinnin (Tilastokeskus 2022a) mukaiset osiot puutuotteita lukuun ottamatta. Lisäksi maankäytön muutosta, metsäpaloja tai typpilannoitusta ei simuloitu käsittelyvaihtoehtoina eivätkä ne näin ole mukana laskelmissa, vaikka sisältyvät kasvihuonekaasuintentaarion LULUCF-raportointiin.

Kasvavan puuston (runkopuu, oksat, lehdet/neulaset, kanto ja juuret) hiilidioksidin nettosidonta laskettiin varastonmuutosmenetelmällä kymmenvuotiskauden alku- ja lopputilanteen puuston sisältämän hiilen määrän erotuksena. Laskenta poikkeaa tältä osin Suomen virallisesta kasvihuonekaasuraportoinnista, jossa nettosidonta lasketaan kasvun ja poistuman vuosittaisena erotuksena (Tilastokeskus 2022a). Kymmenvuotiskausittain etenevässä laskennassa kasvu- ja poistuma-arviot ovat kauden keskiarvoja eivätkä näin aiheuta vuosittaista vaihtelua ja toisaalta juurakolle (kanto ja juuret) ja oksistolle (oksat, lehdet ja neulaset) ei ole olemassa kasvumalleja, vaan niiden määrissä tapahtuvien muutosten laskenta perustuu peräkkäisten tilojen erotuksena varastonmuutosmenetelmään.

Puuston hiilen määrä saatiin laskemalla MELA2016-ohjelmiston sisältämien Repolan (2008, 2009) puutason kahden muuttujan (rinnankorkeusläpimitan ja pituuden) biomassamalleilla puuston kuiva-aineen määrä. Kuivamassa sisältää hiiltä yleisen vakion mukaisesti 50 % (esim. IPCC 2003) ja hiilestä hiilidioksidiin päästään atomipainoihin perustuvalla muuntokertoimella (~ 44/12).

Maaperän osalta kasvihuonekaasut arvioitiin erikseen kangasmaille ja ojitetuille turvemaille. Kangasmailla laskenta perustui Yasso07-malliin (Tuomi ym. 2011), jonka syötteenä olivat MELA-laskennan mukaiset hakkuutähteet ja luonnonpoistumat sekä arviot elävän puuston tuottamasta karikkeesta. Maaperän maakunnittaiten hiilivarastojen alkutilanteen arvioinnissa hyödynnettiin aikaisempien valtakunnan metsien inventointien aineistoja ja Ilmatieteenlaitoksen sääaineistoja (ks. Venäläinen ym. 2005). Ojitettujen turvemaiden maaperän CO₂, CH₄ ja N₂O -päästöt laskettiin kasvupaikkojen pinta-alatietojen mukaisesti soveltaen Ojasen ym. (2010, 2018) orgaanisten maiden päästökertoimia (Tilastokeskus 2022a).

2.4. Hakkuulaskelmien määrittely

Tässä raportissa esitettävät laskelmat ovat arvioita puuston ja tulevien hakkuumahdollisuuksien kehityksestä perustuen laskelmien yhteisiin oletuksiin esim. metsänhoidosta, luonnonprosesseista ja hinnoista sekä itse hakkuulaskelmien määrittelyistä. Lähestymistapa muistuttaa skenaariolaskentaa, jolla pyritään osoittamaan miten mahdollinen, joko todennäköinen, tavoiteltava tai uhkaava tulevaisuudentila kehittyy nykytilasta (Mannermaa 1991, 1999). Esitettävissä laskelmavaihtoehdoissa ei ole kuitenkaan asetettu selviä lähtökohtaisesti toisistaan eroavia tavoitetiloihin, jotka pohjautuisivat perusteltuihin kuvauksiin puun tarjontaan tai sen kysyntään vaikuttavien tekijöiden muutoksista. Tuloksilla pyritään kuvaamaan lähinnä hakkuumahdollisuuksien hyödyntämisen ja sen ajallisen vaihtelun vaikutuksia pitkän aikavälin tuotantomahdollisuuksiin.

Laskelmat tehtiin maakunnittain vuoden 2018 NUTS 3 aluejakoa (Tilastokeskus 2022b) noudattaen ja raportissa esitettävät Etelä- ja Pohjois-Suomea sekä koko Suomea koskevat tulokset on saatu maakuntien tulosten summina. Etelä-Suomen muodostivat Ahvenanmaan lisäksi

15 eteläisintä maakuntaa ja Pohjois-Suomen kolme pohjoisinta (Pohjois-Pohjanmaa, Kainuu ja Lappi). Metsänomistajuuden osalta laskenta on tehty yhtenä kokonaisuutena eikä siis metsänomistajittain, vaikka tuloksia esitetään myös omistajaryhmittäin.

Hakkuulaskelmat perustuivat aluetason optimointiin, jossa yksittäisen metsikön käsittelyoptimin sijaan haettiin tavoitteiden ja rajoitteiden suhteen koko maakunnan parasta ratkaisua. Optimoinnissa simuloinnin tuottamia metsänhoidon suositusten mahdollistamia vaihtoehtoisia käsittely- ja kehitysketjuja arvoitettiin nettotulojen nykyarvoa maksimoivan tavoitefunktion kautta. Nettotulot laskettiin tienvarsihinnoin (tukki- ja kuitupuu) ja käyttöpistehinnoin (energiapuun) vähennettynä korjuun ja metsänhoidon kustannuksilla. Kustannukset saatiin ajanmenekien ja töiden yksikköhintojen tulona. Näin otettiin huomioon mm. hakkuissa poistettavien runkojen koon ja hehtaariohtaisen hakkuukertymän aiheuttamat vaikutukset. Nettotulojen nykyarvon laskennan tarkempi kuvaus MELA-ohjelmistoa soveltaen on esitetty esim. VM10-loppuraportissa (Salminen ym. 2013) ja MELA2016 Reference Manual -julkaisussa (Hirvelä ym. 2017).

Puuntuotannon pitkäjänteisyydestä johtuen ajalla ja sen arvostuksella on laskelmissa keskeinen merkitys. Nettotulojen nykyarvoa maksimoivassa tavoitefunktiossa tuon arvostuksen ilmentymä on sovellettu laskentakorko, jonka mukaisella painotuksella optimointi hakee vaihtoehtoisten käsittelyketjujen joukosta tavoitefunktion suhteen tehokkaimmat ratkaisut. Tässä raportissa esitettävät hakkuulaskelmat perustuivat ns. efektiiviseen korkoon, jossa yhdistyvät toisaalta sovelletun laskentakoron ilmentämä tuottovaatimus sekä metsänhoidon suositusten sisältämä ja laskelmarajoitteiden yhteisvaikutuksen mukainen tuottomahdollisuus. Korkokannan vaikutuksia tarkastellaan tarkemmin luvussa 4.1.

Suurin nettotulo (NT) laskelman (luku 3.2) tavoitteena oli tuottaa lähiajan suurin taloudellisesti tehokas aines- ja energiapuukertymä. Laskelmassa nettotulojen nykyarvoa maksimoitiin 5 %:n tuottovaatimuksella (ks. Salminen ym. 2013) ilman toiminnan kestävyys- ja lopputilan puustovaatimuksia, jolloin hakattiin kaikki metsänhoidon suositusten mukaiset hakkuukypsät ja kannattavasti korjattavissa olevat puustot, jotka eivät täyttäneet tuottovaatimusta. Tässä laskelmassa ei kuitenkaan sovellettu aitoja MELA-metsikköoptimoinnin mahdollistamia käsittelyitä, vaan käsittelyt perustuivat metsänhoidon suosituksiin, jotka eivät sisältäneet tehtyjen oletusten mukaisesti esim. lyhennettyjä kiertoaikoja, joten efektiivinen korkokanta oli käytännössä pienempi kuin 5 %.

Suurimman ylläpidettävissä olevan aines- ja energiapuun hakkuukertymän (SY) laskelmassa (luku 3.3) tavoiteltiin metsätalouden taloudellista ja puuntuotannollista kestävyttä, ja se kuvaa aines- ja energiapuun hakkuukertymän ylärajaa, joka voidaan hakata ilman, että tulevat hakkuumahdollisuudet pienenevät. Tämän ajateltiin toteutuvan, kun peräkkäisten laskelma-kausien nettotulot sekä aines- ja energiapuun kokonaishakkuukertymät pysyvät vähintään edellisen laskelmakauden tasolla, tukkipuukertymä säilyi koko laskelma-ajan vähintään ensimmäisen kauden tasolla, puuston tuottoarvo 4 %:n korkokannalla laskettuna oli laskelma-ajan lopussa vähintään alkuhetken tasolla ja nettotulojen nykyarvoa maksimoitiin 4 %:n laskentakorolla. SY-laskelman kestävyysrajoitteista ja sovelletuista metsänhoidon suosituksista johtuen efektiivinen korkokanta oli pienempi kuin 4 %. Laskelmassa ei rajoitettu kasvun ja poistuman suhdetta, metsien ikäluokkarakennetta tai kasvatus- ja uudistushakkuiden suhdetta eikä puulajikohtaista kestävyttä edellytetty. Energiapuukertymä sai vapaasti koostua rangasta, hakkuutähteestä ja kannoista. Laskelmasta on aiemmin MELA-tulosten yhteydessä käytetty nimitystä suurin kestävä aines- ja energiapuun hakkuukertymä. Käsitteenä kestävyys

sisältää kuitenkin talouden ja puuntuotannon lisäksi myös ekologisen, sosiaalisen ja kulttuurisen kestävyyskriteerit, joten laskelman nimi on muutettu kuvaamaan paremmin määrittämällisesti suppeampaa puuntuotannon kestävyyttä.

Toteutunut hakkuukertymä (TH) laskelma (luku 3.4) kuvaa metsävarojen kehittymistä, kun aines- ja energiapuun hakkuuta jatkettiin viime vuosien keskimääräisellä tasolla. Laskelman optimoititehtävissä maksimoitiin nettotulojen nykyarvoa 4 %:n korkokannalla siten, että hakkuumäärät vastasivat ainespuun osalta vuosina 2016–2018 maakuntien alueille keskimäärin tilastoituja puutavaralajikohtaisia hakkuukertymiä ja energiapuun osalta maakuntien alueille vuosina 2016–2018 keskimäärin tilastoituja käyttömääriä (Taulukko 10). Ainespuukertymä sisälsi markkinahakkuiden tukki- ja kuitukertymän sekä piensahojen sahaaman puun. Energiapuun koostui metsähakkeesta ja kotitalouksien käyttämästä polttopuusta. Metsähakkeen määrät perustuivat maakunnittain tilastoituihin korjuumääriin ja kotitalouksien polttopuun maakunnittain tilastoituihin käyttömääriin. Laskelmassa ei käytetty rajoitteina kasvupaikkoja, läpimittaluokkia tai hakkuuilmoituksiin perustuvia tilastoituja hakkuupinta-aloja. Rajoitteille sallittiin oletuksena $\pm 0,5$ % vaihtelu toteutuneeseen verrattuna. Jos runkopuun puulajikohtaista kokonaiskertymää ei saavutettu tilastoiduilla puutavaralajimäärillä, puutavaralajien kertymän vaihteluväliä tarvittaessa laajennettiin.

Taulukko 10. Runkopuun tilastoitu hakkuukertymä (tukki- ja kuitupuu) maakunnittain ja puulajeittain (mänty, kuusi, lehtipuu ja yhteensä) ja käyttömäärä (energiarunkopuu) maakunnittain keskimäärin vuosina 2016–2018 (Luke 2022a).

Maakunta	Tukkipuu				Kuitupuu				Energiapuun	Yht.
	Mä	Ku	Le	Yht.	Mä	Ku	Le	Yht.		
Uusimaa	0,29	0,74	0,08	1,11	0,38	0,57	0,38	1,32	0,78	3,22
Varsinais-Suomi	0,49	0,62	0,03	1,15	0,43	0,41	0,21	1,05	0,61	2,81
Satakunta	0,40	0,58	0,03	1,01	0,44	0,40	0,27	1,11	0,50	2,62
Kanta-Häme	0,25	0,82	0,05	1,12	0,30	0,45	0,25	1,00	0,31	2,44
Pirkanmaa	0,67	1,47	0,10	2,25	0,78	0,91	0,57	2,27	0,87	5,38
Päijät-Häme	0,28	0,91	0,07	1,25	0,21	0,41	0,29	0,91	0,36	2,52
Kymenlaakso	0,38	0,64	0,04	1,05	0,44	0,41	0,28	1,14	0,25	2,45
Etelä-Karjala	0,49	0,64	0,06	1,19	0,59	0,46	0,34	1,39	0,28	2,86
Etelä-Savo	1,41	2,06	0,25	3,72	1,28	1,11	1,06	3,45	0,57	7,74
Pohjois-Savo	0,73	1,84	0,16	2,73	1,23	1,27	1,17	3,66	0,59	6,99
Pohjois-Karjala	1,03	1,06	0,11	2,20	1,81	0,93	0,89	3,63	0,35	6,18
Keski-Suomi	1,06	1,69	0,14	2,88	1,53	1,06	0,94	3,54	0,60	7,03
Etelä-Pohjanmaa	0,68	0,49	0,01	1,18	0,81	0,32	0,34	1,47	0,58	3,22
Pohjanmaa	0,22	0,34	0,01	0,56	0,47	0,32	0,31	1,11	0,42	2,09
Keski-Pohjanmaa	0,20	0,11	0,00	0,31	0,37	0,09	0,19	0,65	0,13	1,09
Pohjois-Pohjanmaa	1,16	0,48	0,01	1,65	2,37	0,56	1,06	3,99	0,77	6,41
Kainuu	0,81	0,26	0,00	1,07	1,46	0,34	0,51	2,31	0,21	3,59
Lappi	1,14	0,18	0,00	1,32	2,11	0,39	0,42	2,92	0,53	4,77
Ahvenanmaa	0,03	0,03	0,00	0,06	0,08	0,02	0,04	0,14	0,05	0,25
Suomi	11,72	14,95	1,15	27,82	17,09	10,44	9,52	37,05	8,77	73,64

Laskelmien muunnelmoina esitetään luvussa 4.3 myös keskeisimmät tulokset ilman hukkapuun kalibrointia (ks. luku 2.3.3), joissa hakkuiden hukkapuu määräytyi vain MELA-ohjelmiston sisältämien rungon apteerausmallien (Laasasenaho 1982) perusteella. Laskelmat kuvaavat hukkapuun kalibrointimallin vaikutuksia hakkuukertymään ja sen kautta muihin puustotunnuksiin, ja mahdollistaa myös vertailun aiempiin MELA-ohjelmistolla laskettuihin hakkuumahdollisuusarvioihin.

MELA2016 sisältämän kausioptimoinnin avulla laskettiin lisäksi kussakin hakkuulaskelmassa suurin mahdollinen metsänhoidon suositusten sallima kausittainen ainespuun hakkuumäärä, ns. hakkuumahto (luku 3.1). Hakkuumahdon määrittäminen ei edellyttänyt yksittäisen hakkuutapahtuman kannattavuutta. Hakkuumahtoa, joka oli sama kaikille hakkuulaskelmille vain 1. kaudella, verrattiin varsinaisiin hakkuulaskelmiin ja erot kertoivat kausittain hakkaamatta jääneen ainespuun hakkuureservin.

3. Tulokset

3.1. Metsänhoidon suositusten mukainen hakkuumahto vuosille 2016–2025

Metsänhoidon suosituksia noudattaen puuntuotannon (ensisijaisen tai rajoitetun puuntuotannon) metsämaalta oli hakattavissa ainespuukokoista runkopuuta vuosittain 139,8 milj. m³ vuosina 2016–2025 (Taulukko 11). Männyn osuus tästä hakkuumahdosta oli lähes 45 % eli 62,2 milj. m³/v. Kuusen osuus oli 38 % (52,6 milj. m³/v) ja koivun 15 % (21,2 milj. m³/v). Etelä-Suomessa kuusen osuus oli 43 % ja männyn osuus 39 %. Pohjois-Suomessa hakkuumahdollisuudet painottuivat mäntyyn sen osuuden ollessa 60 %.

Taulukko 11. Metsänhoidon suositusten mukaisesti hakattavissa olevan ainespuukokoisen runkopuun hakkuukertymä (A) sekä turvemaiden (B) ja yksityismetsien¹⁾ (C) osuus siitä inventointia seuraavalla kymmenvuotiskaudella 2016–2025.

Maakunta	A, milj. m ³ /v				B, %	C, %
	Mänty	Kuusi	Lehtipuu	Yhteensä		
Uusimaa	1,5	2,6	1,3	5,4	13	92
Varsinais-Suomi	2,9	2,3	0,9	6,0	19	97
Satakunta	2,1	2,2	0,8	5,2	32	90
Kanta-Häme	1,1	2,7	0,8	4,5	17	90
Pirkanmaa	3,0	5,0	1,7	9,7	19	90
Päijät-Häme	0,9	2,5	0,7	4,1	10	96
Kymenlaakso	1,4	1,3	0,6	3,3	15	90
Etelä-Karjala	1,6	1,7	0,6	3,8	18	86
Etelä-Savo	4,7	5,0	2,1	11,8	17	88
Pohjois-Savo	3,9	6,0	2,2	12,1	24	81
Pohjois-Karjala	5,1	3,8	2,1	10,9	27	72
Keski-Suomi	4,6	5,4	2,2	12,2	22	80
Etelä-Pohjanmaa	4,3	2,1	1,0	7,4	40	96
Pohjanmaa	1,9	1,7	0,8	4,4	27	97
Keski-Pohjanmaa	1,2	0,5	0,4	2,1	31	92
Pohjois-Pohjanmaa	8,4	3,2	2,8	14,4	44	84
Kainuu	4,3	2,0	1,5	7,8	38	60
Lappi	9,0	2,5	2,3	13,8	20	56
Ahvenanmaa	0,4	0,1	0,2	0,7	6	97
Etelä-Suomi	40,5	44,9	18,4	103,8	22	87
Pohjois-Suomi	21,8	7,7	6,6	36,0	33	68
Koko Suomi	62,2	52,6	25,0	139,8	25	82

¹⁾ Yksityiset metsänomistajat ja toiminimet, perikunnat, yhteismetsät, kunnat, seurakunnat, muut yhteisöt (osuuskunnat, kommandiitti- ja asunto-osakeyhtiöt ja säätiöt) sekä jakamaton tai omistaja selvittämättä.

Laskelmien alkutilanteessa metsänhoidon suositusten mukaisesti hakkuukypsää tai ensimmäisen kymmenen vuoden aikana hakkuukypsyyden saavuttavaa metsää oli 56 % puuntuotannossa olevan metsämaan pinta-alasta. Metsänhoidon suositusten mukainen hakkuumahto oli puuntuotannossa olevalle metsämaalle jaettuna keskimäärin 7,6 m³/ha/v koko maassa. Korkeimmillaan se oli Kanta-Hämeen (13,8 m³/ha/v) ja Ahvenanmaan maakunnissa (12,3 m³/ha/v). Myös Uudenmaan, Varsinais-Suomen, Satakunnan, Pirkanmaan, Päijät-Hämeen, Kymenlaakson ja Etelä-Savon maakuntien alueilla hakkuumahto oli yli 10 m³/ha/v. Kainuussa vuotuinen hakkuumahto oli 5,2 m³/ha/v ja Lapissa 3,7 m³/ha/v.

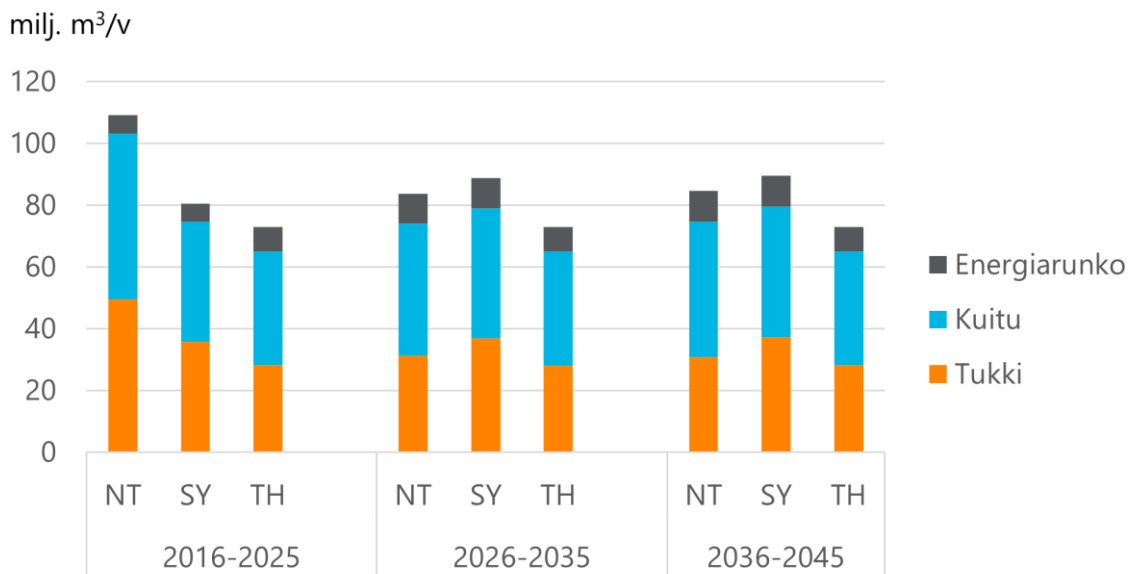
Hakkuumahdon mukainen hakattavissa oleva tukkipuun määrä vuosina 2016–2025 oli 58,8 milj. m³/v. Tästä mäntytugin osuus oli 46 %, kuusitugin 49 % ja lehtitugin vajaa 6 %. Kuusitugin osuus hakattavissa olevasta tukkipuusta oli suurin Päijät-Hämeen (71 %) ja Kanta-Hämeen (68 %) maakuntien alueella ja pienin Lapin maakunnan alueella (19 %). Hakattavissa olevasta tukkipuusta oli Etelä-Suomessa 49,0 milj. m³/v ja Pohjois-Suomessa 9,9 milj. m³/v.

Hakattavissa olevan ainespuukokoisen runkopuun määrä kangasmailla vuosina 2016–2025 oli 104,7 milj. m³/v ja turvemaiden 35,1 milj. m³/v. Kangas- ja turvemaiden osuudet hakkuumahdosta olivat samalla tasolla kuin niiden osuudet puuston runkotilavuudesta laskelman alkutilanteessa vuonna 2016.

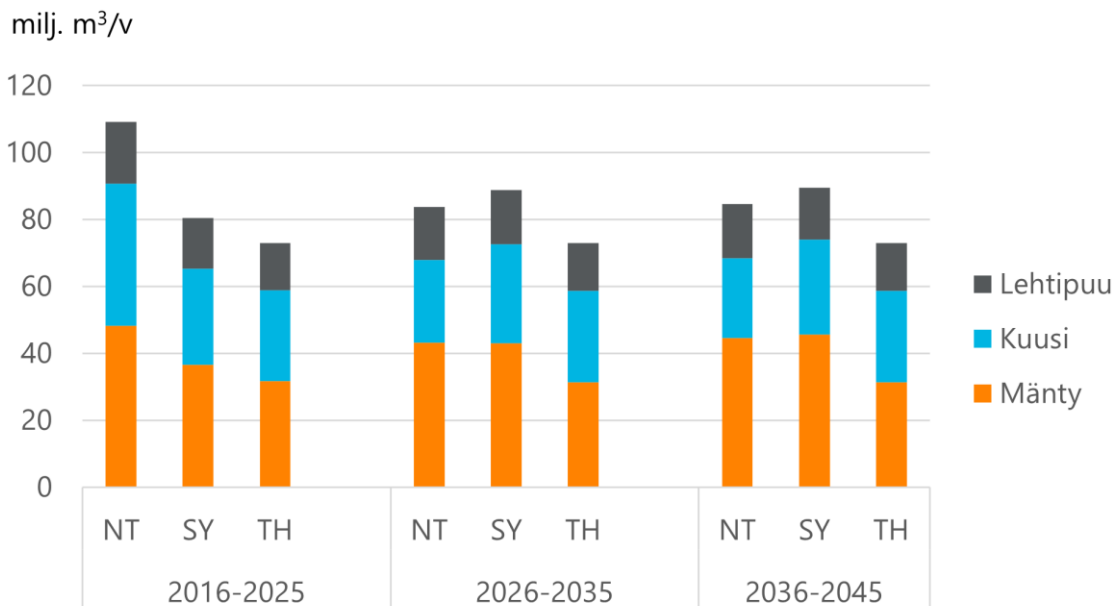
Yksityismetsien (yksityismetsät, ks. alaviite Taulukko 11) osuus hakattavissa olevasta ainespuukokoisen runkopuun hakkuukertymästä oli koko Suomessa 82 %. Yksityismetsien hakkuumahdollisuudet painottuivat Etelä-Suomeen, jossa niiden osuus oli 87 % hakkuumahdosta. Pohjois-Suomessa yksityismaiden vastaava osuus oli 68 %. Yksityismaiden osuus hakkuumahdon mukaisesta hakkuukertymästä oli pienin Lapin (56 %) ja Kainuun maakunnissa (59 %).

3.2. Suurin nettotulo -laskelma

Viiden prosentin tuottovaatimuksella ja ilman kestävyysrajoitteita nettotulojen nykyarvoa maksimoivan (NT) aines- ja energiapuukertymän arvio vuosille 2016–2025 oli keskimäärin 109,1 milj. m³ runkopuuta vuodessa, josta tukkipuuta oli 49,6 milj. m³/v, kuitupuuta 53,4 milj. m³/v ja energiarunkopuuta 6,1 milj. m³/v (Kuva 2). Hakkuukertymästä oli mäntyä 44 %, kuusta 39 % ja lehtipuuta 17 % (Kuva 3). Metsänhoidon suositusten mukaiseen hakkuumahtoon verrattuna ainespuukokoista runkopuuta jäi ensimmäisellä kymmenvuotiskaudella hakkaamatta 31,8 milj. m³/v (Kuva 4). Tämä hakkuureservi koostui puustoista, joita ei kannattanut hakata ensimmäisellä kymmenvuotiskaudella myöhemmin saatavan paremman tuoton vuoksi tai joissa hakkuista pidättäytyminen oli pysyvästi hakkuuta edullisempi vaihtoehto. Taloudellisesti hakkuukypsän ainespuukokoisen puuston osuus hakkuumahdosta oli 5 %:n tuottovaatimuksella Etelä-Suomessa 82 %, Pohjois-Suomessa 65 % ja koko Suomessa keskimäärin 77 %.



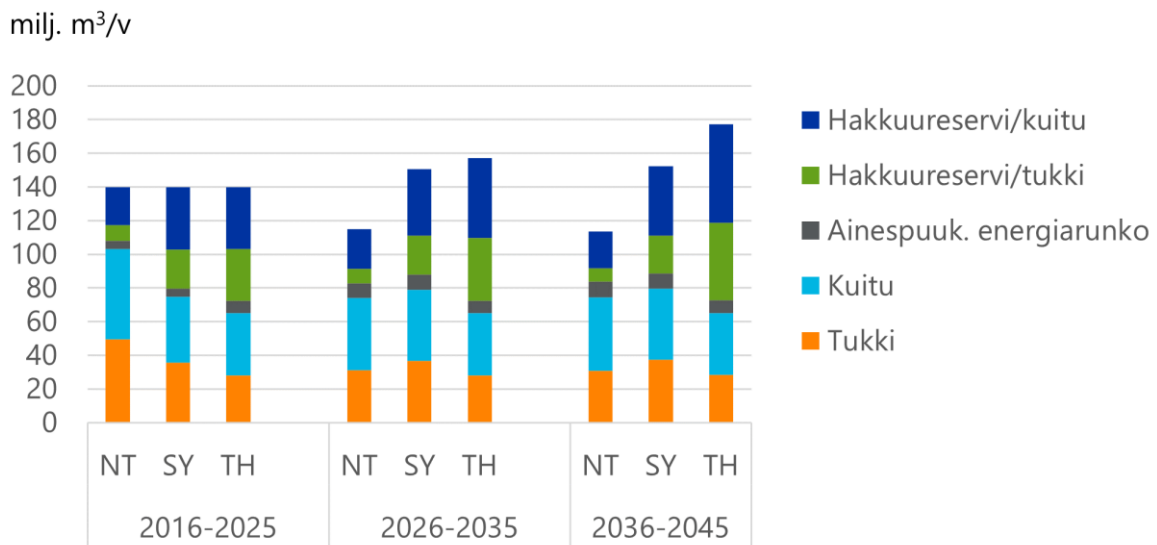
Kuva 2. Runkopuun hakkuukertymä puutavaralajeittain puuntuotannon metsämaalla NT-, SY- ja TH-laskelmissa tarkastelujaksolla 2016–2045.



Kuva 3. Runkopuun hakkuukertymä puulajeittain puuntuotannon metsämaalla NT-, SY- ja TH-laskelmissa tarkastelujaksolla 2016–2045. Laskelmissa ei edellytetty hakkuukertymän puulajikohtaista tasaisuutta laskelmakausien välillä.

Etelä-Suomessa suurimman nettotulon mukaiset hakkuumahdollisuudet painottuivat ensimmäiselle kymmenvuotiskaudelle, koska alueella oli runsaasti hakkuukypsyyden saavuttaneita puustoja ja nettotulojen diskonttauksen vuoksi lähiajan tulot saivat suuremman painon kuin myöhemmin saatavat tulot. Toisella kymmenvuotiskaudella 2026–2035 runkopuun hakkuukertymä oli koko Suomessa 83,7 milj. m³/v ja hakkuukertymä laski ensimmäiseen kauteen verrattuna suhteellisesti eniten Kanta-Hämeen (59 %), Varsinais-Suomen (58 %) ja Ahvenanmaan (56 %) maakuntien alueilla. Muiden Etelä-Suomen maakuntien alueilla hakkuukertymä laski 4–40 %. Muista maakunnista poiketen suurimman nettotulon mukainen hakkuukertymäarvio kasvoi toisella kaudella Kainuun (12 %) ja Lapin (18 %) maakuntien alueilla. Kolmannella

kymmenvuotiskaudella 2036–2045 hakkuukertymäarvio oli koko Suomessa keskimäärin 84,6 milj. m³/v.



Kuva 4. Ainespuukokoisen runkopuun hakkuukertymä ja -reservi puuntuotannon metsämaalla NT-, SY- ja TH-laskelmissa tarkastelujaksolla 2016–2045.

Suurimman nettotulon mukaisessa arvioissa ainespuun (tukki- ja kuitupuun) hakkuukertymä oli ensimmäisellä kymmenvuotiskaudella 103,1 milj. m³/v (Taulukko 12). Tukkipuun hakkuukertymäarvio oli 49,6 milj. m³/v, josta mäntyä oli 22,0 milj. m³/v, kuusta 24,8 milj. m³/v ja lehtipuuta 2,7 milj. m³/v. Koko Suomessa tukkikertymä oli keskimäärin 84 % vastaavasta tukkipuun hakkuumahdosta ja se oli suurimmillaan Varsinais-Suomen (93 %), Kanta-Hämeen (92 %) ja Kymenlaakson (90 %) maakuntien alueilla. Muualla Etelä-Suomessa osuus vaihteli välillä 82–89 % ja Pohjois-Suomessa 65–78 %. Toisella kymmenvuotiskaudella 2026–2035 ainespuun hakkuukertymäarvio oli 74,1 milj. m³/v ja tukkipuun kertymäarvio 31,3 milj. m³/v ja vastaavasti kolmannella kaudella 2036–2045 74,6 milj. m³/v ja 30,8 milj. m³/v.

Taulukko 12. Runkopuun poistuma-, hakkuukertymä- ja kasvuarvio (milj. m³/v) metsä- ja kitumaalla NT-, SY- ja TH-laskelmissa inventointia seuraavalla kymmenvuotiskaudella 2016–2025 Etelä- (E-S), Pohjois- (P-S) ja koko Suomessa (S).

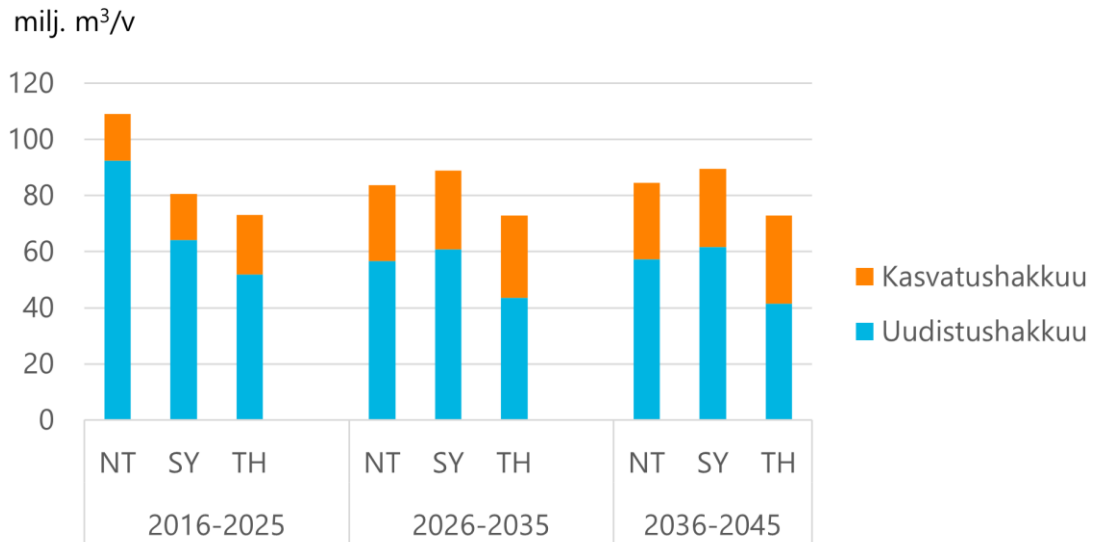
	NT			SY			TH		
	E-S	P-S	S	E-S	P-S	S	E-S	P-S	S
Kokonaispoistuma	93,6	27,8	121,4	68,2	24,1	92,4	66,5	18,9	85,4
Mänty	35,5	16,3	51,8	26,1	13,9	40,0	24,0	11,4	35,4
Kuusi	38,8	5,9	44,7	25,6	5,1	30,7	26,2	3,0	29,2
Lehtipuu	19,4	5,5	24,9	16,5	5,1	21,7	16,3	4,5	20,8
Hakkuupoistuma ¹⁾	88,7	25,2	113,9	63,1	21,5	84,7	61,5	16,2	77,7
Hakkuukertymä	85,5	23,6	109,1	60,4	20,1	80,5	58,3	14,7	73,0
Tukkikertymä	42,4	7,2	49,6	29,6	6,1	35,7	24,2	4,0	28,2
Mänty	17,1	5,0	22,0	12,4	4,1	16,5	8,8	3,1	11,9
Kuusi	22,7	2,1	24,8	15,2	1,9	17,0	14,1	0,9	15,0
Lehtipuu	2,6	0,1	2,7	2,1	0,1	2,2	1,2	0,0	1,3
Kuitukertymä	39,3	14,2	53,4	27,1	11,8	38,9	27,6	9,3	36,9
Mänty	15,3	8,6	23,9	10,7	7,0	17,7	10,9	6,0	16,9
Kuusi	13,7	2,8	16,6	8,4	2,4	10,8	9,2	1,3	10,5
Lehtipuu	10,3	2,8	13,0	8,0	2,4	10,4	7,4	2,0	9,4
Energiarunko	3,8	2,3	6,1	3,7	2,2	5,9	6,6	1,4	7,9
Mänty	1,2	1,2	2,4	1,1	1,1	2,3	2,3	0,6	2,9
Kuusi	0,7	0,4	1,1	0,6	0,4	1,0	1,3	0,3	1,5
Lehtipuu	1,9	0,7	2,6	1,9	0,7	2,6	3,0	0,5	3,5
Hakkuutähde ¹⁾	3,2	1,6	4,8	2,8	1,4	4,2	3,2	1,5	4,7
Luonnonpoistuma	4,9	2,6	7,5	5,1	2,6	7,7	5,0	2,7	7,7
Kasvu	68,5	32,9	101,4	72,3	33,5	105,8	71,6	34,0	105,5
Mänty	26,0	21,2	47,2	27,2	21,6	48,8	26,9	21,8	48,8
Kuusi	26,3	5,6	31,9	28,5	5,7	34,3	28,1	6,0	34,1
Lehtipuu	16,2	6,1	22,3	16,6	6,1	22,7	16,5	6,2	22,7

¹⁾ Sisältää hakkuut, taimikonhoidon ja raivauksen.

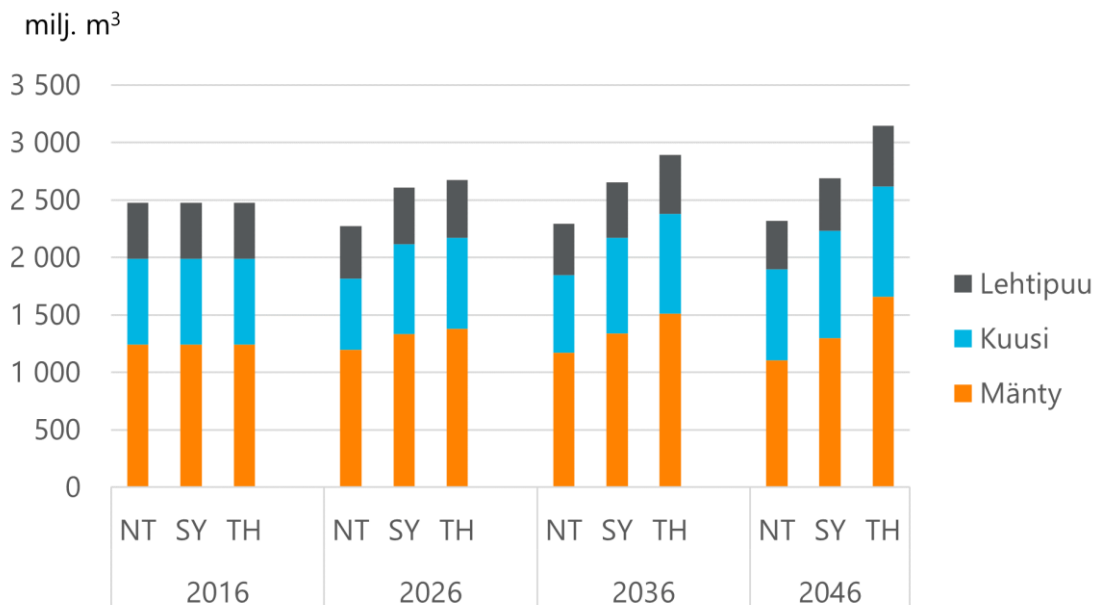
Uudistushakkuiden osuus runkopuun hakkuukertymästä oli ensimmäisellä kaudella keskimäärin 85 % (92,3 milj. m³/v) ja koko 30 vuoden tarkastelujaksolla 74 % (68,8 milj. m³/v) (Kuva 5). Turvemaiden osuus runkopuun hakkuukertymästä oli sekä ensimmäisellä kaudella että koko tarkastelujaksolla keskimäärin 21 %.

Korkeiden hakkuumäärien seurauksena runkopuun kokonaispoistuma oli suurimman nettotulon arviossa ensimmäisellä kaudella 121,4 milj. m³/v ja vastaava kokonaiskasvu 101,4 milj. m³/v koko metsä- ja kitumaalla (Taulukko 12). Kokonaispoistumaan sisältyi runkopuun hakkuukertymän lisäksi hakkuissa, taimikonhoidossa ja raivauksessa metsään kaadettuna jäävä runkopuu sekä luonnonpoistumana kuollut runkopuu. Myöhemmillä kausilla puuston kasvu oli 96–98 milj. m³/v tasolla ja se oli 2–3 milj. m³/v suurempi kuin runkopuun kokonaispoistuma. Nettotulojen maksimoinnin kannalta optimaalisten hakkuiden seurauksena puuston

runkotilavuus pieneni 6 % tarkastelujakson aikana koko metsä- ja kitumaalla ja se oli 2 321 milj. m³ vuonna 2046 (Kuva 6). Männyn tilavuus pieneni 11 %, lehtipuiden tilavuus pieneni 13 % ja kuusen tilavuus lisääntyi 6 %. Tilavuuden pieneneminen kohdistui Etelä-Suomeen, jossa muutos oli 15 %. Pohjois-Suomessa puuston runkotilavuus lisääntyi 11 % vastaavalla ajanjaksonalla.



Kuva 5. Runkopuun hakkuukertymä hakkuutavoittain puuntuotannon metsämaalla NT-, SY- ja TH-laskelmissa tarkastelujaksolla 2016–2045. Kasvatushakkuu sisälsi harvennushakkuun ja ylispuiden poiston.

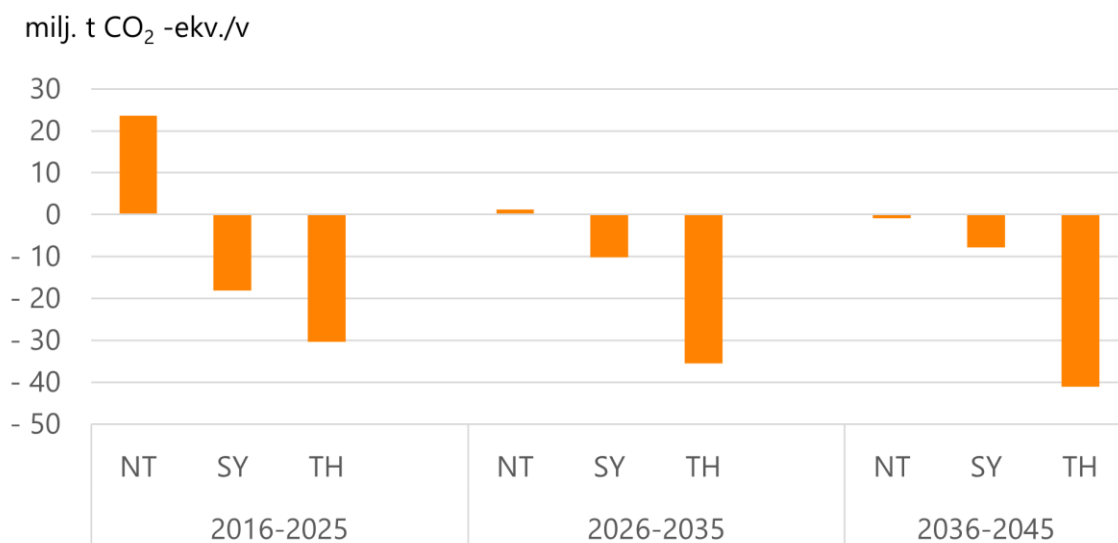


Kuva 6. Puuston runkotilavuus puulajeittain metsä- ja kitumaalla NT-, SY- ja TH-laskelmissa tarkastelujaksolla 2016–2046.

Puuntuotannossa olevalla metsämaalla puuston runkotilavuus pieneni 15 % koko 30 vuoden tarkastelujaksolla. Tukkipuun tilavuus pieneni 25 % ja kuitupuun tilavuus pieneni 8 %. Muista

puutavaralajeista poiketen kuusen kuitutilavuus lisääntyi 17 % 30 vuoden tarkastelujakson aikana.

Suurimman nettotulon mukaisen arvion korkeiden hakkuumäärien seurauksena Suomen metsät olivat ensimmäisellä kaudella 2016–2025 keskimäärin 23,7 milj. t CO₂-ekv./v suuruinen kasvihuonekaasujen päästölähde (Kuva 7). Arvioon sisältyi puusto ja maaperä, mutta ei puutuotteita. Kasvihuonekaasutaseen arvioissa oli alueellista vaihtelua, sillä Etelä-Suomen metsät olivat ko. kaudella 30,4 milj. t CO₂-ekv./v päästölähde ja Pohjois-Suomen metsät 6,7 milj. t CO₂-ekv./v suuruinen nielu. Myöhemmillä kausilla 2026–2035 ja 2036–2045 runkokuun hakkuumäärät pienenevät selvästi suurimman nettotulon mukaisessa arvioissa ja Suomen metsät muuttuivat kolmannella kaudella keskimäärin 0,9 milj. t CO₂-ekv./v suuruiseksi kasvihuonekaasujen nieluksi.



Kuva 7. Kasvihuonekaasutase (puusto ja maaperä yhteensä) metsä- ja kitumaalla NT-, SY- ja TH-laskelmissa tarkastelujaksolla 2016–2045.

3.3. Suurin ylläpidettävissä oleva hakkuukertymä -laskelma

Suurimman ylläpidettävissä olevan aines- ja energiapuukertymän arvio (SY) oli keskimäärin 80,5 milj. m³/v runkokuuta inventointia seuraavalla kymmenvuotiskaudella 2016–2025 (Taulukko 12). Ainespuukokoisen hakkuukertymän arvio oli maakunnittaisista kestävyysrajoitteista johtuen ensimmäisellä kymmenvuotiskaudella koko Suomessa keskimäärin 57 % metsänhoidon suositusten mukaisesta hakattavissa olevasta ainespuukokoisen runkokuun hakkuumahdosta (Kuva 4), ja hakkuumahtoon verrattuna ainespuukokoista runkokuuta jäi ensimmäisellä kymmenvuotiskaudella hakkaamatta keskimäärin 60,2 milj. m³/v. Kymenlaakson, Etelä-Karjalan, Etelä-Savon, Pohjois-Karjalan, Keski-Pohjanmaan ja Kainuun maakuntien alueilla osuus oli 60 % tai suurempi. Muualla Suomessa osuus vaihteli välillä 47–59 %. Etelä-Suomen maakuntien alueilla suurimman ylläpidettävissä olevan hakkuukertymän arviota rajoitti erityisesti kausittaisen nettotulojen ja ainespuun hakkuukertymän tasaisuusvaatimukset. Pohjois-Suomessa merkittävin rajoite oli ainespuun hakkuukertymän tasaisuusvaatimus.

Ensimmäisellä kymmenvuotiskaudella (2016–2025) runkokuun hakkuukertymästä oli mäntyä 36,5 milj. m³/v (45 %), kuusta 28,8 milj. m³/v (36 %) ja lehtipuuta 15,1 milj. m³/v (19 %).

Kuusen osuus hakkuukertymästä oli suurempi kuin kuusen osuus puuston runkotilavuudesta puuntuotannossa olevalla metsämaalla ja vastaavasti männyn osuus pienempi. Laskelmassa ei edellytetty hakkuukertymän puulajikohtaista tasaisuutta laskelmakausien välillä. Toisella kymmenvuotiskaudella (2026–2035) runkopuun hakkuukertymä nousi 88,9 milj. m³/v tasolle, josta mäntyä oli 43,0 milj. m³/v, kuusta 29,6 milj. m³/v ja lehtipuuta 16,2 milj. m³/v (Kuva 3). Hakkuukertymän lisäyksestä (10 %) suurin osa oli mäntyä. Vastaavasti kolmannella kaudella runkopuun hakkuukertymä oli 89,5 milj. m³/v, josta mäntyä oli 45,6 milj. m³/v, kuusta 28,5 milj. m³/v ja lehtipuuta 15,5 milj. m³/v. Koko 30 vuoden tarkastelujaksolla (2016–2045) runkopuun hakkuukertymäarvio oli keskimäärin 86,3 milj. m³/v, josta männyn osuus oli 48 %, kuusen 34 % ja lehtipuun 18 %. Hakkuumahdollisuuksien lisäys 30 vuoden tarkastelujakson aikana oli suhteellisesti voimakkainta Päijät-Hämeen, Etelä-Karjalan, Etelä-Savon, Kainuun ja Lapin maakuntien alueilla.

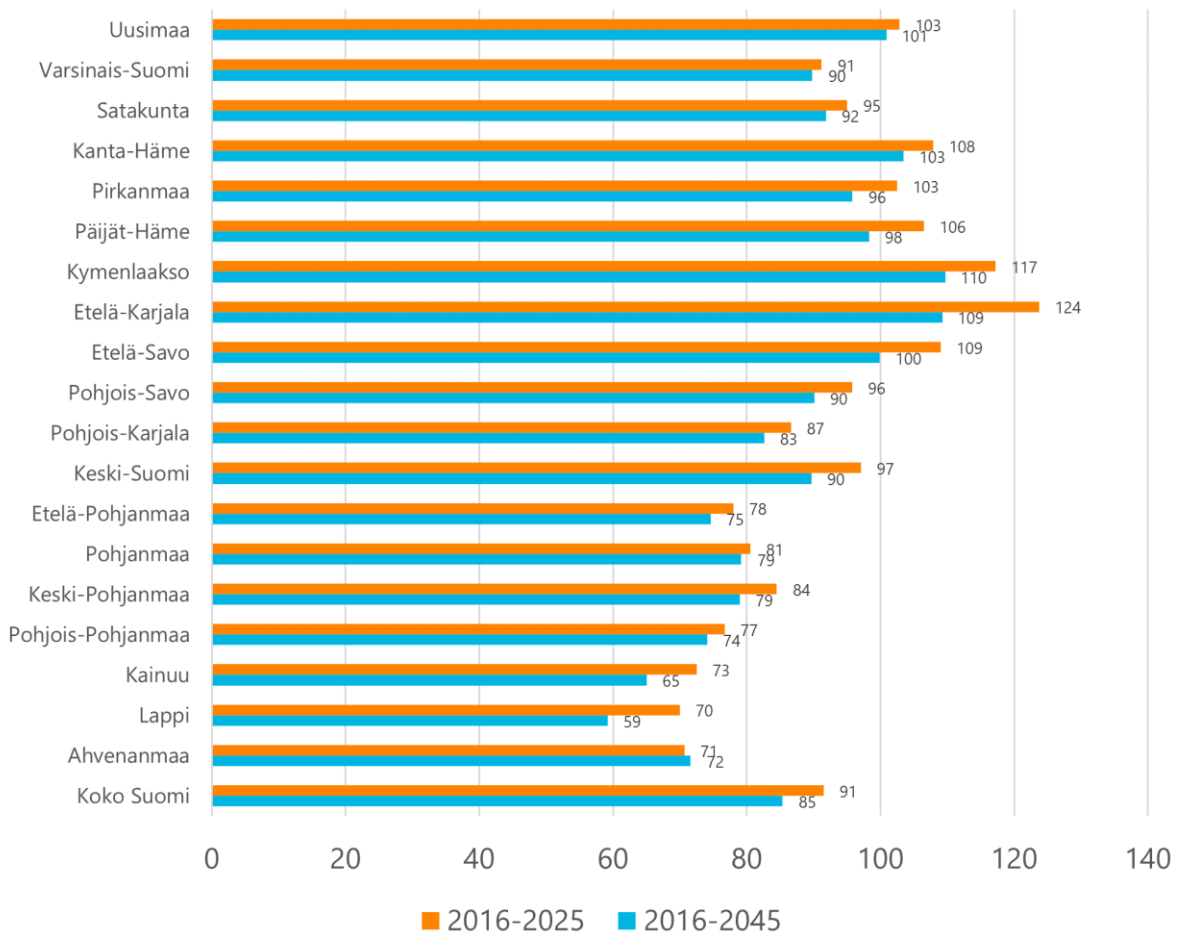
Runkopuun hakkuukertymän nousu toisella kaudella johtui pääosin kuitupuukertymän ja energiarunkopuukertymän lisääntymisestä. Kuitupuun hakkuukertymä oli ensimmäisellä kaudella 38,9 milj. m³/v, josta se lisääntyi toisella kaudella 8 % tasolle 42,2 milj. m³/v ja säilyi tällä tasolla myös kolmannella kaudella (Kuva 2). Vastaavasti energiarunkopuun hakkuukertymä nousi ensimmäisen kauden 5,9 milj. m³/v tasolta toisella kaudella 9,9 milj. m³/v tasolle. Tukki-kertymä oli ensimmäisellä kaudella 35,7 milj. m³/v, toisella kaudella 36,8 milj. m³/v ja kolmannella kaudella 37,4 milj. m³/v.

Runkopuun hakkuukertymän lisäys toisella kaudella kohdistui kasvatushakkuihin (kuva 5). Ensimmäisellä kaudella kasvatushakkuiden runkopuun hakkuukertymä oli 16,4 milj. m³/v ja toisella kaudella 28,0 milj. m³/v. Kasvatushakkuiden merkitys suureni sekä tukki- että kuitukertymän osalta. Kasvatushakkuiden osuus tukkikertymästä oli ensimmäisellä kaudella 9 % ja toisella kaudella 17 % ja vastaavasti kasvatushakkuiden osuudet kuitukertymästä olivat 20 % ja 29 %. Uudistushakkuiden runkopuun hakkuukertymä oli ensimmäisellä kaudella 64,1 milj. m³/v alentuen toisella kaudella tasolle 60,9 milj. m³/v. Kolmannella kaudella uudistushakkuiden runkopuun hakkuukertymä oli 61,6 milj. m³/v.

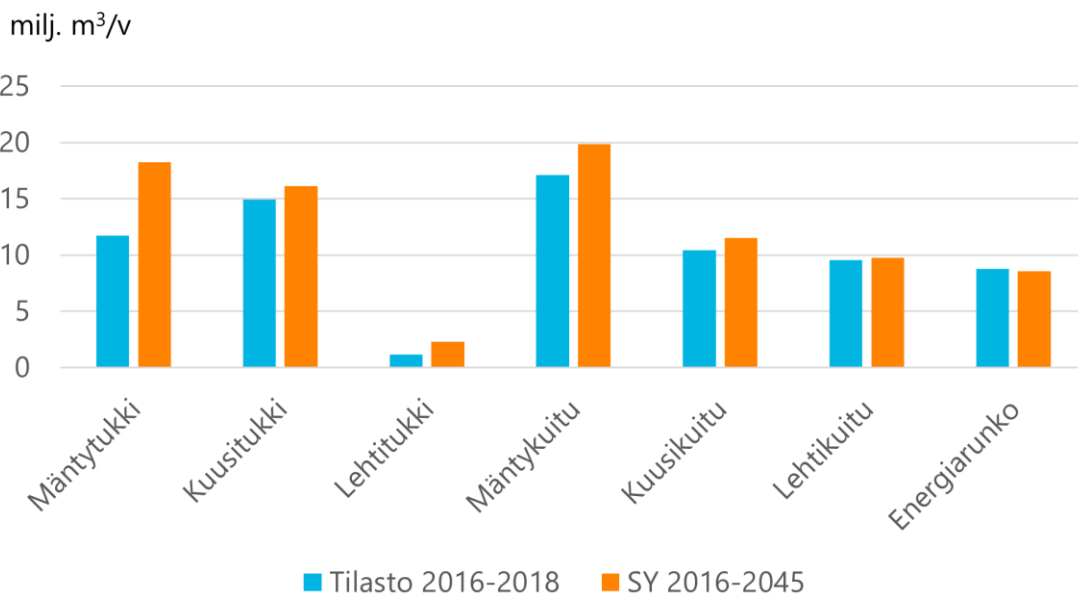
Vuosien 2016–2018 tilastoitu runkopuun hakkuukertymä (Taulukko 10) oli keskimäärin 91 % suurimman ylläpidettävissä olevan hakkuukertymäarvion tasosta ensimmäisellä kymmenvuotiskaudella ja 85 % koko 30 vuoden tarkastelujaksolla (Kuva 8). Ero johtui suurelta osin männyn ainespuukertymästä, erityisesti mäntytukista (Kuva 9). Muiden puulajien osalta erot olivat varsin pienet. Maakunnittain oli kuitenkin huomattavaa vaihtelua, sillä Uudenmaan, Kanta-Hämeen, Kymenlaakson ja Etelä-Karjalan maakuntien alueilla vuosina 2016–2018 tilastoidun runkopuun hakkuukertymän taso ylitti suurimman ylläpidettävissä olevan hakkuukertymän 30 vuoden tarkastelujakson keskimääräisen arvion. Pohjois-Suomessa (Pohjois-Pohjanmaa, Kainuu ja Lappi) tilastoitu runkopuun hakkuukertymä oli keskimäärin 66 % suurimman ylläpidettävissä olevan hakkuukertymän arviosta koko 30 vuoden tarkastelujaksolla.

Vuosittainen aines- ja energiapuun hakkuupinta-ala oli ensimmäisellä kymmenvuotiskaudella 542 000 ha/v, josta kasvatushakkuita oli 277 000 ha/v (Taulukko 13). Toisella kaudella kasvatushakkuiden pinta-ala oli 438 000 ha/v ja kolmannella kaudella 366 000 ha/v. Uudistushakkuiden pinta-ala vaihteli eri kausilla 246 000–266 000 ha/v tasolla.

Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 21/2023



Kuva 8. Runkopuun tilastoitu hakkuukertymä keskimäärin vuosina 2016–2018 ja SY-laskelman runkopuun hakkuukertymäärävion suhde (%) maakunnittain kaudella 2016–2025 ja tarkastelujaksolla 2016–2045.

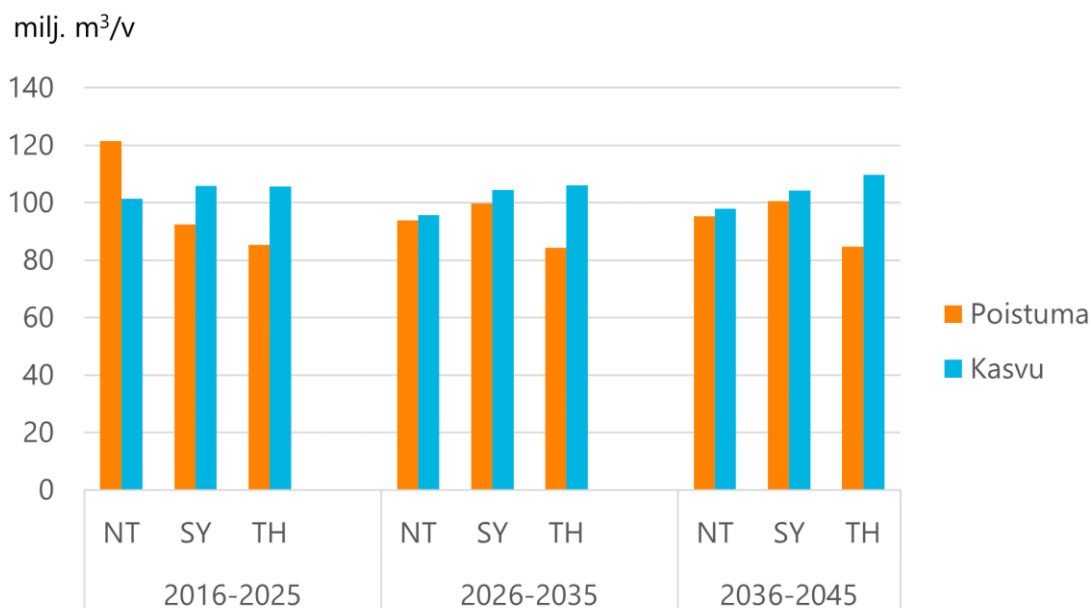


Kuva 9. Runkopuun tilastoitu hakkuukertymä keskimäärin vuosina 2016–2018 ja SY-laskelman hakkuukertymäärävio puutavaralajeittain tarkastelujaksolla 2016–2045.

Taulukko 13. Hakkuupinta-alat hakkuutavoittain (1 000 ha/v) puuntuotannossa olevalla metsämaalla NT-, SY- ja TH-laskelmissa tarkastelujaksolla 2016–2045. Kasvatushakkuu sisälsi harvennushakkuun ja ylispuiden poiston.

	NT			SY			TH		
	2016 –2025	2026 –2035	2036 –2045	2016 –2025	2026 –2035	2036 –2045	2016 –2025	2026 –2035	2036 –2045
Kasvatushakkuu	275	429	365	277	438	366	309	442	419
Uudistushakkuu	385	266	261	266	254	246	232	181	162
Yhteensä	660	695	626	542	692	611	541	623	581

Suurimman ylläpidettävissä olevan hakkuukertymäärivion mukainen runkopuun kokonaiskasvu metsä- ja kitumaalla oli ensimmäisellä kaudella keskimäärin 105,8 milj. m³/v (Kuva 10). Vastaava runkopuun kokonaispoistuma oli 87 % (92,4 milj. m³/v) runkopuun kasvuarviosta ja ko. osuus vaihteli maakunnittain välillä 57–115 %. Kokonaispoistuma ylitti kasvun Ahvenanmaan, Uudenmaan, Varsinais-Suomen, Satakunnan ja Kanta-Hämeen maakunnan alueilla. Koko 30 vuoden tarkastelujaksolla runkopuun kokonaiskasvu oli keskimäärin 104,8 milj. m³/v, josta kokonaispoistuma oli keskimäärin 93 % (97,5 milj. m³/v).

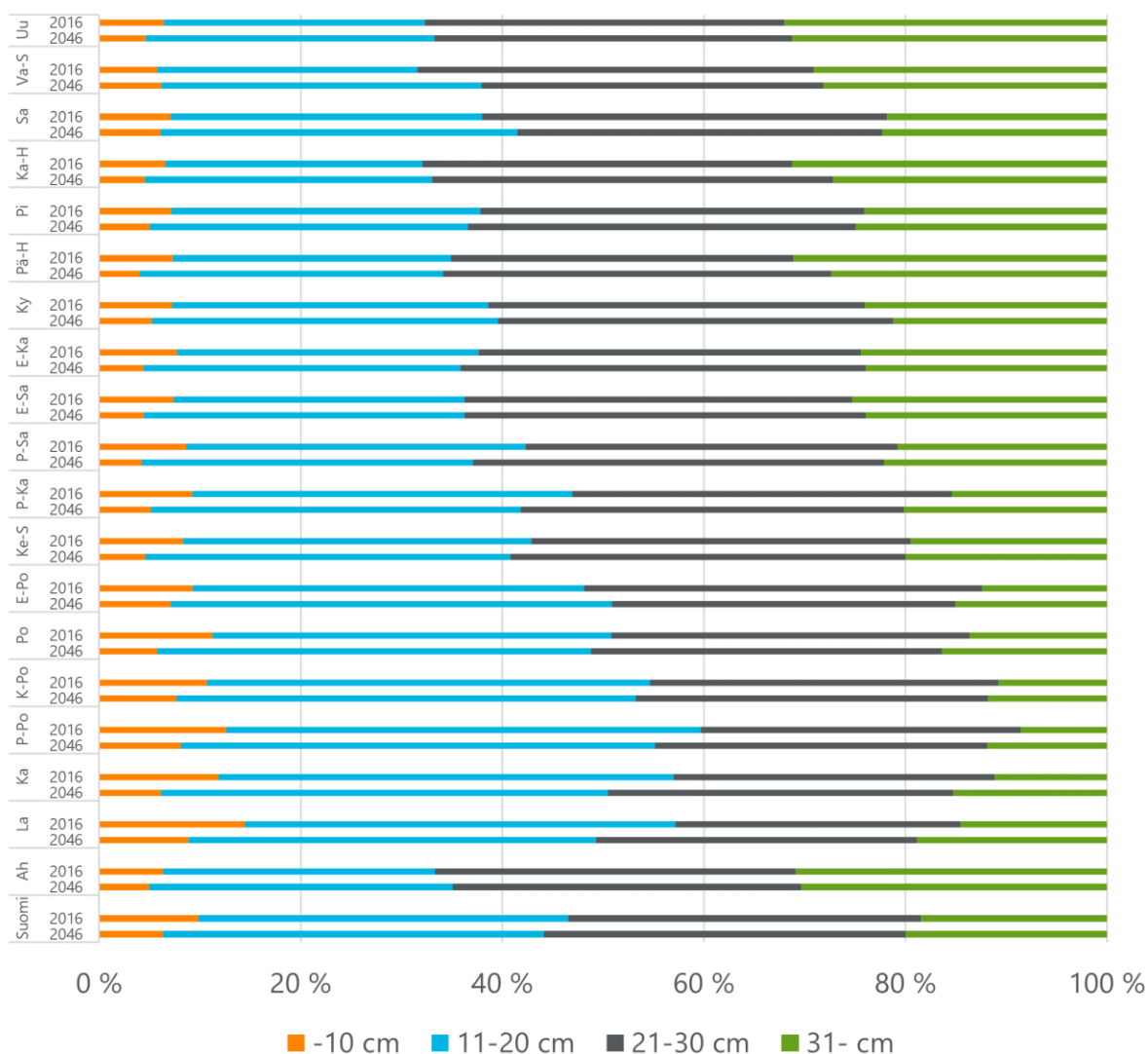


Kuva 10. Runkopuun kasvu ja poistuma metsä- ja kitumaalla NT-, SY- ja TH-laskelmissa tarkastelujaksolla 2016–2045.

Koko Suomen tasolla suurimman ylläpidettävissä olevan hakkuukertymäärivion mukainen laskelma oli puuvarantoa lisäävä, sillä 30 vuoden tarkastelujaksolla puuston runkotilavuus lisääntyi alkutilanteen 2 475 milj. m³:sta 2 691 milj. m³:iin (+9 %) (Kuva 6). Ahvenanmaan, Varsinais-Suomen, Satakunnan, Kanta-Hämeen, Pirkanmaan, Keski-Suomen ja Etelä-Pohjanmaan maakuntien alueilla suurin ylläpidettävissä oleva hakkuukertymäärivio johti puuston runkotilavuuden pienenemiseen. Muissa Etelä-Suomen maakunnissa puuston tilavuus lisääntyi 1–9 % ja Pohjois-Suomen maakunnissa 10–38 %. Tilavuuden lisäys kohdistui havupuuhun, erityisesti kuuseen, sillä lehtipuuston tilavuus pieneni 5 % koko maassa 30 vuoden tarkastelujakson

aikana. Puulajikohtaista kestävyyttä ei vaadittu ja laskelma suosi männyn ja kuusen kasvatusta puulajikohtaisten hintasuhteiden takia. Lisäksi laskelmassa poistettiin harvennushakkuissa ensin muita kuin pääpuulajia, mikä lisäsi lehtipuun osuutta hakkuukertymässä ja vähensi sitä hakkuun jälkeisessä puustossa.

Tarkastelujakson 2016–2046 aikana puusto keskimäärin järeytyi, sillä korkeintaan 10 cm läpimittaisten puiden osuus runkotilavuudesta pieneni 3,6 %-yksikköä ja yli 30 cm läpimittaisten puiden osuus suureni 1,5 %-yksikköä vuoteen 2046 mennessä. Maakuntien alueiden välillä oli metsien rakenteesta johtuvaa vaihtelua (Kuva 11). Korkeintaan 10 cm läpimittaisten puiden osuus tilavuudesta pieneni Etelä-Suomessa keskimäärin 3,0 %-yksikköä ja Pohjois-Suomessa 5,2 %-yksikköä ja vastaavasti yli 30 cm läpimittaisten puiden osuus kasvoi Etelä-Suomessa keskimäärin 0,6 %-yksikköä ja Pohjois-Suomessa 4,3 %-yksikköä.



Kuva 11. Puuston läpimittajakauma metsä- ja kitumaalla suurimman ylläpidettävissä olevan hakkuukertymäärivon (SY) perusteella vuosina 2016 ja 2046.

Suurimman ylläpidettävissä olevan hakkuukertymän arvioissa Suomen metsät olivat ensimmäisellä kaudella 2016–2025 keskimäärin 18,1 milj. t CO₂-ekv./v suuruinen

kasvihuonekaasujen nielu (Kuva 7). Arvioon sisältyi puusto ja maaperä ilman puutuotteita. Nielun arviosta kolmannes (6,0 milj. t CO₂-ekv./v) sijoittui Etelä-Suomen alueelle ja kaksi kolmannesta (12,1 milj. t CO₂-ekv./v) Pohjois-Suomen alueelle. Myöhemmillä kausilla 2026–2035 ja 2036–2045 runkopuun hakkuumäärät nousivat suurimman ylläpidettävissä olevan hakkuukertymän arvioissa ja kasvihuonekaasujen nielu pieneni toisella kymmenvuotiskaudella keskimäärin tasolle 10,2 milj. t CO₂-ekv./v ja kolmannella kaudella tasolle 7,8 milj. t CO₂-ekv./v säilyen kuitenkin edelleen selvästi nieluna.

3.4. Vuosina 2016–2018 toteutunut hakkuukertymä-laskelma

Runkopuun tilastoitu hakkuukertymä vuosina 2016–2018 oli keskimäärin 73,6 milj. m³/v (Taulukko 10, Luke 2022a), joka sisälsi tukki- ja kuitukertymän lisäksi energiapuuksi korjatun runkopuun käyttömäärän. Tilastoidusta kertymästä oli mäntyä 31,2 milj. m³/v, kuusta 27,0 milj. m³/v ja lehtipuuta 15,4 milj. m³/v. Tukkikertymä oli 27,8 milj. m³/v, kuitukertymä 37,0 milj. m³/v ja energiारunkopuun käyttömäärä 8,8 milj. m³/v.

Maakunnittain tehdyssä toteutuneen hakkuukertymän mukaisessa laskelmassa (TH) puutavaralajikohtaisille hakkuukertymille sallittiin oletuksena $\pm 0,5$ % vaihtelu vuosien 2016–2018 keskimäärin tilastoituihin hakkuumääriin verrattuna, mutta laskelmien yhteydessä osoittautui kuitenkin tarpeelliseksi laajentaa näitä puutavaralajikertymien vaihteluvälejä usean maakunnan alueella optimiratkaisun toteutumisen varmistamiseksi. Laskelmien tuloksena maakuntien alueilla rajoitteena käytetty runkopuun hakkuumäärä oli mahdollista ylläpitää TH-laskelmassa 30 vuoden tarkastelujakson ajan lukuun ottamatta Kymenlaakson ja Etelä-Karjalan maakuntien alueita. Puulajikohtaisten ainespuukertymärajoitteiden vallitessa Kymenlaaksossa kuusitukin hakkuukertymän arvio oli laskelmassa vuosien 2016–2018 keskimäärin tilastoituihin hakkuumäärään verrattuna runsaan neljänneksen alemmalla tasolla toiselta kymmenvuotiskaudelta alkaen. Lisäksi energiारunkopuun hakkuukertymä oli Kymenlaaksossa koko tarkastelujakson ajan vajaan neljänneksen alemmalla tasolla kuin tilastoitu käyttömäärä, ja siksi energiapuun kokonaismäärien saavuttamiseksi TH-laskelmassa korjattiin oksia, kantoja ja juuria enemmän energiaksi kuin mitä vuosina 2016–2018 tilastoidut käyttömäärät keskimäärin olivat. Myös Etelä-Karjalassa keskimäärin tilastoitua energiारunkopuun määrää ei laskelmassa saavutettu, joten oksia, kantoja ja juuria korjattiin tilastoitua käyttömäärää enemmän energiaksi. Koko maan tasolla TH-laskelman runkopuun hakkuukertymä oli 73,0 milj. m³/v sekä kaudella 2016–2025 (Taulukko 12) että keskimäärin koko 30 vuoden tarkastelujaksolla vuosina 2016–2045.

Ainespuukokoisen hakkuukertymän arvio oli maakunta- ja puutavaralajikohtaisista kertymärajoitteista johtuen ensimmäisellä kymmenvuotiskaudella koko Suomessa keskimäärin 52 % metsänhoidon suositusten mukaisesti hakattavissa olevasta ainespuukokoisen runkopuun hakkuumahdosta. Siten hakkuumahtoon verrattuna ainespuukokoista runkopuuta jäi ensimmäisellä kymmenvuotiskaudella hakkaamatta keskimäärin 67,4 milj. m³/v (Kuva 4). Etelä-Suomen alueella vastaava osuus oli 56 % ja Pohjois-Suomen alueella 41 %.

Vuosina 2016–2018 toteutunutta hakkuukertymää noudattavassa hakkuulaskelmassa ei rajoitettu hakkuutapoja, vaan optimoinnissa valikoitui tehokkain tapa tuottaa vaadittu hakkuukertymätaaso ja -rakenne maakunnittain. Laskelman mukainen aines- ja energiapuun kasvatushakkuuala vuosina 2016–2025 (309 000 ha/v) oli 40 % pienempi ja uudistushakkuuala (232 000 ha/v) noin neljänneksen suurempi kuin vuosien 2016–2018 keskimääräiset

metsänkäyttöilmoituksiin perustuvat hakkuupinta-alat (Luke 2022c). Seuraavina vuosikymmeninä kasvatushakkuiden ala lisääntyi laskelmassa ollen keskimäärin 419 000 ha/v vuosina 2036–2045 ja uudistushakkuiden ala supistui ollen vastaavasti 162 000 ha/v. Vuosien 2016–2018 tilastoitujen hakkuiden ja metsänkäyttöilmoitusten perusteella runkopuun hehtaarikohdainen hakkuukertymä oli keskimäärin 103 m³/ha, ja vastaavasti TH-laskelmassa 135 m³/ha vuosina 2016–2025 ja 125 m³/ha keskimäärin koko 30 vuoden tarkastelujaksolla 2016–2045.

Puuston runkopuun vuotuinen kasvu metsä- ja kitumaalla oli ensimmäisellä kymmenvuotis-kaudella 105,5 milj. m³/v ja kolmannella kaudella 109,7 milj. m³/v (Kuva 10, Taulukko 12). Valtakunnan metsien 12. inventoinnin mitattu kasvu metsä- ja kitumaalla oli 107,8 milj. m³/v maastomittausta (2014–2018) edeltäneiden viiden täyden kasvukauden kasvumittausten perusteella (Korhonen ym. 2021). TH-laskelmassa puuston runkopuun kasvu oli suurempi kuin runkopuun poistuma ja puuston runkopuun tilavuus metsä- ja kitumaalla lisääntyi 30 vuoden aikana 3 145 milj. m³:n tasolle (+27 %) ja hehtaarikohtainen keskitilavuus 138 m³/ha tasolle. Puuston tilavuus kasvoi voimakkaasti etenkin Pohjois-Suomen maakuntien alueilla (42–67 %). Etelä-Suomessa puuston tilavuus lisääntyi maakunnittain 0–35 % lukuun ottamatta Kanta-Hämeen ja Kymenlaakson maakuntien alueita, joissa molemmissa puuston tilavuus pieneni 9 % tarkastelujakson aikana. Koko maan tasolla männyn runkopuun tilavuus lisääntyi 33 %, kuusen tilavuus 28 % ja lehtipuiden tilavuus 9 % koko 30 vuoden tarkastelujakson aikana.

Vuosien 2016–2018 keskimäärin toteutuneen hakkuukertymän mukaisessa laskelmassa Suomen metsät olivat ensimmäisellä kaudella 2016–2025 30,3 milj. t CO₂-ekv./v suuruinen kasvihuonekaasujen nielu (Kuva 7). Kuten muissakin laskelmissa, arvioon sisältyivät puusto ja maaperä ilman puutuotteita. Varastonmuutosmenetelmällä lasketun nielun arviosta kolmannes (9,9 milj. t CO₂-ekv./v) sijoittui Etelä-Suomen alueelle ja kaksi kolmannesta (20,4 milj. t CO₂-ekv./v) Pohjois-Suomen alueelle. Myöhemmillä kausilla 2026–2035 ja 2036–2045 kasvihuonekaasujen nielu lisääntyi ollen koko 30 vuoden tarkastelujaksolla keskimäärin 35,6 milj. t CO₂-ekv./v. Pääosa nielun lisäyksestä kohdistui Pohjois-Suomen maakuntien alueille.

4. Turvemaiden osuus hakkuumahdollisuuksista

Turvemaiden osuus puuntuotannon metsämaan pinta-alasta oli koko maan tasolla 25 %. Etelä-Suomessa osuus oli 23 % ja Pohjois-Suomessa 29 %. Maakuntatasolla turvemaiden osuus oli suurimmillaan Pohjois-Pohjanmaalla (41 %), Keski-Pohjanmaalla (40 %), Etelä-Pohjanmaalla (38 %) ja Kainuussa (34 %) (Taulukko 14).

Taulukko 14. Pinta-ala, milj. ha (A), puuston runkotilavuus, milj. m³ (B) ja tukkitilavuus, milj. m³ (C), SY-laskelman mukainen ainespuukertymä, milj. m³/v (D) ja tukkikertymä, milj. m³/v (E) puuntuotannon metsämaalla kaudella 2016–2025 sekä turvemaiden osuus prosentteina pinta-alasta (A%), puuston runkotilavuudesta (B%), tukkitilavuudesta (C%), ainespuukertymästä (D%) ja tukkikertymästä (E%).

Alue	Puuntuotannon maa					Turvemaiden osuus, %				
	A	B	C	D	E	A%	B%	C%	D%	E%
Uusimaa	0,49	78,6	26,9	2,9	1,4	11	13	11	14	12
Varsinais-Suomi	0,54	83,2	28,0	2,9	1,3	17	19	17	19	18
Satakunta	0,50	72,4	28,0	2,6	1,4	30	30	28	31	29
Kanta-Häme	0,33	56,3	23,1	2,2	1,2	18	17	14	16	14
Pirkanmaa	0,89	137,5	52,2	5,0	2,7	20	17	15	18	15
Päijät-Häme	0,36	55,8	22,7	2,3	1,3	11	10	8	8	6
Kymenlaakso	0,33	50,6	17,9	2,0	1,0	15	15	13	13	12
Etelä-Karjala	0,40	57,6	23,0	2,2	1,4	17	17	16	19	18
Etelä-Savo	1,16	173,0	70,6	6,8	4,0	18	17	14	14	13
Pohjois-Savo	1,28	181,7	61,2	6,8	3,4	23	20	16	19	14
Pohjois-Karjala	1,42	183,5	62,2	6,6	3,4	29	27	22	24	19
Keski-Suomi	1,33	185,1	64,6	6,8	3,6	22	20	16	18	14
Etelä-Pohjanmaa	0,90	107,3	36,3	3,9	1,9	38	37	33	39	32
Pohjanmaa	0,50	66,6	18,1	2,3	1,0	25	24	22	23	19
Keski-Pohjanmaa	0,33	35,9	8,4	1,2	0,4	40	37	27	24	16
Pohjois-Pohjanmaa	2,36	237,9	47,8	7,5	2,6	41	42	32	36	27
Kainuu	1,51	145,5	28,9	4,3	1,5	34	34	25	31	23
Lappi	3,76	271,7	48,5	6,0	2,0	19	20	10	14	10
Ahvenanmaa	0,06	9,6	2,0	0,3	0,1	8	8	3	4	2
Etelä-Suomi	10,81	1 534,7	545,2	56,7	29,6	23	21	18	20	17
Pohjois-Suomi	7,63	655,2	125,2	17,9	6,1	29	31	22	27	20
Suomi	18,44	2 189,8	670,4	74,6	35,7	25	24	19	22	17

Turvemaiden osuus puuston tilavuudesta ja SY-laskelman mukaisesta hakkuukertymästä kaudella 2016–2025 oli keskimäärin jonkin verran pienempi kuin turvemaiden pinta-alaosuus. Koko maan tasolla puuntuotannon metsämaan turvemaalla oli 24 % puuston runkotilavuudesta, 22 % ainespuukertymästä ja 17 % tukkikertymästä (Taulukko 14). Pohjois-Suomessa turvemaiden osuus ainespuukertymästä oli 27 % ja Etelä-Suomessa 20 %. Turvemaiden osuus hakkuumahdollisuuksista oli erityisen merkittävä Etelä-Pohjanmaalla, jossa 39 % SY-laskelman ainespuukertymästä korjattiin turvemailta. Pohjois-Pohjanmaalla osuus oli 36 % sekä

Kainuussa ja Satakunnassa 31 %. Satakunnassa turvemaiden osuus puuston tilavuudesta oli yhtä suuri kuin turvemaiden pinta-alaosuus ja vastaavasti osuus ainespuukertymästä oli hie-
man suurempi kuin pinta-alaosuus.

VMI12-maastotöiden yhteydessä on kirjattu tehtyjä hakkuita inventointia edeltävältä 10-vuo-
tiskaudelta ja metsänhoidollisia toimenpide-ehdotuksia inventointia seuraavalle 10-vuotis-
kaudelle. Kirjattuja hakkuuehdotuksia oli selvästi enemmän kuin tehtyjä hakkuita. Etelä-Suo-
men puuntuotannon metsämaan turvemaalla oli tehty kasvatushakkuita 18 %:lla alasta ja
metsänhoidollisia kasvatushakkuehdotuksia oli 35 %:lla alasta (Korhonen ym. 2021). Vastaa-
vasti Pohjois-Suomessa kasvatushakkuita oli tehty 14 %:lla alasta ja kasvatushakkuehdotuk-
sia oli 36 %:lla alasta. SY-laskelman mukainen vastaava kasvatushakkualan summa oli kym-
menvuotiskaudella 2016–2025 13 % ja koko 30 vuoden tarkastelujaksolla keskimäärin 18 %
puuntuotannon metsämaan turvemaan alasta sekä Etelä- että Pohjois-Suomessa (Taulukko 15).

Taulukko 15. Puuntuotannon metsämaan ala, VMI12:ssa kirjattujen tehtyjen kasvatus- ja uu-
distushakkuiden pinta-alat inventointia edeltävältä 10-vuotiskaudelta ja metsänhoidollisten
hakkuuehdotusten pinta-alat inventointia seuraavalle 10-vuotiskaudelle (Korhonen ym. 2021)
sekä SY-laskelman mukaiset kasvatus- ja uudistushakkuupinta-alojen summat kymmenvuotis-
kaudelle 2016–2025 ja keskimäärin tarkastelujaksolle 2016–2045 puuntuotannon metsämaalla.
Prosenttiosuus on ositteen hakkuualan osuus ositteen puuntuotannon metsämaan alasta.
Ka=kangasmaa, Tu=turvemaa.

Alue		Etelä-Suomi			Pohjois-Suomi			Suomi		
Alaryhmä		Ka	Tu	Yht	Ka	Tu	Yht	Ka	Tu	Yht
VMI12										
Ala ¹⁾ Kasvatushakkuu ²⁾	ala	8 311	2 503	10 813	5 447	2 184	7 631	13 758	4 687	18 444
	ala	2 059	460	2 519	933	303	1 235	2 991	763	3 754
	%	25	18	23	17	14	16	22	16	20
Kasvatushakkuehdotus ³⁾	ala	3 007	868	3 875	1 604	790	2 394	4 610	1 658	6 268
	%	36	35	36	29	36	31	34	35	34
Uudistushakkuu ²⁾	ala	741	155	896	375	58	433	1 116	213	1 329
	%	9	6	8	7	3	6	8	5	7
Uudistushakkuehdotus ³⁾	ala	1 503	493	1 995	967	320	1 286	2 469	812	3 282
	%	18	20	18	18	15	17	18	17	18
SY-laskelma										
Kasvatushakkuu 2016–2025 ⁴⁾	ala	1 470	317	1 787	700	278	980	2 170	595	2 766
	%	18	13	17	13	13	13	16	13	15
Kasvatushakkuu 2016–2045 ⁵⁾	ala	1 816	458	2 274	933	393	1 327	2 749	850	3 600
	%	22	18	21	17	18	17	20	18	20
Uudistushakkuu 2016–2025 ⁴⁾	ala	1 294	485	1 778	656	221	877	1 950	705	2 655
	%	16	19	16	12	10	11	14	15	14
Uudistushakkuu 2016–2045 ⁵⁾	ala	1 254	443	1 696	622	234	855	1 875	676	2 551
	%	15	18	16	11	11	11	14	14	14

¹⁾ Puuntuotannon metsämaan ala, 1 000 ha

²⁾ Tehtyjen hakkuiden ala 10-vuotijaksolla ennen inventointia, 1 000 ha/10 v

³⁾ Metsänhoidollisten hakkuuehdotusten ala 10-vuotijaksolla inventoinnin jälkeen, 1 000 ha/10 v

⁴⁾ SY-laskelman hakkuuala kymmenvuotiskaudella 2016–2025, 1 000 ha/10 v

⁵⁾ SY-laskelman hakkuuala keskimäärin tarkastelujaksolla 2016–2045, 1 000 ha/10 v

Tehtyjä uudistushakkuita oli VMI12:ssa kirjattu Etelä-Suomen puuntuotannon metsämaan turvemaalla 6 %:lla alasta ja uudistushakkuuehdotuksia 20 %:lla alasta. SY-laskelman mukainen uudistusalan summa kaudella 2016–2025 oli 19 % ja 30 vuoden tarkastelujaksolla keskimäärin 18 % alasta. Pohjois-Suomessa vastaavat osuudet olivat tehtyjä uudistushakkuita 3 %:lla ja uudistushakkuuehdotuksia 15 %:lla alasta sekä SY-laskelmassa uudistusala kaudella 2016–2025 10 % ja 30 vuoden tarkastelujaksolla keskimäärin 11 % alasta (Taulukko 15).

SY-laskelman kauden 2016–2025 mukainen kasvatushakkuuala puuntuotannon metsämaan turvemaalla oli Etelä-Suomessa 69 % inventointia edeltävältä 10-vuotisjaksolta kirjatusta kasvatushakkuualasta ja 37 % metsänhoidollisista kasvatushakkuuehdotuksista inventointia seuraavalle kymmenvuotisjaksolle. Pohjois-Suomessa vastaavat luvut ovat 92 % ja 35 %. Uudistushakkuuiden osalta SY-laskelman hakkuuala oli Etelä-Suomessa lähellä (98 %) uudistushakkuuehdotusten alaa ja Pohjois-Suomessa kaksi kolmasosaa uudistushakkuuehdotusten alasta. Ennen inventointia tehtyihin uudistushakkuuihin verrattuna SY-laskelman uudistusalat olivat yli kolminkertaiset (Taulukko 15).

5. Keskeisten laskentaoletusten vaikutus

5.1. Laskentakorkokanta

Tämän raportin SY- ja TH-laskelmissa sovellettiin 4 %:n ja NT-laskelmassa 5 %:n laskentakorkoa nettotulojen nykyarvon laskennassa. Koron vaikutusta tuloksiin tarkasteltiin laskemalla kaikki kolme laskelmaa viidellä eri laskentakorolla (1–5 %). Laskentakorko ei vaikuttanut käsitelyvaihtoehtojen muodostamiseen, sillä simuloinnin tuottamat vaihtoehdot olivat kaikissa kolmessa hakkuulaskelmassa ja kaikilla korkokannoilla samat. Laskentakoron vaikutus ilmeni optimoinnissa nettotulojen nykyarvoa maksimoivan tavoitefunktion kautta simuloitujen käsitelyvaihtoehtojen ajallisena arvostuksena. Tuloksia arvioitaessa on huomattava, että metsiä tarkasteltiin maakunnittain ottamatta huomioon yksittäisten metsänomistajien tavoitteita ja hakkuumahdollisuuksia.

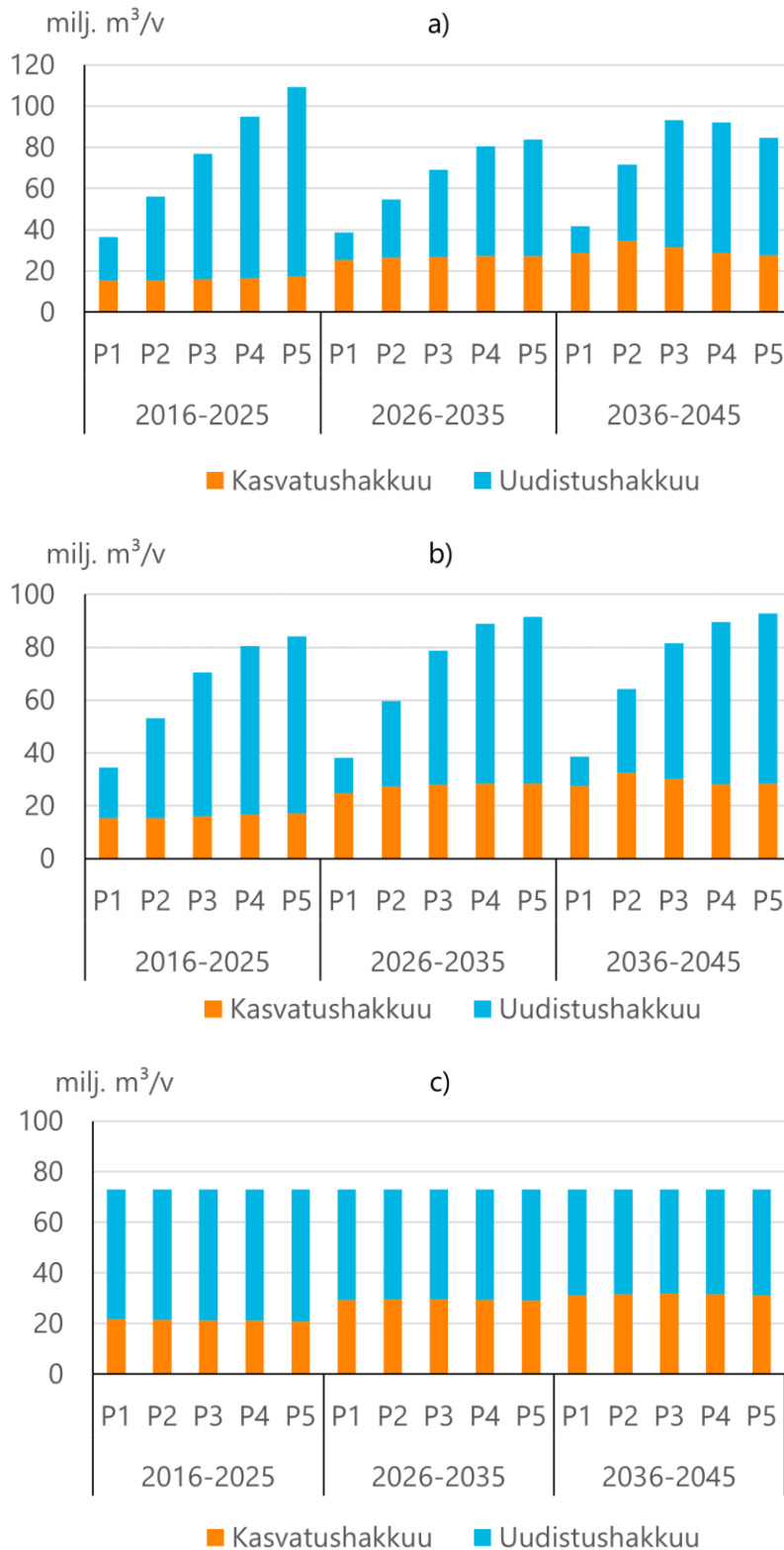
Korkokanta vaikutti selvästi SY- ja NT-arvioihin, joiden hakkuukertymät määräytyivät optimoinnin tuloksena. Laskentakoron nosto 1 %:sta 5 %:iin kasvatti ensimmäisen kymmenvuotiskauden runkopuun hakkuukertymän SY-laskelmassa 2,4- ja NT-laskelmassa 3,0-kertaiseksi ja koko 30 vuoden tarkastelujaksolla (2016–2045) molemmissa laskelmissa keskimäärin 2,4-kertaiseksi (Kuva 12). Laskentakoron noston vaikutus pieneni molemmissa laskelmissa koron nousun myötä, sillä esimerkiksi SY-laskelmassa runkopuun hakkuukertymien ero koko 30 vuoden tarkastelujaksolla oli 1 %:n ja 2 %:n laskentakoroilla keskimäärin 22 milj. m³/v, 2 %:n ja 3 %:n laskentakoroilla vajaa 18 milj. m³/v, 3 %:n ja 4 %:n laskentakoroilla runsas 9 milj. m³/v sekä 4 %:n ja 5 %:n laskentakoroilla runsas 3 milj. m³/v. Korkeimmilla koroilla vaikutusta vaimensivat myös sovelletut metsänhoidon suositukset ja optimoinnissa sovelletut rajoitteet.

Koron nosto kasvatti NT- ja SY-laskelmissa erityisesti uudistushakkuiden kertymää, sillä diskonttauksen seurauksena korkeat korot painottivat lähiajan tuloja, jolloin uudistuskypsän puuston edelleen kasvatuksen vaihtoehtokustannus, uudistamisvaihtoehdon edullisuus, kasvoi korkokannan noston myötä. Ensimmäisellä kymmenvuotiskaudella uudistushakkuukertymä oli 5 %:n laskentakorolla NT-laskelmassa yli 4-kertainen ja SY-laskelmassa 3,5-kertainen verrattuna 1 %:n korolla laskettuun arvioon (Kuva 12). Laskentakoron noston vaikutus kasvatushakkuiden hakkuukertymään jäi selvästi vähäisemmäksi. Laskentakoron vaikutukset olivat Etelä- ja Pohjois-Suomessa samansuuntaiset. NT-laskelmassa korkeat laskentakorot kasvattivat Etelä-Suomessa uudistushakkuiden suhteellista osuutta hieman enemmän kuin Pohjois-Suomessa. SY-laskelmassa, jossa kestävyysrajoitteet jaksottivat Etelä-Suomen uudistushakkuuita useammalle kaudelle, laskentakoron nostolla ei vastaavaa eroa syntynyt.

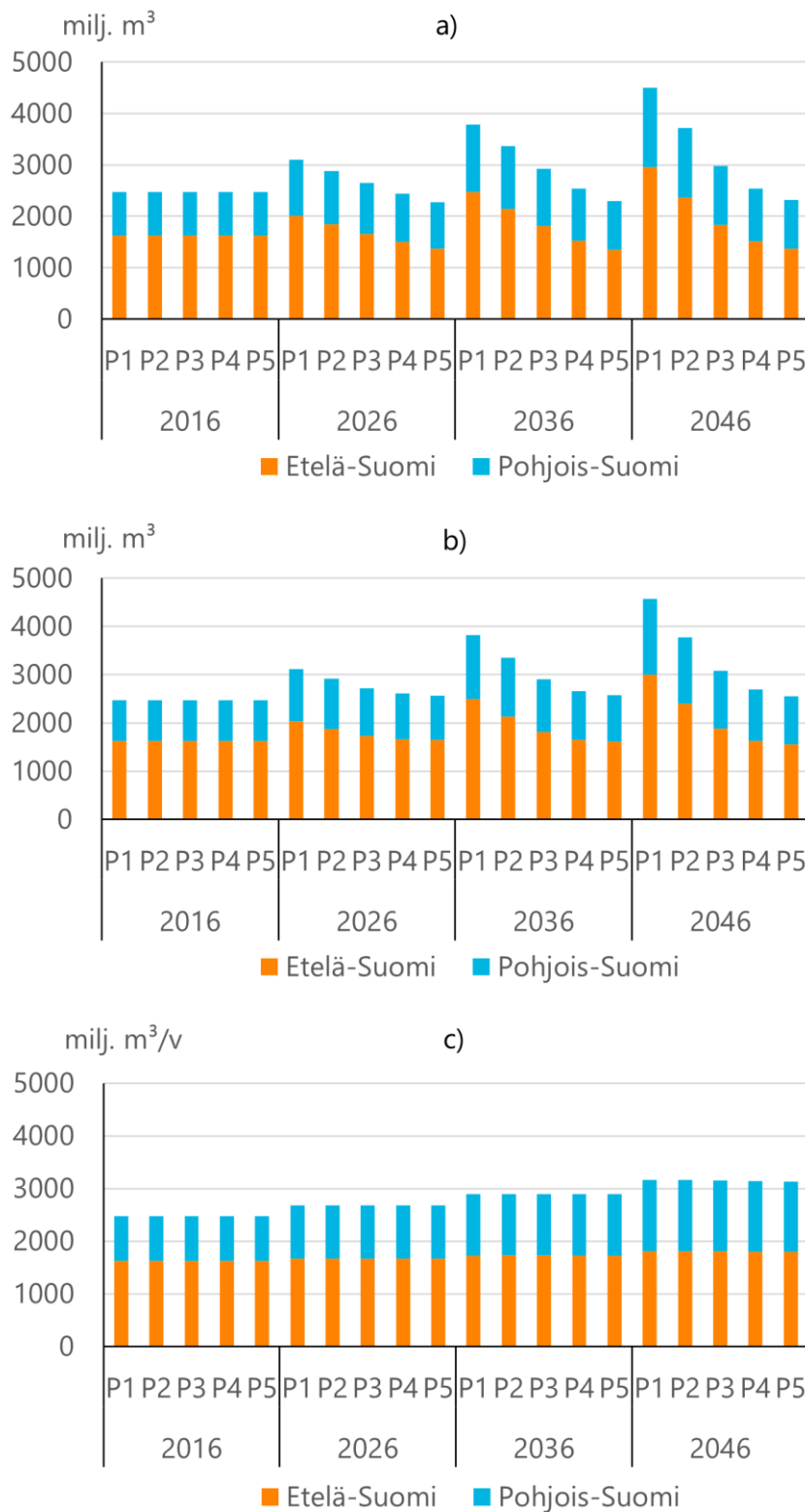
TH-laskelmassa, jossa hakkuukertymät noudattivat vuosina 2016–2018 keskimäärin toteutuneita kertymiä puutavaralajeittain ilman hakkuupinta-aloille asetettuja vastaavia rajoitteita, laskentakoron noston vaikutus kohdistui lähinnä puustoisempien hakkuukohteiden valintaan. Tämän seurauksena hehtaariohtaiset kertymät olivat suurempia ja hakkuualat vastaavasti pienempiä kuin matalilla koroilla.

Korkokannan nousun myötä kasvava hakkuukertymä NT- ja SY-laskelmissa vaikutti alentavasti puuston kasvuun ja runkotilavuuteen laskelman aikana. NT-laskelmassa puuston tilavuus 30 vuoden tarkastelujakson lopussa oli 1 %:n laskentakorolla 1,9-kertainen ja SY-laskelmassa 1,8-kertainen 5 %:n laskentakorolla tehtyyn arvioon verrattuna (Kuva 13). TH-laskelmassa

laskentakorko ei sovellettujen puutavaralajikohtaisten kertymärajoitteiden seurauksena vaikuttanut merkittävästi tarkastelujakson aikana kasvuun ja tilavuuden kehitykseen.



Kuva 12. Hakkuukertymä hakkuutavoittain laskentakoroilla 1–5 % (P1–P5) keskimäärin vuosina 2016–2045, milj. m³/v. a) Suurin nettotulo (NT) -laskelma, b) Suurin ylläpidettävissä oleva hakkuukertymä (SY) -laskelma ja c) Toteutunut hakkuukertymä keskimäärin vuosina 2016–2018 (TH) -laskelma.

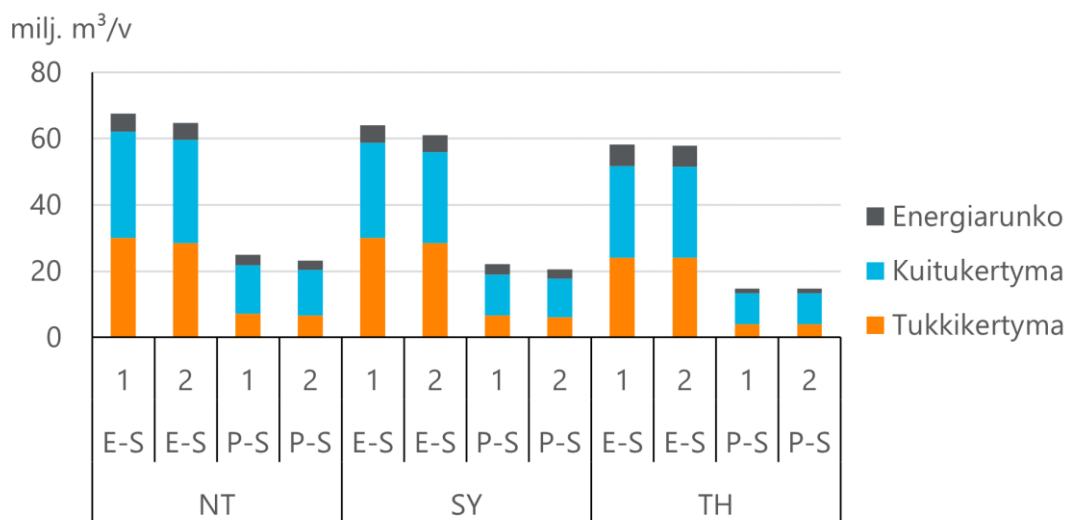


Kuva 13. Puuston runkotilavuus Etelä- ja Pohjois-Suomessa laskentakoroilla 1–5 % (P1–P5) vuosina 2016–2046, milj. m³. a) Suurin nettotulo (NT) -laskelma, b) Suurin ylläpidettävissä oleva hakkuukertymä (SY) -laskelma ja c) Toteutunut hakkuukertymä keskimäärin vuosina 2016–2018 (TH) -laskelma.

5.2. Kasvuntaso

NT-, SY- ja TH-laskelmien hakkuumahdollisuusarvioissa MELA2016-ohjelmiston kasvumallit on kalibroitu VMI11-aineiston läpimitan kasvutietoja hyödyntäen vuosien 1984–2013 keskita-soon ja näin saatua kasvun arviota on lisäksi korjattu kalibrointijakson keskivuoden 1999 ja vuoden 2017 välisellä ilman keskilämpötilan ja hiilidioksidipitoisuuden muutoksilla soveltaen Matalan ym. (2005) siirtomuuttujia (ks. tarkemmin luku 2.3.1). Näin tehdystä kasvunlaskennasta käytetään tässä termiä "ilmastokorjattu kasvu" ja pelkästään VMI11-aineiston perusteella kalibroidusta kasvunlaskennasta termiä "VMI11 kalibroitu kasvu".

Nykypuuston lisäksi kasvuntasolla on huomattava vaikutus hakkuumahdollisuuksiin ja niiden kehitykseen. Simuloitaessa vain luonnonprosesseja ilman metsätaloustoimia VMI11 kalibroitu puuston kasvu koko Suomen tasolla oli vajaa 9 % pienempi kuin ilmastokorjattu kasvu (Taulukko 4). Tällä kasvun erolla oli selkeä vaikutus NT- ja SY-laskelmien tuloksena määräytyviin hakkuukertymääräviioihin. Runkopuun hakkuukertymä oli 30 vuoden tarkastelujaksolla (2016–2045) Etelä-Suomessa pelkästään VMI11 kalibroituun kasvuun perustuvassa NT-laskelmassa keskimäärin runsas 4 % (2,8 milj. m³/v) ja SY-laskelmassa vajaa 5 % (3,1 milj. m³/v) alemmalla tasolla kuin ilmastokorjattuun kasvuun perustuvissa vastaavissa laskelmissa (Kuva 14). Pohjois-Suomessa pelkästään VMI11 kalibroituun kasvuun perustuvissa NT- ja SY-laskelmissa hakkuukertymä oli keskimäärin 7 % (NT 1,8 ja SY 1,6 milj. m³/v) alempi kuin ilmastokorjattuun kasvuun perustuvissa laskelmissa. Hakkuukertymä laski kasvatushakkuissa hieman enemmän kuin uudistushakkuissa, sillä etenkin 1. ja 2. kymmenvuotiskaudella (2016–2025 ja 2026–2035) uudistushakkuukertymään vaikutti nykypuuston uudistuskypsyys enemmän kuin puuston kasvuarvio.



Kuva 14. Runkopuun hakkuukertymä keskimäärin tarkastelujaksolla 2016–2045 Etelä- (E-S) ja Pohjois-Suomessa (P-S), milj. m³/v. 1 = ilmastokorjattu kasvu, 2 = VMI11 kalibroitu kasvu.

Runkopuun pienemmästä kokonaispoistumasta huolimatta VMI11 kalibroidun kasvun taso oli Etelä-Suomessa 30 vuoden tarkastelujaksolla NT- ja SY-laskelmissa 92–93 % ja Pohjois-Suomessa 90 % ilmastokorjatun kasvun tasosta (taulukko 16). TH-laskelmassa, jossa hakkuukertymät olivat samaa suuruusluokkaa noudattaen vuosien 2016–2018 tilastoituja keskimääräisiä kertymiä, ilmastokorjattuun kasvuun perustuvassa laskelmassa puuston kasvu oli 30 vuoden

tarkastelujaksolla keskimäärin 107,1 milj. m³/v (Etelä-Suomi 71,6 ja Pohjois-Suomi 35,5 milj. m³/v) ja pelkästään VMI11 kalibroituun kasvuun perustuvassa laskelmassa 97,5 milj. m³/v (Etelä-Suomi 65,8 ja Pohjois-Suomi 31,7 milj. m³/v).

Taulukko 16. Kasvu ja kokonaispoistuma keskimäärin tarkastelujaksolla 2016–2045 ilmasto-korjattuun ja VMI11 kalibroituun kasvuun perustuvissa laskelmissa, milj. m³/v. a) Suurin nettotulo (NT) -laskelma, b) Suurin ylläpidettävissä oleva hakkuukertymä (SY) -laskelma ja c) Toteutunut hakkuukertymä keskimäärin vuosina 2016–2018 (TH) -laskelma.

a) NT-laskelma

	Kasvu, milj. m ³ /v			Kokonaispoistuma, milj. m ³ /v		
	Ilmasto-korjattu (A)	VMI11 kalibroitu (B)	B/A	Ilmasto-korjattu (A)	VMI11 kalibroitu (B)	B/A
Mänty	44,5	40,6	0,91	49,1	46,4	0,95
Etelä-Suomi	23,5	21,6	0,92	30,3	29,0	0,96
Pohjois-Suomi	21,0	18,9	0,90	18,8	17,4	0,92
Kuusi	33,7	30,3	0,90	32,3	30,7	0,95
Etelä-Suomi	28,2	25,4	0,90	27,4	26,2	0,95
Pohjois-Suomi	5,5	5,0	0,90	4,8	4,6	0,95
Lehtipuu	20,1	19,1	0,95	22,1	21,2	0,96
Etelä-Suomi	14,6	14,2	0,97	16,9	16,3	0,96
Pohjois-Suomi	5,5	4,9	0,89	5,2	4,9	0,94
Yhteensä	98,4	90,0	0,91	103,5	98,4	0,95
Etelä-Suomi	66,3	61,2	0,92	74,6	71,5	0,96
Pohjois-Suomi	32,1	28,8	0,90	28,9	26,9	0,93

b) SY-laskelma

	Kasvu, milj. m ³ /v			Kokonaispoistuma, milj. m ³ /v		
	Ilmasto-korjattu (A)	VMI11 kalibroitu (B)	B/A	Ilmasto-korjattu (A)	VMI11 kalibroitu (B)	B/A
Mänty	47,4	43,5	0,92	45,5	42,9	0,94
Etelä-Suomi	25,4	23,7	0,93	28,6	27,2	0,95
Pohjois-Suomi	22,0	19,8	0,90	17,0	15,6	0,92
Kuusi	37,0	33,8	0,91	30,9	29,3	0,95
Etelä-Suomi	31,2	28,5	0,91	26,5	25,1	0,95
Pohjois-Suomi	5,8	5,3	0,91	4,4	4,1	0,95
Lehtipuu	20,3	19,3	0,95	21,1	20,2	0,95
Etelä-Suomi	14,7	14,4	0,97	16,3	15,6	0,96
Pohjois-Suomi	5,6	5,0	0,89	4,8	4,5	0,93
Yhteensä	104,8	96,6	0,92	97,5	92,3	0,95
Etelä-Suomi	71,4	66,6	0,93	71,4	68,0	0,95
Pohjois-Suomi	33,4	30,1	0,90	26,2	24,3	0,93

c) TH-laskelma

	Kasvu, milj. m ³ /v			Kokonaispoistuma, milj. m ³ /v		
	Ilmasto- korjattu (A)	VMI11 kalibroitu (B)	B/A	Ilmasto- korjattu (A)	VMI11 kalibroitu (B)	B/A
Mänty	49,4	44,9	0,91	35,6	35,2	0,99
Etelä-Suomi	26,1	24,1	0,92	23,7	23,5	0,99
Pohjois-Suomi	23,3	20,8	0,89	11,9	11,7	0,99
Kuusi	36,4	32,6	0,89	29,3	29,1	0,99
Etelä-Suomi	30,0	26,8	0,89	26,4	26,1	0,99
Pohjois-Suomi	6,4	5,8	0,90	2,9	2,9	1,00
Lehtipuu	21,3	20,0	0,94	19,9	19,5	0,98
Etelä-Suomi	15,5	14,9	0,96	15,6	15,3	0,98
Pohjois-Suomi	5,7	5,1	0,88	4,3	4,1	0,97
Yhteensä	107,1	97,5	0,91	84,8	83,8	0,99
Etelä-Suomi	71,6	65,8	0,92	65,7	65,0	0,99
Pohjois-Suomi	35,5	31,7	0,89	19,1	18,8	0,98

5.3. Ainespuuhakkuiden hukkapuu

Ainespuuhakkuissa, joissa ei samalla korjattu energiapuuta, metsään jäävän hukkapuun määrä kalibroitiin vastaamaan hakkuutavoittain (kasvatus- ja uudistushakkuu) ja puulajeittain (mänty, kuusi ja lehtipuut) vähintään VMI12:ssa Etelä- ja Pohjois-Suomessa mitattuja keskimääräisiä suhteellisia osuuksia hakkuupoistumasta (ks. luku 2.3.3). Ainespuuhakkuissa, joihin liittyi myös energiapuun korjuu tai pelkässä energiapuun korjuussa, hukkapuun kalibrointi VMI12:n perusteella ei ollut käytössä. Hukkapuun kalibroinnin keskimääräisiä vaikutuksia vuosina 2016–2045 tarkastellaan seuraavassa kasvun, kokonaispoistuman ja hakkuupoistuman osalta. Yksityiskohtaisempia tuloksia maakunnittain on esitetty SY-laskelman osalta MELA Tulospalvelussa (Luke 2022b).

NT- ja SY-laskelmissa, joissa hakkuukertymä määräytyi laskennan tuloksena, vuosittainen runkokuun hakkuukertymä oli ilman hukkapuun kalibrointia 30 vuoden tarkastelujaksolla koko Suomessa keskimäärin noin 2 milj. m³/v suurempi kuin hukkapuun kalibroinnin sisältävissä laskelmissa (Liite 1 Taulukko L1 ja L2). Hakkuukertymän lisäys ilman hukkapuun kalibrointia oli sekä männyn että kuusen osalta noin 0,6 milj. m³/v ja lehtipuiden osalta 0,8 milj. m³/v. Ilman hukkapuun kalibrointia laaditut arviot mahdollistivat ainespuun minimimitat täyttävän runkokuun tarkemman talteenoton, ja siten ainespuukokoinen hukkapuu väheni noin 1,5 milj. m³/v. Hukkapuun kalibrointi vaikutti myös käsittely- ja kehitysvaihtoehtojen keskinäiseen edullisuuteen, sillä ilman hukkapuun kalibrointia energiakäyttöön ohjautunut runkokuukertymä oli molemmissa laskelmissa noin 1,8 milj. m³/v pienempi ja kuitukertymä lähes 3,5 milj. m³/v suurempi kuin hukkapuun kalibroinnin sisältävissä arvioissa.

Hukkapuun kalibrointi vähintään VMI12:n tasolle vähensi runkokuun hakkuukertymää, mutta toisaalta lisäsi metsään jäävän kaadetun puun määrää ilman kalibrointia tehtyihin arvioihin verrattuna, joten hukkapuun kalibroinnin seurauksena runkokuun vuosittainen hakkuupoistuma pieneni 30 vuoden tarkastelujaksolla keskimäärin NT-laskelmassa vain 0,5 milj. m³/v ja SY-laskelmassa vain 0,6 milj. m³/v. Hukkapuun kalibroinnin laskennalliset vaikutukset puuston kasvuun ja tilavuuden kehitykseen jäivät siten NT- ja SY-laskelmissa varsin pieniksi. Ilman

hukkapuun kalibroitua runkopuun tilavuus oli tarkastelujakson lopussa vuonna 2046 NT-laskelmassa 0,4 % ja SY-laskelmassa 0,6 % pienempi kuin hukkapuun kalibroinnin sisältävissä arvioissa.

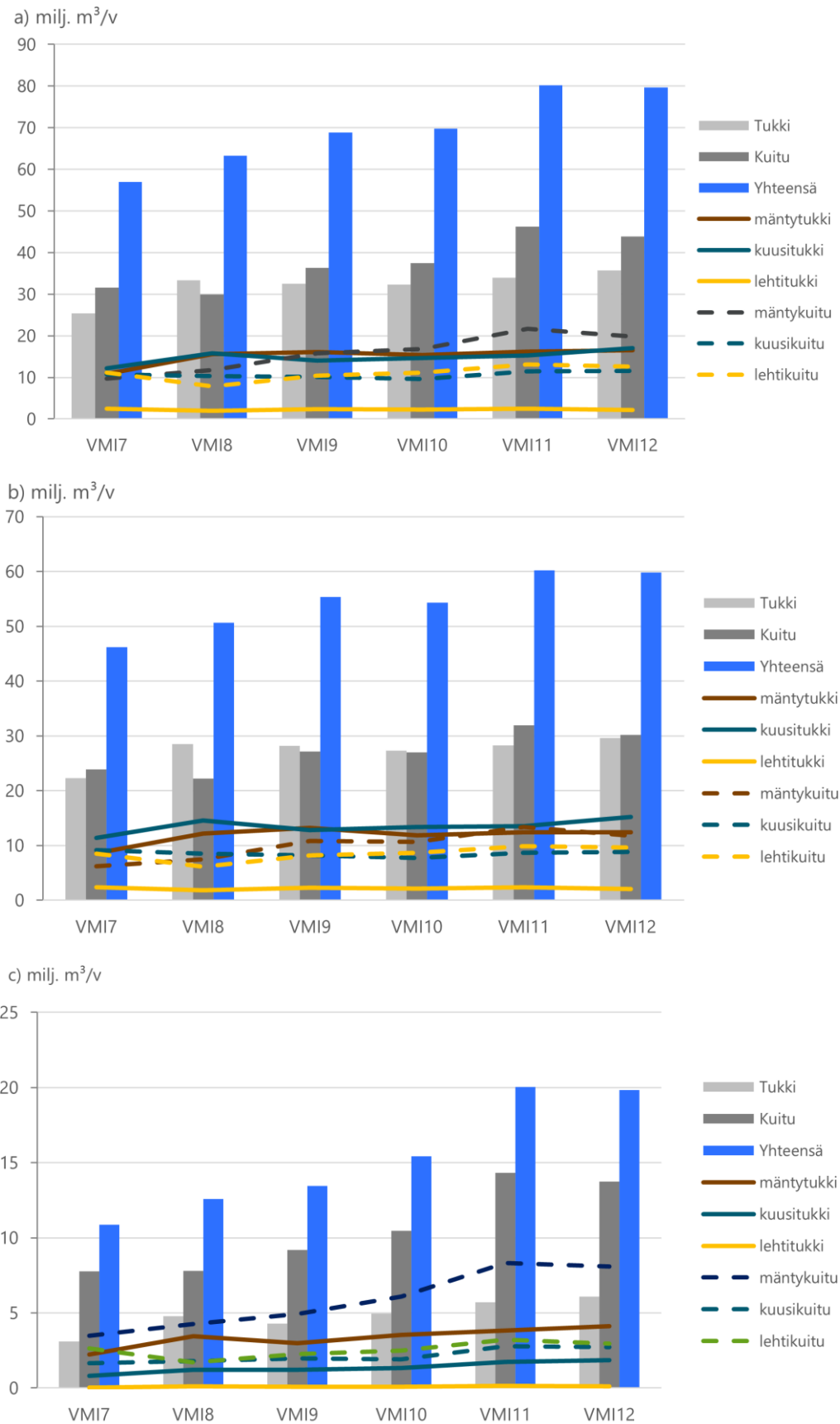
TH-laskelmassa, jossa hakkuukertymät noudattivat optimoinnin rajoitteiden salliman vaihtelun rajoissa maakunnittain vuosina 2016–2018 toteutuneita puutavaralajikohtaisia kertymiä, runkopuun vuosittainen hakkuupoistuma oli 30 vuoden tarkastelujaksolla ilman hukkapuun kalibroitua keskimäärin 1,7 milj. m³/v pienempi kuin hukkapuun kalibroinnin sisältävässä arvioissa (Liite 1 Taulukko L3). Ilman hukkapuun kalibroitua laadittu arvio mahdollisesti runkopuun tarkemman talteenoton pienentäen kokonaispoistumaa keskimäärin noin 1,6 milj. m³/v, jonka seurauksena kasvu oli tarkastelujaksolla 2016–2045 keskimäärin 0,9 milj. m³/v suurempi ja puuston tilavuus vuonna 2046 74 milj. m³ (runsas 2 %) suurempi kuin hukkapuun kalibroinnin sisältävässä TH-arviossa.

SY-laskelman osalta tarkasteltiin myös hukkapuun kalibroinnin vaikutusta puuston ja maaperän kasvihuonekaasutaseeseen ottamatta huomioon puutuotteisiin sitoutuvaa hiiltä. Hukkapuun kalibroinnin sisältävässä arviossa kasvava puusto ja maaperä sitoivat hiiltä 30 vuoden tarkastelujakson aikana yhteensä keskimäärin noin 1,1 milj. t CO₂ ekv./v enemmän kuin ilman kalibroitua tehdyssä laskelmassa. Hukkapuun kalibroitua lisäsi puustoon sitoutuneen hiilen määrää runkopuun pienemmän hakkuupoistuman ja maaperän hiilivarantoa lisääntyneen hakkuutähteen seurauksena.

6. Hakkuumahdollisuusarvioiden kehitys VMI7-VMI12

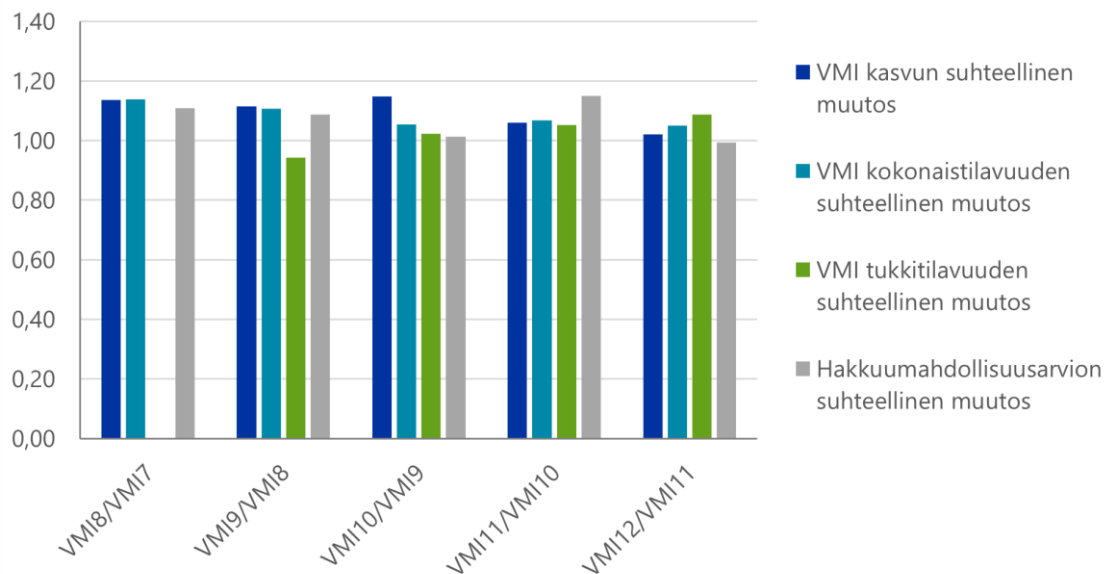
VMI12:ssa mitattu puuston runkotilavuus oli 2 475 milj. m³ ja kasvu 107,8 milj. m³/v (Korhonen ym. 2021). Puuston kasvu ja tilavuus ovat lisääntyneet erityisen voimakkaasti 1970-luvulta lähtien. Vuosina 1977–1984 mitattuun 7. inventointiin verrattuna kasvu on 1,6-kertaistunut (107,8 vs. 68,4 milj. m³/v) ja tilavuus 1,5-kertaistunut (2 475 vs. 1 660 milj. m³). Henttosen ym. (2017) ojittamattomien kangasmaiden puuston kasvuun perustuvan tutkimuksen mukaan muutokset puuston tilavuudessa, metsien rakenteessa ja metsien käsittelyssä selittivät 63 % ja muutokset ympäristökijöissä (ilmaston lämpeneminen ym.) 37 % kasvun lisäyksestä 1970-luvulta 2010-luvulle. Puuston tilavuuden lisäyksen ja puuston järeytymisen seurauksena arviot puuntuotannollisesti ja taloudellisesti kestävästi hakattavissa olevasta ainespuukokoisen runkopuun hakkuukertymästä ovat kasvaneet (Kuva 15). Inventointia seuraavan kymmenvuotiskauden hakkuumahdollisuusarvio on noussut koko maan osalta VMI12-aineistoon perustuen 1,4-kertaiseksi VMI7-arvioon nähden, ja muutos on ollut Pohjois-Suomessa suhteellisesti suurempi kuin Etelä-Suomessa. Hakkuumahdollisuuksien kasvu kohdistui aluksi tukkiin (VMI8) ja sitä seuranneissa inventoinneissa (VMI9–VMI12) kuitupuuhun, etenkin mäntykuituun Pohjois-Suomessa.

Puustossa tapahtuneiden muutosten (Kuva 16) lisäksi hakkuumahdollisuusarvioihin ovat vaikuttaneet myös niiden laskennassa ja metsänhoidon suosituksissa tapahtuneet muutokset. Esimerkiksi VMI8-aineistoon perustuvan hakkuumahdollisuusarvion nousua selittänee myös siirtyminen tavoitepuustoihin (Kuusela 1959, Kuusela ja Nyyssönen 1962) perustuvasta arviosta (Kuusela & Salminen 1991) MELA-ohjelmiston avulla laskettuihin arvioihin. MELA-laskennassa puuston kuvaus oli yksityiskohtaisempaa, ja puuston käsittelyvaihtoehtojen automaattinen simulointi ja vaihtoehtojen mukainen puukohtaisiin malleihin (ks. luku 2) perustuva puuston kehitys tuottivat kasvavan arvion etenkin tukille, vaikka arvio perustui vuoden 1989 metsänhoitosuosituksiin (Metsänhoitosuositukset 1989), jotka olivat uudistamiskriteerien suhteen VMI7-arviossa sovellettuja (Yksityismetsien käsittelyohjeet 1981) tiukemmat. VMI11-arviossa puolestaan MELA-ohjelmiston VMI8-aineistoon perustuva kasvun kalibrointi korvattiin VMI11-aineistoon perustuvalla kalibroinnilla (ks. luku 2), joka nosti MELA-ohjelmiston tuottamaa kasvunarviota mahdollistaen näin myös ainespuukokoisen runkopuun hakkuumahdollisuuksien lisäyksen, vaikka puustossa vastaavaa muutosta ei ollut tapahtunut (vrt. Kuva 16). Lisäksi VMI11-aineistoon perustuviin laskelmiin liittyviä muutoksia oli energiapuun korjuun sisällyttäminen metsänkäsittelyvaihtoehtoihin.



Kuva 15. Puuntuotannollisesti ja taloudellisesti kestävästi hakattavissa olevan ainespuukokois-
sen runkopuun hakkuukertymäarvion kehitys VMI7–VMI12 –aineistoihin perustuen a) koko
Suomessa, b) Etelä-Suomessa ja c) Pohjois-Suomessa (Luke 2022b).

Hakkuumahdollisuusarviot ovat perustuneet kulloinkin vallinneisiin metsänhoidon suosituksiin, joten niiden – lähinnä uudistamiskriteereissä (keskiläpimitta ja keski-ikä) ja harvennushakkuiden leimausrajoissa ja jäävän puuston määrissä – tapahtuneet muutokset ovat vaikuttaneet tuloksiin. Myös suojelupinta-alan lisääntymisellä, monimuotoisuutta lisäävillä toimilla, kuten säästöpuiden valinnalla uudistushakkuissa (VMI9-arviosta alkaen), ja alhaisesta puuntuotoskyvystä johtuen kaikkien kitumaiden jättämisellä metsätaloustoimien ulkopuolelle (VMI10-arviosta alkaen), on ollut vaikutuksensa. Puustossa tapahtuneiden muutosten vuoksi metsänhoidon suositusten muutokset eivät kuitenkaan ole peräkkäisiä inventointeja tarkasteltaessa välttämättä selvästi havaittavia. Esimerkiksi VMI10-arvion yhteydessä sovelletut vuoden 2006 metsänhoidon suositukset (Hyvän metsänhoidon ... 2006), jotka laskivat männyn (kuusella ja lehtipuilla ei vastaavan tasoista muutosta ollut) uudistamisläpimitan alarajaa alueesta ja kasvupaikasta riippuen 2–5 cm ja uudistamisikää noin 10 vuodella verrattuna VMI9-arviossa sovellettuihin vuoden 2001 suosituksiin (Hyvän metsänhoidon ... 2001), eivät nostaneet Etelä-Suomessa arvioita tukiin hakkuumahdollisuuksista. VMI10-aineistoon perustuva suurimman kestävä hakuukertymän arvio oli kuitenkin 10 % pienempi noudatettaessa vuoden 2001 metsänhoidon suosituksia kuin noudatettaessa vuoden 2006 suosituksia, jotka uudistamisvaihtoehtojen aientamisen lisäksi mahdollistivat suuremman harvennuskertymän (Nuutinen ym. 2007).



Kuva 16. Puuston kasvun, kokonaistilavuuden, tukkitilavuuden sekä puuntuotannollisesti ja taloudellisesti kestävästi hakattavissa olevan ainespuukokoisen runkopuun hakuukertymäärävion suhteelliset muutokset peräkkäisten inventointien välillä VMI7–VMI12(Luke 2022b, 2022d).

7. Tulosten tarkastelu

Esitetyt Suomen metsien hakkuumahdollisuuksia kuvaavat NT- SY- ja TH-arviot perustuivat nettotulojen nykyarvon maksimointiin, ja laskelmissa sovelletut 4 ja 5 % laskentakorot johtivat taloudellisesti tehokkaaseen ja samalla myös metsänhoidon suositusten antamisessa rajoissa viime vuosia voimakkaampaan metsien käsittelyyn. Hehtaariohtaiset hakkuukertymät olivat suuria, sillä ainespuun tienvarsihintoihin ja energiaksi korjatun puun käyttöpistehintoihin perustuva nettotulojen laskenta otti huomioon puunkorjuun ja energiapuun osalta myös kaukokuljetuksen kustannukset. Lisäksi sovelletut laskentakorot sekä tulojen ja kustannusten diskonttaus laskelmien alkuhetkeen korostivat uudistushakkuiden suhteellista edullisuutta erityisesti inventointia seuraavalla, ensimmäisellä laskelmakaudella 2016–2025. Taloudellisesti tehokkaiden hakkuiden seurauksena vuosien 2016–2018 toteutunutta keskimääräistä hakkuukertymätaaso noudattavassa TH-laskelmassa vuotuiset hakkuupinta-alat olivat selvästi pienemmät kuin vuosien 2016–2018 vastaavat tilastoidut keskimääräiset metsänkäyttöilmoitukseen perustuvat hakkuupinta-alat. Koska toteutuneet hakkuut kuvattiin laskelmassa vain hakkuukertymän ja sen puutavaralajirakenteen avulla, TH-laskelman tulos ei välttämättä vastaa tilastoitujen hakkuiden rakennetta hakkuutapojen osalta. On mahdollista, että laskelmassa tavoiteltu hakkuukertymän määrä ja rakenne voidaan saavuttaa erilaisilla hakkuutapajakaumilla.

Laskelmista esitettiin myös ainespuukokoisen runkopuun hakkuumahto, joka laskettiin vain metsänhoidon suosituksiin perustuen ilman taloudellisia vaatimuksia ja nettotulojen laskentaa. Ensimmäisen kymmenvuotiskauden hakkuumahto on sama kaikille kolmelle hakkuumahdollisuusarviolle ja se kuvaa metsänhoidon suosituksia noudattaen suurinta hakattavissa olevaa ainespuukokoisen runkopuun määrää.

Ensimmäisen kymmenvuotiskauden hakkuumahdon ja ilman kestävyysrajoitteita laaditun suurimman nettotulon (NT) mukaisen arvion perusteella Etelä-Suomessa on runsaasti metsänhoidollisesti ja taloudellisesti hakkuukypsää puustoa. NT-arviossa nettotulojen nykyarvon maksimointi ilman kestävyysrajoitteita johti metsikköoptimointia noudattavaan metsien käsittelyyn, jossa yksittäisten laskentayksiköiden puustot hakattiin niiden saavuttaessa taloudellisen hakkuukypsyyden ja jossa laskelma johti metsien rakenteen mukaiseen hakkuiden ajalliseen vaihteluun. Hakkuumahdon mukaisesta metsänhoidollisesti hakkuukypsästä puustosta oli Etelä-Suomessa 82 % myös taloudellisesti hakkuukypsää. Pohjois-Suomessa vastaava osuus oli selvästi pienempi. Kainuun ja Lapin maakuntien alueilla puuntuotannossa olevien metsien rakenne mahdollisesti taloudellisesti hakkuukypsän puuston määrän selvän lisäyksen tulevana vuosikymmeninä, sillä näillä alueilla NT-arvion mukainen runkopuun hakkuukertymä lisääntyi koko 30 vuoden tarkastelujakson ajan. Etelä-Suomen maakuntien alueilla sen sijaan ilman hakkuiden kestävyysrajoitteita lasketussa NT-arviossa runkopuun hakkuukertymä oli toisella kymmenvuotiskaudella 4–59 % pienempi kuin ensimmäisellä kymmenvuotiskaudella johtuen ensimmäisen kauden korkeista hakkuumääristä.

Suurin ylläpidettävissä oleva aines- ja energiapuun hakkuukertymäarvio (SY) kuvaa taloudellisesti ja puuntuotannollisesti kestäväen hakkuukertymän ylärajaa pitkällä aikavälillä, ja arviossa hakkuut jaksottuivat useamman laskelmakauden ajalle tasaisista tai nousevista hakkuukertymä-, tukkikertymä-, ja nettotulorajoitteista johtuen. Etelä-Suomessa hakkuukertymän arviota rajoitti erityisesti kausittaisten nettotulojen ja ainespuun hakkuukertymän tasaisuusvaatimukset sekä Pohjois-Suomessa ainespuun hakkuukertymän tasaisuusvaatimus. Toisella kymmenvuotiskaudella 2026–2035 runkopuun hakkuukertymäarvio nousi selvästi ollen 10 %

suurempi kuin ensimmäisellä laskelmakaudella. Kolmannella kaudella hakkuukertymäärä nousi enää vain lievästi. Koko maan tasolla suurimman ylläpidettävissä olevan hakkuukertymän mukaisessa arvioissa puuston runkotilavuus lisääntyi 30 vuoden tarkastelujakson aikana 9 %.

Maakunnittain laaditussa SY-arviossa sovellettiin 4 % laskentakorkoa, mutta on huomattava, että käsittelyvaihtoehtojen simuloinnissa sovelletut metsänhoidon suositukset ja optimoinnissa käytetyt rajoitteet pienensivät koron todellista vaikutusta. Laskentakoron alentaminen pienensi puuntuotannon tehokkuusvaatimusta 4 % laskentakorkoon verrattuna siten, että 3 % tuottovaatimuksella suurimman ylläpidettävissä olevan runkopuun hakkuukertymäärä oli koko 30 vuoden tarkastelujaksolla keskimäärin 76,9 milj. m³/v (-11 %) ja 2 % tuottovaatimuksella 59,1 milj. m³/v (-32 %).

VMI12-aineiston perusteella puuston runkotilavuus puuntuotannossa olevalla metsämaalla oli 5 % ja puuston kasvu koko metsämaalla 2 % suurempi kuin VMI11-inventoinnissa. Lisäksi VMI12-hakkuumahdollisuusarvioiden kasvunlaskennassa on otettu huomioon MELA-ohjelmiston sisältämien puun pohjapinta-alan kasvumallien kalibrointijakson keskivuodesta 1999 vuoteen 2017 mennessä tapahtunut ilman keskilämpötilan ja hiilidioksidipitoisuuden nousu, millä on laskelmissa selvästi kasvuarviota lisäävä vaikutus. Näistäkin huolimatta tässä esitetty SY-laskelman ainespuukokoisen runkopuun hakkuukertymäärä oli vajaa 1 % pienempi kuin vastaava VMI11-aineistoon perustuva kertymäärä inventointia seuraavalla kymmenvuotiskaudella. Tätä selitti erityisesti VMI12-arvioissa käyttöön otettu hukkapuun määrän kalibrointi vähintään VMI12-aineiston tasolle hakkuissa, jossa korjattiin vain ainespuuta. Muutos pienensi kuitupuukertymän määrää ja lisäsi hakkuun yhteydessä kaadetun, metsään jäävän hukkarunkopuun määrää.

Vuosien 2016–2018 tilastoitu runkopuun hakkuukertymä oli 85 % suurimman ylläpidettävissä olevan hakkuukertymäärän (SY) tasosta koko 30 vuoden tarkastelujaksolla. Maakunnittain oli kuitenkin huomattavaa vaihtelua, ja Uudenmaan, Kanta-Hämeen, Kymenlaakson ja Etelä-Karjalan maakuntien alueilla tilastoitu runkopuun hakkuukertymä ylitti suurimman ylläpidettävissä olevan hakkuukertymäärän tason. Tällä on todennäköisesti pitkällä aikavälillä tulevia hakkuumahdollisuuksia pienentävä vaikutus. Pohjois-Suomessa vuosien 2016–2018 tilastoitu runkopuun hakkuukertymä oli 66 % suurimman ylläpidettävissä olevan hakkuukertymän arviosta 30 vuoden tarkastelujaksolla.

Toteutuneita hakkuumääriä noudattavassa laskelmassa (TH) oli usean maakunnan alueella tarpeellista laajentaa optimoinnissa oletuksena olleita $\pm 0,5$ % puutavaralajikohtaisia vaihteluvälejä optimiratkaisun toteutumisen varmistamiseksi. Laskelmien tuloksena toteutunutta runkopuun kokonaishakkuumäärää ei kuitenkaan ollut mahdollista ylläpitää koko 30 vuoden tarkastelujakson ajan Kymenlaaksossa ja Etelä-Karjalassa, vaan laskelmissa molempien maakuntien alueilla energiarunkopuun niukkuuden takia oksia, kantoja ja juuria korjattiin toteutuneita käyttömääriä enemmän energiaksi. Lisäksi Kymenlaakson maakunnan alueella kuusitukin hakkuukertymän arvio jäi TH-laskelmassa runsaan neljänneksen toteutuneita hakkuumääriä alemmalle tasolle toiselta kymmenvuotiskaudelta alkaen. On huomattava, että laskelmissa ei otettu huomioon mahdollisia maakuntien alueiden välisiä puuvirtoja.

Toteutuneiden hakkuumäärien vertailujaksoksi oli näissä laskelmissa valittu vuodet 2016–2018. Vuonna 2018 toteutunut runkopuun hakkuukertymä (78,2 milj. m³/v) oli tällä kolmen vuoden jaksolla selvästi muiden vuosien toteutuneita hakkuukertymiä suurempi, ja siten

vertailujakson pituudella ja ajoittumisella on merkitystä laskelmien tuloksiin ja tehtyihin päätelmiin. Esimerkiksi vuosien 2019–2021 jaksolla toteutunut runkopuun hakkuukertymä oli keskimäärin 0,9 milj. m³/v pienempi ja pitemmällä kuuden vuoden 2016–2021 jaksolla 0,5 milj. m³/v pienempi kuin vertailukohtana olleella vuosien 2016–2018 jaksolla (Luke 2022a).

Laskelmissa sovellettu puutason kasvunkalibrointi perustui VMI11-kasvunmittauksiin, jotka oli kasvuindeksien avulla indeksikorjattu 30 vuoden (vuosien 1984–2013) keskimääräiselle tasolle. Pitkän ajan keskimääräisen kasvuntason soveltamisen perusteluna oli se, että myös hakkuumahdollisuusarviot laadittiin usean vuosikymmenen tarkastelujaksolle. Menetelmällä pyrittiin poistamaan sääoloista ja muista satunnaisluonteisista, lyhytaikaisista tekijöistä johtuvat vaikutukset kasvuntasaan. Lisäksi laskelmissa otettiin huomioon ilman keskilämpötilan ja hiilidioksidipitoisuuden muutos vuoteen 2017 asti. Siten vuoden 2017 jälkeen mahdollisesti tapahtunutta ja tulevaisuudessa tapahtuvia muutoksia ilmastosta sekä niistä mahdollisesti aiheutuvaa kasvun muutosta ei otettu huomioon laskelmissa.

Käytetystä menetelmästä johtuen kasvuntason kalibroinnissa ei suoraan hyödynnetty aluetason VMI-kasvuarvioita, eikä sovellettu kalibrointi niihin automaattisesti johda. Vuosina 2014–2018 mitattuun VMI12-aineistoon perustuva puuston vuotuinen tilavuuskasvu oli keskimäärin 107,8 milj. m³/v ja vuosina 2019–2021 mitattuun VMI13-aineistoon perustuva tilavuuskasvu 103,2 milj. m³/v koko Suomessa (Luke 2022d). Vuosien 2014–2018 keskimäärin toteutuneita hakkuumääriä noudattavassa TH-laskelmassa puuston tilavuuskasvun arvio kaudelle 2016–2025 oli keskimäärin 105,5 milj. m³/v, joka oli VMI12- ja VMI13-kasvuarvioiden puolivälissä. VMI12-kasvunmittausjaksolla kasvuindeksi oli Etelä-Suomessa männyllä (3 %) ja erityisesti kuusella (15 %) korkeammalla kuin 30 vuoden keskimääräinen taso (Haakana ym. 2022), joten MELA-ohjelmiston avulla laskettu TH-laskelman kasvuarvio oli odotetusti pienempi kuin VMI12-kasvuarvio. VMI13-kasvunmittausjaksolla männyn kasvuindeksi oli Etelä-Suomessa 7 % ja Pohjois-Suomessa 9 % alle pitkän ajan keskiarvon ja kuusen kasvuindeksi oli sekä Etelä- että Pohjois-Suomessa hieman korkeammalla kuin VMI12-kasvunmittausjaksolla (Haakana ym. 2022).

Kasvun vuotuisen vaihtelun ja kasvuarvioiden eriaikaisuuden huomioon ottaen esitetyllä kasvuntason määrityksillä tehtyjen MELA-laskelmien tuloksena saatu kasvuntaso oli lähellä VMI-kasvuarvioita, ja sovellettujen mallien voidaan arvioida ennustavan puuston kasvua riittävän hyvin pitkän tarkastelujakson laskelmia varten. On huomattava, että tässä esitetyissä tuloksissa ei havaittu VMI13:a vastaavaa kasvun alenemaa, sillä TH-laskelmassa kasvuarvio nousee 106,1 milj. m³/v tasolle kaudella 2026–2035 ja 109,7 milj. m³/v tasolle kaudella 2036–2045. Tämä voi johtua mm. 10 vuoden pituisista laskelmakausista ja siitä, että kasvatus- ja uudistus-hakkuut voivat kohdistua optimoinnissa metsiin eri tavalla kuin todellisuudessa metsiä hakataan.

Kokonaispoistuma ja hakkuumäärä sekä niiden rakenne vaikuttavat kasvupaikkatekijöiden ohella keskeisesti puuston kasvuun. Poistuma ja kasvu määrittävät yhdessä pitkälti metsien kasvihuonekaasutaseen kehityksen. Suomi on sitoutunut mm. EU:n LULUCF-asetuksessa vuosille 2021–2025 metsien 29,39 milj. t CO₂-ekv. vuosittaiseen kasvihuonekaasujen sidontaan, josta puuston ja metsämaan osuus on ilman puutuotteita 23,49 milj. t CO₂-ekv. (Assessment of the revised ... 2020). Metsillä on myös huomattava merkitys hiilineutraalisuustavoitteiden saavuttamisen edistämiseksi vuoteen 2035 mennessä. Tämän raportin hakkuumahdollisuusarvioiden laskennassa ei kuitenkaan asetettu tavoitteita metsien kasvihuonekaasutaseelle, vaikka hakkuumäärillä on ratkaiseva merkitys sen kehitykselle (esim. Seppälä ym. 2022), sillä

toistaiseksi tavoitteita ei ole kohdennettu koko Suomea pienemmille alueille, saati yksittäisille metsänomistajille. Siten esitetyt kasvihuonekaasutaseet ovat laskelman tuloksia, ei etukäteen asetettuja tavoitetasoja.

Vuosien 2016–2018 toteutuneen hakkuukertymän (TH) tasolla toimittaessa metsien kasvihuonekaasujen sidonta (nielu) kasvoi CO₂-ekvivalentteina mitattuna myös tulevina vuosina. Sen sijaan suurimman ylläpidettävissä olevan hakkuukertymäärävion (SY) hakkuumäärillä metsien nielu aleni ensimmäisen kymmenvuotiskauden 2016–2025 jälkeen, mutta metsät (puusto ja maaperä yhteensä) säilyivät kuitenkin edelleen selvästi nieluina koko 30 vuoden tarkastelujakson ajan. Hakkuiden – erityisesti uudistushakkuiden - voimakas lisäys ensimmäisellä kymmenvuotiskaudella suurimman nettotulon (NT) mukaisessa hakkuumahdollisuusarviossa muutti Suomen metsät välittömästi kasvihuonekaasujen osalta lähteeksi. Uudistamistoimien ja jatkossa hakkuumäärien pienentymisen seurauksena metsät tosin muuttuivat 30 vuoden tarkastelujakson kuluessa uudelleen pieneksi nieluksi.

Kasvihuonekaasutaseen laskentaan, joka sisälsi puuston ja maaperän ilman puutuotteita, sisältyivät hiilidioksidi (CO₂), metaani (CH₄) ja dityppioksidi (N₂O). Puuston hiilidioksidi laskettiin runkokuun, oksiston ja juurakon sisältävien biomassojen kautta kunkin laskentakauden alku- ja lopputilojen erotuksena varastonmuutosmenetelmää noudattaen. Kangasmaille maaperän CO₂-laskenta tehtiin Yasso07-mallilla MELA-laskennan mukaisten hakkuutähteiden, luonnonpoistuman ja karikesyötteen perusteella. Turvemaiden maaperän CO₂-, CH₄- ja N₂O-arviot perustuivat päästökertoimiin (ks. tarkemmin luku 2).

Maaperän osalta laskenta oli periaatteessa sama kuin Suomen kasvihuonekaasu (KHK)-raportoinnissa (Tilastokeskus 2022a), mutta puuston sisältämän hiilen (hiilidioksidin) muutos lasketaan KHK-raportoinnissa puuston kasvun ja poistuman vuosittaisen erotuksen kautta. KHK-raportoinnissa laskenta perustuu Etelä- ja Pohjois-Suomelle puulajeittain laskettuihin kangas- ja turvemaiden rungon, oksiston ja juurakon biomassat sisältäviin keskimääräisiin biomassakertoimiin (g/m³). Näitä keskimääräisiä kertoimia sovelletaan kangas- ja turvemaiden runkokuun kasvulle, hakkuupoistumalle ja luonnonpoistumalle. Sovellettaessa tämän selvityksen laskelmissa kasvun ja poistuman menetelmää sekä KHK-inventoinnin keskimääräisiä kertoimia puuston sitoman hiilidioksidin määrät jäivät kuitenkin selvästi nyt esitettyjä tuloksia pienemmiksi. Keskimääräiset kertoimet joko yliarvioivat biomassan poistuman tai aliarvioivat sen mukaisen biomassan kasvun, ts. biomassakertoimiin nähden MELA-laskelmien mukaisessa poistumassa puuston keskimääräinen rungon koko on pienempi, poistuman oksiston ja juurakon sisältämä biomassa alempi ja/tai puuston biomassan kasvu keskimääräistä suurempaa.

Molemmat laskentatavat ovat IPCC:n (2006, Vol. 4 s. 2.10) ohjeiden mukaisia. Laskennan erojen vuoksi tämän raportin tuloksia ei kuitenkaan voi vertailla kasvihuonekaasuraportoinnin tuloksiin. Tosin laskentatavat tuottavat saman tuloksen, jos laskenta tapahtuu puittain perustuen täysin samoihin kasvamaan jääviin ja poistuviin puihin ja niistä laskettujen biomassojen mukaiseen CO₂-arvioon.

Raportissa esitetyillä hakkuumahdollisuusarvioilla on pyritty skenaariolaskelmien tavoin hahmottamaan Suomen metsien nykyisiä ja tulevia hakkuumahdollisuuksia sekä vastaavaa metsien tilan kehitystä kokonaisuutena ja maakunnittain. NT-, SY- ja TH-laskelmat laadittiin hieinan eri näkökulmista, jolloin arvioiden keskinäinen vertailu korostuu. Arviot eivät kuitenkaan ole toteutettaviksi tarkoitettuja hakkuusuunnitteita eikä arvioiden tavoitteena ollut ennustaa tulevaisuudessa markkinoilla tarjottavaa puumäärää tai raakapuumarkkinoiden kehitystä.

Siten laskelmissa ei otettu huomioon esim. tilakohtaista hakkuiden kestävyyttä, metsänomistajakohtaista puunmyyntikäyttäytymistä tai teollisuuden puuntarvetta. Laskelmissa ei myöskään otettu huomioon mm. laskentayksiköiden sijaintia suhteessa toisiinsa tai ainespuun käyttöpisteisiin eikä näiden vaikutusta puustamaksukykyyn tai puun kysyntään.

Tuloksia tulkittaessa on huomattava, että malleihin perustuvat laskelmat ovat aina todellisuutta yksinkertaistavia ja keskiarvoistavia. Lisäksi tulosten luotettavuuteen liittyy sitä enemmän epävarmuutta mitä pitemmälle tulevaisuuteen laskelmat ulottuvat, ja jokaista laskelmakautta koskevat arviot ovat aina ehdollisia tehdyille laskelmaoletuksille ja aikaisempien laskelmakausien arvioille. Arvioihin ja niistä tehtäviin päätelmiin vaikuttavia keskeisiä tekijöitä olivat mm. optimointitehtävän tavoitteen ja rajoitteiden määrittäminen, laskelmissa sovellettu kasvuntaso ja sen määrittäminen, sekä taimikonhoito, joka laskelmissa toteutettiin aina, kun se oli mahdollinen toimenpide.

Viitteet

- Assessment of the revised national forestry accounting plans 2021–2025. 2020. European Commission staff working document SWD(2020) 236 final. 28.10.2020. 57 s. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020SC0236-&from=EN>
- The Forest 2000 Programme sub-committee. 1986. The forest 2000 Programme in Finland (Tiivistelmä: Metsä 2000-ohjelma). *Silva Fennica* 20(1): 35–44. <https://doi.org/10.14214/sf.a15439>
- Haakana, M., Haikarainen, S., Henttonen, H.M., Hirvelä, H., Hynynen, J., Launiainen, S., Mehtälö, L., Miettinen, A., Mutanen, A., Mäkinen, H., Korhonen, K.T., Ollila, P., Pitkänen, J., Rätty, M., Salminen, H., Tikkasalo, O.-P., Tuomainen, T., Viitanen, J. & Vikfors, S. 2022. Suomen LULUCF-sektorin 2021–2025 velvoitteen toteutuminen. Lausunto 21.12.2022. Luonnonvarakeskus. 48 s. <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2022123074123>
- 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. 56 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:951-40-1964-4>
- Heinonen, T., Pukkala, T. & Asikainen, A. 2020. Variation in forest landowners' management preferences reduces timber supply from Finnish forests. *Annals of Forest Science* 77(31). 10 s. <https://doi.org/10.1007/s13595-020-00939-z>
- Henttonen, H. 2000. Growth variation. In: Mälkönen, E. (ed.). *Forest condition in a changing environment - the Finnish case*. Kluwer Academic Publishers. *Forestry Sciences* 65: 25–32. https://doi.org/10.1007/978-94-015-9373-1_3
- Henttonen, H., Nöjd, P. & Mäkinen, H. 2017. Environment-induced growth changes in the Finnish forests during 1971–2010 – An analysis based on National Forest Inventory. *Forest Ecology and Management* 386: 22–36. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.11.044>
- Hetemäki, L. & Hänninen, R. 2009. Arvio Suomen puunjalostuksen tuotannosta ja puunkäytöstä vuosina 2015 ja 2020. Metlan työraportteja 122. 63 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-951-40-2165-7>
- Hirvelä, H., Härkönen, K., Lempinen, 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>
- Hyvän metsänhoidon suositukset. 2001. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. *Julkaisusarja* 13/2001. 95 s. ISBN 952-9891-76-8.

- Hyvän metsänhoidon suositukset. 2006. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. Julkaisusarja 22/2006. 100 s. ISBN 13-978-952-5118-84-1.
- Hänninen, H., Karppinen, H. & Leppänen, J. 2011. Suomalainen metsänomistaja 2010. Metlan työraportteja 208. 94 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-951-40-2317-0>
- IPCC 2003. Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. Toim. J. Penman, M. Gytarsky, T. Hiraishi, T. Krug, D. Kruger, R. Pipatti, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, K. Tanabe, and F. Wagner. Institute for Global Environmental Strategies, Japan, Hayama, Japan. 555 s. + liitteet. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/GPG_LULUCF_FULLEN.pdf
- IPCC 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use. Toim. H.S. Eggleston, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, and K. Tanabe. Institute for Global Environmental Strategies, Hayama, Japan. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>
- Kansallinen metsästrategia 2025 - Valtioneuvoston periaatepäätös 12.2.2015. 2015. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja 6/2015. 54 s. <https://mmm.fi/documents/1410837/-1504826/Kansallinen+mets%C3%A4strategia+2025/c8454e55-b45c-4b8b-a010-065-b38a22423>
- Kellomäki, S. & Väisänen, H. 1997. Modelling the dynamics of the forest ecosystem for climate change studies in the boreal conditions. Ecological Modelling 97: 121–140. [https://doi.org/10.1016/S0304-3800\(96\)00081-6](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(96)00081-6)
- Kellomäki, S., Väisänen, H. & Strandman, H. 1993. FINNFOR: a model for calculating the response of boreal forest ecosystem to climate change. Joensuun Yliopiston Tiedonantaja, Metsätieteellinen tiedekunta 6. 120 s. ISBN 951-708-143-X.
- Kniivilä, M., Hirvelä, H., Lintunen, J., Mutanen, A., Vatanen, E., Viitanen, J. & Kurttila, M. 2022. Metsien tiukan lisäsuojelun hakkuumahdollisuus-, arvonlisäys- ja työllisyysvaikutusten arviointi: Skenaariotarkastelu EU:n biodiversiteettistrategiasta Suomessa. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 64/2022. Luonnonvarakeskus. 37 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-480-7>
- Koistinen, A., Luro, J.-P. & Vanhatalo, K. (toim.) 2019. Metsänhoidon suositukset energiapuun korjuuseen, työopas. Tapion julkaisuja. 60 s. + liitteet. <https://tapio.fi/wp-content/uploads/2020/10/Metsanhoidon-suositukset-energiapuun-korjuuseen-Tapio-2019-1230.pdf>
- Korhonen, K., Ihalainen, A., Ahola, A., Heikkinen, J., Henttonen, H.M., Hotanen, J.-P., Nevalainen, S., Pitkänen, J., Strandström, M. & Viiri, H. 2017. Suomen metsät 2009–2013 ja niiden kehitys 1921–2013. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 59/2017. Luonnonvarakeskus. 86 s. + liitteet. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-467-0>
- Korhonen, K., Ahola, A., Heikkinen, J., Henttonen, H.M., Hotanen, J.-P., Ihalainen, A., Melin, M., Pitkänen, J., Rätty, M., Sirviö, M. & Strandström, M. 2021. Forests of Finland 2014–2018 and their development 1921–2018. Silva Fennica 55(5). 49 s. + liitteet. <https://doi.org/10.142-14/sf.10662>

- Kuitto, P.-J., Keskinen, S., Lindroos, J., Oijala, T., Rajamäki, J., Räsänen, T. & Terävä, J. 1994. Puutavaran koneellinen hakkuu ja metsäkuljetus. Metsätehon tiedotus 410. 38 s. + liitteet. https://metsateho.fi/wp-content/uploads/tiedotus-1994_410.pdf
- Kuusela, K. 1959. Suurin kestävä hakkuusuunnite ja menetelmä sen arvioimiseksi. Summary: Largest permanent allowable cut and a method for its calculation. Acta Forestalia Fennica 71(1): 1–39 s. <https://doi.org/10.14214/aff.7110>
- Kuusela, K. & Nyyssönen, A. 1962. Tavoitehakkuulaskelma. Summary: The cutting budget for a desirable growing stock. Acta Forestalia Fennica 74(6). 34 s. <https://doi.org/10.14214/aff.7133>
- Kuusela, K. & Salminen, S. 1991. Suomen metsävarat 1977–1984 ja niiden kehittyminen 1952–1980. Acta Forestalia Fennica 220. 61 s + liitteet. <https://doi.org/10.14214/aff.7666>
- Kärhä, K., Vartiamäki, T., Liikkanen, R., Keskinen, S. & Lindroos, J. 2004. Hakkuutähteen paalauksen ja paalien metsäkuljetuksen tuottavuus ja kustannukset. Metsätehon raportti 179. Metsäteho Oy. 88 s. + liitteet. https://metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/metsatehon_raportti_179.pdf
- Kärhä, K., Keskinen, S., Liikkanen, R. & Lindroos, J. 2006. Kokopuun korjuu nuorista metsistä. Metsätehon raportti 193. Metsäteho Oy. 79 s. + liitteet. https://metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/metsatehon_raportti_193.pdf
- Kärhä, K., Elo, J., Lahtinen, P., Räsänen, T., Keskinen, S., Saijonmaa, P., Heiskanen, H., Strandström, M. & Pajuoja, H. 2010. Kiinteiden puupolttoaineiden saatavuus ja käyttö Suomessa vuonna 2020. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja: Energia ja ilmasto 66/2010. 68 s.
- Kärkkäinen, L., Haakana, H., Hirvelä, H., Lempinen, R. & Packalen, T. 2017. Metsätalousvaikutusten arvioinnin kehittäminen kaavoituksessa. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 43/2017. Luonnonvarakeskus. 32 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-433-5>
- Kärkkäinen, L., Hirvelä, H., Kilpeläinen, H., Kniivilä, M., Kohl, J., Korhonen, K.T., Kurttila, M., Lempinen, R., Miina, J., Mutanen, A., Neuvonen, M., Nieminen, M., Ollila, P., Piirainen, S., Sarkkola, S., Tolvanen, A., Tuomainen, T., Tyrväinen, L., Vatanen, E. & Viitanen, J. 2022. Taustaselvitys Kansallinen metsästrategia 2035:n valmistelua varten: Skenaarioihin perustuva tarkastelu. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 61/2022. Luonnonvarakeskus. 131 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-474-6>
- Laasasenaho, J. 1982. Taper curve and volume functions for pine, spruce and birch. Männyn, kuusen ja koivun runkokäyrä ja –tilavuusyhtälöt. Comm. Inst. For. Fenn. 108. 74 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:951-40-0589-9>
- Laitila, J. 2010. Kantojen korjuun tuottavuus. Metlan työraportteja 150. Metsäntutkimuslaitos. 29 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-951-40-2225-8>
- Laitila, J., Asikainen, A., Sikanen, L., Korhonen, K.T. & Nuutinen, Y. 2004. Pienpuuhakkeen tuotannon kustannustekijät ja toimituslogiikka. Metlan työraportteja 3. Metsäntutkimuslaitos. 57 s. <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. The Finnish Forest Research Institute, Research Papers 414. 134 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:951-40-1218-6>
- Lehtonen, A., Salminen, O., Kallio, M., Tuomainen, T. & Sievänen, R. 2016. Skenaariolaskelmiin perustuva puuston ja metsien kasvihuonekaasutaseen kehitys vuoteen 2045. Selvitys maa- ja metsätalousministeriölle vuoden 2016 energia- ja ilmastostrategian valmistelua varten. Luonnonvarakeskus. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 36/2016. 27 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-264-5>
- Luke 2022a. Suomen virallinen tilasto (SVT): Hakkuukertymä ja puuston poistuma [verkkójulkaisu]. Luonnonvarakeskus [viitattu: 21.7.2022]. <https://www.luke.fi/fi/tilastot/hakkuukertyma-ja-puuston-poistuma>
- Luke 2022b. MELA Tulospalvelu, VMI12 (mittausvuodet 2014–2018) [verkkójulkaisu]. Luonnonvarakeskus [viitattu 1.3.2022]. <http://www.luke.fi/mela-metsalaskelmat>
- Luke 2022c. Suomen virallinen tilasto (SVT): Metsänhoito- ja metsänparannustyöt [verkkójulkaisu]. Luonnonvarakeskus [viitattu: 21.7.2022]. <https://www.luke.fi/fi/tilastot/metsanhoito-ja-metsanparannustyot>
- Luke 2022d. Metsävarat [verkkójulkaisu]. Luonnonvarakeskus [viitattu: 21.7.2022]. <https://www.luke.fi/fi/tilastot/metsavarat>
- Luke 2022e. Teollisuuspuun kauppa [verkkójulkaisu]. Luonnonvarakeskus [viitattu: 21.7.2022]. <https://www.luke.fi/fi/tilastot/teollisuuspuun-kauppa>
- Luke 2022f. Teollisuuspuun korjuu ja kaukokuljetus [verkkójulkaisu]. Luonnonvarakeskus [viitattu: 21.7.2022]. <https://www.luke.fi/fi/tilastot/teollisuuspuun-korjuu-ja-kaukokuljetus>
- Mannermaa, M. 1991. Evolutionaarinen tulevaisuudentutkimus: tulevaisuudentutkimuksen paradigmojen ja niiden metodologisten ominaisuuksien tarkastelua. Acta Futura Fennica no. 2. 362 s. VAPK-kustannus. Helsinki.
- Mannermaa, M. 1999. Tulevaisuuden hallinta: skenaariot strategiatyöskentelyssä. 227 s. WSOY, Porvoo.
- 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>
- Mattila, U. & Korhonen, K.T. 2010. Yleiskaavamerkintöjen ja -määräysten aiheuttamat puuntuotannon rajoitukset Pohjois-Karjalassa valtakunnan metsien 10. inventoinnin mukaan. Metsätieteen aikakauskirja 1/2010: 5–18. <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2016111428386>

- Mehtätalo, L. 2002. Valtakunnalliset puukohtaiset tukkivähennysmallit männyille, kuuselle, koivuille ja haavalle. *Metsätieteen aikakauskirja* 4/2002: 575–591.
<https://doi.org/10.14214/ma.6196>
- Metsäalan palkkauksen koulutusaineisto. 2010. Metsäalan työehtosopimus 1.6.2010 - 31.8.2012 - liite. Maaseudun Työnantajaliitto, Metsähallitus, Metsäteollisuus ry, Yksityismetsätalouden Työnantajat, Puu- ja erityisalojen liitto.
- Metsäalan työehtosopimus 1.2.2018-1.1.2020. 2018. Maaseudun Työnantajaliitto, Metsähallitus, Metsäteollisuus ry, Yksityismetsätalouden Työnantajat, Teollisuusliitto.
- Metsänhoitosuosituksset. 1989. Keskusmetsälautakunta Tapio. 54 s.
- National Forestry Accounting Plan for Finland. 2019. Submission of updated National Forestry Accounting Plan including forest reference level (2021–2025) for Finland (20 December 2019). Ministry of Agriculture and Forestry, Natural Resources Institute Finland. 76 s. <https://mmm.fi/documents/1410837/17627111/NFAP+for+Finland+20+December+2019.pdf/4e71389f-25ab-10fa-887e-e1d353b33b8e/NFAP+for+Finland+20+December+2019.pdf>
- Nuutinen, T. & Salminen, O. 1999. Hakkuumahdollisuusarviot. Julkaisussa: Reunala, A., Halko, L. & Marila, M. (toim.). Kansallinen metsäohjelma 2010 - Taustaraportti. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja 6/1999: 124–131. https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/80777/1999_6_Kansallinen%20mets%C3%A4ohjelma%202010_Taustaraportti.pdf
- 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. <https://doi.org/10.14214/ma.6218>
- Ojanen, P., Minkkinen, K., Alm, J. and Penttilä, T. 2010. Soil-atmosphere CO₂, CH₄ and N₂O fluxes in boreal forestry-drained peatlands. *Forest Ecology and Management* 260: 411–421. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.04.036>
- Ojanen, P., Minkkinen, K., Alm, J., Penttilä, T. 2018. Corrigendum to “Soil-atmosphere CO₂, CH₄ and N₂O fluxes in boreal forestry-drained peatlands” [For. Ecol. Manage. 260 (2010) 411–421]. *Forest Ecology and Management* 412: 95–96.
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.01.020>
- Ollila, P., Vikfors, S., Kilpeläinen, H., Aakkula, J., Hirvelä, H., Härkönen, K., Koikkalainen, K., Miettinen, A., Myllykangas, J.-P., Silfver, T. & Wall, A. 2022. Maankäyttösektorin ilmastosuunnitelman mukainen skenaariotarkastelu vuoteen 2040. *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus* 54/2022. Luonnonvarakeskus. 24 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-460-9>
- Repola, J. 2008. Biomass equations for Birch in Finland. *Silva Fennica* 42(4): 605–624.
<https://doi.org/10.14214/sf.236>
- Repola, J. 2009. Biomass equations for Scots pine and Norway spruce in Finland. *Silva Fennica* 43(4): 625–647. <https://doi.org/10.14214/sf.184>

- Rummukainen, A., Alanne, H. & Mikkonen, E. 1995. Wood procurement in the pressure of change - resource evaluation model till year 2010. Acta Forestalia Fennica 248. 74 s. + liitteet. <https://doi.org/10.14214/aff.7510>
- Salminen, O. & Hirvelä, H. 2008. MELA-vaihtoehtolaskelmat Kansallisen metsäohjelman 2015 valmistelua varten Julkaisussa Uusivuori, J., Kallio, M. & Salminen, O. (toim.). 2008. Vaihtoehtolaskelmat kansallisen metsäohjelman 2015 valmistelua varten. Metlan työraportteja 75: 19–32 + liitteet. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-951-40-2089-6>
- Salminen, O., Hirvelä, H. & Härkönen, K. 2013. Valtakunnan metsien 10. inventointiin perustuvat ainespuun alueelliset hakkuumahdollisuusarviot. Metsätieteen aikakauskirja 3/2013: 199–219 + liitteet. <https://doi.org/10.14214/ma.6024>
- Seppälä, J., Heinonen, T., Kilpeläinen, A., Peltola, H., Pukkala, T., Sihvonen, M., Soimakallio, S., Weaver, S., Vesala, T. & Ollikainen, M. 2022. Metsät ja ilmasto: Hakkuut, hiilinielut ja puun käytön korvaushyödyt. Suomen ilmastopaneelin raportti 3/2022. 70 s. <https://www.ilmastopaneeli.fi/wp-content/uploads/2022/05/ilmastopaneelin-raportti-3-2022-metsat-ja-ilmasto-hakkuut-hiilinielut-ja-puun-kayton-korvaushyodyt.pdf>
- Siitonen, M. 1990. Suomen metsävarat 1990 ja metsien kehitysmahdollisuudet 1990–2030. Selvitys Metsä 2000 ohjelman tarkistustoimikunnalle. Metsäntutkimuslaitos, Metsänarvioimisen tutkimusosasto. 55 s.
- Siitonen, M., Härkönen, K., Hirvelä, H., Jämsä, J., Kilpeläinen, H., Salminen, O. & Teuri, M. 1996. MELA Handbook 1996 Edition. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 622. 452 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:951-40-1543-6>
- Tilastokeskus 2019. Energian hinnat [verkkójulkaisu]. [viitattu 15.9.2019]. <https://www.stat.fi/til/ehi/tup.html>
- Tilastokeskus 2022a. Greenhouse gas emissions in Finland 1990 to 2020. National Inventory Report under the UNFCCC and the Kyoto Protocol. Submission to the European Union. 15 March 2022. 581 s. https://www.stat.fi/static/media/uploads/tup/khkinv/fi_nir_eu_2020_2022-03-15.pdf
- Tilastokeskus 2022b. Vuoden 2018 kuntien ja NUTS 1-3, Suomi hierarkia 2018:n (virallinen NUTS 2016) välinen luokitusavain [viitattu 23.2.2022]. https://tilastokeskus.fi/fi/luokitukset/cormaps/kunta_1_20180101%23nuts_2_20180101
- Tuomi, M., Rasinmäki, J., Repo, A., Vanhala, P. & Liski, J. 2011. Soil carbon model Yasso07 graphical user interface. Environmental Modeling and Software (11): 1358–1362. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2011.05.009>
- UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change). 2011. Report of the technical assessment of the forest management reference level submission of Finland submitted in 2011. FCCC/TAR/2011/FIN. 21 s. <https://unfccc.int/reporting/docs/2011/tar/fin01.pdf>
- Uusivuori, J., Kareinen, T., Penttilä, T., Pohjola, J., Salminen, O., Sievänen, R. & Tuomainen, T. 2008. Arviot metsien kasvihuonekaasutaseista baseline- ja politiikkaskenaarioissa sekä ilmastonmuutosta hillitsevästä toimista metsätaloudessa. Metsäntutkimuslaitos. 19 s.

- Valtakunnan metsien 11. inventointi (VMI11). 2013. Maastotyön ohjeet 2013. Koko Suomi ml. Ahvenanmaa. Metsäntutkimuslaitos. 191 s.
- Valtakunnan metsien 12. inventointi (VMI12). 2018. Maastotyön ohjeet 2018. Koko Suomi ml. Ahvenanmaa. Luonnonvarakeskus. 166 s.
- Valtioneuvoston metsäpoliittinen selonteko 2050. 2014. Maa- ja metsätalousministeriö 1/2014. 43 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-453-822-0>
- Venäläinen, A., Tuomenvirta, H., Pirinen, P. & Drebs, A. 2005. A basic Finnish climate data set 1961–2000 – description and illustrations. Finnish Meteorological Institute, Reports 2005:5. 27 s. <https://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.24473.62567>
- Väkevä, J., Kariniemi, A., Lindroos, J., Poikela, A., Rajamäki, J. & Uusi-Pantti, K. 2001. Puutavaran metsäkuljetuksen ajanmenekki. Metsätehon raportti 123 (Korjattu versio 7.10.2003). Metsäteho Oy. 41 s. + liite. https://metsateho.fi/wp-content/uploads/-/2015/02/metsatehon_raportti_123.pdf
- Yksityismetsien käsittelyohjeet. 1981. Keskusmetsälautakunta Tapio. Tapio 3/81. 20 s. ISSN 0357-7090.
- Äijälä, O., Koistinen, A., Sved, J., Vanhatalo, K. & Väisänen, P. (toim.) 2019. Metsänhoidon suositukset. Tapion julkaisuja. 215 s. + liitteet. https://tapio.fi/wp-content/uploads/-/2020/09/Metsanhoidon_suosituksset_Tapio_2019.pdf

Liitteet

Liite 1.

Taulukko L1. Runkopuun kasvu, poistuma ja hakkuukertymä keskimäärin vuosina 2016–2045 Suurin nettotulo (NT) -laskelmassa ilman hukkapuun kalibrointia ja ko. muuttujien ero hukkapuun VMI12-kalibroinnin sisältämiin NT-laskelmatuloksiin, milj. m³/v.

	NT ilman hukkapuun kalibrointia			Ero VMI12 kalibroituun		
	Suomi	Etelä-Suomi	Pohjois-Suomi	Suomi	Etelä-Suomi	Pohjois-Suomi
Kasvu	98,5	66,5	32,0	0,12	0,17	-0,04
Kokonaispoistuma	104,0	74,9	29,1	0,47	0,25	0,21
Hakkuupoistuma	96,1	69,8	26,3	0,51	0,28	0,24
Hakkuukertymä	94,4	68,7	25,7	1,92	1,16	0,76
Tukki	37,6	30,2	7,4	0,36	0,26	0,10
Kuitu	50,0	34,2	15,8	3,32	2,01	1,31
Energiarunko	6,8	4,3	2,5	-1,76	-1,11	-0,66
Hukkapuu	1,7	1,1	0,6	-1,40	-0,89	-0,52
Ainespuukokoinen	0,0	0,0	0,0	-1,51	-0,94	-0,57
Mänty	46,4	29,0	17,4	0,10	0,05	0,05
Hakkuukertymä	46,0	28,7	17,2	0,59	0,30	0,29
Tukki	19,2	13,6	5,7	0,13	0,07	0,06
Kuitu	23,5	13,5	10,0	0,95	0,45	0,50
Energiarunko	3,2	1,6	1,6	-0,49	-0,22	-0,27
Hukkapuu	0,4	0,2	0,2	-0,49	-0,24	-0,25
Ainespuukokoinen	0,0	0,0	0,0	-0,51	-0,25	-0,26
Kuusi	31,4	26,8	4,7	0,16	0,11	0,05
Hakkuukertymä	30,9	26,3	4,5	0,54	0,37	0,17
Tukki	15,9	14,3	1,6	0,13	0,11	0,02
Kuitu	13,9	11,3	2,7	0,79	0,50	0,29
Energiarunko	1,0	0,7	0,3	-0,38	-0,24	-0,14
Hukkapuu	0,6	0,4	0,1	-0,38	-0,26	-0,13
Ainespuukokoinen	0,0	0,0	0,0	-0,41	-0,27	-0,14
Lehtipuu	18,3	14,1	4,2	0,26	0,11	0,14
Hakkuukertymä	17,6	13,6	3,9	0,79	0,50	0,29
Tukki	2,5	2,3	0,1	0,10	0,08	0,01
Kuitu	12,5	9,4	3,1	1,59	1,06	0,52
Energiarunko	2,6	1,9	0,7	-0,90	-0,65	-0,24
Hukkapuu	0,7	0,4	0,3	-0,53	-0,38	-0,15
Ainespuukokoinen	0,0	0,0	0,0	-0,59	-0,42	-0,17

Taulukko L2. Runkopuun kasvu, poistuma ja hakkuukertymä keskimäärin vuosina 2016–2045 Suurin ylläpidettävissä oleva hakkuukertymä (SY) -laskelmassa ilman hukkapuun kalibrointia ja ko. muuttujien ero hukkapuun VMI12-kalibroinnin sisältämiin SY-laskelmatuloksiin, milj. m³/v.

	SY ilman hukkapuun kalibrointia			Ero VMI12 kalibroituun		
	Suomi	Etelä-Suomi	Pohjois-Suomi	Suomi	Etelä-Suomi	Pohjois-Suomi
Kasvu	104,8	71,5	33,3	0,07	0,12	-0,04
Kokonaispoistuma	98,1	71,6	26,5	0,58	0,20	0,38
Hakkuupoistuma	89,8	66,2	23,6	0,63	0,23	0,40
Hakkuukertymä	88,3	65,2	23,1	2,00	1,14	0,86
Tukki	37,0	30,2	6,8	0,35	0,20	0,16
Kuitu	44,5	30,8	13,8	3,47	2,10	1,38
Energiarunko	6,8	4,2	2,5	-1,82	-1,15	-0,67
Hukkapuu	1,5	1,0	0,5	-1,37	-0,91	-0,46
Ainespuukokoinen	0,0	0,0	0,0	-1,49	-0,98	-0,51
Mänty	42,7	27,1	15,6	0,11	-0,02	0,13
Hakkuukertymä	42,3	26,9	15,4	0,60	0,24	0,36
Tukki	18,4	13,2	5,2	0,11	0,02	0,09
Kuitu	20,8	12,1	8,7	0,99	0,45	0,53
Energiarunko	3,1	1,6	1,5	-0,50	-0,24	-0,27
Hukkapuu	0,4	0,2	0,2	-0,49	-0,26	-0,23
Ainespuukokoinen	0,0	0,0	0,0	-0,51	-0,27	-0,24
Kuusi	30,1	25,8	4,3	0,23	0,11	0,12
Hakkuukertymä	29,6	25,4	4,1	0,59	0,37	0,22
Tukki	16,3	14,8	1,5	0,13	0,08	0,05
Kuitu	12,3	10,0	2,3	0,81	0,49	0,31
Energiarunko	1,0	0,7	0,3	-0,35	-0,20	-0,14
Hukkapuu	0,5	0,4	0,1	-0,36	-0,25	-0,11
Ainespuukokoinen	0,0	0,0	0,0	-0,39	-0,27	-0,12
Lehtipuu	17,1	13,3	3,8	0,29	0,14	0,16
Hakkuukertymä	16,4	12,9	3,5	0,81	0,54	0,28
Tukki	2,4	2,3	0,1	0,11	0,10	0,01
Kuitu	11,4	8,7	2,7	1,68	1,15	0,53
Energiarunko	2,6	1,9	0,7	-0,97	-0,71	-0,26
Hukkapuu	0,6	0,4	0,2	-0,52	-0,40	-0,12
Ainespuukokoinen	0,0	0,0	0,0	-0,58	-0,44	-0,15

Taulukko L3. Runkopuun kasvu, poistuma ja hakkuukertymä keskimäärin vuosina 2016–2045 Toteutunut hakkuukertymä 2016–2018 (TH) -laskelmassa ilman hukkapuun kalibrointia ja ko. muuttujien ero hukkapuun VMI12-kalibroinnin sisältämiin TH-laskelmatuloksiin, milj. m³/v.

	TH ilman hukkapuun kalibrointia			Ero VMI12 kalibroituun		
	Suomi	Etelä-Suomi	Pohjois-Suomi	Suomi	Etelä-Suomi	Pohjois-Suomi
Kasvu	108,0	72,4	35,6	0,89	0,72	0,17
Kokonaispoistuma	83,2	64,7	18,5	-1,58	-1,02	-0,56
Hakkuupoistuma	74,6	59,4	15,2	-1,73	-1,07	-0,66
Hakkuukertymä	73,0	58,3	14,7	0,00	0,00	0,00
Tukki	28,1	24,0	4,0	-0,09	-0,09	0,00
Kuitu	36,9	27,7	9,3	0,09	0,09	0,00
Energiarunko	8,0	6,6	1,4	0,01	0,01	0,00
Hukkapuu	1,6	1,2	0,5	-1,73	-1,07	-0,66
Ainespuukokoinen	0,0	0,0	0,0	-1,64	-1,03	-0,61
Mänty	31,8	21,9	9,9	-0,70	-0,39	-0,31
Hakkuukertymä	31,4	21,6	9,7	-0,08	-0,12	0,04
Tukki	12,0	8,9	3,1	-0,02	-0,02	0,00
Kuitu	16,8	10,8	6,0	0,01	0,01	0,00
Energiarunko	2,6	1,9	0,7	-0,08	-0,12	0,04
Hukkapuu	0,4	0,3	0,1	-0,62	-0,27	-0,35
Ainespuukokoinen	0,0	0,0	0,0	-0,60	-0,26	-0,33
Kuusi	27,9	25,3	2,5	-0,45	-0,30	-0,15
Hakkuukertymä	27,4	24,9	2,5	0,09	0,08	0,00
Tukki	14,8	13,9	0,9	-0,03	-0,03	0,00
Kuitu	10,7	9,4	1,3	0,03	0,03	0,00
Energiarunko	1,9	1,6	0,2	0,09	0,09	0,00
Hukkapuu	0,5	0,4	0,1	-0,54	-0,39	-0,15
Ainespuukokoinen	0,0	0,0	0,0	-0,51	-0,37	-0,14
Lehtipuu	14,9	12,2	2,7	-0,58	-0,38	-0,20
Hakkuukertymä	14,2	11,7	2,5	0,00	0,04	-0,04
Tukki	1,2	1,2	0,0	-0,05	-0,05	0,00
Kuitu	9,4	7,5	2,0	0,05	0,05	0,00
Energiarunko	3,5	3,0	0,5	0,00	0,04	-0,04
Hukkapuu	0,7	0,5	0,2	-0,58	-0,42	-0,16
Ainespuukokoinen	0,0	0,0	0,0	-0,53	-0,39	-0,14



**Löydät meidät
verkosta**

luke.fi

