

## **Low Carbon Finland 2050 -platform: skenaariot metsäsektorille**

Maarit Kallio, Olli Salminen ja Risto Sievänen

Metlan työraportteja / Working Papers of the Finnish Forest Research Institute -sarjassa julkaistaan tutkimusten ennakkotuloksia ja ennakkotulosten luonteisia selvityksiä. Sarjassa voidaan julkaista myös esitelmiä ja kokouskoosteita yms.

Sarjan julkaisut ovat saatavissa pdf-muodossa sarjan Internet-sivuilta.

<http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/>  
ISSN 1795-150X

#### Toimitus

PL 18  
01301 Vantaa  
puh. 029 532 2111  
faksi 029 532 2103  
sähköposti [julkaisutoimitus@metla.fi](mailto:julkaisutoimitus@metla.fi)

#### Julkaisija

Metsäntutkimuslaitos  
PL 18  
01301 Vantaa  
puh. 029 532 2111  
faksi 029 532 2103  
sähköposti [info@metla.fi](mailto:info@metla.fi)  
<http://www.metla.fi/>

<b>Tekijät</b> Maarit Kallio, Olli Salminen ja Risto Sievänen			
<b>Nimeke</b> Low Carbon Finland 2050 –platform: skenaariot metsäsektorille			
<b>Vuosi</b> 2014	<b>Sivumäärä</b> 34	<b>ISBN</b> 978-951-40-2496-2 (PDF)	<b>ISSN</b> 1795-150X
<b>Yksikkö / Tutkimusohjelma / Hankkeet</b> VA / Forest Energy 2020 / 7503 Vähähiilinen Suomi 2050; 3568 EU 2020 - Skenaariotarkastelut puuperäisen bioenergian kysynnän ja tarjonnan kehityksestä ja vaikutuksista metsäsektoriin Euroopassa; 3002 Metsätalouden mallintaminen ja analyysit			
<b>Hyväksynyt</b> Antti Asikainen, professori, 15.10.2014			
<b>Tiivistelmä</b> <p>Euroopan Unioni tavoittelee siirtymistä kilpailukykyiseen vähähiiliseen yhteiskuntaan, jossa vuosittaiset kasvihuonekaasupäästöt on onnistuttu supistamaan 10–20 prosenttiin vuoden 1990 tasosta vuoteen 2050 mennessä. Taustalla on globaali tavoite hillitä ilmaston lämpenemistä. VTT:n, VATT:in, Metlan ja GTK:n yhteishankessa Low Carbon Finland 2050 –platform tarkasteltiin vaihtoehtoisia tulevaisuuden kehityspolkuja, joiden puitteissa Suomi voisi vastata tähän haasteeseen. Tämä raportti esittelee näiden skenaarioiden metsäsektoria koskevat lähtöoletukset ja tulokset pääpiirteissään.</p> <p>Suomen metsien puuston määrä on ollut jo pitkään vahvassa kasvussa. Metsäteollisuuden kotimaisen puun kysyntä ei ole kuitenkaan 2000-luvun puolivälin jälkeen juurikaan kasvanut. Kotimaisen kuitupuun käyttö on pysynyt jokseenkin ennallaan ja tukkipuun käyttö jopa supistunut metsäteollisuuden rakennemuutoksen myötä. Tulevaisuudessa metsäteollisuuden odotetaan jälleen vahvistuvan ja uusiutuvan ja käyttävän aiempaa enemmän puuta. Skenaarioissa erityisesti kuitupuun ja energiapuun käyttö kasvaa voimakkaasti, kun tukkipuun kysynnän kasvu on maltillisempaa. Puuenergian käyttö onkin yksi Suomen vahvuuksista siirryttäessä kohti vähähiilistä yhteiskuntaa. Vaikka kotimaisen puun käyttö lisääntyy nykytasosta sekä metsäteollisuudessa että energiasektorilla, kokonaishakkuut jäävät skenaarioissa lähivuosikymmenien aikana metsien kasvua pienemmiksi hakkuiden painottuessa entistä enemmän harvennushakkuihin. Tukkipuun hakkuut ja käyttö voisivat olla vielä selvästi suuremmatkin kuin mitä skenaarioissa oletettiin. Tämä parantaisi myös metsähakkeen tarjontaa energiapuuksi.</p> <p>Jos metsien kestävästä hakkuupotentiaalista jää merkittävä osa hyödyntämättä seuraavan parin vuosikymmenen aikana, kuten skenaarioissa oletettiin, samalla kun ilmastonmuutos kiihdyttää metsien kasvua, puuston volyymi karttuu edelleen. Skenaariolaskelmissa puuston määrä on jopa 1,5-kertainen nykytilanteeseen verrattuna vuonna 2050. Puustoon ja maaperään sitoutuu enemmän uutta hiiltä kuin mitä hakkuiden ja luonnonpoistuman myötä häviää. Siten maankäyttösektorin nielutavoitteen mahdollinen kiristyminenkin tulevaisuudessa ei rajoittaisi energiapuun käytön voimakasta lisäämistä. Tällä hetkellä Suomen metsät sitovat vuosittain ilmakehästä määrän, joka on noin puolet Suomen muiden sektorien kasvihuonekaasupäästöistä. Kun muiden sektorien päästöt edelleen pienenevät ja metsien hiilinielut jatkavat kasvuaan, Suomesta voi tulla nielut mukaan lukien täysin hiilineutraali. Metsien nielujen kertymiseen ja pysyvyyteen sisältyy kuitenkin epävarmuuksia. Metsätuhoriskien on ennustettu lisääntyvän ilmastonmuutoksen mukana. Niiden toteutuminen voi vaikuttaa varastoihin ja nieluihin vähentävästi.</p>			
<b>Asiasanat</b> bioenergia, hiilinielut, ilmastonmuutoksen hillintä, metsäsektori,			
<b>Julkaisun verkko-osoite</b> <a href="http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2014/mwp308.htm">http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2014/mwp308.htm</a>			
<b>Tämä julkaisu korvaa julkaisun</b>			
<b>Tämä julkaisu on korvattu julkaisulla</b>			
<b>Yhteydenotot</b> Maarit Kallio, Jokiniemenkuja 1, 01301 Vantaa. Sähköposti <a href="mailto:maarit.kallio@metla.fi">maarit.kallio@metla.fi</a>			
<b>Muita tietoja</b> taitto Anne Siika/Metla			

## Esipuhe

Low Carbon Finland 2050 –platform (LCFinPlat) -hankkeessa tarkasteltiin siirtymistä vähähiiliseen tulevaisuuteen ja vihreään teknologiaan liittyvän kasvun edellytyksiä. Hankkeen osapuolina toimivat VTT, Valtion taloudellinen tutkimuskeskus (VATT), Metsätutkimuslaitos (Metla) ja Geologian tutkimuskeskus (GTK) koordinaation ollessa VTT:n vastuulla. Hanke kuuluu Tekesin Green Growth – Tie kestävään talouteen -ohjelmaan.

Tutkimuskysymyksiin vastaamiseksi hankkeessa laadittiin skenaarioita, joiden avulla voidaan analysoida vähähiiliseen yhteiskuntaan siirtymistä eri sektoreilla. Skenaarioiden laatimisessa hyödynnettiin työpajoja, kyselyitä ja osapuolten laskennallisia mallityökaluja. Tässä raportissa kuvataan metsäsektoria koskevien skenaarioiden lähtökohdat ja tulokset.

LCFinPlat-tutkimusta rahoittivat Tekesin lisäksi VTT, VATT, Metla ja GTK. Hankkeen vastuullisena johtajana toimi Tiina Koljonen (VTT). Muina osahankkeiden vastuullisina johtajina toimivat Juha Honkatukia (VATT), Maarit Kallio (Metla) sekä Laura Lauri (GTK). Projektin johtoryhmän puheenjohtajana toimi Pekka Tervo (TEM). Lisäksi johtoryhmään kuuluivat Magnus Cederlöf (YM), Outi Honkatukia (VM), Anne Vehviläinen (MMM), Saara Jääskeläinen (LVM) huhtikuusta 2013 alkaen, Raija Pikku-Pyhältö (Tekes) huhtikuuhun 2012 asti, sekä Christopher Palmberg (Tekes) ja Mikko Ylhäisi (Tekes) toukokuusta 2012 alkaen, Tuomo Suortti (Tekes) huhtikuuhun 2013 asti ja Kari Herlevi (Tekes) siitä alkaen, Riina Antikainen (Spinverse) marraskuuhun 2012 asti ja Kaisu Leppänen (Spinverse) siitä lähtien aina huhtikuuhun 2013 asti, Antti Asikainen (Metla), Maarit Kallio (Metla), Laura Lauri (GTK), Saku Vuori (GTK) kesäkuuhun 2012 saakka ja taas tammikuusta 2013 alkaen sekä Pekka Nurmi (GTK) ajalla 1.6.2012–31.12.2012, Tuomo Heikkilä (VATT), Juha Honkatukia (VATT), Satu Helynen (VTT), Tiina Koljonen (VTT), Kai Sipilä (VTT) ja Nina Wessberg (VTT). Johtoryhmän sihteerinä toimi Lassi Similä (VTT).

Hankkeen tutkijat haluavat kiittää johtoryhmää aktiivisesta osallistumisesta ja ohjauksesta.

Marraskuussa 2014

## Sisältö

<b>Esipuhe</b> .....	4
<b>1 Johdanto</b> .....	6
<b>2 Skenaarioiden yleislinjojen esittely</b> .....	7
2.1 Base.....	7
2.2 Base80 .....	7
2.3 Jatkuva kasvu.....	8
2.4 Säästö .....	8
2.5 Pysähdys .....	8
2.6 Muutos.....	9
<b>3 Metsäsektoria koskevat tarkennetut skenaario-oletukset</b> .....	9
3.1 Skenaarioiden laadinnan apuna käytetyt mallit .....	9
3.2 Metsäteollisuustuotteiden kysyntä .....	10
3.2.1 Mekaaninen metsäteollisuus.....	10
3.2.2 Massa- ja paperiteollisuus .....	11
3.2.3 Metsäteollisuustuotannon arvon muutos ilman nestemäisten liikennepolttoaineiden tuotantoa .....	13
3.3 Puun kysyntä energiantuotannossa .....	14
3.4 Puun tuonti.....	16
<b>4 Metsävarojen ja niiden käytön kehitys</b> .....	17
4.1 Kotimaisen puun käyttö ja korjuu.....	17
4.1.2 Hakkuiden suhde taloudellisesti suurimpiin kestäviin .....	20
4.2 Metsävarojen kehitys .....	22
4.3 Metsien hiilinielut .....	24
4.3.1 Energiapuukäytön herkkyysanalyysi skenaariolle Jatkuva kasvu.....	25
<b>5 Yhteenveto</b> .....	27
<b>Kirjallisuus</b> .....	29
<b>Liite 1 Julkaisussa käytetyt termit</b> .....	31
<b>Liite 2 Metsävarojen kehitysarvioiden laskentaperusteet</b> .....	32

## 1 Johdanto

EU:n tavoittelee siirtymistä kilpailukykyiseen vähähiiliseen yhteiskuntaan, jossa vuosittaiset kasvihuonekaasupäästöt ovat supistuneet vuoteen 2050 mennessä 80–95 prosenttia vuoden 1990-tasosta (Euroopan komissio 2011). Taustalla on globaali tavoite hillitä ilmaston lämpenemistä. Suomessa tavoite 80 prosentin päästövähennyksestä vuoteen 2050 mennessä on kirjattu hallituksen hyväksymään ilmastolakiesitykseen (HE 82/2014). Low Carbon Finland 2050 -platform -hankkeessa (tämän jälkeen myös LCFinPlat) etsittiin ja tarkasteltiin kehityspolkuja, joita kulkemalla tavoite olisi saavutettavissa. VTT:n koordinoimassa hankkeessa oli mukana tutkijoita eri sektoreilta ja painopistealueilta. VTT:n, VATT:n, Metsäntutkimuslaitoksen ja GTK:n yhteistyönä toteuttama hanke kuuluu Tekesin Green Growth – Tie kestävään talouteen -ohjelmaan.

Hankkeessa tarkasteltiin kuutta kehityspolkua, jotka nimettiin skenaarioiksi *Base*, *Base80*, *Jatkuva kasvu*, *Muutos*, *Säästö* ja *Pysähdys*. Skenaariossa *Base* Suomen oletettiin täyttävän vain vuoteen 2020 asti asetetut velvoitteet. Muissa skenaariossa tavoiteltiin vähintään 80 prosentin vähennystä kasvihuonekaasupäästöihin vuoteen 2050 mennessä. Muiden kuin *Base* ja *Base80* -skenaarioiden muodostamisen taustalähtökohdiana oli Datorin (1981) esittämät neljä tyyppiskenaariota: Jatkuva kasvu (Continued growth), Romahdus (Societal collapse), Säästö (Conserve society) ja Muutos (Transformation society). Siten tavoitteena oli esittää neljä lähtökohdiltaan toisistaan selvästi poikkeavaa kehityskulkua. Skenaarioiden lähtökohdat ja taustalla olevat perusajatuksat muodostettiin hankkeeseen osallistuneiden tutkijoiden näkemysten sekä työryhmien, internet-kyselyn ja asiantuntija-arvioiden pohjalta. Näiden pohjalta laadittiin edelleen laskennalliset vähähiiliskenaariot VTT:n, VATT:n, GTK:n ja Metsäntutkimuslaitoksen analyysityökaluja käyttäen.

Kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen ja maankäytön hiilinielujen lisääminen ovat keskeisiä toimenpiteitä, kun pyritään hillitsemään ilmaston muutosta. Metsäsektorin osalta kasvihuonekaasupäästöihin vaikuttavat eniten metsäteollisuuden energian käyttö ja fossiilisten polttoaineiden korvaaminen uusiutuvalla puubiomassalla energiantuotannossa. Metsäteollisuus on itse tärkeä puuperäisen energian tuottaja ja kuluttaja. Lisäksi erityisesti saha- ja vaneriteollisuuden tukkipuun ostomäärä vaikuttaa välillisesti energiantuotantoon käytettävissä olevan kanto- ja oksahakkeen korjuupotentiaaliin. Puubiomassan korjuumäärä vaikuttaa puolestaan metsien hiilinieluun eli kykyyn lisätä puustoon ja maaperään sitoutuneen hiilen määrää.

Suomen metsät sitovat ilmakehästä vuosittain hiilidioksidia määrän, joka on noin puolet Suomen muiden sektoreiden kasvihuonekaasupäästöistä. Mahdollisuus hyödyntää metsien hiilinieluja kompensoimaan muiden sektoreiden päästöjä on kuitenkin Kioton pöytäkirjassa ja jatkosopimuksissa hyvin rajallinen. Siksi metsänielun kasvattaminen nykyisestä ei tuo Suomelle lisähyötyä ilmastovelvoitteiden saavuttamisessa. Tästä syystä nielujen kasvua ei käytetty LCFinPlat -hankkeessa päästöjen vähentämiskeinoina, vaikka niiden kehitystä tarkastellaan.

Metsäntutkimuslaitos vastasi skenaarioiden määrittelystä ja tulosaineistosta metsäsektorin osalta lukuun ottamatta puubiomassan energiakäyttöä, josta VTT teki laskelmat globaalilla energiajärjestelmämallillaan. Näin voitiin huomioida metsäenergian asema energiajärjestelmässä kilpailevana vaihtoehtona muille energiamuodoille. Tämä raportti esittelee hankkeessa tehdyt keskeiset metsäsektoria koskevat lähtöoletukset ja tulosaineiston. LCFinPlat -hanke kokonaisuudessaan esitellään raportissa Koljonen ym. (2014).

Raportin aluksi kuvaillaan skenaarioiden yleispiirteet. Sen jälkeen kerrotaan, miten kehityspolkujen oletetaan heijastuvan metsäteollisuuden kehitykseen ja metsäbioenergian käyttöön ja esi-

tetään näiden pohjalta malliavusteisesti saatuja tuloksia metsävarojen, metsänhoidon ja metsien hiilinielujen kehityksestä.

## 2 Skenaarioiden yleislinjojen esittely

Raportissa esitetyt skenaariot eivät ole ennusteita vaan eräitä mahdollisia tulevaisuuskuvia. Ne koostuvat yleisellä tasolla kuvatuista kehityspolkuja koskevista laadullisista tulevaisuuden arvioista, näiden pohjalta tehdyistä tarkentavista lisäoletuksista sekä malleilla lasketuista numeerisista tuloksista. Metsäsektorin osalta tarkentavat oletukset koskevat muun muassa nykyisten ja uusien metsäteollisuustuotteiden kysyntää, uusien metsäteollisuustuotteiden markkinoille tuloa, puun tuontia sekä metsänomistajien käyttäytymistä.

Koska skenaariot ulottuvat vuoteen 2050, joudutaan tekemään oletuksia asioista, joilla ei ole aiempaa vertailukohtaa tai lähtötietoja. Ei tiedetä millaisia metsäteollisuustuotteita seuraavan kolmenkymmenen vuoden aikana tulee markkinoille, millaista teknologiaa niiden valmistukseen käytetään ja mikä on niiden kysynnän volyymi. Malleille joudutaan kuitenkin myös uusien tuotteiden osalta syöttämään vähintään valistuneisiin arvioihin perustuvat puun ja energian käytön panokset, jotta tuotteiden vaatima energian ja metsäresurssien käyttö voidaan arvioida.

Seuraavassa esitetään skenaarioiden yleisiä linjoja, joita tarkennetaan metsäsektorin osalta luvussa 3.

### 2.1 Base

*Base*-skenaariossa oletetaan nykyisten politiikkatoimien (EU:n 2020 ja Kioton 2. kauden LULUCF sektorille asetetun 20,5 milj. t CO<sub>2</sub> –ekv. nielutavoitteen noudattaminen) jatkuvan tulevaisuudessa ilman uusia velvoitteita päästövähennyksiin. Talouden, teollisuuden tai yhdyskuntien rakenteessa ei tapahdu suuria muutoksia. Vuoteen 2025 asti talouskehitys seuraa päivitetyn energia- ja ilmastostrategian (TEM 2013) perusuraa, jonka jälkeen teollisuustuotannon oletetaan pysyvän jokseenkin ennallaan. Suunnitellut uudet ydinvoimalat Olkiluoto 4 ja Pyhäjoki toteutetaan. Metsäteollisuuden tuotanto pysyy lähellä nykytasoa lukuun ottamatta kartongin tuotantoa, jonka oletetaan hieman kasvavan. Myös puun tuonti säilyy lähellä nykytasoa. Metsähakkeen tuonnin Venäjältä oletetaan kuitenkin lisääntyvän, koska skenaario ei sisällä globaalia 80 prosentin päästövähennystavoitetta, joka lisäisi Venäjän omaa energiapuun käyttöä.

### 2.2 Base80

*Base80*-skenaario poikkeaa *Basesta* siinä, että oletuksena on maailmanlaajuinen kasvihuonekaasupäästöjen hillintä siten, että ilmasto lämpenee maksimissaan kaksi celsiusastetta. Tämä tarkoittaisi teollisuusmaille vähintään 80 prosentin päästövähennystavoitetta vuoden 1990 kasvihuonekaasupäästöihin verrattuna. Tämän seurauksena Suomessa kotimaisen puubiomassan käyttö energiaksi kasvaa huomattavasti samalla kun energiapuun tuontimahdollisuudet ovat kilpailun vuoksi heikkomat. Uutta ydinvoimaa rakennetaan Suomessa saman verran kuin skenaariossa *Base*.

## 2.3 Jatkuva kasvu

Skenaariossa *Jatkuva kasvu* teollisuusmaissa saavutetaan globaaliin ilmastopöytäkirjaan mukainen vähintään 80 prosentin vähennys kasvihuonekaasupäästöissä. Vakaa kansainvälinen järjestelmä ja poliittinen ilmapiiri mahdollistavat tehokkaasti toimivan kansainvälisen kaupan ja jatkuvan talouskasvun. Skenaariossa panostetaan voimakkaasti uusien teknologioiden ja palvelukonseptien kehitykseen ja käyttöönottoon. Biotalous innovaatiot muodostavat yhden tukijalan elinvoimaiselle ja kasvavalle, mutta rakenteeltaan nykyisestä poikkeavalle metsäteollisuudelle. Kaupungistuminen on voimakasta, ja keskittymät yhdyskuntarakenteessa tarjoavat alustan innovaatioiden syntymiselle ja hillitsemisevät liikenteen kasvua. Mahdollisuus maaseutumaisempaan asumiseen säilyy vakaiden olojen ja suotuisan talouskasvun ansiosta.

Tarkastelluista kehityskäytännöistä *Jatkuva kasvu* -skenaario edustaa tapausta, jossa uuden teknologian kehitys ja käyttöönotto on nopeaa, mukaan lukien hiilidioksidin talteenotto- ja varastointiteknologian (CCS) kaupallistuminen. Ydinvoiman lisärakentaminen Suomessa rajoittuu kahteen uuteen voimalaan kuten skenaariossa *Base*.

## 2.4 Säästö

*Säästö*-skenaariossa kulutustottumukset ja kuluttajien arvot muuttuvat kestävyyttä suosiviksi, ja kulutus kohdistuu välttämättömiin tuotteisiin. Tuotteiden kestävyys, käytettävyys ja käyttöikä ovat arvossaan. Uuden teknologian kehitys ja käyttöönotto on hitaampaa kuin *Jatkuvan kasvun* -skenaariossa ja alueellinen säätely voimakasta. Globaali talouskasvu on hitaampaa kuin skenaariossa *Jatkuva kasvu* tai jäljempänä esiteltävässä skenaariossa *Muutos*. Kansainvälisen kaupan edellytykset ovat myös heikommat. Suomen vienti painottuu lähimarkkinoille.

Maailmanlaajuinen ilmastopöytäkirja kahden asteen tavoitteen ja kasvihuonekaasupäästöjen vähennyksestä on voimassa. Muuhun maailmaan verrattuna EU:n oletetaan toteuttavan päästövähennykset kuitenkin nopeutetulla aikataululla toimien keskittyessä erityisesti energiansäästöön, energiatehokkuuteen ja materiaalitehokkuuteen. Päästövähennysten aikaistaminen näkyy EU:ssa energian hintojen ja kuljetuskustannusten nousuna. Energiaomavaraisuus korostuu. Kotimaisten energialähteiden käyttöä edistetään voimakkaasti, eikä ydinvoiman lisärakentamista energiavaihtoehtona rajoiteta. Rakentamisen sääntely parantaa rakennusten energiatehokkuutta myös korjausrakentamisessa.

## 2.5 Pysähdys

Skenaariossa *Pysähdys* kansainvälisessä taloudessa on suuria häiriöitä, joiden seurauksena protektionismi ja valtioiden väliset alueelliset liittymät voimistuvat. Epävakaassa ympäristössä prioriteetit muuttuvat eikä globaalia ilmastopöytäkirjasta pystytä solmimaan. Tämän seurauksena ilmastolämpeneminen etenee aiheuttaen sosiaalisia, ympäristöllisiä ja taloudellisia vahinkoja. Globaali sekä EU:n talouskehitys ajautuu pitkäaikaiseen hitaan kasvun vaiheeseen. Euroopan Unioni pyrkii kuitenkin toteuttamaan 80 prosentin kasvihuonekaasujen päästövähennystavoitteen vuoteen 2050 mennessä.

Uusien teknologioiden kehitys ja käyttöönotto on vaatimatonta ja Suomen vienti on vaikeuksissa myös lähialueille. Teknologian kehityksen ja käyttöönoton hitauden vuoksi luonnonvarojen saa-



tavuus heikkenee, energian ja resurssien käytön kokonaishyötysuhde pienenee ja energiaketjun osuus arvonnalisestä kasvaa. Mahdollisuudet CCS:n käyttöön päästöjen vähentämisessä jäävät rajallisiksi, ja vain yksi Suomeen kaavailuista uusista ydinvoimaloista toteutuu. Yhdyskuntarakenteen uudistuminen hidastuu, ja julkisen liikenteen kehitysnäkymät ovat heikot. Metsien käyttö kohdistuu perinteiseen perusteollisuuteen ja energiantuotantoon.

## 2.6 Muutos

Skenaariossa *Muutos* maailma kehittyy monessa mielessä idealistisesti: samat säännöt, tasainen tulonjako, valistuneet kansalaiset sekä rauhalliset ja vakaat olot mahdollistavat ihmisten vapaan valinnan, tekniikan kehittymisen ja korkean talouskasvun. Maailmanlaajuinen ilmastopimus on voimassa ja ilmastomuutos pystytään hillitsemään noin kahteen asteeseen.

Suorittavan työn merkitys vähenee, kun robotiikka ja muut innovaatiot korvaavat työvoimaa. Työ ja vapaa-aika sekoittuvat. Sekä luonnonläheiset alueet että kaupunkiseudut vetävät asutusta. 3D-tulostuksen kehitys ja yleistyminen muuttavat merkittävästi perinteisiä tavarantuotanto- ja hankintaketjuja.

Suomessa kukoistavan bionalouden innovaatiot mahdollistavat esimerkiksi muovien, rehujen, energian, lääkkeiden, kemikaalien ja ruoan tuotannon biomassasta. Puuhun perustuvista uusista tuotteista merkittäviksi nousevat 3D-tulostukseen soveltuvat biomateriaalit, fibrilliselluloosa, tekstiilikuidut, päällystemateriaalit ja rakentamiseen soveltuvat komposiitit.

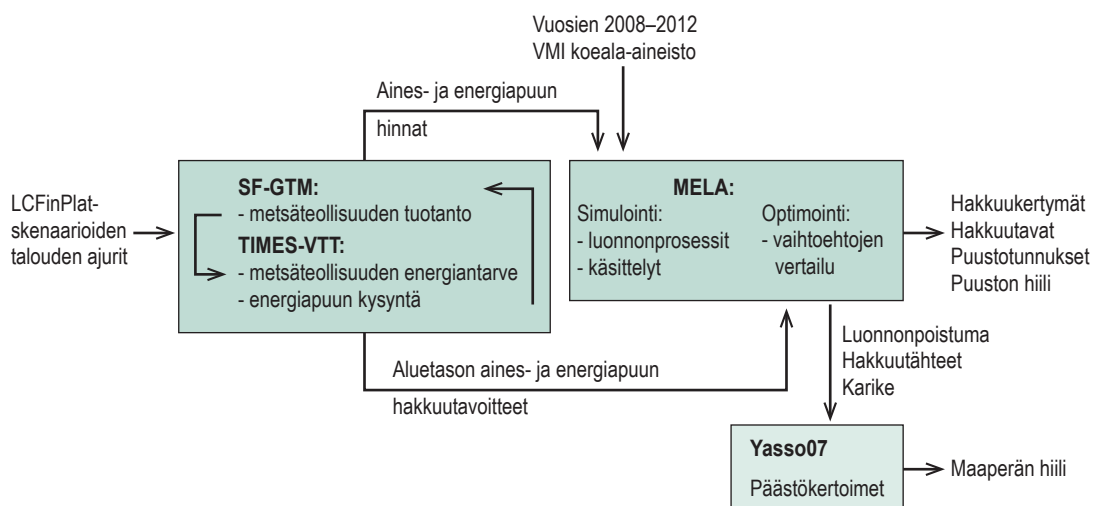
Liikenteessä teknologia kehittyy nopeasti, esimerkiksi itseohjautuvat autot yleistyvät. Sähköntuotanto-, verkko- ja ICT-teknologian innovaatiot ja vakaat olot mahdollistavat uusiutuvan energian tehokkaan hyödyntämisen ja sähkön siirron jopa EU:n, Afrikan ja Aasian laajuisesti (esim. ns. SuperGrid). Edellytykset uusiutuvien energialähteiden läpimurrolle ovat muutenkin hyvät, sillä hiilidioksidin talteenotto ja varastointi saadaan teknisistä, taloudellisista tai poliittisista syistä vain rajoitetusti käyttöön. Ydinvoiman lisärakentaminen Suomessa rajoittuu rakenteilla olevaan viidennen reaktoriin (Olkiluoto 3).

## 3 Metsäsektoria koskevat tarkennetut skenaario-oletukset

### 3.1 Skenaarioiden laadinnan apuna käytetyt mallit

Metsäsektorin kehityksen kuvailemiseksi käytettiin asiantuntija-arvioita ja niitä tukevia mallityökaluja. Numeeristen arvioiden tekemisessä käytettiin apuna Suomen metsäsektorin osittaistasapainomallia (SF-GTM, ks. Kallio 2010, Kallio ym. 2013), Metsäntutkimuslaitoksessa kehitetyn metsätalouden suunnitteluohjelmiston MELA:n (Siitonen ym. 1996) vuoden 2012 julkistusversiota (Redsven ym. 2013) ja VTT:n TIMES –VTT -mallia (kuva 1).

SF-GTM- mallille annettiin skenaariokohtaisesti lähtötietona oletukset metsäteollisuustuotteiden ja energiabiomassan kysynnän kehityksestä ja tuontipuun tarjontapotentiaalista. Mallilla laskettiin metsäteollisuuden tuotannon ja eri puujakeiden käytön ja korjuun kohdentuminen alueittain sekä näihin liittyvät tasapainohinnat eri tuotteille. Energia- ja ainespuun hinnat ja korjuumäärät Suo-



**Kuva 1:** Laskentakehikko.

men eri metsäkeskuksissa syötettiin lähtötietoina MELA-malliin, jolla arvioitiin edelleen metsien ja metsävarojen sekä puuston hiilinielun kehitys. Maaperän hiilen laskenta perustui kangasmailla Yasso07 malliin (Tuomi ym. 2011a,b) ja turvemaiden keskimääräisiin päästökertoimiin (Greenhouse ... 2012).

Metsäteollisuuden tuotantoa käytettiin lähtötietona TIMES-VTT- energiajärjestelmämallissa metsäteollisuuden energian tarpeen määrittämiseksi. TIMES-VTT-mallista saatiin takaisin bioenergian kysyntä syötteeksi metsäsektorimalliin. Mallien käyttämät oletukset ja tulokset menivät siis osittain päällekkäin ja ristiin. Vaikka tulosten keskinäistä johdonmukaisuutta pyrittiin edistämään tekemällä useampia laskentakierroksia, mallien oletusten ja tulosten välille jäi väistämättä eroavaisuuksia. Niistä huolimatta muodostettujen vaihtoehtojen kehityspolkujen kuvausten voidaan olettaa olevan riittävän yhdenmukaisia pitkän ajan vaikutusten tarkasteluun.

## 3.2 Metsäteollisuustuotteiden kysyntä

Seuraavassa metsäteollisuustuotteet kuvataan perinteiseen tapaan erotuksella ”mekaaninen” ja ”kemiallinen” metsäteollisuus, vaikka tulevaisuuden uusien tuotteiden kohdalla raja-aita näiden tuotteiden välillä ei ole yksiselitteinen. Esimerkiksi mekaanisen metsäteollisuuden puolelle sisällytetty biokomposiitit voivat sisältää materiaalinaan kemiallisin menetelmin valmistettua selluloosaa.

### 3.2.1 Mekaaninen metsäteollisuus

Sahatavaran kysynnän oletetaan pysyvän ennallaan runsaassa 10 miljoonassa kuutiometrissä skenaarioissa *Base* ja *Base80*. Taustalla on oletus, että vaikka sahatavaran kysyntä Suomen päävientimarkkinoilla kääntyisi kasvuun, tuotanto kasvaa enemmän muualla kiristäen kilpailua tuottajamaiden välillä. Suomalaisen sahatavaran kysynnän kasvu on voimakkainta *Säästö*-skenaariossa, jossa korjausrakentaminen kasvaa ripeästi rakentamista koskevien säännösten myötä ja jossa puuta suositaan uudisrakentamisessa. Lisäksi puun suosion oletetaan kasvavan kestävästi ja ekologisesti materiaalina huonekaluteollisuudessa ja sisustamisessa. Myös skenaarioissa *Pysähdys* ja *Jatkuva kasvu* Suomessa tuotetulle sahatavarakkeelle oletetaan perusskenaariota suurempi kysyntä

puurakentamisen suosion myötä. *Pysähdys* skenaariossa päädytään tarkastelujakson lopulla korkeampaan sahatavaran tuotantoon kuin *Jatkuva kasvu* skenaariossa, jossa markkinoille tulevat uudet puumateriaalit korvaavat myös sahatavaraa.

Skenaariossa *Muutos* sahatavaran ja vanerin kysyntä supistuu voimakkaasti uusien korvaavien puupohjaisten materiaalien myötä. Tarkastelujakson kuluessa kehitetään pienpuusta ja muusta puukuidusta tehtäviä lujia tuotteita, jotka korvaavat metsässä pitkään kasvatetusta järeästä puusta tehtyjä materiaaleja. Tällaisten uusien tuotteiden kysynnän ja tuotannon kasvu näkyy *Muutos*-skenaariossa lisäksi skenaariossa *Jatkuva kasvu*. *Säästö*-skenaariossakin otetaan käyttöön uutta teknologiaa, mutta hitaammin. Mekaanisen metsäteollisuuden tuotannon kehitys eri skenaarioissa on esitetty taulukossa 1.

**Taulukko 1.** Mekaanisen metsäteollisuuden tuotteiden oletettu kysyntäkehitys (Suomen tuotanto), milj. m<sup>3</sup>/v.

	Base		Jatkuva kasvu	Säästö	Pysähdys	Muutos
	2010	2025	2025	2025	2025	2025
Sahatavara	9,5	10,4	10,9	11,0	10,9	9,9
Vaneri	1,0	1,5	1,1	1,1	1,1	1,5
Lastu- ja kuitulevyt	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Uudet tuotteet, ml. biokomposiitit	n.a.	0,1	1,9	1,0	0,3	2,0
Yhteensä	10,7	12,1	14,0	13,2	12,4	13,5
	2010	2050	2050	2050	2050	2050
Sahatavara	9,5	10,5	10,8	13,4	11,9	5,5
Vaneri	1,0	1,5	1,1	1,1	1,1	0,9
Lastu- ja kuitulevyt	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Uudet tuotteet, ml. biokomposiitit	n.a.	0,1	4,0	2,0	0,5	5,2
Yhteensä	10,7	12,1	16,0	16,6	13,5	11,6

### 3.2.2 Massa- ja paperiteollisuus

Monet nykyisistä metsäteollisuustuotteista ovat tulleet elinkaarensa käännekohtaan. Erityisesti paino- ja kirjoituspaperien kysyntä on viime vuosikymmenellä hiipunut Euroopassa, Pohjois-Amerikassa ja muilla korkean elintason alueilla digitaalisen median kasvun sekä viime vuosina myös maailmantalouden heikon kehityksen seurauksena. Toisaalta esim. Aasian kasvavilta markkinoilta ei ole löytynyt sellaista kysyntää, jonka tyydyttämisessä olisi nojaututtu lisääntyvään tuontiin Euroopasta. Aasian maiden, erityisesti Kiinan, oman tuotannon kasvettua voimakkaasti paperien kauppavirtojen suunta on kääntynyt paremminkin Aasiasta kohti Eurooppaa. Suomen paino- ja kirjoituspaperin tuotanto on tämän kehityksen seurauksena supistunut huomattavasti viimeisen vuosikymmenen aikana. Tulevina vuosikymmeninä paperia korvaavien elektroniikkalaitteiden käytön oletetaan entisestään kasvavan ja supistavan edelleen paperin kulutusta (taulukko 2). Tarkastelluissa skenaarioissa Suomen paino- ja kirjoituspaperien kysyntä hiipuu, lukuun ottamatta Base ja Base80 -skenaarioita, joissa kysynnän oletetaan pysyvän lähempänä Suomen nykyisen tuotantokapasiteetin tasoa tarkastelujakson loppuun asti. Oletus ei vastaa yleisesti vallitsevaa näkemystä painopaperien kysynnän laskevan trendin jatkumisesta. Base -tapauksen arviointi on kuitenkin hyödyllistä, koska näin voidaan tarkastella, millaisia sopeutumistoimia eri

sektoreilla tarvitaan pyrittäessä vähähiilisyteen, kun teollisuudessa vallitsee nykyisenkaltaiset olosuhteet, kuten Base80-skenaariossa tehdään.

Paino- ja kirjoituspaperien kysyntä alenee voimakkaimmin skenaarioissa *Muutos*, *Jatkuva kasvu* ja *Pysähdys*: kahdessa ensiksi mainitussa teknisen kehityksen ja kuluttajien hyvän ostovoiman vauhdittamana ja jälkimmäisessä heikon talouskehityksen ja maailmankaupan sirpaloitumisen seurauksena. Suomen paperiteollisuuden markkinakehitystä rajoittaa *Pysähdys*-skenaariossa kuljetuskustannusten kallistuminen, joka heijastuu paitsi Euroopan ja muiden alueiden kaupan vähenemiseen, myös Suomen viennin heikentyneeseen kilpailukykyyn keskieurooppalaisiin tuotajiin verrattuna. *Säästö*-skenaariossa paino- ja kirjoituspaperien kysyntä alenee hitaammin kuin muissa skenaarioissa, toisaalta skenaariota *Pysähdys* ripeämmän talouskasvun ansiosta, toisaalta skenaarioita *Jatkuva kasvu* ja *Muutos* hitaamman uuden teknologian käyttöönoton ja kuluttajien uuteen teknologiaan käytettävissä olevien pienempien tulojen takia. Tarkastelujakson lopulla pienin kysyntä on skenaariossa *Muutos*, jossa uusien nykyisiä papereita korvaavien keksintöjen oletetaan vähentävän paperien ja paperisen median käyttöä ratkaisevasti kaikissa käyttäjäryhmissä. Skenaarioissa *Jatkuva kasvu* ja *Muutos* osa perinteisten paino- ja kirjoituspaperien kulutuksesta suuntautuu mahdollisesti uusiin vanhoja paperilaatuja korvaaviin mediasisällöillä ladattaviin älypapereihin ja kirjoituslustoisiin.

Suomessa valmistettavien muiden paperien tuotantoon (pehmo-, säkki- ja erikoispaperit) ei oleteta merkittäviä muutoksia. Pehmopaperin kuljetuskustannukset ovat korkeat, sen tuotanto vaatii suhteellisen pienen mittakaavan ollakseen kustannustehokasta ja lisäksi sitä voidaan valmistaa myös kierrätyskuiduista. Näistä syistä pehmopaperin tuotanto on perinteisesti sijoittunut lähelle kulutusta, eikä ole aihetta olettaa, että sen vienti Suomesta kasvaisi markkinoiden vahvasta kasvusta huolimatta. Pehmopaperimarkkinoiden kasvu voi kuitenkin tarjota mahdollisuuksia sellun lisävientiin, joka osin korvaa painopapereiden valmistukseen käytettävän sellun kysynnän supistumista.

Kansainvälisen kaupan kasvun ja nettikaupan yleistymisen säilyttää Suomessa tuotettujen pakkauskartonkien kysynnän ennallaan 2025 asti. Myöhemmin kysyntä alenee lievästi Basea lukuun ottamatta. Erityisesti skenaariossa *Muutos* oletetun pakkauskartongin kysynnän alenemisen taustatajatuksena on paikallista valmistusta suosivien robottiteknologian ja 3D-tulostamisen yleistymisen, mikä vähentää tuotteiden kuljettamiseen tarvittavaa pakkaamista. Skenaarioissa *Jatkuva kasvu* ja *Muutos* myös uudet ohuet biokuitutuotteet korvaavat nykyisin valmistettavia kartonkeja. Skenaariossa *Pysähdys* kysynnän laskun taustalla on lähes yksinomaan heikko talouskehitys ja kiristyvä kilpailu, joka siirtää pakkausmateriaalien valmistusta muualle.

Perinteisten massa- ja paperituotteiden rinnalle tai sijaan oletetaan tulevan jonkin verran uusia massa- ja kuitutuotteita kaikissa skenaarioissa, mutta erityisesti niiden kysyntä ja tuotanto kasvavat skenaarioissa *Jatkuva kasvu* ja *Muutos*, joissa vuonna 2050 tuotetaan noin kolme miljoonaa tonnia tällaisia uusia tuotteita Suomessa. Nämä tuotteet käsittävät muun muassa puusta valmistettuja tekstiilikuituja, nanosellua ja uusia pinnoitemateriaaleja. Myös perinteisen sellun vientituotanto kasvaa lukuun ottamatta skenaariota *Muutos*, jossa painopaperien ja kartonkien kysynnän väheneminen supistaa sellun kulutusta tai kulutuksen kasvua. Muistettakoon, että uusia tuotteita oletettiin tulevan myös ”Mekaanisen metsäteollisuuden” puolelle (taulukko 1), ja että rajanveto tulevaisuuden mekaanisen ja kemiallisen metsäteollisuustuotteiden välillä ei ole yksiselitteinen. Puusta tehdään kemiallisesti myös biojalosteita, joista energiakäyttöön tarkoitettuja liikennepolttoaineita käsitellään luvussa 3.3.

**Taulukko 2.** Suomessa tuotettujen massa- ja paperiteollisuustuotteiden oletettu kysyntä (=tuotanto), miljoonaa tonnia/v.

		Base	Jatkuva kasvu	Säästö	Pysähdys	Muutos
	2010	2025	2025	2025	2025	2025
Paino- ja kirjoituspaperit	7,5	6,6	4,2	5,0	4,4	4,2
Kartongit	2,8	3,6	3,2	3,3	2,6	2,9
Muut paperit, nykyiset	1,5	1,6	1,2	1,4	1,2	1,2
Vientimassa (Sulfaattisella ja CTMP)	2,2	2,9	3,0	3,0	2,6	3,1
Liukosellu, fluff-massa, uudet paperi-, kuitu- ja massatuotteet	0,1	0,3	1,6	0,6	0,3	0,8
Kaikki yhteensä, Mt	14,1	15,0	13,2	13,3	11,1	12,2
	2010	2050	2050	2050	2050	2050
Paino- ja kirjoituspaperit	7,5	6,4	2,0	3,0	2,0	1,2
Kartongit, nykyiset	2,8	3,9	2,6	3,0	2,3	2,0
Muut paperit, nykyiset	1,5	1,6	1,2	1,4	1,2	0,9
Vientimassa (Sulfaattisella ja CTMP)	2,2	2,9	3,6	3,8	2,6	1,8
Liukosellu, fluff-massa, uudet paperi-, kuitu- ja massatuotteet	0,1	0,3	2,7	0,9	0,3	3,1
Kaikki yhteensä, Mt	14,1	15,1	12,1	12,1	8,4	9,0

Metlan skenaariotarkasteluissa on jätetty numeerisen tarkastelun ulkopuolelle tekijät, joiden ei katsottu vaikuttavan olennaisesti energian kysyntään tai puun käyttöön, mutta jotka vaikuttavat metsäsektorin liiketoimintaan ja kansalaisten hyvinvointiin tulevaisuudessa. Yksi tällaisista tekijöistä on palveluliiketoiminnan kehitys. Palveluliiketoiminnan kasvua pidetään jopa edellytyksenä materiaalisiin tuotteisiin perustuvan liiketoiminnan menestymiselle.

### 3.2.3 Metsäteollisuustuotannon arvon muutos ilman nestemäisten liikennepolttoaineiden tuotantoa

Vuonna 2010 puutuoteteollisuuden viennin arvo oli yllä tarkasteltujen tuotteiden osalta 1,6 miljardia euroa (1,7 Mrd € vuonna 2012). Massan, paperin ja kartongin viennin arvo oli 8,2 miljardia euroa (8,3 Mrd €). Paperia, kartonkia ja mekaanisen metsäteollisuuden tuotteita valmistettiin ja myytiin myös kotimaan markkinoille arviolta noin 1,9 miljardin euron edestä (1,8 Mrd €), jos kotimaahan jäänyt tuotanto arvioidaan vientihinnoin. Yhteensä näin laskettu metsäteollisuuden tuotannon arvo ilman välituotteena kotimaassa käytettyä massaa on suuruusluokkaa 11,7 miljardia euroa vuonna 2010 (11,9 Mrd € vuonna 2012).

Jos halutaan arvioida skenaarioiden metsäteollisuustuotannon arvoa tulevaisuudessa, on tehtävä oletus uusien tuotteiden hinnoista. Oletamme seuraavassa laskelmassa, että uusista kemiallisen

metsäteollisuuden tuotteista maksetaan keskimäärin hinta 900 €/t, joka on selvästi korkeampi kuin valkaistun sulfaattisellun vientihinta ja korkeampi kuin kartonkien nykyinen keskivientihinta. Mekaanisen metsäteollisuuden uusille tuotteille oletamme keskimääräiseksi hinnaksi 500 €/m<sup>3</sup>, joka on lähellä vanerien keskivientihintaa. Käyttäen lisäksi nykyään tunnetuille tuotteille niiden vuoden 2010 vientihintoja, Suomen reaalin metsäteollisuuden tuotannon arvo muiden kuin energiatuotteiden osalta olisi vuosina 2030–2050 noin 11 % vuoden 2010 tasoa korkeampi *Base* -skenaarioissa, 10–15 % vuoden 2010 tasoa korkeampi skenaariossa *Jatkuva kasvu* ja 2–7 % korkeampi skenaariossa *Säästö*. *Pysähdys*-skenaariossa, jossa uusia tuotteita ei tule markkinoille vaan metsäteollisuus hiipuu, tuotannon arvo supistuu vuoden 2010 tasosta noin 20 % vuoteen 2050 mennessä. Myös *Muutos* -skenaariossa päädyttäisiin yllä mainittuja hintoja käyttäen hieman 2010 tason alapuolelle vuonna 2050. *Muutos* -skenaariotaustalla on kuitenkin ajatus, että ns. ”uudet tuotteet” olisivat selvästi erilaisia, edistyneempiä ja valmistusprosessiltaan vaativampia kuin muissa skenaarioissa. Silloin yllä käytetyt varovaiset hinta-arviot ovat liian alhaisia. Siksi myös *Muutos* -skenaariossa metsäteollisuuden tuotannon arvon voidaan olettaa olevan selvästi vuoden 2010 tasoa korkeampi tarkastelujakson loppuun saakka.

Luvut eivät sisällä biodieselin ja muiden nestemäisten polttoaineiden tai kiinteiden polttoaineiden valmistusta, joista merkittävä osa tullaan tuottamaan metsäteollisuuden tuotantolaitosten, erityisesti sellutehtaiden, yhteydessä. Näistä tuotteista saatu liikevaihdon lisäys on huomattava kaikissa skenaarioissa. Siten sektorin liikevaihto ei laajemmin katsoen alene nykytasostaan edes skenaariossa *Pysähdys*. Myös metsien hakkuut ja metsänomistajien saamat puunmyyntitulot kasvavat kaikissa skenaarioissa.

Tilastokeskus (2013) raportoi metsäteollisuuden myydyin tuotannon arvoksi 15,8 miljardia euroa vuonna 2010 (15,7 Mrd € v. 2012). Luku sisältää kuitenkin enemmän tuotteita ja palveluita kuin mitä yllä on tarkasteltu ja mahdollisesti hieman eri perustein laskettuna. Siksi tuotannon arvon suhteellista muutosta ei verrattu viralliseen tilastolukuun. Lukujen voidaan olettaa muuttuvan samassa suhteessa.

### 3.3 Puun kysyntä energiantuotannossa

Puubiomassan kysyntään energiantuotannossa vaikuttavat sähkön, lämmön ja liikennepolttoaineiden yleinen kysyntä, puupolttoaineen käyttökustannukset suhteessa muiden polttoaineiden kustannuksiin, kilpailu energian eri tuotanto- ja käyttömuotojen kesken, tekninen kehitys ja poliittinen ohjaus. Metsäenergian kysyntä arvioitiin TIMES-VTT -mallilla, joka huomioi kaikki yllä mainitut tekijät samanaikaisesti. Koska metsäteollisuus itse on merkittävä energian kuluttaja ja tuottaja, oletukset Suomen metsäteollisuuden tuotannosta sisältyivät myös TIMES-VTT -mallin käyttämiin lähtötietoihin. Energiajärjestelmien kehitystä koskeva laskenta ja siihen liittyvät muut oletukset on tarkemmin kuvattu raportissa Lehtilä ym. (2014).

Puupolttoaineilla on merkittävä rooli Suomen kasvihuonekaasupäästövähennyksen saavuttamisessa kaikissa skenaarioissa. Taulukossa 3 esitetään metsähakkeen (sisältäen myös ainespuukokoisesta runkopuusta tehdyn hakkeen) oletettu kysyntä sähkön ja lämmön tuotannon polttoaineksi sekä käyttö nestemäisten polttoaineiden valmistuksessa.

Skenaariot eroavat toisistaan melko vähän energiapuun käytössä sähkön ja lämmön valmistukseen. Skenaarioissa, joissa pyritään 80 prosentin päästövähennykseen, metsistä korjattavan energiapuun käyttö sähkön ja lämmön tuotannossa vaihtelee 14,3 miljoonasta kuutiometrillä (*Jatku-*

**Taulukko 3.** Kiinteän puubiomassan (metsähake sis. runkopuun) oletettu tarve sähkön ja lämmön tuotannossa ja nestemäisten biopolttoaineiden valmistuksessa Suomessa, miljoonaa kuutiometriä vuodessa (1 milj. m<sup>3</sup> ≈ 2 TWh)<sup>1</sup>. Tulokset VTT:n TIMES-VTT-mallista.

	2020	2025	2030	2040	2050
<b>Sähkön ja lämmön tuotanto</b>					
Base	13	13	13	13	13
Base80	13	14	16	14	14
Jatkuva kasvu	13	14	15	14	15
Säästö	13	14	15	17	16
Pysähdys	15	16	17	17	16
Muutos	13	14	16	18	15
<b>Biojalostamot</b>					
Base	1	2	5	7	10
Base80	1	2	5	12	14
Jatkuva kasvu	2	3	4	9	10
Säästö	2	3	6	16	14
Pysähdys	1	5	9	14	17
Muutos	2	4	6	8	13
<b>Yhteensä</b>					
Base	13	14	17	20	23
Base80	14	16	20	26	28
Jatkuva kasvu	14	16	18	23	26
Säästö	15	17	21	33	30
Pysähdys	16	21	26	31	33
Muutos	14	18	22	26	29

va kasvu) 16 miljoonan kuutiometriin (*Pysähdys*) vuonna 2025. Vuoteen 2050 tultaessa vastaava käyttö vaihtelee hieman yli 14 miljoonan kuutiometrin (*Base80*) ja 16,2 (*Pysähdys*) miljoonan kuutiometrin haarukassa.

Skenaarioiden väliset erot energiapuusta valmistettavien nestemäisten liikennepolttoaineiden ja pyrolyysiöljyn valmistuksessa ovat suurempia. Vähiten puuta näihin polttoaineisiin käytetään vuonna 2050 skenaariossa *Jatkuva kasvu* (10,5 miljoonaa m<sup>3</sup>) ja eniten skenaariossa *Pysähdys* (16,6 miljoonaa m<sup>3</sup>). Laskelmien perusteet esitetään raportissa Lehtilä ym. (2014).

Liikennepolttoaineiden valmistuksen hyötysuhteet (lopputuotteena saadun liikennepolttoaineen energiasisältö suhteessa valmistukseen käytetyn puupolttoaineen energiasisältöön) eroavat jonkin verran skenaarioiden välillä johtuen teknisen kehityksen eroista ja mahdollisuuksista integroida tuotantoa selluteollisuuden yhteyteen. Jos nestemäisten liikennepolttoaineiden tuotannon arvo tarkastellaan karkealla tasolla käyttäen hyötysuhteena 90 prosenttia ja arvottamalla tuotantoa tämän hetkisillä verottomilla liikennepolttoaineiden hinnoilla ottamatta kantaa tulevaan hintakehitykseen, biopolttoaineiden tuotantokustannuksiin tai mahdollisesti tarvittavien tukien määrään, puusta valmistettavien nestemäisten polttoaineiden tuotannon arvo vuonna 2050 on suurempi

<sup>1</sup> Mallilaskelmissa taulukossa esitetyt nestemäisten polttoaineen valmistukseen menevät biomassamäärät voivat sisältää jonkin verran myös purua ja kuorta. Sen sijaan mäntyöljystä ja muista selluteollisuuden sivuvirroista kuten esimerkiksi mustalipeästä valmistetut biojalosteet, sähkö ja lämpö eivät sisälly taulukon lukuihin. Luvut eivät myöskään sisällä kotitalouksien polttopuukäyttöä, jonka oletettiin ilmanlaatua koskevien tiukentuvien normien ja kuluttajien hiukkaspäästöjä koskevan tietämyksen kasvun seurauksena vähenevän kaikissa skenaarioissa vuoteen 2050 mennessä puoleen nykytasostaan, joka on noin 6 miljoonaa kuutiometriä vuodessa.

kuin kaksi miljardia euroa. Arvio ei sisällä mäntyöljystä (UPM:n Bioverno) ja muista selluteollisuuden sivutuotteista tulevaisuudessa tehtyjä polttoaineita. Liikennepolttoaineiden valmistus tuosis merkittävän arvonlisän metsäsektorin kokonaistuotantoon.

### 3.4 Puun tuonti

Viime vuosikymmenellä tapahtunut puun tuonnin ripeä kasvu ja sittemmin romahtaminen Venäjän asettamien puun vientitullien takia osoittaa puun tuonnin ennakoinnin vaikeutta. Tämän vuoksi skenaarioissa oletetaan, että Suomen metsäteollisuuteen ja muuhun puuta käyttävään tuotantoon tehdään vain kotimaiseen puuhun perustuvia investointeja. Skenaarioissa haluttiin myös erityisesti arvioida kotimaisten metsäresurssien tarjoamaa liikkumavaraa vastattaessa tulevaisuuden tavoitteeseen lisätä metsäenergian käyttöä ilman että metsien hiilensidonta vähenee. Näin ollen metsäteollisuuden käyttämän puun tuonnin kehityksestä tehtiin varovainen oletus, että se pysyy lähes ennallaan (taulukko 4). Tällöin oletetut muutokset metsäteollisuuden ja energiasektorin puun kysynnän kehityksestä heijastuvat selvemmin kotimaan metsätalouteen. Oletettua suurempi puun tuonti lisäisi laskelmissa kotimaisten metsien hiilinieluja ja vastaavasti vähentäisi nieluja ulkomailla. Myös kotimaisen puun hinta olisi alempi kuin laskelmissa.

Venäjän energiapuun tarjonnassa ja viennissä on periaatteessa huomattavia kasvun mahdollisuuksia. Gerasimov ym. (2009) arvioivat, että Luoteis-Venäjän energiapuun tuotanto voisi olla nykyisellä hakkuiden tasolla 21 miljoonaa kuutiometriä vuodessa, ja jos alueen kestävä hakkuumahdollisuus hyödynnettäisiin kokonaisuudessaan jopa 55,4 miljoonaa kuutiometriä. Suomeen rajautuvan Karjalan tasavallan alueella nykyhakkuihin perustuvan energiapuun korjuumahdollisuudeksi arvioitiin 2,3 miljoonaa kuutiometriä. Lisäksi alueen sahateollisuudessa syntyy sivutuotepuuta, jota voisi myös hyödyntää energiaksi.

Mikäli kansainvälisissä ilmastoneuvotteluissa päästään globaalisti sitovaan ilmastopimukseen ja sen myötä siirrytään kehityspolulle, jossa EU:n lisäksi muu maailma tavoittelee huomattavaa päästövähennystä, energiapuun tuonti vaikeutuu tulevaisuudessa. Lauri ym. (2013) tarkastelivat Venäjän ja Euroopan Unionin metsäsektorien kehitystä. Heidän laskelmiensa mukaan Venäjän energiapuun vienti ulkomaille tyrehtyy oman lisääntyvän käytön seurauksena, kun sekä Venäjälle ja muulle Euroopalle oletetaan vähähiilipolitiikka. Tällaista kehitystä mukailten oletetaan, että globaalin ilmastopolitiikan ja vakaan talouskasvun skenaarioissa *Jatkuva kasvu* ja *Muutos* Suomeen ei tarkastelujakson loppupuolella tuoda enää lainkaan ulkomaista metsähaketta siitä käytävän kilpailun takia (taulukko 5). Skenaarioissa *Base80*, *Säästö* ja *Pysähdys*, metsähakkeen tuonnin oletettiin olevan jakson loppupuolella vastaavasti enintään miljoona kuutiometriä. Jakson alkupuolella, vähittäin tiukentuvan ilmastopolitiikan alkuvuosina, tuontimahdollisuuksien oletetaan olevan suurempia. Lisäksi on mahdollista, että osa tuodusta kuitupuusta käytetään energiapuuna. Skenaariossa *Base* Suomen energiapuun tuonnin sallitaan kasvavan noin 2,6 miljoonaan kuutiometriin vuoteen 2050 mennessä. *Base* -skenaariossa ei oleteta globaalia ilmastopimusta, joten energiapuusta ei oleteta syntyvän kovin merkittävää kilpailua Suomen ja Venäjän tai Suomen ja muiden mahdollisten energiapuuta ulkomailta hankkivien Itämeren ympäristön maiden välillä.



**Taulukko 4.** Oletettu tukki- ja kuitupuun tuontimahdollisuus (milj. m<sup>3</sup>/v) keskimäärin tarkasteluajanjaksolle 2020–2050. Vuosien 2009–2013 keskiarvo perustuu Metinfor 2014 (<http://www.metla.fi/metinfo/tilasto/ulko-maankauppa/>) tilastoistoihin.

	ka. 2009–2013	2020–2050
Mäntytukki	0,3	0,1
Kuusitukki	0,3	0,3
Koivutukki	0,1	0,1
Mäntykuitu	0,8	0,6
Kuusikuitu	0,9	0,7
Lehtikuitu	4,1	3,3
<b>Yhteensä</b>	<b>6,4</b>	<b>5,1</b>

**Taulukko 5.** Metsähakkeen oletettu tuontimahdollisuus Suomeen (milj. m<sup>3</sup>/v).

	Base	Base80	Jatkuva kasvu	Säästö	Pysähdys	Muutos
Vuosi 2025	1,4	1,4	1,3	1,8	1,4	1,4
Vuosi 2050	2,5	1,0	0	1,0	1,0	0

## 4 Metsävarojen ja niiden käytön kehitys

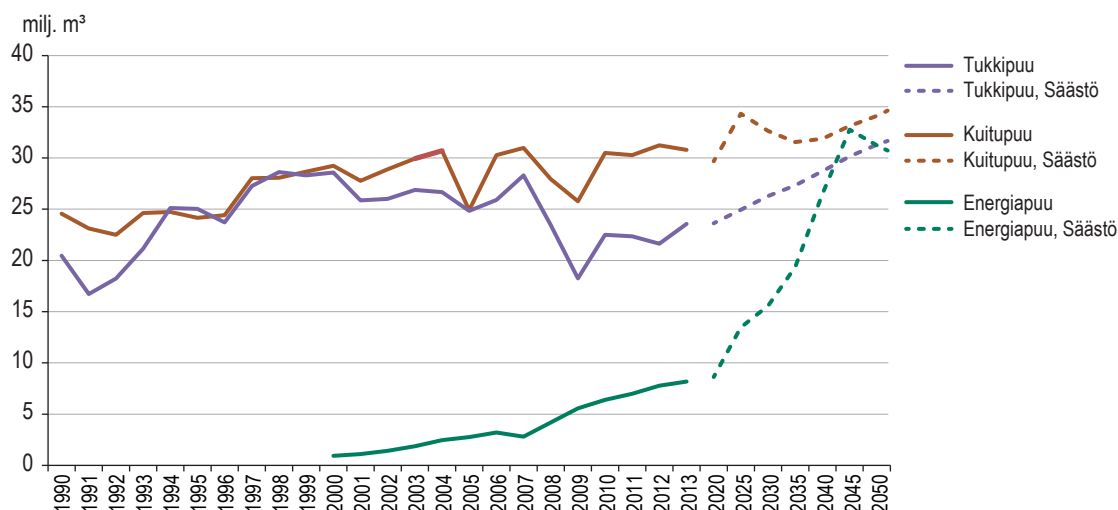
Edellisissä kappaleissa kuvattiin taustaoletuksia koskien muun muassa metsäteollisuuden kehitystä ja puun kysyntää energiasektorilla. Tässä kappaleessa kuvataan näistä oletuksista seuraavia mallein laskettuja tuloksia tukkipuun, kuitupuun ja metsähakkeen<sup>2</sup> kokonaiskysynnästä ja korjuumääristä Suomessa sekä teollisuuden raakapuun ja energiapuun lisääntyvän käytön vaikutuksista metsätalouteen ja hiilinieluihin. SF-GTM mallilla laskettiin energia- ja ainespuun hinnat ja korjuumäärät Suomen eri metsäkeskuksissa ja ne annettiin lähtötietoina MELA-malliin (kuva 1), jolla arvioitiin edelleen metsien ja metsävarojen kehitys. MELA-mallin aika-askel on 10 vuotta kun SF-GTM laskee tulokset vuositasona. Syöttötiedot SF-GTMstä tuotiin MELAan soveltaen kymmenen vuoden kausien keskiarvoja.

MELA-mallilla tehdyissä laskelmissa otettiin huomioon ilmastonmuutoksen puiden kasvua kiihdyttävä vaikutus. Laskelmissa oletettiin IPCC:n skenaarion A1B (Jylhä ym. 2009) mukainen ilmaston lämpeneminen. Erilaisista globaalien päästövähennystavoitteiden toteutumisoletuksista huolimatta kaikissa skenaarioissa käytettiin tätä samaa ilmastoskenaariota, jonka oletettiin kuvaavan muuttuvan ilmaston vaikutuksen metsien kasvuun riittävällä tarkkuudella.

### 4.1 Kotimaisen puun käyttö ja korjuu

Metsäteollisuuden kotimaisen tukki- ja kuitupuun käyttömäärä vuonna 2050 vaihtelee vähähiilissä skenaarioissa 50 miljoonasta kuutiometrillä (*Pysähdys*) 68 miljoonaan kuutiometriin (*Säästö*) (taulukko 6). Tukkipuun hakkuut ovat suurimmillaan (32 milj. m<sup>3</sup>) skenaariossa *Säästö* (kuva 2), jossa sahatavaran tuotanto kasvaa eniten. Tukkipuun käyttö kasvaa maltillisesti muissa skenaarioissa.

<sup>2</sup> Puutavaralajeista ja hakkuutavoista tässä raportissa käytetyt termit on selitetty Liitteessä 1.



**Kuva 2.** Kotimaisen tukki- ja kuitupuun käyttö metsäteollisuudessa ja energiapuun käyttö (metsähake) lämpö- ja voimalaitoksilla 1990–2012 sekä niiden kehitys skenaariossa Säästö.

rioissa lukuun ottamatta skenaariota *Muutos*, jossa pyrittiin hahmottamaan selvästi nykyisyydestä eriytyvä kehityskulku. Skenaariossa järeän puun käyttö vähenee poikkeuksellisen paljon, kun mekaanisen puun jalostuksen oletetaan suuntautuvan uuden teknologian ja uusien materiaalin käyttötapojen myötä enenevästi pieniläpimittaiseen puuhun. Tukkipuun hakkuut jäävät tässä skenaariossa alle puoleen nykytasosta vuonna 2050. Muutos on suuri ja vaikuttaa puumarkkinoihin ja metsien kasvatustavoitteisiin.

Kuitupuun käyttö nousee ajan myötä (taulukko 6). Korkeimmillaan kuitupuun hakkuut ovat skenaariossa *Muutos* (54 Mm<sup>3</sup>) ja alimmillaan skenaariossa *Pysähdys* (39 Mm<sup>3</sup>). Massan, paperin ja mekaanisen metsäteollisuuden uusien tuotteiden valmistukseen käytetään enimmillään 42 Mm<sup>3</sup> (*Muutos*) kotimaista kuitupuuta. *Pysähdys* on ainoa skenaario, jossa metsäteollisuuden kotimaisen kuitupuun käyttö alenee nykytasosta vuoteen 2050 mennessä. Vaikka useimmissa skenaariossa metsäteollisuudessa uudet tuotteet korvaavat vanhoja eikä sellun valmistus vähene, kuitupuun käyttö metsäteollisuudessa jää metsien kasvua ja sen myötä puun tarjontapotentialin kasvua pienemmäksi. Tämä pitää kuitupuun hinnat kilpailukykyisinä metsähakkeen kanssa, mistä seuraa, että kuitupuuta käytetään myös energiasektorilla. Laskettaessa puunkorjuun tarvetta ja alueellista jakautumista SF-GTM-mallilla metsähakkeen osuudelle energiapuusta annettiin syötteenä tietty vähimmäismäärä, jonka ylittyttyä myös kuitupuuta sallittiin käytettävän polttoaineena. Erityisesti skenaariossa *Pysähdys* energiasektorin kuitupuun käyttö kasvaa voimakkaasti.

SF-GTM -mallissa energiapuuta saadaan metsähakkeesta ja erikseen vielä kuitupuusta, niinpä osa MELA malliin syötetystä SF-GTM mallilla saadusta kuitupuutavoitteesta käytettiin energiapuuksi. MELA-mallissa energiapuuksi käytettävä metsähake sisältää myös kuitukokoisen puun. Tämän sekä mallien erilaisten aikajänteiden vuoksi, tulosten yhtenäinen raportointi ei ole suoraviivaista. Taulukossa 6 esitetään ainespuun ja metsähakkeen korjuu käyttötarkoituksittain SF-GTM-mallin tulosten mukaan ilman kotitalouksien polttopuukäyttöä, jonka on arvioitu olleen noin 5,3 miljoonaa kuutiometriä vuonna 2010. Taulukko 7 erittelee kotimaisen energiapuun sisältäen polttopuun hakkuut vuosikymmenittäin tarkempiin jakeisiin siten, että metsähake on jaettu MELA-mallin antamiin ositteisiin (MELA mallilla saadusta harvennushakkuiden energiapuusta, taulukon 7 runkopuu, 90–97 % täyttää kuitupuun mitat) ja lisäksi on otettu huomioon SF-GTM-laskelmissa kuitupuuna hakattu energiapuun, joka MELA-mallin tuloksissa sisältyy ainespuuhakkuihin. On

syystä mainita, että jako metsähakkeen ja kuitupuun välillä on runkopuun osalta muutenkin liukuva, sillä suurin osa metsähakkeeseen sisältyvästä runkopuusta täyttää massan valmistukseen kelpoisen kuitupuun läpimitat. Siten SF-GTM-mallissa kuitupuuna hakattu energiapuu voitaisiin yhtä hyvin lukea metsähakkeen runkopuu-ositteeseen (taulukko 6).

**Taulukko 6.** Kotimaisen metsähakkeen, tukkipuun ja kuitupuun käyttö metsäteollisuudessa ja energiasektorilla SF-GTM-mallin tulosten mukaan ilman kotitalouksien polttopuuta, miljoonaa kuutiometriä.

	Base	Base80	Jatkuva	Säästö	Pysähdys	Muutos
	2010	2025	2025	2025	2025	2025
Metsäteollisuuden kotimainen puu						
Tukkipuu	21,6	24,9	25,0	27,2	26,3	24,0
Kuitupu	30,0	34,8	34,8	32,5	32,6	33,7
Yhteensä	51,6	59,8	59,8	60,3	58,9	57,6
Energiapuu yhteensä	6,9	13,2	15,0	14,7	15,6	16,8
- josta hakattu kuitupuuna	n.a.	0	0	0,6	0,0	4,8
Kaikki yht.	58,5	73	74,7	74,4	74,5	74,4
	2010	2050	2050	2050	2050	2050
Metsäteollisuuden kotimainen puu						
Tukkipuu	21,6	24,8	25,0	29,6	32,4	27,9
Kuitupu	30,0	36,3	37,2	37,0	35,3	41,7
Yhteensä	51,6	61,2	62,2	66,0	67,7	55,4
Energiapuu yhteensä	6,9	20,1	27,6	26,1	29,9	29,7
- josta hakattu kuitupuuna	n.a.	5,1	12,0	9,4	10,4	17,4
Kaikki yht.	58,5	81,3	89,9	92,7	97,6	85,1

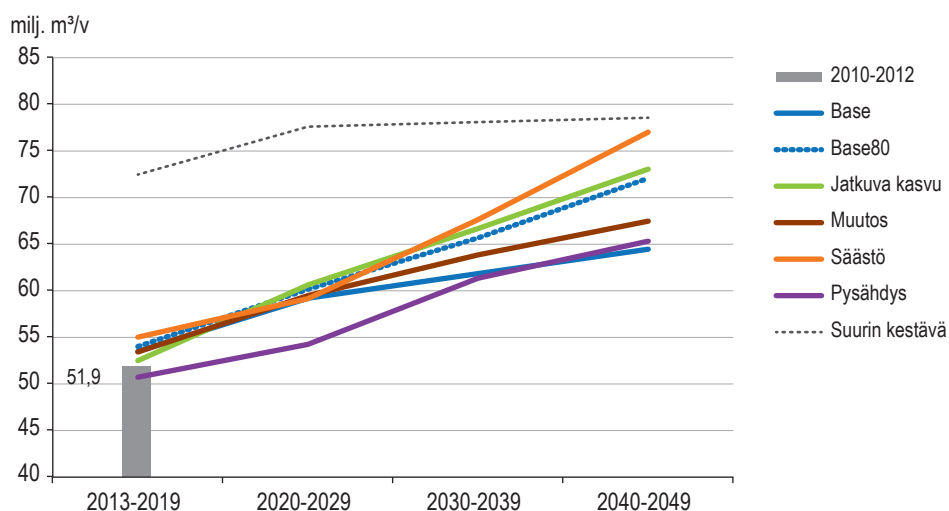
**Taulukko 7.** Kotimaisen energiapuun käyttö sisältäen myös kotitalouksien polttopuun (oletus: noin 3 milj. m<sup>3</sup> runkopuuta vuonna 2050), miljoonaa m<sup>3</sup>/v. Metsähakkeen erittely oksiin, kantoihin ja runkopuuhun saatu tuloksena Mela-mallista, joka suorittaa laskennat 10-vuotijaksosittain. "Kuitupu 2020-2029" on vuosina 2020, 2025 ja 2030 SF-GTM-mallin tuloksissa energiapuiksi hakatun kuitupuun keskiarvo ja kuitupu 2040-2049 on vastaavasti vuosien 2040, 2045 ja 2050 keskiarvo. MELA-laskelmissa tämä kuitupuosuus sisältyy ainespuun korjuuseen.

	Base	Base80	Jatkuva	Säästö	Pysähdys	Muutos
	2010	2020-2029	2020-2029	2020-2029	2020-2029	2020-2029
Runkopuu	9,1	10,3	10,5	10,2	11,0	11,4
Oksat ja latvukset	2,2	5,4	5,7	5,7	5,9	6,0
Kannot ja juurakot	1,0	1,9	2,7	2,4	3,1	2,1
Kuitupu	n.a.	0,2	1,1	1,3	0,5	5,0
Kotimainen energiapuu yhteensä	12,3	17,9	20,0	19,5	20,4	24,3
	2010	2040-2049	2040-2049	2040-2049	2040-2049	2040-2049
Runkopuu	9,1	9,9	9,9	10,2	10,6	12,5
Oksat	2,2	5,1	5,7	6,1	6,8	5,3
Kannot	1,0	2,4	3,1	3,4	4,4	1,2
Kuitupu	n.a.	3,9	10,5	8,0	12,1	16,0
Kotimainen energiapuu yhteensä	12,3	21,3	29,2	27,7	34,0	30,3

#### 4.1.2 Hakkuiden suhde taloudellisesti suurimpiin kestäviin

Skenaarioiden tukki- ja kuitupuun hakkuukertymät (kuva 3) olivat pääosin selvästi pienemmät kuin arvioidut suurimmat puuntuotannollisesti ja taloudellisesti kestävät (SK) ainespuun hakkuumahdollisuudet (Metinfo 2014; <http://www.metla.fi/metinfo/mela>). Suurin jatkuvasti hakattavissa oleva taloudellinen ja puuntuotannollinen kestävyys määrittää hakkuiden ylärajan silloin, kun metsätalouden kestävyyttä pidetään tavoiteltavana. Sen ajatellaan toteutuvan, kun kausittaiset nettotulot ja aines- ja energiapuun kokonaishakkuukertymät pysyvät vähintään edellisen kymmenvuotiskauden tasolla, tukkipuukertymä säilyy koko laskelma-ajan vähintään ensimmäisen kauden tasolla, puuston tuottoarvo neljän prosentin korkokannalla laskettuna on laskelma-ajan lopussa vähintään alkuketken tasolla ja kun nettotulojen nykyarvo maksimoituu edellä mainittujen rajoitteiden vallitessa neljän prosentin korkokannalla. Laskelmassa ei rajoiteta kasvun ja poistuman suhdetta, metsien ikäluokkarakennetta tai uudistushakkuiden määrää eikä kestävyyttä edellytetä puulajeittain. Energiapuukertymä voi vapaasti koostua rangasta, hakkuutähteestä ja kannoista. SK-kertymät on laskettu ilman ilmaston muutoksen vaikutusta, joten ne voivat antaa ”konservatiivisen” arvion hakkuumahdollisuuksista, sillä ilmaston lämpenemisen ja hiilidioksidipitoisuuden nousun odotetaan lisäävän Suomen metsien puuston kasvua. Toisaalta myös tuhojen odotetaan lisääntyvän (esim. Müller ym. 2012). Hakkuiden määrittelystä ja niiden mukaisesta metsien kehityksestä on kerrottu tarkemmin liitteessä 2 (Metsävarojen kehitysarvioiden laskentaperusteet).

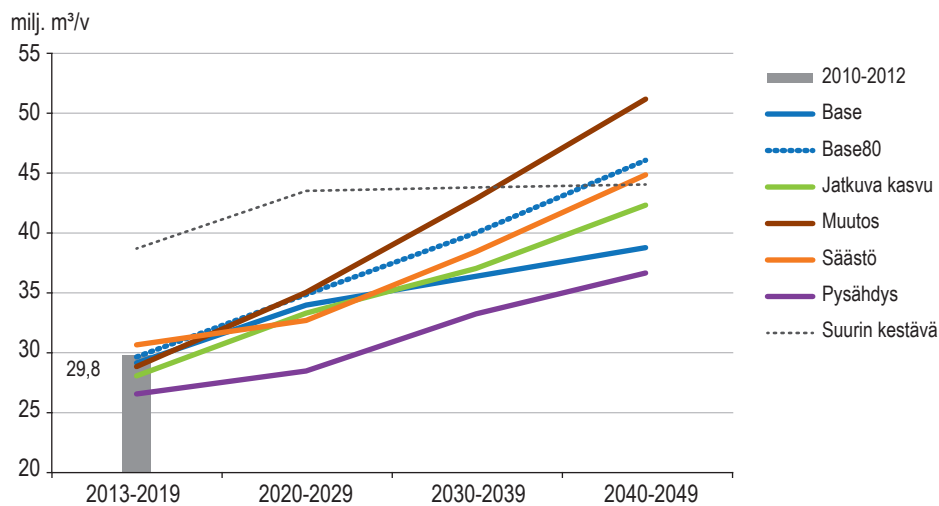
Erityisesti LCFinPlat -skenaarioiden tukkikertymät alittivat SK-ratkaisun tason. Tosin *Säästö*-skenaariossa tukin hakkuukertymä lähestyi SK-ratkaisua tarkastelujakson lopussa. Kuitukertymät ylittivät suurimman kestävä ainespuun hakkuukertymä laskelman mukaisen kertymän tarkastelujakson viimeisellä kaudella 2040–2049 *Säästö*-, *Base80*- ja erityisesti *Muutos*-skenaarioissa (kuva 4). Toisaalta, koska jakson alkupuolella hakkuut jäivät alle kestävien hakkuiden tason, voidaan ajatella jakson alkupuolelta säästyneen ja siirtyneen enemmän hakattavaa tuleville kausille. *Muutos*-skenaariossa tukkipuun kysyntä ja sen myötä myös hinnat laskivat hyvin alhaisiksi kysynnän rakenteen muuttuttua kuitupuuvoittoiseksi.



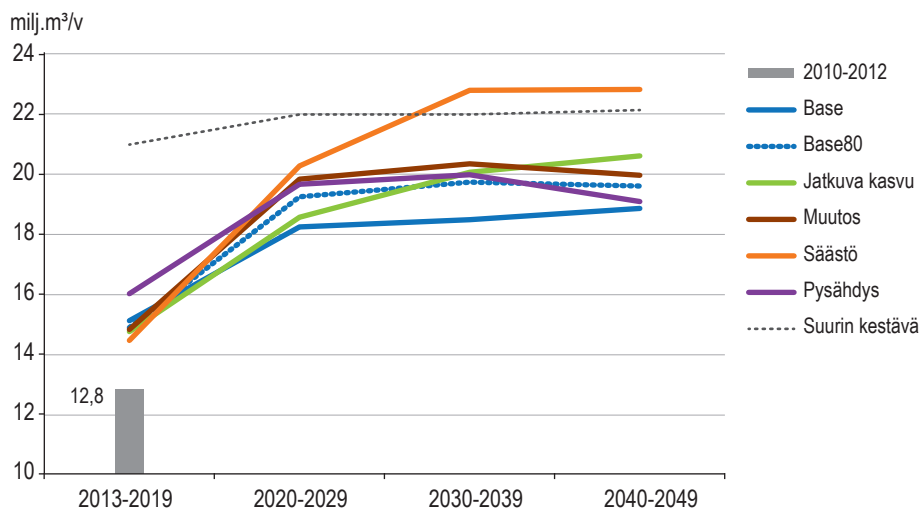
**Kuva 3.** Ainespuukertymä yhteensä. Kertymä sisältää myös taulukon 7 energiapuuksi käytetyn kuitupuun. Suurin kestävä = laskennallinen suurin puuntuotannollisesti ja taloudellisesti kestävä hakkuukertymä, kun oletetaan nykyilmasto.

Energiapuuna korjatun puun hakkuukertymät nousivat 18–20 miljoonaan kuutiometriin vuodessa kymmenvuotiskaudelle 2020–2029 (kuva 5). Skenaarioissa käytettiin lisäksi kuitupuuna hakattua puuta energiapuuksi (ks. taulukko 7), mikä ei ole mukana MELA-laskelmien energiapuumäärissä, vaan sisältyi edellä käsiteltyyn ainespuuhun. Määrä ylittää pitkän ajan kansallisen energia- ja ilmastostrategian mukaisen 13,5 milj. m<sup>3</sup>/v metsähakkeen käyttötavoitteen sähkö- ja lämpölaitoksissa vuonna 2020 (Kansallinen ... 2013). Sähkö- ja lämpölaitosten lisäksi energiapuuta käytetään nestemäisten polttoaineiden valmistukseen. Säästö -skenaariota lukuun ottamatta energiapuuna korjatun puun hakkuukertymät nousivat tästä vain hieman vuoteen 2050. Säästö-skenaariossa energiapuuna korjatun puun hakkuukertymä nousi lähelle 23 miljoonaa kuutiometriä vuodessa ylittäen suurimman kestävä hakkuukertymäratkaisun mukaisen energiapuukertymän.

Harvennushakkuista saatavan runkopuun osuus energiapuukertymästä kasvoi voimakkaasti, kun taas hakkuutähteiden ja kantojen korjuumäärien, vaikka ovat nykytasoa korkeammat, kasvu oli



**Kuva 4.** Kuitupuukertymä sisältäen myös energiapuuksi käytetyn kuitupuun (taulukko 7). Suurin kestävä = laskennallinen suurin puuntuotannollisesti ja taloudellisesti kestävä hakkuukertymä, kun oletetaan nykyilmasto.



**Kuva 5.** Energiapuukorjuuna hakattu energiapuun (metsähake, joka sisältää myös ainespuukokoista runkopuuta).

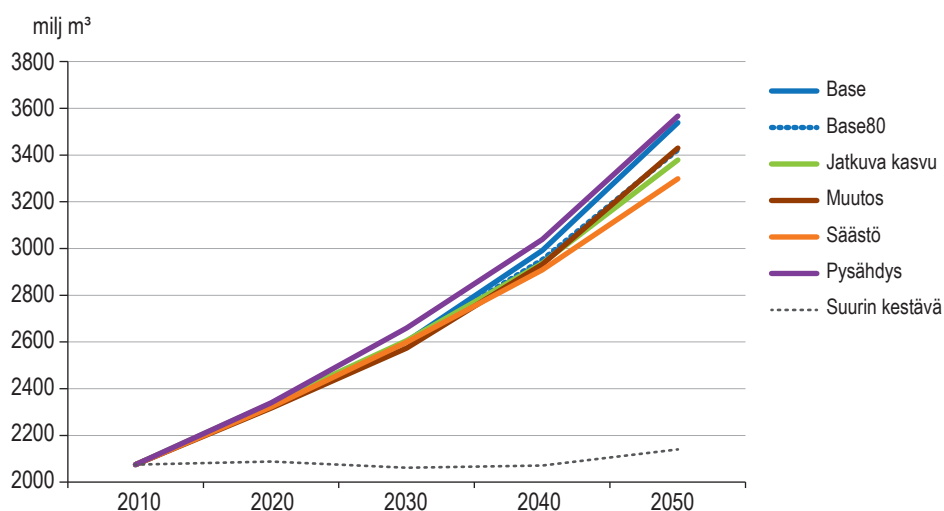
maltillisempaa. *Säästö*-skenaariossa, jossa tukkipuun kertymä oli suurin (ks. taulukko 7), uudistus-hakkuiden oksa- ja kantobiomassaa oli saatavilla energian tuotantoon enemmän kuin muissa skenaarioissa. Tukkipuuta käyttävien toimialojen kasvu parantaisikin päätehakkuiden lisääntymisen myötä hakkuutähteiden saatavuutta.

Harvennushakkuiden energiapuukertymästä valtaosa (90–97 %) oli kuitupuun mitat täyttävää runkopuuta, sillä sitä pienemmän puun korjuu ei ollut taloudellisesti kannattavaa, koska pienen puun korjuu on kallista ja kertymät jäisivät varsin pieniksi. Pettyn ja Kärhän (2011) mukaan taloudellisesti kannattava energiapuun korjuu edellyttää vähintään 80 dm rungon kokoa.

## 4.2 Metsävarojen kehitys

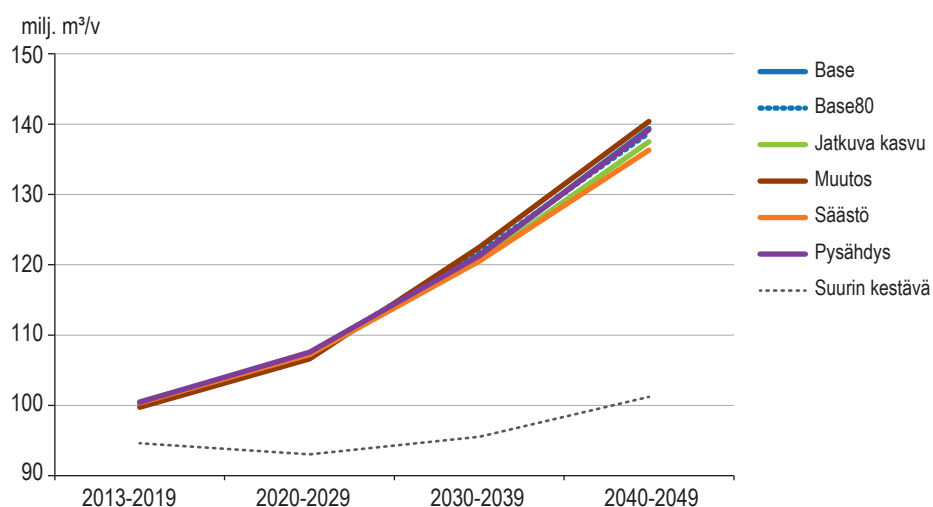
Puuston runkotilavuus puuntuotannon maalla kasvaa skenaarioissa vuoteen 2050 mennessä 3,3–3,6 miljardiin kuutiometriin eli yli 1,5-kertaiseksi nykyiseen nähden (kuva 6). Ilmastonmuutos kiihdyttää metsien kasvua, ja vastaava runkotilavuuden kasvu saavuttaisiin ilman ilmastonmuutosta, jos hakkuut olisivat 25–35 prosenttia pienemmät kuin LCFinPlat-skenaarioissa (ks. liite 2 Metsävarojen kehitysarvioiden laskentaperusteet).

Puuston kasvu puuntuotannon maalla nousee skenaarioissa nykyisestä noin 100 miljoonan kuutiometrin tasosta 135–140 miljoonaan kuutiometriin vuodessa vuoteen 2050 mennessä (kuva 7). Metsien tilavuuskasvua kiihdyttää skenaarioissa ilmaston lämpenemisen lisäksi se, että hakkuumäärä jää niissä selvästi pienemmäksi kuin kasvu ja pääosin pienemmäksi kuin (ilman ilmasto-vaikutusta laskettu) suurin kestävä hakkuumahdollisuus. Määrittelynsä mukaisesti suurimpien kestävien hakkuiden mukainen puuston poistuma asettuu pitkällä tähtäyksellä lähelle metsien kasvun tasoa. Tilavuuden nousu kohdistuu erityisesti havupuihin, sillä lehtipuuston tilavuus hieman laskee (kuva 8). Kuitupuukokoiseen ja jopa järeämpään lehtipuuhun kohdistuvat energia-puun hakkuut vaikuttavat lehtipuutilavuuden kehitykseen, koska hakkuut painottuvat enenevästi harvennushakkuisiin, joissa kasvamaan jätettävä puusto on yleensä havupuultaista pääpuulajia.

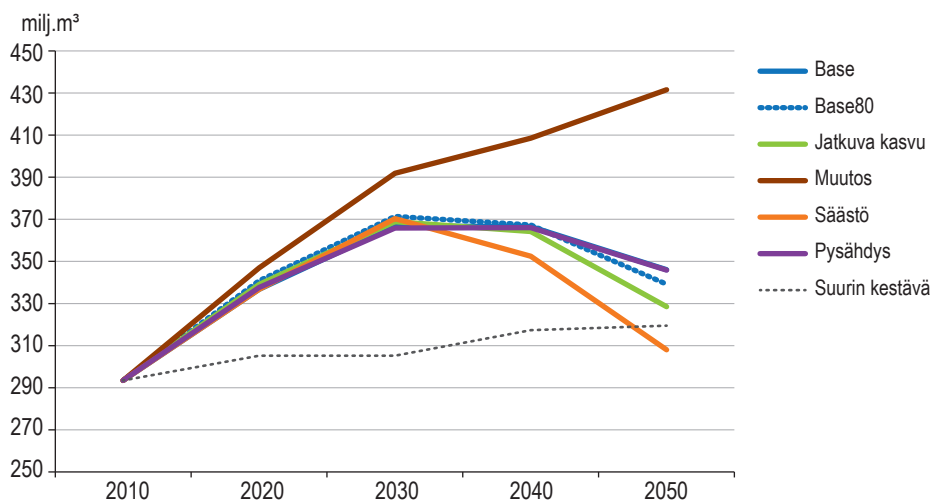


**Kuva 6.** Puuntuotannon maan runkopuun kokonaistilavuuden kehitys 2010–2050. Suurin kestävä = laskennallinen suurin puuntuotannollisesti ja taloudellisesti kestävä hakkuukertymä, kun oletetaan nykyilmasto.

Puuntuotannon maalla puuston keskitilavuus kasvaa LCFinPlat-skenaarioissa nykyisestä 106 m<sup>3</sup>/ha tasosta tasolle 168–180 m<sup>3</sup>/ha. Mikäli hakattaisiin suurempien kestävien hakkuumahdollisuuksien mukaan, puuston keskitilavuus pysyisi lähellä nykyistä tasoa (109 m<sup>3</sup>/ha). Puuston tiheytyminen merkitsee myös kasvavaa luonnonpoistumaa, sillä suurempiin kestäviin hakkuumahdollisuuksiin verrattuna luonnonpoistuman arvio kasvaa 35–45 %:in puuntuotannon maalla ottamatta huomioon mahdollisia ilmastomuutoksen tuomia tuhoriskejä. MELA-laskelmista saatiin luonnonpoistuma-arvioihin on kuitenkin suhtauduttava suurin varauksin, koska luonnonpoistumaprosesseista ei ole saatavilla toistaiseksi riittävästi tutkimustietoa luotettavien mallilaskelmien perustaksi.



Kuva 7. Runkopuun kasvu puuntuotannon maalla vuosina 2013–2049.



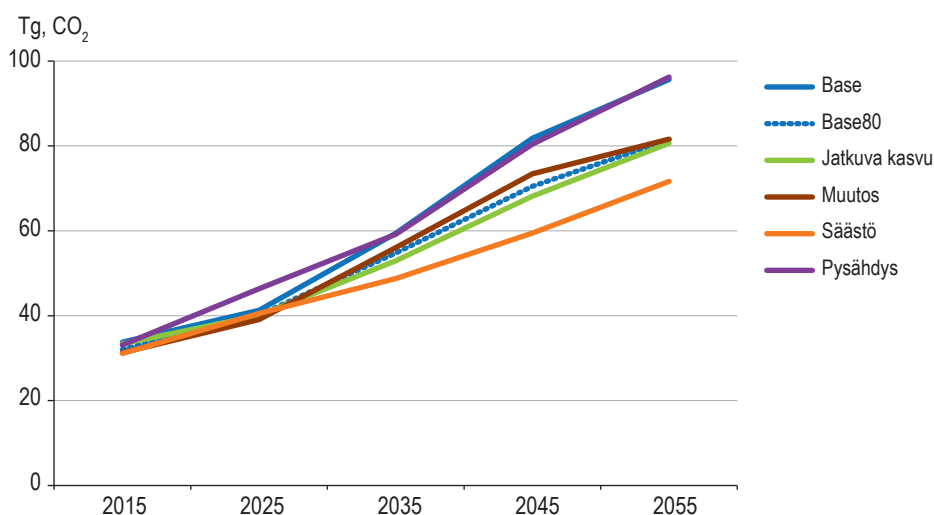
Kuva 8. Lehtipuutilavuuden kehitys puuntuotannon maalla vuosina 2010–2050.

### 4.3 Metsien hiilinielut

Suomen metsissä hiili on sitoutunut kasvavaan puustoon, aluskasvillisuuteen ja maaperään. Jos sovelletaan yleisesti käytettyä oletusta, että puuston kuivapainosta 50 % on hiiltä, niin kasvavaan puustoon sitoutunut hiili on nykyisin 824 Tg (tai 824 miljoonaa tonnia). Kivennäismaiden maaperässä hiiltä on 921 Tg (Ilvesniemi ym. 2002) ja soiden turpeessa 5600 Tg (Minkkinen 1999). Metsät ovat hiilen nielu, jos hiilen määrä kasvaa ja vastaavasti lähde, jos se pienenee. Vuosien 2000–2012 aikana Suomen metsät ovat olleet selvä hiilinielu, jonka suuruus on ollut keskimäärin noin 37 Tg CO<sub>2</sub> vuodessa. Puuston ja muun kasvipeitteen osuus nielusta on ollut lähes 100 %, sillä maaperän hiilen osalta kivennäismaiden noin 8 Tg CO<sub>2</sub>/v nielu ja ojitettujen soiden vastaavan kokoinen lähde ovat kumonneet toisensa (Metsätilastollinen ... 2013). Puun käytön heilahtelujen vuoksi nielun koko vaihtelee vuosittain: esimerkiksi edellä mainitulla jaksolla välillä 28.7–50.9 Tg CO<sub>2</sub>/v vastaten 25–50 % vuosittaisista kokonaispäästöistä.

Hakkuut vaikuttavat metsien sisältämän hiilen määrään vähentämällä kasvavan puuston määrää ja toisaalta lisäämällä hakkuutähteiden kautta maaperän kariketta, mikä lisää maaperän hiilivaraa. Hakkuutähteiden ja kantojen korjuulla on puolestaan maaperän karikesyötettä vähentävä vaikutus.

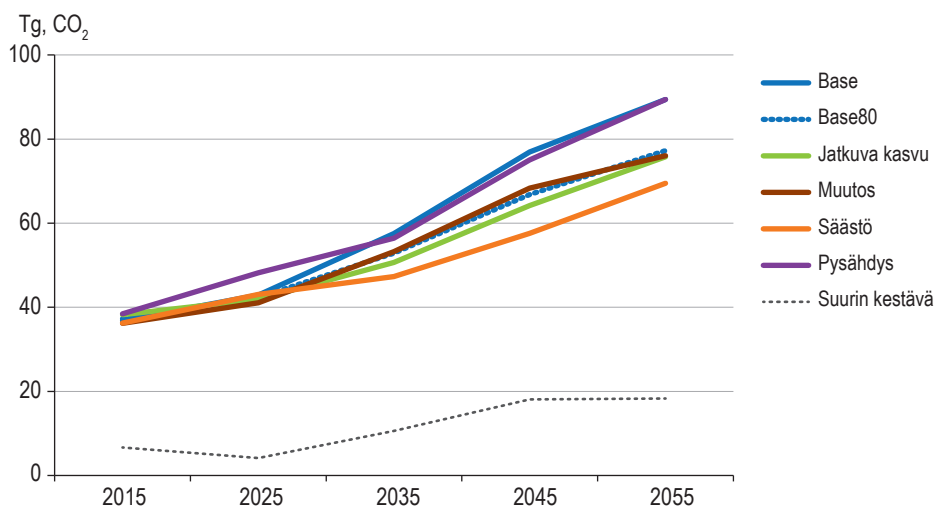
Low Carbon Finland 2050 –platform –skenaarioissa metsien hiilinielu kasvoi (kuva 9) ylittäen selvästi Durbanissa 2011 (UNFCCC 2011) sovitun Kioto 2 mukaisen noin 20,5 Tg CO<sub>2</sub> ekv nielutason<sup>3</sup>. Hiilinielun kasvu on pääosin seurausta puuston lisäyksestä (kuva 6), joka johtuu sekä aiempien vuosien metsänhoidon panostuksista, ilmastonmuutoksen puuston kasvua kiihdyttävästä vaikutuksesta ja selvästi kasvua pienempien hakkuiden tasosta. Kuvassa 10 on esitetty myös ilman ilmastonmuutosta lasketun suurimman kestävän (SK) hakkuuratkaisun mukainen puuston hiilinielun kehitys.



**Kuva 9.** Metsämaan ja puuston kokonaishiilinielun kehitys 2010–2060 (luvut edustavat kymmenvuotiskausien keskiarvoa) LCFinPlat -skenaarioissa.

<sup>3</sup> 1 Tg = 1 milj. t





**Kuva 10.** Elävän puuston hiilinielun kehitys LCFinPlat-skenaarioissa ja ilman ilmastomuutoksen vaikutusta lasketussa suurimman kestävän hakkuumahdollisuuden tapauksessa (SK).

#### 4.3.1 Energiapuukäytön herkkyyssanalyysi skenaariolle Jatkuva kasvu

Skenaariolle *Jatkuva kasvu* laskettiin energiapuunkäytön ja metsien hiilinielujen osalta herkkyyss-tarkastelu *Jatkuva kasvu H*, jossa energiapuuta käytetään vähemmän pitäen skenaarion muut met-säsektoria koskevat oletukset ennallaan. Tarkastelussa oletettiin, että runkopuuna korjattavalle metsähakkeelle ja energiakäyttöön menevälle kuitupuulle kohdistuu päästökerroin. Siten energia-puun käytön vähenemä kohdistuu erityisesti näihin energiapuulajeihin.

Herkkyyss-tarkastelussa *Jatkuva kasvu H* kiinteän puupolttoaineen käyttö sähkön ja lämmöntuo-tannossa on 24,5 TWh (29,2 TWh skenaariossa *Jatkuva kasvu*) vuonna 2030 ja 25,2 TWh (30,6 TWh) vuonna 2050. Tässä suhteessa energiapuun käyttö on herkkyyss-tarkastelussa verraten lähel-lä Suomen tavoitteita vuodelle 2020.

Vastaavasti nestemäisten liikennepolttoaineiden tuotantoon käytetään *Jatkuva kasvu H*-skenaari-ossa kuitupuuta ja metsähaketta 10,2 TWh (7,5 TWh) vuodessa vuonna 2030 (mikä on myös lä-hellä Suomen 2020 tavoitteita) ja 14,2 TWh (20,9 TWh) vuonna 2050.

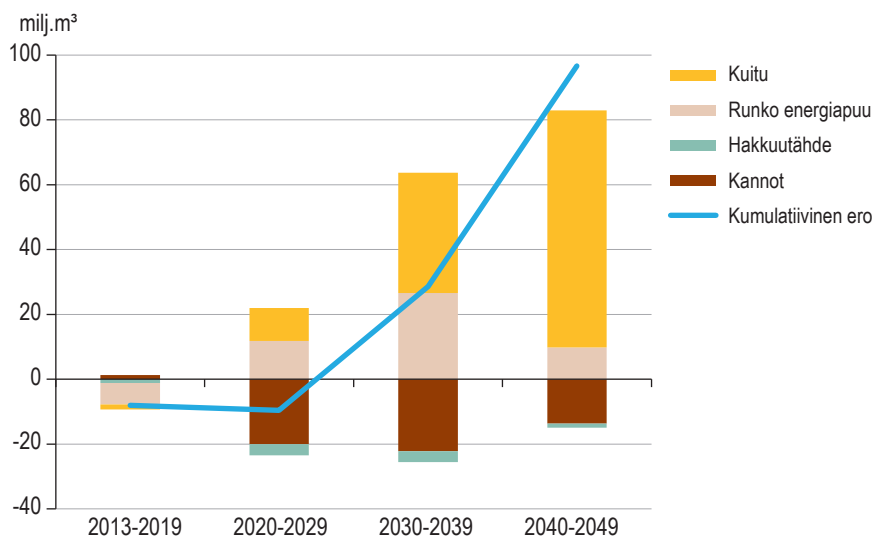
Jotta suuremman bioenergiakäytön ilmastotase skenaariossa *Jatkuva kasvu* olisi positiivinen tar-kastellulla aikavälillä, metsien lisähakkuiden aiheuttaman hiilinielujen aleneman skenaariossa *Jatkuva kasvu* skenaarioon *Jatkuva kasvu H* verrattuna pitäisi olla pienempi kuin puupolttoai-neella korvattujen liikennepolttoaineiden tai sähkön ja lämmöntuotannossa käytetyn kivihiilen ja turpeen polton kasvihuonekaasupäästöt. Poltettaessa esimerkiksi 5,4 TWh:n verran kivihiiltä ilmakehään pääsee noin 1,8 miljoonan tonnin CO<sub>2</sub>-päästö<sup>4</sup>. Tämä määrä fossiilisia kasvihuone-kaasupäästöjä säästettäisiin, jos 5,4 TWh kivihiiltä vaihdetaan voimalaitoksella puuhun, kuten skenaariossa *Jatkuva kasvu H* voitaisiin ajatella tehdyn vuonna 2050. Vastaavasti, jos 6,7 TWh fossiilista dieselöljyä korvattaisiin liikenteessä puupohjaisella biodieselillä vuosittain, liikenteen

<sup>4</sup> Tilastokeskuksen (2014, [http://www.stat.fi/tup/khkinv/khkaasut\\_polttoaineluokitus.html](http://www.stat.fi/tup/khkinv/khkaasut_polttoaineluokitus.html)) mukaan kivihiilen päästö-kerroin on noin 0,34 t-CO<sub>2</sub>/MWh ja palaturpeen noin 0,37 t-CO<sub>2</sub>/MWh. Dieselöljyn päästökerroin on pienempi, noin 0,2 t-CO<sub>2</sub>/MWh. Toisin kuin tässä raportissa, polttoaineen lämpöarvosta puhuttaessa käytetään megawattituntien sijaan useimmiten yksikkönä gigajouleja (1 MWh = 3,6 GJ).

fossiilisista polttoaineista aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt supistuisivat karkeasti arvioiden 1,3 miljoonalla tonnilla. Siten esimerkiksi vuonna 2050 puupolttoaineiden käytöllä saavutetaan parhaimmillaan hieman yli 3 miljoonan tonnin säästö fossiilisten polttoaineiden kasvihuonekaasupäästöissä siirryttäessä skenaariorista *Jatkuva kasvu H* skenaarioon *Jatkuva kasvu*. Vastaavilla vertailuarvoilla skenaarioiden ero on hieman yli 1 miljoona tonnia fossiilisia kasvihuonekaasupäästöjä vuonna 2030. Nämä arviot eivät ota huomioon muita muutoksia, jotka voivat seurata skenaarioiden välisestä erosta polttoaineiden käytössä. Metsäteollisuuden osalta erot eivät olleet suuruusluokaltaan mainittavia.

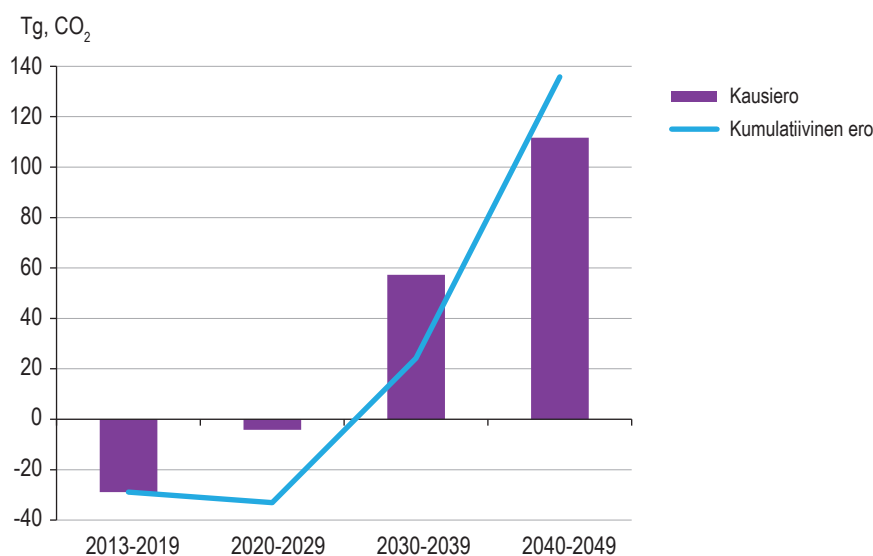
*Jatkuva kasvu H*-skenaariossa energia- ja kuitupuuhakkuiden vuosien 2013–2049 kumulatiivinen kertymä laski 96,6 milj. m<sup>3</sup> (kuva 11). Muutos painottui tarkastelujakson loppupuolelle olleen vuosina 2040–2049 noin 6,8 milj. m<sup>3</sup>/v. Vähennys kohdistui erityisesti runkopuuhun, jonka käyttö aleni viimeisellä jaksolla yli 8 milj. m<sup>3</sup>/v. Koko tarkastelujaksolla skenaarioiden välinen hakkuuero oli n. 160 milj. m<sup>3</sup>. *Jatkuva kasvu H* skenaariossa kantojen ja hakkuutähteen korjuu puolestaan kasvoi niin, että se oli vuosina 2040–2049 noin 1,5 milj m<sup>3</sup>/v *Jatkuva kasvu*-perusskenaariota suurempi. Koko tarkastelujaksolla 2013–2049 ero oli n. 65 milj. m<sup>3</sup>.

Pienempien hakkuiden seurauksena metsässä kasvavan runkopuun määrä oli *Jatkuva kasvu H*-skenaariossa tarkastelujakson lopussa noin 120 milj. m<sup>3</sup> *Jatkuvan kasvu*-perusskenaariota suurempi. Vaikka maahan lahoamaan jätettävän hakkuutähteen määrä supistui, puuston ja maaperän kumulatiivinen hiilinielu oli *Jatkuva kasvu H*-skenaariossa n. 135 milj. t CO<sub>2</sub> (36,9 Tg C) vuoteen 2050 ulottuvalla tarkastelujaksolla suurempi kuin *Jatkuva kasvu* perusskenaariossa (kuva 12) suuremman loppupuuston ansiosta. Vaikkakaan ero hiilinielussa skenaarioiden välillä ei ole vuositasolla vakio, voidaan todeta, että keskimääräinen vuosikohtainen ero noin 3,75 Mt CO<sub>2</sub> on selvästi suurempi kuin yllä arvioidut noin 1 miljoonan (2030) ja hieman yli 3 miljoonan (2050) CO<sub>2</sub> tonnin fossiilisista polttoaineiden käytön vähenemisestä seuraavat säästöt kasvihuonekaasupäästöissä. Tulos on linjassa aiemmin raportoitujen tutkimusten kanssa (esim. Kallio ym. 2013). Puun hiilineutraaliteetin toteutuminen, etenkin kun tässä tarkastelussa puun käytön kasvu painottui loppuvuosiin, edellyttää selvästi pidemmän ajan kulumista (ks. esim. Hynynen ym. 2014, Haus ym. 2014).



**Kuva 11.** *Jatkuva kasvu* ja *Jatkuva kasvu H* skenaarioiden hakkuukertymien kausittaiset ja kumulatiiviset erot (*Jatkuva kasvu* – *Jatkuva kasvu H*).

Laskelmissa maksimoitiin aines- ja energiapuun myynnistä saatavien nettotuottojen nykyarvoa huomioimatta muita mahdollisia metsistä saatavia tuloja. Selvästi suurimman kestävä hakuu- kertymätason alapuolella olevat hakkuut mahdollistavat halutun puumäärän savuttamisen useaa eri hakkuustrategiaa noudattaen. Jos nettotuottojen sijasta tai ohella olisi maksimoitu esimerkiksi puuston hiilinielua tai rajoitettu niiden muutosta, metsien rakenne ja sen mukainen kasvu ja hiilinielu olisivat voineet olla saatuja ratkaisuja suuremmat. Jatkotutkimuksessa olisi hyvä tarkastella, miten puun korjuutarve voitaisiin toteuttaa kohdentamalla hakkuita nieluja säästävasti mahdollisimman pienin kustannuksin.



**Kuva 12.** Jatkuva kasvu ja Jatkuva kasvu H skenaarioiden hiilinielujen ero kymmenvuotiskausittain ja kumulatiivisena. (*Jatkuva kasvu H – Jatkuva kasvu*).

## 5 Yhteenveto

Tässä raportissa tarkasteltiin metsäsektorin näkökulmasta viittä toisistaan selvästi poikkeavaa vähähiilistä kehityskulkua (*Base80*, *Jatkuva kasvu*, *Säästö*, *Pysähdys* ja *Muutos*). Vaikka suomalainen yhteiskunta kehittyy skenaarioissa eri tavoin, niissä kaikissa kasvihuonekaasupäästöt onnistutaan vähentämään enintään 20 prosenttiin vuoden 1990 tasosta. Skenaariolle *Base80* esitettiin vertailuskenaarioksi perusura (*Base*), jossa päästövähennys on pienempi. Skenaariolle *Jatkuva kasvu* tehtiin herkkyyksianalyysi, jossa puun energiakäyttöä lisätään varovaisemmin (*Jatkuva kasvu-H*).

Skenaarioissa Suomen puunkäyttö lisääntyi nykytasosta sekä metsä- että energiasektorilla, mutta kokonaishakkuissa jäätin jälkeen metsien kasvusta ja useimmissa tapauksissa myös Suomen metsävaroille mallilla simuloidusta taloudellisesti kestävästä hakkuumahdollisuudesta, joiden laskennassa ei ollut huomioitu ilmastomuutoksen metsien kasvua kiihdyttävää vaikutusta. Skenaarioiden lähtötiedoissa arvioitiin erityisesti kuitupuun ja energiapuun käytön kasvavan voimakkaasti, kun taas tukkipuun kysynnän kasvu oli maltillisempaa. Siten hakkuut painottuivat skenaarioissa entistä enemmän harvennushakkuisiin.

Suomen metsien puuston määrä on ollut jo pitkään vahvassa kasvussa. Metsäteollisuuden kotimaisen raakapuun kysyntä ei ole kuitenkaan 2000-luvun puolivälin juurikaan kasvanut. Kotimaisen kuitupuun käyttö on pysynyt jokseenkin ennallaan ja tukkipuun käyttö jopa supistunut metsäteollisuuden rakennemuutoksen myötä. Tulevaisuudessa metsäteollisuuden odotetaan jälleen vahvistuvan ja uusiutuvan ja käyttävän aiempaa enemmän puuta. Lisäksi erityisesti energiasektorin puun kysynnän oletetaan kasvavan vahvasti. Onhan puuenergian lisäkäyttö yksi Suomen valtikorteista siirryttäessä kohti vähähiilistä yhteiskuntaa. Koska puun käyttö kasvaa ainakin aluksi pienin askelin, metsien kestävästä hakkuupotentiaalista jää merkittävä osa hyödyntämättä seuraavan parin vuosikymmenen aikana. Samalla ilmastomuutos kiihdyttää metsien kasvua. Siten puuston volyymi karttuu edelleen ja on skenaariolaskelmissa jopa 1,5-kertainen nykytilanteeseen verrattuna vuonna 2050. Puustoon ja maaperään sitoutuu enemmän uutta hiiltä kuin mitä hakkuiden ja luonnonpoistuman myötä häviää.

Metsistä korjattava energiapuu jakautuu lähinnä päätehakkuualoilta kerättyyn latvusmassaan ja kantoihin sekä enimmäkseen metsien harvennuksista korjattavaan runkopuuhun. Energiapuu kysyntä tulee tulevaisuudessa painottumaa yhä suuremmissa määrin runkopuuhun, joka on usein myös kuitupuumittaista. Mitä enemmän tukkipuuta käyttävän teollisuuden tuotanto kasvaisi, sitä enemmän voitaisiin tehdä päätehakkuita, uudistaa metsiä ja korjata hakkuualoilta latvusmassaa ja kantoja energiapuiksi. Bioenergian mahdollisuuksista puhuttaessa nostetaan usein esille selutehtaiden rooli energian ja tulevaisuuden biojalosteiden tuottajana. Ei pitäisi kuitenkaan unohtaa tukkipuuta jalostavan saha- ja vaneriteollisuuden sekä mahdollisesti näiden rinnalle tulevien uusien tukkipuun jalostukseen pohjautuvien tuotantomuotojen kilpailukykyyn edistämistä. Hyvä tukkipuun kysyntä kotimaan puumarkkinoilla edistää paitsi päätehakkuualoilta korjattavan metsähakkeen myös kuitupuun tarjontaa.

Metsävarat tarjoavat paljon vapausasteita sekä puun käytön monipuoliselle lisäämiselle että ekosysteemipalvelujen tarjontaan. Jos ilmastomuutos ei tuo mukanaan huomattavia metsätuhoja, metsien hiilinielut kasvavat ilman lisäpanostuksia. Riittää, että metsänomistajat pitävät huolta metsistään hyvän metsänhoidon suositusten mukaan. Mikäli Suomelle tulisi vaikeuksia toteuttaa vähähiiliyhteiskunnan vaatima 80 prosentin vähennys kasvihuonekaasupäästöissä siitä syystä, että puuenergialle määrättäisiin päästökerroin, Suomi voisi teoriassa kattaa merkittävän osan päästövähennyksestä metsien hiilinieluilla tässä työssä tarkasteltujen metsien käyttöskenaarioiden toteutuessa. Tämä edellyttäisi luonnollisesti sitä, että kansainvälisissä ilmastoneuvotteluissa olisi tulevaisuudessa päädytty ratkaisuun, jossa metsien hiilinielut otetaan nykyistä laajemmin huomioon valtioiden kokonaispäästöjen tarkastelussa. Tällä hetkellä hyvitys on rajoitettu maksimissaan 3,5 prosenttiin vuoden 1990 päästöistä.

Metsien hiilinielujen kasvussa tulee kuitenkin ennen pitkää raja vastaan ja sekä niiden kertymiseen että säilymiseen kohdistuu erilaisia tuhoriskejä, joiden on ennustettu lisääntyvän ilmastomuutoksen myötä. Nielujen kaupallistamista ei myöskään olisi mutkatonta järjestää, eikä nielujen kerryttäminen juuri työllistä tai synnytä uusia hyvinvointia lisääviä innovaatioita. Kansantaloudellisesti onkin järkevämpää, että metsiä hyödynnetään taloudellisesti ensisijaisesti muilla tavoin ja nieluja hyödynnetään kansainvälisiä sopimuksia tehtäessä melko varovaisesti myös jatkossa kuten tähän asti.

Jos metsien käyttö jää tulevaisuudessa suurimman kestävä hakuukertymätason alapuolelle kuten tässä raportissa tarkastelluissa skenaarioissa tyypillisesti tapahtui, markkinoilla kysytty puumäärä voidaan hakata useita vaihtoehtoisia hakkuustrategioita noudattaen mahdollisesti jopa siten, ettei metsätalouden taloudellinen tuotto olennaisesti pienene. Jatkotutkimuksessa olisi hyvä tarkastella, miten ainespuun ja metsähakkeen korjuutarve voitaisiin toteuttaa kohdentamalla hakuita nieluja säästävästi, mutta mahdollisimman pienin kustannuksin.

## Kirjallisuus

- Dator, J. 1981. Judging the future. University of Hawaii.
- Euroopan komissio. 2011. Komission tiedonanto Euroopan parlamentille, neuvostolle, Euroopan talous- ja sosiaalikomitealle ja alueiden komitealle. Etenemissuunnitelma. Siirtyminen vähähiiliseen talouteen vuonna 2050. KOM(2011)112 lopullinen.
- Gerasimov, Y., Karjalainen, T. 2009. Assessment of Energy Wood Resources in Northwest Russia, Working Papers of the Finnish Forest Research Institute 108, <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2009/mwp108.htm>
- Greenhouse gas emissions in Finland 1990–2010 (2012) National inventory report to the UNFCCC and the Kyoto Protocol, 13 April 2012. Statistics Finland [http://www.stat.fi/tup/khkinv/unfccc\\_nir\\_2012.pdf](http://www.stat.fi/tup/khkinv/unfccc_nir_2012.pdf).
- Haus, S., Gustavsson, L. & Sathre, R. 2014. Climate mitigation comparison of woody biomass systems with the inclusion of land-use in the reference fossil system. *Biomass & Bioenergy* 65: 136–144. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2014.04.012>
- HE 82 2014. Hallituksen esitys eduskunnalle ilmastolaiksi (HE 82/2014). <http://www.finlex.fi/fi/esitykset/he/2014/20140082.pdf>
- Helmisaari, H.-S., Hanssen, K., Jacobson, S., Kukkola, M., Luiro, J., Saarsalmi, A., Tamminen, P., Tveite, B. 2011. Logging residue removal after thinning in Nordic boreal forests: long-term impact on tree growth. *Forest Ecology and Management* 261, 1919–1927.
- Hynynen, J., Ojansuu, R., Hökkä, H., Siipilehto, J., Salminen, H. & Haapala, P. 2002. Models for predicting stand development in MELA System. Finnish Forest Research Institute, Research Papers 835. Finnish Forest Research Institute, Vantaa Research Center. 116 p.
- Hynynen, J., Ojansuu, R. & Eerikäinen, K. 2013. Metsänkäsitteilyvaihtoehdot – mihin nykyiset kasvu- ja tuotosmallit riittävät? *Metsätieteen aikakauskirja* 1/2013. s. 91–96.
- Hynynen, J., Salminen, H., Ahtikoski, A., Huuskonen, S., Ojansuu, R., Siipilehto, J., Lehtonen, M., Rumukainen, A., Kojola, S. & Eerikäinen, K. 2014. Scenario analysis for the biomass supply potential and the future development of Finnish forest resources. Metlan työraportteja / Working Papers of the Finnish Forest Research Institute 302. 106 s. Saatavilla: <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2014/mwp302.htm>
- Hyvän metsänhoidon suositukset. 2006. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. 101 s.
- Ilvesniemi, H., Forsius, M., Finér, L., Holmberg, M., Kareinen, T., Lepistö, A., Piirainen, S., Pumpanen, J., Rinkinen, K., Starr, M., Tamminen, P., Ukonmaanaho, L. & Vanhala, P. Käyhkö, J. & Talve, L. (ed.) 2002. Carbon and nitrogen storages and fluxes in Finnish forest ecosystems Understanding the global system. The Finnish perspective., Finnish Global Change Programme FIGARE.s. 69–82.
- Jacobson, S. & Kukkola, M. 1999. Skogsbränsleuttag i gallring ger kännbara tillväxtförluster. Resultat från SkogForsk 13. 4 p.
- Jylhä, K., Ruosteenoja, K., Räisänen, J., Venäläinen, A., Tuomenvirta, H., Ruokolainen, L., Saku, S., Seitolä, T. 2009 Arvioita Suomen muuttuvasta ilmastosta sopeutumistutkimuksia varten. ACCLIM hankkeen loppuraportti. Finnish Meteorological Institute, Reports 2009:4.
- Kallio, A.M.I. 2010. Accounting for uncertainty in a forest sector model using Monte Carlo simulation. *Forest Policy and Economics* 12(1): 9–16.
- Kallio, A.M.I., Salminen, O. & Sievänen, R. 2013. Sequester or substitute - Consequences of increased production of wood based energy on the carbon balance in Finland. *Journal of Forest Economics*. 19(4), 402–415.
- Kansallinen energia- ja ilmastostrategia 2013. Valtioneuvoston selonteko eduskunnalle 20. päivänä maaliskuuta 2013. VNS 2/2013 vp, Työ ja elinkeinoministeriön julkaisuja. Energia ja ilmasto 8/2013. 56 s.
- 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.
- Keskimölö, A., Heikkinen, E. & Keränen, K. (toim.). 2007. Pohjois-Suomen metsänhoitosuositukset 2007. Metsäkeskus Lappi, Metsäkeskus Pohjois-Pohjanmaa, Metsäkeskus Kainuu. 58 s.
- Koljonen, T., Similä, L., Lehtilä, A., Airaksinen, M., Tuominen, P., Järvi, T., Laurikko, J., Nylund, N.-O., Sipilä, K., Helynen, S., Honkatukia, J., Kallio, M., Salminen, O., Kivinen, M., Vuori, S., Kihlman, S., & Lauri, L. Low Carbon Finland 2050 –platform: Vähähiilipolkujen kiintopisteet ja virstanpylväät.

- Yhteenveto hankkeen tuloksista ja johtopäätöksistä. VTT Technology 167. Julkaistaan syksyllä 2014.
- Koljonen, T., Lehtilä, A., Similä, S. 2014. Low Carbon Finland 2050 – platform. Energiajärjestelmien kehityspolut kohti vähähiilistä yhteiskuntaa. VTT Technology 165.
- Lappi, J. 1992. JLP: a linear programming package for management planning. Finnish Forest Research Institute, Research papers 414. 134 s. <http://mela2.metla.fi/mela/julkaisut/oppaat/jlp.pdf>
- Lauri, P., Kallio, M. & Schneider, U.A. 2013. The future development of the use of wood in Russia and its potential impacts on the EU forest sector. Scandinavian Journal of Forest Research 28(3): 291–302.
- Lehtilä, A., Koljonen, T., Airaksinen, M., Tuominen, P., Similä, L. & Grandell, L. Low Carbon Finland 2050 –platform. Energiajärjestelmien kehityspolut kohti vähähiilistä. VTT Technology 165. Julkaistaan syksyllä 2014.
- Matala, J., Ojansuu, R., Peltola, H., Sievänen, R., Kellomäki, S. 2005. Introducing effects of temperature and CO2 elevation on tree growth into a statistical growth and yield model. Ecological Modelling 181:173–190.
- Metinfo. 2014. Metsäntutkimuslaitoksen metsätietopalvelu. <http://www.metla.fi/metinfo/>
- Metsätilastollinen vuosikirja 2013.
- Minkkinen, K. 1999. Effect of forestry drainage on the carbon balance and radiative forcing of peatlands in Finland. Helsingin yliopisto, Metsäekologian laitos, väitöskirja. 42 s.
- Müller, M., Hantula, J., Henttonen, H., Huitu, O., Kaitera, J., Matala, J., Neuvonen, S., Piri, T., Sievänen, R., Viiri, H. & Vuorinen, M. 2012. Metsien terveys. Teoksessa: Asikainen, A., Ilvesniemi, H., Sievänen, R., Vapaavuori, E. & Muhonen, T. (toim.). Bioenergia, ilmaston muutos ja Suomen metsät. Metlan työraportteja 240, s. 121–153. <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2012/mwp240.htm>
- 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. <http://www.metla.fi/aikakauskirja/full/ff07/ff072215.pdf>
- Palviainen, M., L. Finér, R. Laiho, E. Shorohova, E. Kapitsa, and I. Vanha-Majamaa. 2010. Carbon and nitrogen release from decomposing Scots pine, Norway spruce and silver birch stumps. Forest Ecology and Management 259(3): 390–398.
- Petty, A. & Kärhä, K. 2011. Effects of subsidies on the profitability of energy wood production of wood chips from early thinnings in Finland. Forest policy and economics 13(t):575–581. <http://dx.doi.org/10.1016/j.forpol.2011.07.003>
- Redsven, V., Hirvelä, H., Härkönen, K., Salminen, O., Siitonen, M. 2013. MELA2012 Reference Manual (2nd edition). The Finnish Forest Research Institute. 666 p. [http://mela2.metla.fi/mela/julkaisut/oppaat/mela2012\\_2nd\\_ed.pdf](http://mela2.metla.fi/mela/julkaisut/oppaat/mela2012_2nd_ed.pdf)
- Ruotsalainen, M. 2007. Hyvän metsänhoidon suositukset turvemaille. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio 26/2007. 51 s.
- Sievänen, R., Lehtonen, A., Ojanen, P. & Salminen, O. 2012. Metsien hiilitaseet. Teoksessa: Asikainen A., Ilvesniemi, H., Sievänen, R., Vapaavuori, E & Muhonen, T. (toim.). Bioenergia, ilmaston muutos ja Suomen metsät. Metlan työraportteja 240, s.197–204.
- Siitonen, M., K. Härkönen, H. Hirvelä, J. Jämsä, H. Kilpeläinen, O. Salminen, and M. Teuri. 1996. *MELA Handbook. 1996 Edition*. The Finnish Forest Research Institute, Research Papers 622. 452 p.
- Tilastokeskus. 2013. Teollisuustuotanto 2012. Saatavilla: [https://www.stat.fi/til/tti/2012/tti\\_2012\\_2013-11-27\\_fi.pdf](https://www.stat.fi/til/tti/2012/tti_2012_2013-11-27_fi.pdf). Katsottu 4.7.2014.
- Tuomi, M., Laiho, R., Repo, A., Liski, J. 2011a. Wood decomposition model for boreal forests. Ecological Modelling 222 (3),709–718, doi:10.1016/j.ecolmodel.2010.10.025.
- Tuomi, M., Rasinmäki, J., Repo, A., Vanhala, P., Liski, J. 2011b. Soil carbon model Yasso07 graphical user interface. Environmental Modeling and Software 26 (11), 1358–1362, doi:10.1016/j.envsoft.2011.05.009.
- UNFCCC, 2011. Decision 2/CMP.7. Land Use, Land-Use Change and Forestry. FCCC/KP/CMP/2011/10/Add.1, at <http://unfccc.int/resource/docs/2011/cmp7/eng/10a01.pdf>
- Äijälä, O., Kuusinen, M., Koistinen, A. (Eds.). 2010. Hyvän metsänhoidon suositukset: energiapuun korjuu ja kasvatust. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion julkaisusarja 30. p. 56
- Äijälä, O., Koistinen, A., Sved, J., Vanhatalo, K. & Väisänen, P. (toim.). 2014. Metsänhoidon suositukset. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion julkaisuja. 179 s.

## Liite 1. Julkaisussa käytetyt termit

Tässä julkaisussa käytetyillä termeillä tarkoitamme seuraavia asioita.

**Ainespuu:** Metsäteollisuuden jalostuskäyttöön menevä teollisuuspuu (tukki- ja kuitupuun).

**Ainespuun korjuu:** Perinteisen metsäteollisuuden käyttöön tarkoitettua tukki- ja kuitupuun hakkuu.

**Avohakkuu:** Päätehakkuu (uudistushakkuu), jossa poistetaan koko puusto mahdollisia säästöpuuta lukuun ottamatta, ja metsän uudistaminen tapahtuu hakkuun jälkeen viljellen joko istuttaen tai kylväen.

**Energiapuu:** Sähkön ja lämmöntuotantoon sekä nestemäisten polttoaineiden valmistukseen menevä puu. Voi sisältää metsähaketta ja raakapuuta.

**Energiapuun korjuu:** Energiapuuksi (ks. energiapuu) menevän puun korjuu päätehakkuualojen hakkuutähteenä (oksat ja latvat) ja kantoina sekä nuorista metsistä joko kokopuuna tai karsittuna rankana

**Harvennushakkuu:** Tasaikäisrakenteisena kasvatettavan metsän hakkuu, jossa poistetaan osa puustosta tavoitteena nopeuttaa jäljelle jäävän puuston järeytymistä ja saada aikaistettuja tuloja.

**Hiilinielu:** Puustoon ja maahan sitoutuneen hiilivaraston kasvu.

**Kasvatushakkuu:** ks. harvennushakkuu.

**Kuitupuun:** Pieniläpimittainen puu, joka käytetään sellun ja massan valmistukseen metsäteollisuudessa. MELA laskelmissa kuitupuun kuorellisena minimiläpimittana mänyllä on 6,3 cm ja kuusella sekä lehtipuilla 6,5 cm ja kuituosan minimipituus oli 2,0 m.

**Metsähake:** Metsästä energiakäyttöön korjatut (haketetut) oksat ja latvukset, juurakot (kanto ja järeät juuret) sekä runkopuu.

**Päätehakkuu (uudistushakkuu):** Tasaikäisrakenteisena kasvatetun metsän uudistamiseen tähtävä hakkuu. Päätehakkuuta ovat avohakkuu, jossa poistetaan koko puusto, jolloin uudistaminen tapahtuu viljellen ja siemen- sekä suojuspuuhakkuu, joissa osa puustosta jätetään siementämään uudistusala luontaisesti.

**Raakapuu:** Metsäteollisuuden käyttämä tukki- ja kuitupuun sekä tuontihake ja energiapuun käyttetty lämpö- ja voimalaitosten runkopuusta valmistettu metsähake ja pientalojen polttopuu.

**Runkopuu:** Tässä julkaisussa runkopuu -termiä käytetään metsähakkeeseen luettavasta harvennushakkuissa korjatusta rungosta. Tällöin se on tyypillisesti pieniläpimittaista. Runkopuu voi kuitenkin energiapuuna täyttää kuitupuun ja toisinaan jopa tukkipuun (esimerkiksi sekalehtipuu, jolla ei ole kysyntää metsäteollisuudessa) mitat.

**Tukkipuu:** Kuitupuuta järeämpi puu, joka soveltuu sahatavaran ja vanerin valmistukseen. ”Metsänkasvatuksen päätuote”. MELA laskelmissa runkojen apteerauksessa käytettiin mäntytkin kuorellisena minimiläpimittana 15 cm, kuusitkin 16 cm ja lehtipuutkin 18 cm ja tukkiosan minimipituus oli 4,3 m. Näihin rungon mittoihin perustuvaa tukkipuun määrää korjattiin vielä MELA ohjelmiston sisältämällä tukkivähennysmallilla (Mehtätalo 2002), koska rungon mittoihin perustuva apteeraus ei ota huomioon puutavaran laatuun liittyviä tekijöitä. Erotus siirtyi kuitupuuksi.

## Liite 2. Metsävarojen kehitysarvioiden laskentaperusteet

MELA ohjelmistossa metsien kehitystä ohjaavat puiden kasvuun, kuolemiseen ja uusien puiden syntymiseen liittyvät luonnonprosessimallit (esim. Hynynen ym. 2002) sekä simuloivat toimenpiteet. Puun pohjapinta-alan kasvumallit oli kalibroitu VMI10- ja VMI11-kasvunmittausten perusteella. Ilmastonmuutoksen aiheuttaman keskilämpötilan ja hiilidioksidipitoisuuden nousun vaikutus puiden kasvuun otettiin huomioon Matalan ym. (2005) laatimien funktioiden avulla, joissa kasvun muutokset perustuvat FinnFor-mallilla (Kellomäki ja Väisänen 1997) tehtyihin laskelmiin. Lämpötilan ja ilman hiilidioksidipitoisuuden oletettiin muuttuvan IPCC:n skenaarion A1B (Jylhä ym. 2009) mukaisesti, jossa lämpötilan arvioidaan nousevan nykytasosta vuoteen 2050 mennessä 2 °C ja hiilidioksidipitoisuuden noin 150 ppm. Maaperän hiilitaseen laskennassa ilmastomallin mukaiset sademäärän muutokset otettiin myös huomioon. Puuston ja metsämaan hiilivarannot ja hiilivarantojen muutokset laskettiin Metlan työraportissa 240 esitetyllä tavalla ja laajuudessa (Sievänen ym. 2012).

Metsien käsittely perustui vuoden 2006 metsänhoitosuositukseen (Hyvän metsänhoidon ... 2006), turvemaiden metsänhoidon suositukseen (Ruotsalainen 2007), Pohjois-Suomen metsänhoitosuositukseen (Keskimölo ym. 2007) ja energiapuun korjuun ja kasvatuksen suositukseen (Äijälä ym. 2010). Edellä mainitut suositukset kattavat käytännössä myös vuoden 2014 uusien (Äijälä ym. 2014) suositusten mukaisen metsienkäsittelyn lukuun ottamatta ns. jatkuvaa kasvatusta, jolle ei vielä ole riittävän luotettavia kehitysmalleja saatavissa (Hynynen ym. 2013).

Metsänhoitosuosituksien mukaisesti simulaattori tuotti harvennushakkuuvaihtoehdot, joissa voitiin korjata joko vain metsäteollisuuden ainespuuta, ainespuuta ja energiapuuta (integroitu korjuu) tai vain energiapuuta. Integroidussa korjuussa energiapuu koostui männyn, kuusen, koivun ja haavan osalta rinnankorkeuslähimittaluokista 4–9 cm ja muilla puulajeilla kaikista rinnankorkeuslähimitaltaan vähintään 4 cm puista. Harvennushakkuuiden energiapuu korjattiin kokopuumenetelmää käyttäen kuivahkojen ja tätä viljavampien kankaiden mänty- tai lehtipuuvältaisissä puustoissa ja rankamenetelmää soveltaen em. kasvupaikkoja karummilla kangasmailla, turvemilla tai aina kun pääpuulaji oli kuusi. Kasvatusemetsien kokopuun korjuun aiheuttama ravinhävikki (esim. Palviainen and Finer 2012) alentaa Helmisaaren ym. (2011) mukaan puuston kasvua hakkuutähteissä kasvupaikalta poistuvan tyyppien määrästä ja kasvupaikasta riippuen männikoissa 4–8 % ja kuusikoissa 5–15 %. Näitä lukuja käytettiin soveltaen ravinhävikkiin ja sen ajoittumiseen Jacobsenin ja Kukkolan (1999) tuloksia.

Uudistushakkuuvaihtoehdoissa voitiin korjata joko vain teollisuuden ainespuuta tai ainespuun lisäksi a) hakkuutähdettä (oksat ja latvahukkapuu) tai b) hakkuutähdettä ja kantoja. Uudistushakkuuiden hakkuutähteestä (oksat ja runkopuu) korjattiin 70 %. Kannoista nostettiin lähimitaltaan vähintään 25 cm kannot, joista talteen saatiin 85 %. Luontaisesti uudistettavilta aloilta korjattiin vain ainespuuta.

Simulaattori tuotti laskentayksiköille lukuisan joukon käsittely- ja kehitysvaihtoehtoja harvennusten voimakkuutta, niiden lukumäärää ja ajoittumista tai uudistamistapaa ja -ajankohtaa vaihtelemalla. Tästä vaihtoehtojen joukosta haettiin lineaarisen optimointiin perustuvan JLP -ohjelmiston (Lappi 1992) avulla nettotuottojen nykyarvon suhteen tehokkaimmat tuotanto-ohjelmat.

Nettotulojen nykyarvon laskenta koostui käsittelyvaihtoehtojen 50 vuoden simulointikauden nettotuloista, kun jokaista metsikön kehitysvaihtoehtoa jatkettiin 50 vuoden jälkeen joko päätehakkuseen tai 150 vuoteen asti, ja tulevien puusukupolvien nettotuloista, joita edusti ns. Faust-



mannilaisen maankorkoteorian mukaisesti laskettu paljaan maan arvo. Skenaarioiden mukaiset hakkuukertymätavoitteet saivat vaihdella +/- 0,5 %. Laskentakorkokantana käytettiin 4 prosenttia, joka vastaa vuosien 2006–2011 metsien keskimääräistä reaalituottoa.

$$\max NPV = \sum_{i=1}^m \frac{\sum_{j=1}^h \sum_{t=1}^T \left( \sum_{q=1}^K (p_q - c_q) w_{ijt}^q x_j \right) (1+r)^{T-t} + SEV_i}{(1+r)^T} \quad [1]$$

siten, että

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^h w_{ijt}^q x_j = (1 \pm 0.005) * Q_t^q, \quad \forall t = 1, \dots, T, q = 1, \dots, K$$

$$\sum_{j=1}^h x_j = a_i, \quad \forall i = 1, \dots, m$$

$$x_j \geq 0, \quad \forall i = 1, \dots, m, \forall j = 1 \dots h$$

- $x_{ij}$  = vaihtoehdon j mukaisesti käsitelty ala laskentayksiköstä i
- $w_{ijt}^q$  = vaihtoehdon j tuottama hakkuumäärä puutavaralajia q ( $q=1, \dots, K$ ) hetkellä t laskentayksikössä i
- $p_q$  = puutavaralajeittaiset ( $q=1, \dots, K$ ) yksikköhinnat (€/m<sup>3</sup>). Tukki- ja kuitupuun tienvarsihinnoin, energiapuu käyttöpistehinnoin.
- $c_q$  = metsänhoidon, hakkuun ja kuljetuksen yksikkökustannukset (€/m<sup>3</sup>, €/h).
- $SEV_i$  = Faustmannin kiertoaikamallin mukaisesti laskettu paljaan maan tuottoarvo laskentayksikölle i
- r = laskentakorko (4 %)
- $a_i$  = laskentayksikön i pinta-ala
- i = laskentayksiköiden määrä,  $i= 1, \dots, m$
- j = vaihtoehdoisten käsittelyketjujen määrä,  $j= 1, \dots, h$
- t = jakso,  $t= 1, \dots, T$

Taloudellisena mittarina nettotulojen nykyarvo ottaa huomion tilavuuskriteereitä paremmin puun eri osien käyttöarvon ja puuntuotantoon käytetyt panokset. Käytetyt tukki- ja kuitupuun kantohinnat sekä metsähakkeen käyttöpistehinnat saatiin SF-GTM mallista. Tukin ja kuidun tienvarsihinnat muodostettiin lisäämällä kantohintoihin korjuukustannuksena tukille 7,45 €/m<sup>3</sup> ja kuidulle 13,45 €/m<sup>3</sup>. Puun korjuun ja metsänhoidon kustannusten oletettiin pysyvän nykytasolla (ks. Metinfo 2014, <http://www.metla.fi/metinfo/mela>).

Metsävaratiedot perustuvat valtakunnan metsien vuosina 2008–2012 mitattuun koeala-aineistoon (Metinfo 2014, <http://www.metla.fi/metinfo/vmi/>). Laskemissa on mukana metsä- ja kitumaan koealat sisältäen myös puuntuotannon ulkopuolella olevat mm. luonnon- ja kansallispuistot, luonnonsuojelulain nojalla rauhoitetut ja mm. Metsähallituksen omilla päätöksillä suojellut alueet kuten myös monimuotoisuuden kannalta erityisen tärkeän elinympäristön vaatimukset täyttävät koealat. Puuntuotannon ulkopuolisille aloille simuloitiin vain luonnonprosessit. Koko metsä- ja kitumaan pinta-ala oli yhteensä 22,7 miljoonaa hehtaaria, jota vastaava puuston tilavuus oli 2 332 miljoonaa kuutiometriä. Puuntuotantoon käytettävissä olevan (ensisijaisesti ja rajoitetussa

puuntuotannossa) metsä- ja kitumaan pinta-ala oli 19,6 miljoonaa hehtaaria ja vastaavasti puuston tilavuus 2 106 miljoonaa kuutiometriä.

MELA-ohjelmistoon perustuvat hakkuulaskelmat nojautuvat puuston kehitystä ja käsittelyä kuvaaviin malleihin. Mallit ovat aina todellisuuden yksinkertaistuksia, joten laskelmatuloksia tulkittaessa on aina otettava huomioon taustaoletukset ja tuloksiin liittyvät yleiset oletukset ja varaukset, joista erityisesti seuraavilla on merkitystä:

1. Puuntuotannossa oleva metsäala säilyi lähtöhetken tasolla,
2. Metsänhoitotyöt tehdään sovellettujen metsänhoitosuositusten mukaisesti ja esitetyssä laajuudessa. - Hoitotöiden viivästymistä tai laiminlyöntiä ja näiden vaikutuksia ei voitu ottaa huomioon mallilaskelmissa. Muun muassa taimikonhoito tehtiin aina heti ohjeiden mukaisien kriteerien täyttyessä
3. Metsiköiden käsittelymahdollisuuksia rajoittivat vain metsänkäsittelysuositukset – eivät mahdolliset omistajien metsänkäytölliset preferenssit. Siten metsänomistus ei vaikuttanut metsiköiden käsittelyyn eikä metsänomistajien omia suunnitelmia (metsäyhtiöiden tai yksityismetsien metsäsuunnitelmat tai metsähallituksen alue-ekologiset suunnitelmat) voitu ottaa huomioon.
4. Kasvun taso on kalibroitu vuosien 2004–2008 tasolle ja ilmastonmuutoksen vasteen laskennan oletuksena on, että kasvumallit tuottavat kasvun perustason oikein ilman ilmastonmuutosvaikutusta. Ilmastonmuutoksella oli vain positiivisia – puuston kasvua lisääviä vaikutuksia – eikä mahdollisia ilmastonmuutoksesta aiheutuvia tauteja eikä myrsky- tai hyönteistuhoja voitu ottaa huomioon.