

Luonnonvara- ja
biotalouden
tutkimus 36/2016

Skenaariolaskelmiin perustuva puuston ja metsien kasvihuonekaasu- taseen kehitys vuoteen 2045

Selvitys maa- ja metsätalousministeriölle vuoden 2016 energia- ja
ilmastostrategian valmistelua varten

Aleksi Lehtonen, Olli Salminen, Maarit Kallio, Tarja Tuomainen ja
Risto Sievänen

Skenaariolaskelmiin perustuva puuston ja metsien kasvihuone- kaasutaseen kehitys vuoteen 2045

Selvitys maa- ja metsätalousministeriölle vuoden 2016
energia- ja ilmastostrategian valmistelua varten

Aleksi Lehtonen, Olli Salminen, Maarit Kallio, Tarja Tuomainen ja Risto Sievänen



ISBN: 978-952-326-263-8 (Painettu)

ISBN: 978-952-326-264-5 (Verkkójulkaisu)

ISSN 2342-7647 (Painettu)

ISSN 2342-7639 (Verkkójulkaisu)

URN: [http://urn.fi/URN:ISBN: 978-952-326-264-5](http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-264-5)

Copyright: Luonnonvarakeskus (Luke)

Kirjoittajat: Aleksi Lehtonen, Olli Salminen, Maarit Kallio, Tarja Tuomainen ja Risto Sievänen

Julkaisija ja kustantaja: Luonnonvarakeskus (Luke), Helsinki 2016

Kannen kuva: Eetu Ahanen/Luken arkisto

Julkaisuvuosi: 2016

Painopaikka ja julkaisumyynti: Juvenes Print, <http://luke.juvenesprint.fi>

Tiivistelmä

Aleksi Lehtonen, Olli Salminen, Maarit Kallio, Tarja Tuomainen ja Risto Sievänen

Luonnonvarakeskus, Jokioniemenkuja 1, 01370 Vantaa.
etunimi.sukunimi@luke.fi

Maa- ja metsätaloudenministeriön toimeksiannosta Luonnonvarakeskus (Luke) laski vuoden 2016 energia- ja ilmastostrategian valmistelua varten kolmelle eri puunkäytön tasolle (MMM Perus, MMM Poliittika ja Kestävä hakkuupotentiaali) arviot puuston ja metsien kasvihuonekaasutaseen kehityksestä vuosille 2015–2045. Tässä raportissa kuvataan laskelmien perusteet ja keskeisimmät tulokset.

Puuston kehitysarviot laskettiin Luonnonvarakeskuksen MELA-ohjelmistolla valtakunnan metsien 11. inventoinnin (VMI11) aineistoon perustuen. Kangasmaiden maaperän kasvihuonekaasujen nielu ja päästöt arvioitiin Yasso07 maaperämallin avulla. Ojitetuilta orgaanisilta metsämailta laskettiin maaperän hiilidioksidi-, metaani- ja typpisoksiduulipäästöt kasvihuonekaasuinventaarion menetelmien mukaan. Tässä mallilaskelmiin perustuvassa skenaarioselvityksessä ei otettu huomion ilmastonmuutoksen vaikutuksia puuston kasvuun vaan kasvun ja maaperän orgaanisen aineen hajoamisen oletettiin jatkuvan pitkän ajan toteutuneen ilmaston (1984–2013) keskimääräisellä tasolla. Oletus on konservatiivinen, sillä VMI11 mitattu kasvu on 2–10 % ko. pitkän aikavälin indeksikorjattuja kasvuja korkeampi. Laskelmat käsittivät metsä- ja kitumaan, mutta niihin ei sisällytetty maankäytön muutosta. Raportissa tarkastellaan kuitenkin lyhyesti maankäytöstä aiheutuvaa metsäpinta-alan muutosta.

Ainespuukertymä kasvoi vuosien 2013–2014 tasosta (56 milj. m³/v) vuoteen 2035 mennessä Perusskenaariossa n. 10 %, Poliittikkaskaenaariossa n. 20 % ja Kestävän hakkuupotentiaalisen skenaariossa n. 40 %. Perus- ja Poliittikkaskaenaarioissa metsähakkeen käytön oletettiin kehittyvä vuoden 2013 Kansallisen energia- ja ilmastostrategiassa asetetun tavoitteen (13,5 milj. m³/v) mukaisesti. Yhdessä kotitalouksien polttopuunkäytön kanssa puun ensiasteinen energiakäyttö kasvoi vuoteen 2020 mennessä 19,5 milj. m³:iin/v pysyen tällä tasolla tarkastelujakson loppuun. Kestävän hakkuupotentiaalisen skenaariossa energiapuukertymä vakiintui tarkastelujakson aikana 18 milj. m³/v.

Tulosten mukaan metsien nielu säilyi vertailutasoa (noin 20 milj. t CO₂ ekv/v) suurempana, kun metsien käyttö oli Perusskenaarion mukainen. Perusskenaariossa metsien nielu kasvoi voimakkaasti vuoden 2035 jälkeen. Poliittikkaskaenaariossa nielu pienenee kaudella 2025–2034 hakkuiden kasvaessa, saavuttaen kuitenkin vertailutason jo seuraavana kautena (2035–2044). Kestävän hakkuupotentiaalisen skenaario eroaa selvästi perus- ja poliittikkaskaenaarioista: jo kauden 2015–2024 puolivälissä metsät ovat vain pieni nielu, joka muuttuu päästökseksi jaksolla 2025–2034, palaten taas pieneksi nieluksi kauden lopussa.

Asiasanat: skenaario, energia ja ilmasto strategia, hakkuukertymä, kasvihuonekaasu, CO₂, CH₄, N₂O

Sisällys

Tiivistelmä.....	3
1. Tausta	5
2. Puun käytön skenaariot.....	6
3. Menetelmät ja aineistot	8
3.1. Puuston kehitys.....	8
3.2. Kasvihuonekaasujen päästöt ja poistumat	9
3.2.1. Puuston hiilivaraston muutos	9
3.2.2. Maaperän kasvihuonekaasutaseet	9
4. Tulokset	11
4.1. Hakkukertymät ja metsävarat.....	11
4.2. Kasvihuonekaasutaseiden kehitys	14
5. Metsäpinta-alan muutos	17
6. Tulosten tarkastelu.....	18
Viitteet.....	20
Liitteet.	22

1. Tausta

Valtioneuvosto käynnisti 2015 uuden energia- ja ilmastostrategia valmistelun ja tavoitteena on, että strategia valmistuu ja annetaan selontekona eduskunnalle vuoden 2016 lopulla. Strategiassa linjataan kokonaisvaltaisesti politiikkatoimia, joiden avulla saavutetaan kansallisesti ja EU-tasolla asetetut energia- ja ilmastotavoitteet. Poliittikkatoimet kohdistuvat ensinnäkin hallituksen kärkihankkeen ”Hiillettömään, puhtaaseen, uusiutuvaan energiaan kustannustehokkaasti” tavoitteiden toteuttamiseen, joita ovat uusiutuvan energian osuuden kasvattaminen, hiilen energiakäytöstä luopuminen, tuontiöljyn käytön puolittaminen ja liikenteen uusiutuvien polttoaineiden osuuden kasvattaminen. Toiseksi energia- ja ilmastostrategian tavoitteena on täyttää EU:n 2030 ilmasto ja energiakehyksen tavoitteet, joissa unioni on sitoutunut vähentämään kasvihuonekaasupäästöjään vuoden 1990 tasosta vähintään 40 % vuoteen 2030 mennessä sekä nostamaan uusiutuvan energian osuudeksi vähintään 27 %:iin energiankulutuksesta. Kolmanneksi kansallinen energia- ja ilmastostrategia on keskeinen osa EU:n energiaunionin tavoitteiden toteuttamista Suomessa.

Metsien rooli ilmastotavoitteiden saavuttamisessa on toimia hiilen nieluna ja uusiutuvana raaka-ainelähteenä. Suomen metsät sitoivat hiiltä 2000-luvulla keskimäärin 34 milj. t CO₂ ekv. vuodessa (Statistics Finland 2016) ollen näin merkittävä hiilinielu. Keskimäärin metsien hiilinielu on ollut noin 50 % kasvihuonekaasujen kokonaispäästöistä Suomessa, mutta nielun koko on vaihdellut huomattavasti hakkuiden johdosta. Lisääntyneiden hakkuiden seurauksena metsien hiilinielu on vuosina 2013 ja 2014 pienentynyt ollen nykyisin noin 28 milj. t CO₂ ekv. vuodessa (Statistics Finland 2016).

Metsähakkeesta eli pienpuusta, hakkuutähteistä ja kannoista tuotetun energian kulutus vuonna 2013 oli 15,5 TWh. Nykyisen energiapolitiikan tavoitteena (Kansallinen energia- ja ... 2013) on nostaa metsähakkeen käyttö sähkön ja lämmöntuotannossa vuoteen 2020 mennessä 25 TWh:iin. Jos tähän metsähakkeen käyttötavoitteeseen päästään ja kotitalouksien polttopuun käyttö säilyy nykytasolla 6 milj. m³/v, niin puun ensiasteinen energiatuotanto olisi noin 10 % nykyisestä energian kokonaiskulutuksesta. Yhteensä puupolttoaineiden osuus energian kokonaiskulutuksesta (380 TWh) oli vuonna 2013 noin 25 % (95 TWh). Pääosa puuperäisestä energiasta, noin 65 %, syntyi metsäteollisuuden sivutuotteena.

Energia- ja ilmastostrategian laatiminen pohjautuu eri sektorien taustalaskelmiin. Ministeriöt vastaavat kukin oman toimialansa skenaariolaskelmista ja taustaraporteista. Niissä noudatetaan yhtenäistä menettelytapaa skenaarioiden laatimiselle eli laaditaan perusskenaario ja uudet politiikkatoimet sisältävä politiikkaskenaario. Energia- ja ilmastostrategian valmisteluun liittyen maa- ja metsätalousministeriö (MMM) tilasi Luonnonvarakeskukselta (Luke) eri puunkäyttötasoihin perustuvat metsien puuston kehitysarviot ja niitä vastaavat metsien kasvihuonekaasutasearviot vuosille 2015–2044. Tässä raportissa esitellään tuloksena kolme metsien kehityslaskelmaa, kuvataan laskennassa käytetyt oletukset ja menetelmät. Tulokset esitellään rinnakkain näille kehitysvaihtoehdoille ja lopuksi arvioidaan tuloksiin liittyviä epävarmuuksia.

2. Puun käytön skenaariot

Energia- ja ilmastostrategian laadinnan taustoittamiseksi maa- ja metsätalousministeriö määrittä kaksi vaihtoehtoista puun kysynnän ja hakkuiden tavoitetasoa vuosille 2015–2044. Maa- ja metsätalousministeriön **Perusskenaario** (MMM Perus) perustuu vuosien 2013–2014 toteutuneisiin hakkuukertymiin. Ministeriön **Politiikkaskenaarion** (MMM Poliitikka) taustalla on Pöyryn työ- ja elinkeinoministeriölle laatimassa raportissa ”Suomen metsäteollisuus ja puunkäyttö 2015–2035” (liite 1) esitetty arvio ainespuun käytön kehityksestä. Näiden lisäksi laskettiin **kestävän hakkuupotentiaalinen skenaario** (SK). Siinä tarkastellaan vaihtoehtoa, jossa metsistä hakataan puuntuotannollisesti kestävästi suurin mahdollinen määrä puuta. Tulee huomioida, että kyseiset puun kysynnän ja hakkuiden perus- ja politiikkaskenaariot eivät ole yhteneviä Energia- ja ilmastostrategian perus- ja politiikkaskenaarioiden (WEM ja WAM) kanssa.

Skenaarioiden pääoletukset ovat seuraavat:

- Vireillä olevien metsäteollisuuden investointisuunnitelmien ja jo tehtyjen investointipäätösten mukaan kotimaisen puun kysyntä kasvaa ja täten myös hakkuumäärät, sillä tuontipuun oletetaan pysyvän nykytasolla. Investointien tuoma lisäys kotimaisen puun hakkuukertymään on 5 milj. m³ (MMM Perus) ja 12 milj. m³ (MMM Poliitikka) vuodessa. Tuonnin oletetaan pysyvän tasolla 9,1 milj. m³ vuodessa.
- Kansallisen energia- ja ilmastostrategian (2013) ja Kansallisen Metsästrategian 2025 (2015) tavoitteena on lisätä metsähakkeen ja erityisesti hakkuutähteen energiakäyttöä 13,5 milj. m³:iin vuodessa vuoteen 2020 mennessä. Kantojen energiakäytön oletetaan pysyvän nykyisellä noin 1 milj. m³:n vuositasolla.

Perusskenaario (MMM Perus)

Perusskenaarion lähtökohtana on metsäteollisuuden nykyisen puunkäytön jatkuminen lisättynä jo tehtyjen investointipäätösten mukaisella puunkäytön arviolla. Vuosina 2013–2014 toteutunut ainespuun¹ hakkuukertymä oli noin 56 milj. m³/v, josta tukkia 24,2 ja kuitua 32,1 milj. m³/v. Tähän lisätään vuodesta 2018 alkaen havukuitupuun lisätarve 5 milj. m³/v. Tällä yhteensä noin 61 milj. m³:n vuosittaisella ainespuun kertymätasolla jatketaan vuoden 2018 jälkeen tarkastelujakson loppuun. Tuontipuun määrä säilyy nykytasolla (9,1 milj. m³/v).

Metsähakkeen käyttö nousee skenaariossa vuosien 2013–2014 tasosta (7,8 milj. m³/v) Kansallisen energia- ja ilmastostrategian (2013) tavoitteen mukaisesti vuoteen 2020 mennessä 13,5 milj. m³:iin vuodessa säilyen tällä tasolla tarkastelujakson loppuun. Kotitalouksien polttopuun käytön oletetaan pysyvän nykytasolla (6 milj. m³/v), jolloin metsäbiomassan ensiasteinen energiakäyttö on yhteensä noin 19,5 milj. m³/v. Vuosien 2013–2014 metsähakkeen käytöstä runkopuuta oli 4,1 milj. m³/v, hakkuutähdettä 2,7 milj. m³/v ja kantoja 1 milj. m³/v. Kotitalouksien polttopuu koostui pääosin runkopuusta. Skenaariossa metsähakkeen jakeiden (harvennuspuu, hakkuutähde, kannot) osuudet määräytyvät laskennan tuloksena. Kantojen käyttö saa kuitenkin nousta korkeintaan nykytasolle. Laskelmassa kotitalouksien polttopuun oletetaan koostuvan kokonaan runkopuusta.

Skenaariolaskelmassa metsähakkeen käyttömäärä on asetettu tasoon 13,5 milj. m³ vuodessa vuoden 2020 jälkeen eikä sen siis anneta vapaasti määräytyä laskennan tuloksena. Vastaava taso on asetettu perusskenaarion lisäksi politiikkaskenaariossa.

Politiikkaskenaario (MMM Poliitikka)

Ainespuun käytön kehitys Poliitiikkaskenaariossa perustuu Pöyryn (2016) työ- ja elinkeinoministeriölle (TEM) laatimaan arvioon ”Suomen metsäteollisuus ja puunkäyttö 2015–2035” (liite 1). Kotimaisen

¹ Ainespuu = metsäteollisuuden käyttöön tai kotitarvepuuksi hakattu tukin tai kuidun laatuvaatimukset täyttävä runkopuu

ainespuun hakkuukertymä nousee tässä skenaariossa vuoteen 2035 mennessä noin 68 milj. m³:iin/v, kun oletetaan puuntuonnin (9,1 milj. m³/v) säilyvän nykytasolla.

Metsähakkeen käyttö kehittyi vuoden 2013 Kansallisen energia- ja ilmastostrategian tavoitteiden mukaisesti vuoteen 2020 mennessä 13,5 milj. m³:iin/v säilyen tällä tasolla tarkastelujakson loppuun eli sen ei annettu vapaasti määräytyä. Vastaava oletus on tehty Perusskenaariossa. Metsähakkeen kokonaiskäytön osalta Perus- ja Poliitiikkaskenaariot eivät näin poikkea toisistaan, vaikka erot ainespuun hakkuissa voivat johtaa jakeiden osalta erilaisiin määriin. Perusskenaarion tavoin kotitalouksien polttopuun käyttö säilyy nykytasolla ja kantojen korjuu voi olla korkeintaan 1 milj. m³/v.

Kestävä hakkuupotentiaali (MMM Suurin kestävä)

Skenaario lasketaan vuodesta 2015 eteenpäin noudattaen Luonnonvarakeskuksen (Luke) valtakunnan metsien inventointien yhteydessä soveltamaa suurimman kestävä kertymäärävion määrittelyä², jossa peräkkäisten kausien ainespuukertymän, energiapuukertymän ja nettotulojen on oltava tasaiset tai nousevat sekä tukkikertymän oltava vähintään 1. kauden (tässä kauden 2015–2024) tasolla. Ainespuukertymä ja energiapuun kokonaiskertymä (metsähake lisättynä kotitalouksien polttopuulla) sekä näiden jakautuminen eri ositteisiin määräytyvät optimiratkaisun tuloksena. Kuitenkin myös tässä skenaariossa kantoja voi olla ratkaisussa korkeintaan 1 milj. m³/v.

Skenaariolaskelmien muita lähtökohtia

Laskelmat kattavat kansallisesti määritellyt metsä- ja kitumaan. Ilmastonmuutoksen todennäköistä vaikutusta ei otettu ennusteissa huomioon vaikutusarvioihin liittyvien epävarmuuksien vuoksi. Metsien kasvun oletettiin pysyvän pitkän ajan (1984–2013) läpimitan kasvun keskitasolla.

Kasvihuonekaasutaseet sisältävät metsien hiilivarastojen muutosten (CO₂) ja muiden kasvihuonekaasujen (dityppioksidi N₂O, metaani CH₄) nettohiiliväydyksen/-päästön. Tarkasteluun sisältyvät puuston, kuolleen puun, karikkeen ja maaperän hiilivarastot. Laskennat noudattavat niiltä osin kuin se on ollut mahdollista Suomen kasvihuonekaasuinventaarion (2015) maankäyttö, maankäytön muutokset ja metsätalousssektorilla käytettyjä menetelmiä ja päästökertoimia (tarkemmin luku 3.2.2). Tulokset eivät kuitenkaan sisällä typpilannoituksesta, metsäpaloista, kulutuksesta ja maankäytön muutoksista aiheutuvia päästöjä. Metsä- ja kitumaan pinta-alojen oletettiin pysyvän samana koko laskentajakson. Metsäpinta-alan muutosta arvioidaan omassa osiossaan (luku 5) tässä raportissa.

² <http://mela2.metla.fi/mela/laatuselosteet/2015/laskelmatyyppit.php>

3. Menetelmät ja aineistot

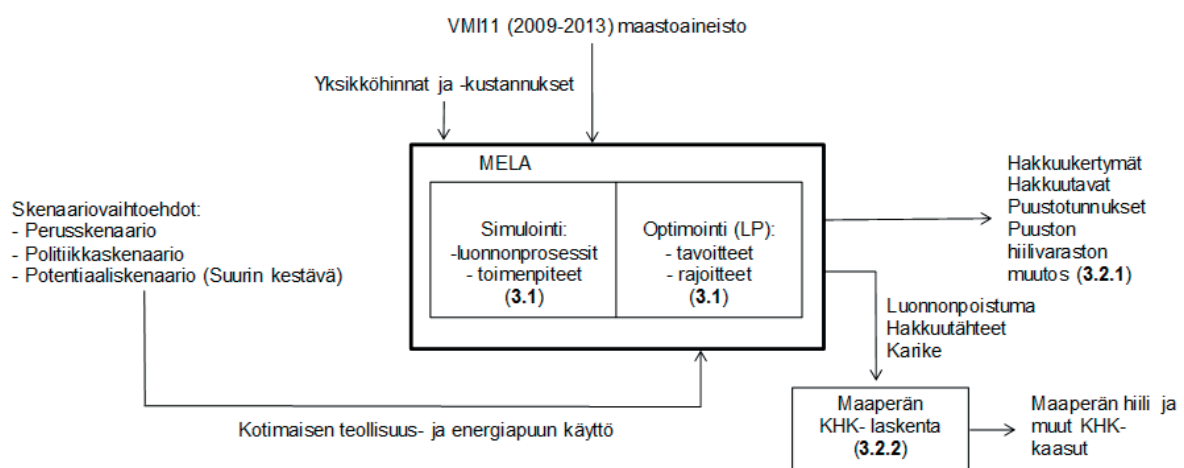
3.1. Puuston kehitys

Puuston kehityssennusteet laskettiin MELA2012-ohjelmistolla, joka koostuu puutason luonnonprosessi- ja tuottavuusmalleihin (mm. Hynynen ym. 2002, Kuitto ym. 1994) perustuvasta metsien kehitysvaihtoehtoja tuottavasta metsikkösimulaattorista ja lineaarisesta optimoinnista. MELA2012-ohjelmiston rakennetta ja toimintaa ovat kuvanneet tarkemmin esim. Redsvén ym. (2013) ja Nuutinen ym. (2007) ja erityisesti sen optimointiosiota Lappi (1992).

Laskennan (kuva 1) tuloksena saatiin hakkuita koskevat tiedot sekä puustotunnusten (mm. tilavuus, kasvu, biomassa) kehityssennusteet. Puuston biomassa arvioitiin MELA-ohjelmistoon sisältyvillä Repolan (2008, 2009) biomassamalleilla. Tuloksena olivat myös syöttötiedot maaperän hiilivaraston muutoksen laskentaa varten.

Laskenta-aineiston muodostivat valtakunnan metsien 11. inventoinnin (Valtakunnan metsien ... 2013) vuosina 2009–2013 mitatut metsä- ja kitumaan koealat. Muina käsittelyvaihtoehtojen simuloiminnin (kuva 1) lähtötietoina olivat puutavaralajien yksikköhinnat sekä metsänhoidon ja puunkorjuun yksikkökustannukset. Laskennassa otettiin huomioon virallisten suojelupäätösten mukaisten käytönrajoitusten lisäksi Metsähallituksen omiin päätöksiin perustuvat rajoitukset (Korhonen ym. 2007). Edellä mainittujen käytönrajoitusten perusteella VMI11 maastoaineisto jaettiin 1) puuntuotannon, 2) rajoitetun puuntuotannon ja 3) puuntuotannon ulkopuolella olevaan maahan (Liite 2: taulukko 1). Puuntuotannon ulkopuoliselle maalle ja puuntuotannon kitumaalle ei simuloitu toimenpiteitä. Rajoitetun puuntuotannon metsämaalla sallittuja hakkuutapoja olivat kasvatushakkuu (harvennukset ja ylispuiden poisto) sekä luontainen uudistaminen (Liite 2: taulukko 2). Uudistushakkuissa jätettiin suositusten mukaisesti säästöpuita vähintään 5 m³/ha.

Metsänkäsittelyvaihtoehtojen simuloiminta perustui vuoden 2013 metsänhoidon suosituksiin (Äijälä ym. 2014) ja energiapuun korjuun ja kasvatuksen suosituksiin (Äijälä ym. 2010). Uudistushakkuiden toteutuksessa noudatettiin toistaiseksi käytännössä sovellettuja 2–3 %:n tuottovaatimuksen antavia läpimitta- ja ikärajoja (Äijälä ym. 2014 taulukot 6–8). Kulotus, lannoitus, uudisojitus, pystypuiden karsinta, yläharvennus ja eri-ikäisrakenteisen metsän kasvatusta eivät olleet mukana tarkasteltavina



Kuva 1. Skenaarioiden laskentakehikko (numerot kuvassa viittaavat tämän raportin lukuihin).

vaihtoehtoina. Metsien käsittelyyn liittyvät toimet ja niihin liittyvät rajoitteet on esitetty MELA Tulospalvelun Laatuselosteessa³.

Metsien käsittely ja sen mukainen metsien kehitys ratkesi optimoinnin tavoitteiden ja rajoitteiden tuloksena. Tavoite oli kaikissa skenaarioissa nettotuottojen nykyarvon maksimointi 4 %:n korolla, joka valitsi ratkaisuun rajoitteiden suhteen taloudellisesti tehokkaimmat käsittely- ja kehitysvaihtoehdot. Perus- ja Politiikkaskenaarioissa tavoitetta rajoittivat puunkäyttöön perustuvat kausittaiset hakkuukertymät, joille sallittiin $\pm 0,5$ %:n poikkeamat ja Kestävän hakkuupotentiaalin -skenaariota rajoittivat puuntuotannon kestävyyskriteerit. VMI11-aineiston keskiarvovuosi on 2011, joten kaikissa skenaarioissa otettiin huomioon rajoitteina vuosina 2011–2014 toteutuneet hakkuut (kertymät ja pinta-alat).

3.2. Kasvihuonekaasujen päästöt ja poistumat

3.2.1. Puuston hiilivaraston muutos

Puuston biomassavarastot saatiin kymmenvuotiskausille 2015–2024, 2025–2034 ja 2035–2044 MELA-ohjelmistoon sisältyvillä Repolan (2008, 2009) biomassamalleilla. Biomassan muutos laskettiin kahden peräkkäisen kymmenvuotiskauden varaston erotuksena ja vuosittainen muutos oli erotuksen lineaarihajotelma.

3.2.2. Maaperän kasvihuonekaasutaseet

Maaperän laskentamallia on tarkemmin kuvattu julkaisuissa Sievänen ym. (2012) ja Sievänen ym. (2014). Menetelmät vastaavat pääpiirteittäin Suomen kasvihuonekaasuinventaariossa käytettyjä menetelmiä.

Karikesyöte

Maaperän hiilivaraston muutokset laskettiin erikseen kivennäismaille ja ojitetuille turvemaille. MELA-ohjelmiston tuottamista puustotiedoista laskettiin vuotuinen elävän puuston, luonnonpoistuman ja hakkuutähteiden kariketuotokset, jotka ovat syötteenä maaperään. Biomassafunktiolla puulajeittain tuotetuista elävän puuston biomassoista laskettiin kariketuotuskertoimilla karikkeen määrä (kerroin \times biomassa). Laskennassa käytettiin ositteita runko, kuori, elävät oksat, kuolleet oksat, lehdet ja neulas, kanto ja juuret.

Kivennäismaiden hiilivaraston muutos

Kivennäismaille laskettiin Yasso07-mallilla (Tuomi ym. 2011) kariketuotukseen perustuva orgaanisen aineen (vuotuinen karikesyöte ja aikaisemmin tullut, hajoamaton karike) hajotusnopeus ja hiilivaraston muutos. Yasso07-malli ennustaa hiilivaraston koon seuraavaksi vuodeksi (W_{k+1}) kariketuotoksen (K_k), säätekijöiden S_k (lämpötila- ja sadantatiedot) ja nykyisen hiilivaraston koon (W_k) avulla: $W_{k+1} = Y(W_k, K_k, S_k)$. Varastomuutos on kahden perättäisen vuoden varastojen erotus. Lämpötila ja sadanta olivat kauden 1971–2012 keskiarvot. Kivennäismaan maaperän hiilivaraston (W) alkuarvona laskelmissa käytettiin Sievänen ym. (2014) laskelmien arvoja.

Ojitettujen turvemaiden maaperän CO₂, CH₄ ja N₂O päästöt

Ojitettujen turvemaiden laskenta sisältää CO₂, CH₄ ja N₂O kaasujen vaihdon maaperän ja ilmakehän välillä. Hiilitase (CO₂) arvioitiin karikesyötteen ja turpeen hajoamisesta aiheutuvan päästön erotuksena: hiilivaraston vuotuinen muutos on karikesyöte miinus turpeen hajoaminen (Minkkinen ym. 2007).

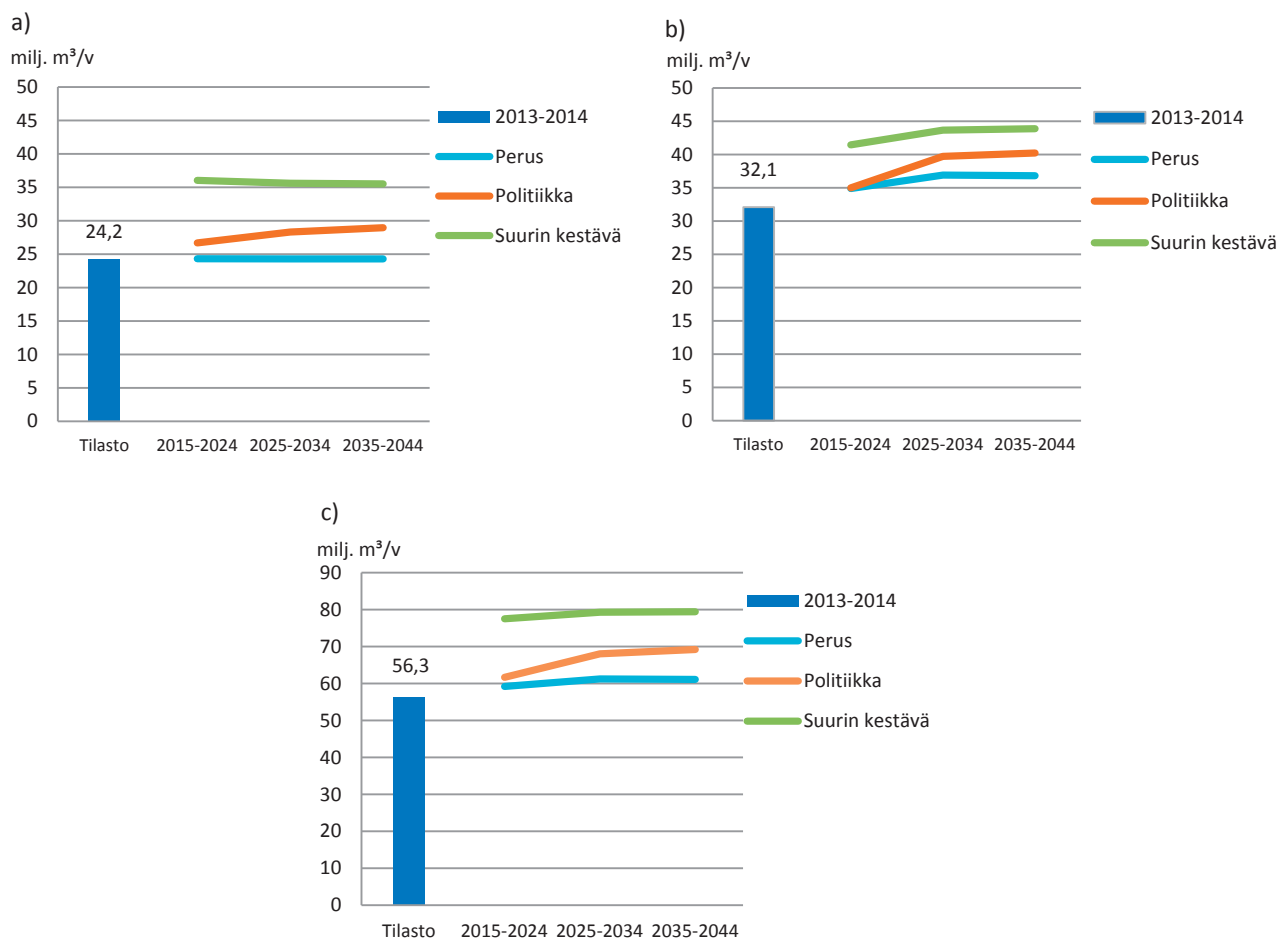
³ <http://mela2.metla.fi/mela>

Turpeen hajotusnopeus arvioitiin turvemaan ravinteisuustason mukaisten (viisi eri turvekangastyyp-
piä) päästökertoimien ja pinta-alojen avulla soveltaen KHK-inventaarion käyttämää menetelmää.
Tämän lisäksi emissiokertoimen arvoa säädettiin puuston määrän mukaan kuten Sievänen ym. (2014)
laskelmissa.

Metaanin vaihto laskettiin sekä sarkojen pinnasta että ojista. Sarkojen metaanivaihto perustuu
ojitusalueen kuivatustilanteeseen. Turvekankaat ovat pieni metaanin nielu, kun taas huonommassa
ojituskunnossa olevat turvekankaat ovat metaanin päästölähde. Sarkojen metaanipäästöjen ja me-
taaninielujen osalta laskenta perustuu Ojanen ym. (2010) työn päästökertoimiin. Ojien metaanipääs-
tö arvioitiin IPCC:n ohjeiden mukaan, olettaen ojan leveydeksi 1m (IPCC 2013). Ojitettujen orgaanis-
ten maiden maaperän N₂O-päästöt arvioitiin Ojanen ym. (2010) päästökertoimien avulla.

4. Tulokset

4.1. Hakkukertymät ja metsävarat



Kuva 2. Tukkikertymän (a), kuitukertymän (b) ja ainespuukertymä yhteensä (c) kehitys vuosina 2015–2044, MMM Perusskenaariossa (Perus), MMM Politiikkaskenaariossa (Politiikka) ja Kestävän hakkuupotentiaalin skenaariossa (Suurin kestävä), milj. m³/v. Kuvissa ovat myös tilastoidut vuosien 2013–2014 toteumakeskiarvot (Metsätilastollinen ... 2014).

Ainespuukertymä kasvaa vuosien 2013–2014 tasosta vuoteen 2035 mennessä Perusskenaariossa⁴ n. 10 %, Politiikkaskenaariossa n. 20 % ja Kestävän hakkuupotentiaalin skenaariossa n. 40 %. Kestävän hakkuupotentiaalin skenaariossa, jossa kertymät perustuvat metsävarojen mukaisiin hakkuumahdollisuuksiin eikä puunkäytöstä johdettuun kysyntään, tuikin hakkuumäärää voidaan kasvattaa lähes puolella (kuva 2). Perusskenaarion tukkikertymä pysyy laskentaoletusten mukaisesti nykytasolla, joten ainakin periaatteessa havukuitupuun hakkuukertymää voidaan lisätä ilman tuikin hakkuiden lisäystä. Ainespuun hakkuukertymät puu- ja puutavaralajeittain on esitetty tarkemmin liitteessä 3.

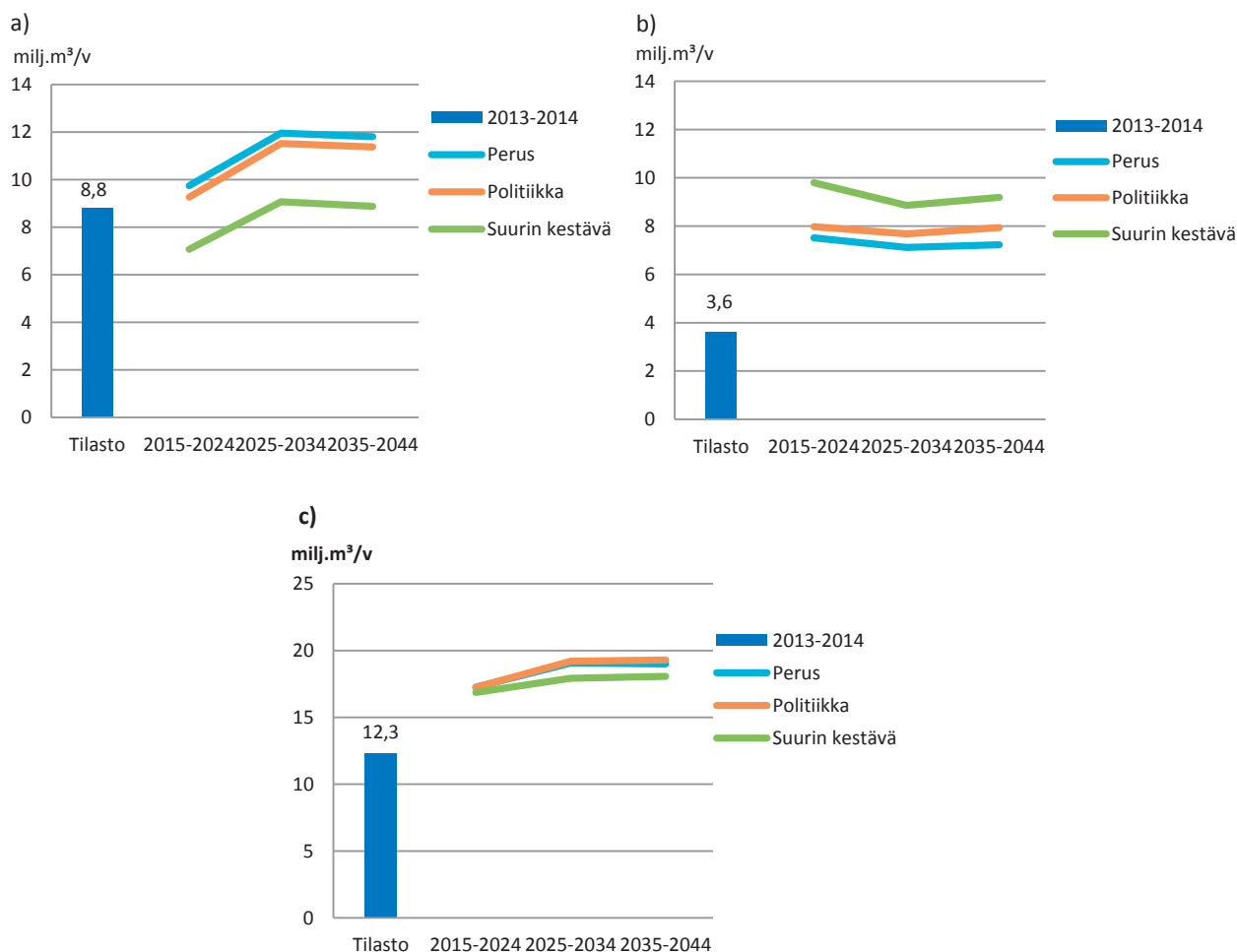
Perus- ja Politiikkaskenaarioissa metsähakkeen käyttö kehittyy vuoden 2013 Kansallisen energia- ja ilmastostrategiassa asetetun tavoitteen mukaisesti. Saavutettu käytön taso (13,5 milj. m³/v) ei kuitenkaan ole optimointiratkaisuna syntynyt taso, vaan asetetun tavoitteen mukainen, jota laskel-

⁴ Huom. lyhyiden vuoksi tekstissä käytetään perus- ja politiikkaskenaario termejä, jotka eivät ole sisällöllisesti yhteneviä Energia- ja ilmastostrategian perus- ja politiikkaskenaarioiden (WEM ja WAM) kanssa

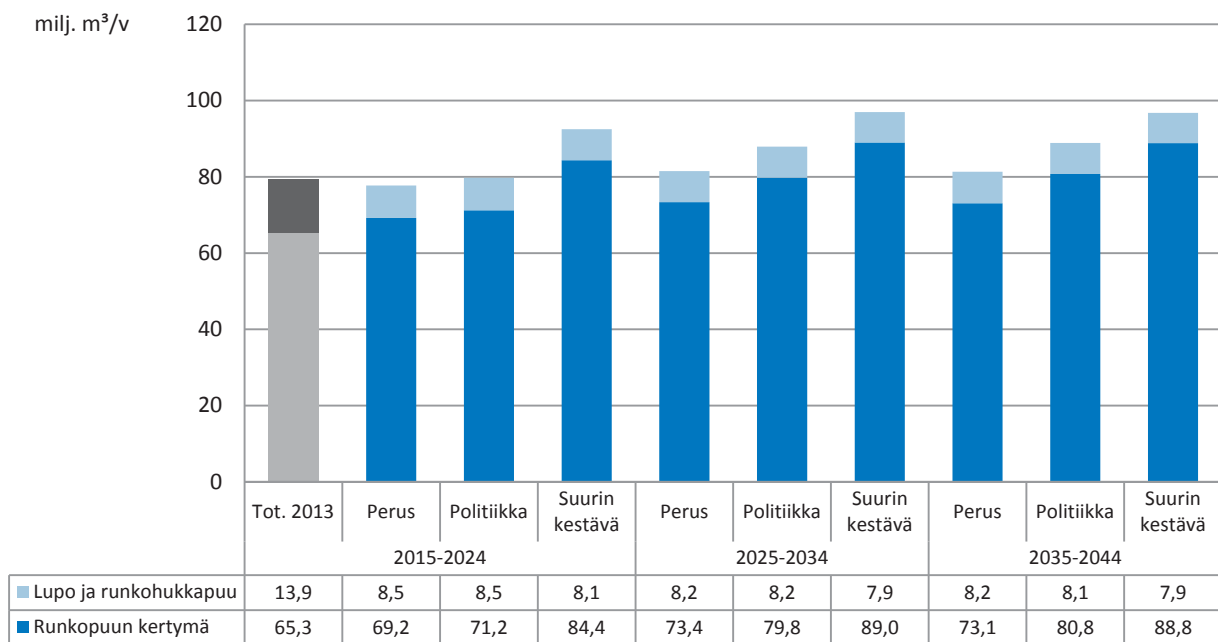
massa ei saatu alittaa, mutta ei myös ylittä. Yhdessä kotitalouksien polttopuunkäytön kanssa puun ensiasteinen energiakäyttö kasvoi vuoteen 2020 mennessä 19,5 milj. m³:iin/v pysyen tällä tasolla tarkastelujakson loppuun (kuva 3). Kestävän hakkuupotentiaalın skenaariossa energiapuukertymä vakiintui tarkastelujakson aikana 18 milj. m³/v.

Vuosien 2013–2014 metsähakkeen ja kotitalouksien polttopuun käytöstä hakkuutähteen ja kantojen osuus oli noin 30 %. Tulevaisuudessa osuus kasvaa Perusskenaariossa 35 %:iin ja Kestävän hakkuupotentiaalın skenaariossa 50 %:iin. Määrällisesti lisäys on 3,5–7,5 milj. m³. Lisäys syntyy hakkuutähteen korjuusta, sillä näissä laskelmissa kantojen määrä oli rajattu maksimissaan nykytasolle (1 milj. m³/v). Hakkuutähteen lisäyksen mahdollistaa uudistushakkuiden kasvu, joka on suurin Kestävän hakkuupotentiaalın skenaariossa. Perus- ja Poliittikkaskenaariossa myös harvennushakkuiden runkopuun käyttö metsähakkeeksi kasvaa 2,5–3 milj. m³.

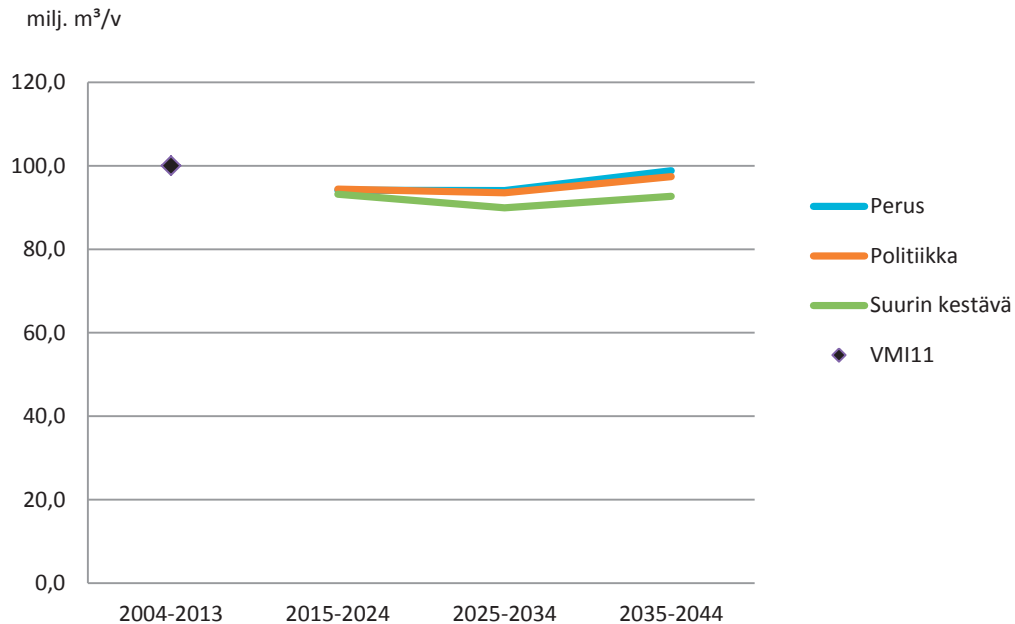
Runkopuun kokonaispoistuma, joka koostuu hakkuukertymästä, metsään jäävästä taimikonhoidon ja hakkuiden pienpuustosta ja latvahakkapuusta sekä luontaisesti kuolleesta puusta, kasvaa hakkuiden johdosta erityisesti Kestävän hakkuupotentiaalın skenaariossa, mutta myös Poliittikkaskenaariossa (kuva 4). Perusskenaariossa, jossa hakkuukertymä myös hieman nousee, ero tilastoituun kokonaispoistumaan on pieni, koska MELA:ssa kertymän talteenotto on 100 %, jolloin maahan jää selvästi tilastoitua vähemmän korjuun vaatimukset täyttävä runkopuuta.



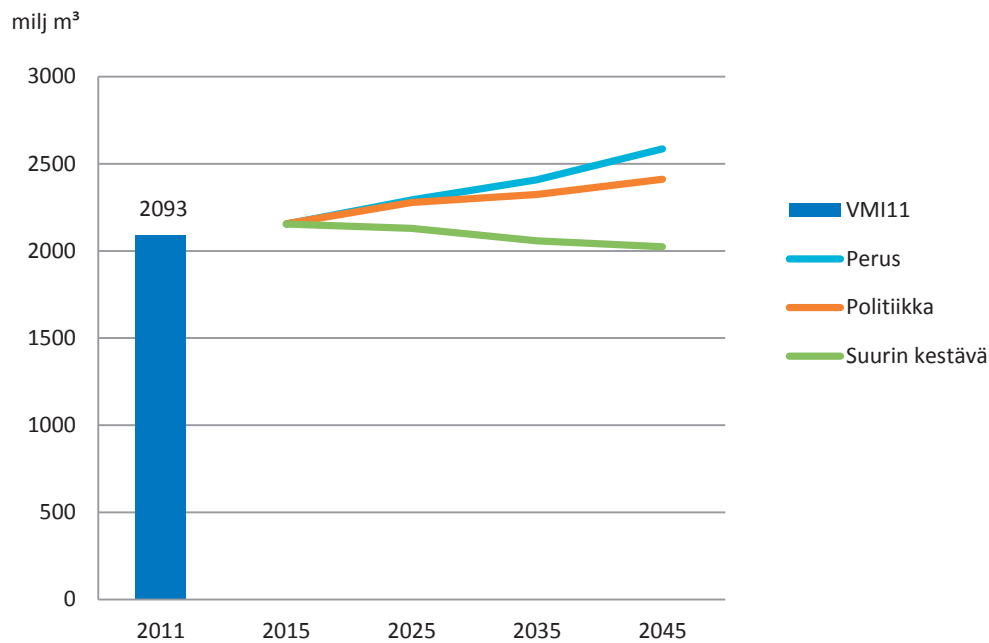
Kuva 3. Energiapuukertymän (metsähake ja kotitalouksien polttopuu) kehitys jakeittain: a) harvennushakkuiden runkopuu b) hakkuutähtede ja kannot sekä c) yhteensä vuosina 2015–2044 MMM Perusskenaariossa (Perus), MMM Poliittikkaskenaariossa (Poliittikka) ja Kestävä hakkuupotentiaali (Suurin kestävä) skenaarioissa, milj. m³/v. Kuvissa ovat myös tilastoidut vuosien 2013–2014 toteumakeskiarvot (Metsätaloustilastollinen ... 2014).



Kuva 4. Runkopuun kokonaispoistuma MMM Perus- (Perus), MMM Politiikka- (Politiikka) ja Kestävän hakkuupotentiaalin skenaarioissa vuosina 2015–2044, milj. m³/v. Lupo = luontaisesti esim. tuhon, vanhuuden yms. syyn vuoksi kuollut runkopuu, runkohukkapuu = metsänhoidossa tai hakkuissa kaadettu ja metsään jätetty runkopuu. Kuvisa ovat myös tilastoidut vuosien 2013–2014 toteumakeskiarvot (Metsätilastollinen ... 2014).



Kuva 5. Puuston kasvu puuntuotannon metsämaalla MMM Perus- (Perus), MMM Politiikka- (Politiikka) ja Kestävän hakkuupotentiaalin skenaarioissa vuosina 2015–2044, milj. m³/v. VMI11:n mitattu vuosien 2004–2013 keskimääräinen kasvu on merkitty vinoneliöllä (Metsätilastollinen 2014).

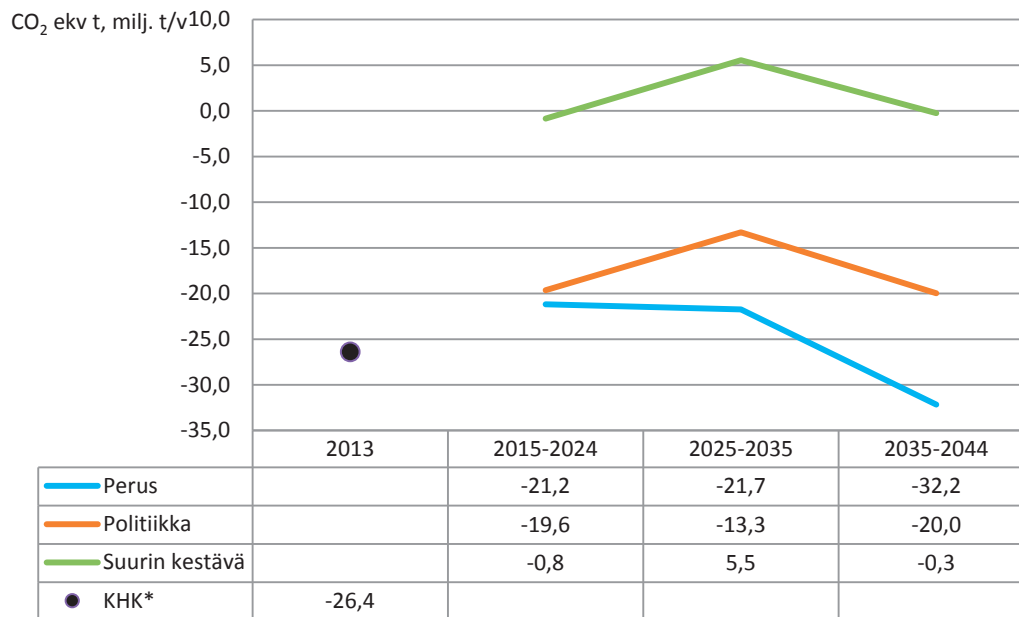


Kuva 6. Puuston kokonaistilavuus puuntuotannon maalla MMM Perus- (Perus), MMM Politiikka- (Politiikka) ja Kestävän hakkuupotentiaalin skenaarioissa vuosina 2015–2045, milj. m³/v. VMI11:n mitattu tilavuus edustaa inventoinnin keskivuotta (Metsätilastollinen 2014).

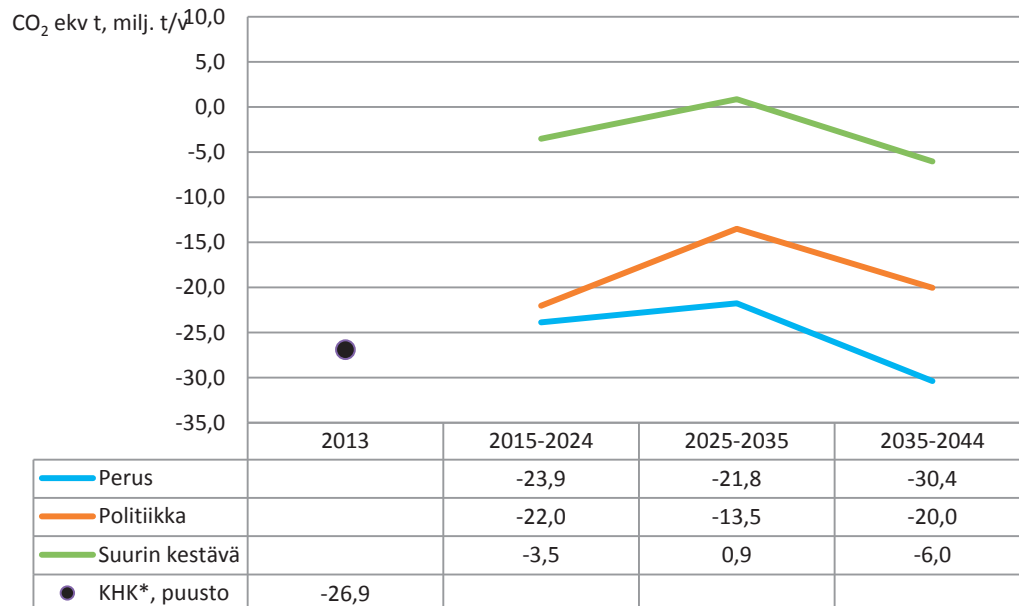
Kasvun ja kokonaispoistuman erotus ratkaisee puuston tilavuuden kehityksen. Perus- ja Politiikkaskenaarioissa kasvu aluksi laskee vuosien 2011–2014 indeksikorjatun kasvun tasosta (97,6 milj. m³/v, kun mitattu puuntuotannon maan kasvu on n. 100 milj. m³/v). Nettotuottojen nykyarvoa maksimoiva tavoitefunktio ohjaa hakkuuta aluksi uudistamispainotteisesti, jolloin aukean ja pienten taimikoiden määrä kasvaa. Kasvu kääntyy kuitenkin seuraavalla kaudella nousuun. Kestävän hakkuupotentiaalin ratkaisussa määrällisesti vielä suurempien uudistushakkuiden seurauksena em. ”ilmiö” korostuu. Kokonaistilavuus Perus- ja Politiikkaskenaarioissa kuitenkin kasvaa (kuva 6), sillä kasvu ylittää kokonaispoistuman. Sen sijaan Kestävän hakkuupotentiaalin skenaariossa puuston tilavuus laskee.

4.2. Kasvihuonekaasutaseiden kehitys

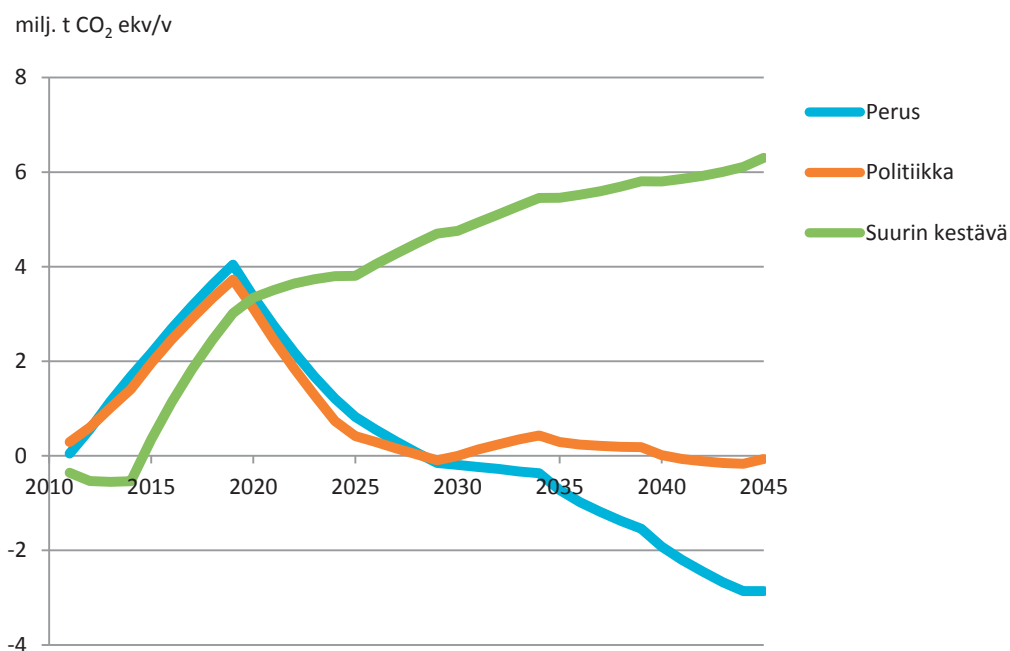
Perusskenaariossa metsien nielu pysyy samalla tasolla vuodesta 2015 vuoteen 2034, kasvaen voimakkaasti kolmannelle kymmenvuotiskaudelle (kuva 7). Politiikkaskenaariossa nielu pienenee toiselle kymmenvuotiskaudelle, saavuttaen lähtötason kolmannella kaudella. Suurin kestävä skenaario eroaa selvästi perus- ja politiikkaskenaarioista: jo kauden 2015–2024 puolivälissä metsät ovat hyvin pieni nielu, joka muuttuu päästöksi jaksolla 2025–2034, palaten taas pieneksi nieluksi kauden lopussa. KHK-inventaarion raportoima metsämaan nielu vuodelle 2013 on suurempi kuin skenaarioiden lähtötasot (kuva 7). Tämä johtuu MELA-ohjelmistolle annetusta tavoitteiden asettelusta, esimerkiksi perusskenaarion vuosittainen ainespuun hakkuukertymä-tavoite on suurempi kuin vuonna 2013 toteutunut hakkuukertymä.



Kuva 7. Suomen metsien hiilitase MMM Perus- (Perus), MMM Politiikka- (Politiikka) ja Kestävän hakkuupotentiaalin skenaarioissa vuosina 2015–2044 milj CO₂ ekv. t/v, ja KHK-inventaarion raportoima arvo vuodelle 2013 (Statistics Finland 2016). Negatiivinen arvo tarkoittaa poistumaa (nielua) ja positiivinen päästöä.



Kuva 8. Puuston hiilitase MMM Perus- (Perus), MMM Politiikka- (Politiikka) ja Kestävän hakkuupotentiaalin skenaarioissa vuosina 2015–2044 milj CO₂ ekv. t/v, ja KHK-inventaarion raportoima arvo vuodelle 2013 (Statistics Finland 2016).



Kuva 9. Maaperän kasviuonekaasutase eli hiilitase (CO₂) ja siihen yhdistetyt metaanin (CH₄) ja typpioksiduulin (N₂O) päästöt MMM Perus- (Perus), MMM Politiikka- (Politiikka) ja Kestävän hakkuupotentiaalın skenaarioissa vuosina 2015–2044, milj CO₂ ekv. t/v.

Puuston määrän muutokset ovat tärkein metsien hiilitaseeseen vaikuttava tekijä. Sievänen ym. (2014) laskelmissa puuston hiilivaraston muutos vastasi noin 80 %:ia kokonaismuutoksesta. Yleistäen voidaan sanoa, että kun puuston kokonaistilavuus kasvaa, metsät ovat myös hiilinielu. Puuston hiilinielun kehitys (kuva 8) on hyvin samansuuntainen kuin metsien kokonaisionielun kehitys (kuva 7).

Kaikissa skenaarioissa maaperä toimii lähteenä vuoteen 2025 saakka (kuva 9). Ensimmäisellä kymmenvuotiskaudella päästöt kasvavat noin 4 milj. CO₂ ekv. t/v:een. Perus- ja politiikkaskenaarioissa päästöt kääntyvät laskuun ennen vuotta 2020, mutta Suurin kestävä skenaarioissa maaperä on kasvava lähde tarkastelujakson loppuun asti. Vain perusskenaariossa maaperä on nielu vuoden 2025 jälkeen. Politiikkaskenaariossa maaperän kasviuonekaasutase on lähellä nollaa vuodesta 2030 eteenpäin. Maaperän kasviuonekaasutaseiden muuttuminen päästöiksi kaikissa skenaarioissa heti vuoden 2015 jälkeen johtuu siitä, että MELA tuottaa suuren määrän kariketta jakson alussa (kasvattaa silloin maaperän hiilinielua) laskelmiin sisältyvän pakollisen taimikonhoidon ja määrällisesti kasvavien uudistushakkuiden seurauksena, jonka jälkeen karike hajoaa useiden vuosien ajan (pientää maaperän hiilinielua). Kasvava puuston määrä (kuva 6) tuottaa lisääntyvän määrän kariketta perus- ja politiikkaskenaarioissa, mikä kääntää myös maaperän kasviuonekaasutaseen kasvu-uralle.

5. Metsäpinta-alan muutos

Tässä raportissa esitetyt skenaariot metsä- ja kitumaan kasvihuonekaasutaseista on laskettu olettaen, että metsä- ja kituman pinta-ala on vakio, ja ilman maankäytön muutoksista aiheutuvia päästöjä ja poistumia. Metsämaan pinta-alan kehitystä vuodesta 1990 nykypäivään seurataan kasvihuonekaasuinventaariorissa. Inventaarion puuston latvuspeittävyteen ja puuston pituuteen perustuva metsämaan määritelmä poikkeaa kansallisesta puuston kasvuun perustuvasta määritelmästä, jota on käytetty tässä raportissa. KHK-inventaarion käyttämän määritelmän mukainen metsämaan pinta-ala on hieman kansallista metsämaan alaa suurempi, mutta pienempi kuin metsä- ja kitumaa yhteensä. Esimerkiksi vuodelle 2010 YK:n ilmastopöytäkirjan kasvihuonekaasuinventaariorissa metsämaan pinta-alan ja kansallisen metsä- ja kitumaan pinta-alan ero oli 824 000 ha (Statistics Finland 2016). Metsämaan pinta-ala on vähentynyt vuosien 1994 ja 2014 välillä 232 000 ha (Statistics Finland 2016). Tällä ajanjaksolla merkittävimmät metsän alaa vähentävät maankäytön muutokset ovat olleet metsästä rakennettuun maahan ja maatalousmaahan, yhteensä noin 314 000 ha (Statistics Finland 2016). Uutta metsämaata samalla ajanjaksolla on metsittämisen/metsittymisen kautta syntynyt 114 000 ha (Statistics Finland 2016). Metsämaan pinta-ala on siten viimeisen 20 vuoden aikana vähentynyt noin 10 000 ha vuodessa.

Haakana ym. (2015) ennakoivat metsämaan pinta-alan vähenevän noin 5 000 ha:n vuosivauhdilla vuoteen 2040. Metsästä rakennettuun maahan (sisältää rakennusmaa, liikenneväylät, kaivosalueet jne.) tarvittaisiin noin 6 000 ha vuodessa ja uutta maatalousmaata varten noin 3 000 ha (Haakana ym. 2015). Metsitys- ja metsittymisalana arvioitiin olevan vuodessa noin 5 000 ha, josta pääosa olisi metsittyviä hylättyjä maatalousmaita. Vuoden 2020 jälkeen turvetuotantoalueita voitaisiin metsittää lähes 2 000 ha vuodessa (Haakana ym. 2015).

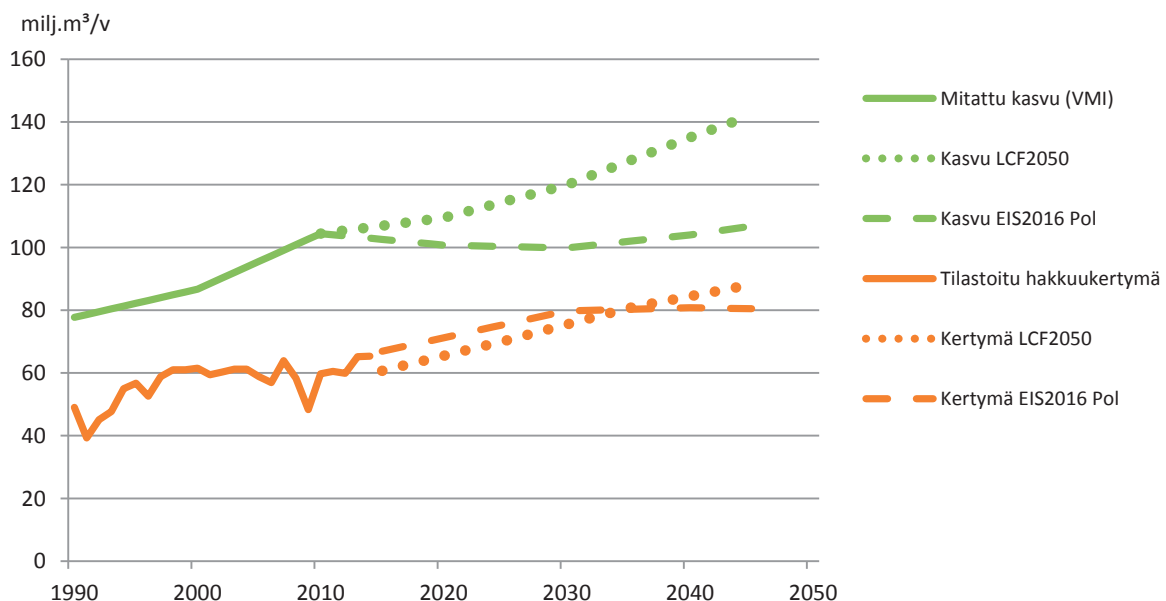
Metsitettyjen alueiden nettopäästön/-poistuman jättäminen pois metsien nettotaseesta ei juuri vaikuta lopputulokseen. Päästön/poistuman voidaan arvioida nykytiedon valossa olevan +/- 0,5 milj. t CO₂ ekv., joten metsitys (20 vuoden metsitysalat yhdessä) voi olla tulevaisuudessa joko päästölähde tai nielu. Metsämaan pinta-alan pieneneminen Haakanan ym. (2015) ennusteen mukaisesti vuosina 2015–2040 125 000 hehtaarilla, ei vaikuta nyt esitettyihin tuloksiin ratkaisevasti etenkin kun esityksissä ennusteissa on muutenkin suuret epävarmuudet. Sen sijaan metsänhävityksestä aiheutuvaa päästöä ei sinällään voida pitää merkityksettömänä, mutta arviota sen kehityksestä ei sisältynyt toimeksiantoon. Metsän pinta-alan pienenemistä suurempi vaikutus on vuosittaisilla hakkuumäärillä ja puuston kasvun kehityksellä kuten historiallinen aikasarja osoittaa.

6. Tulosten tarkastelu

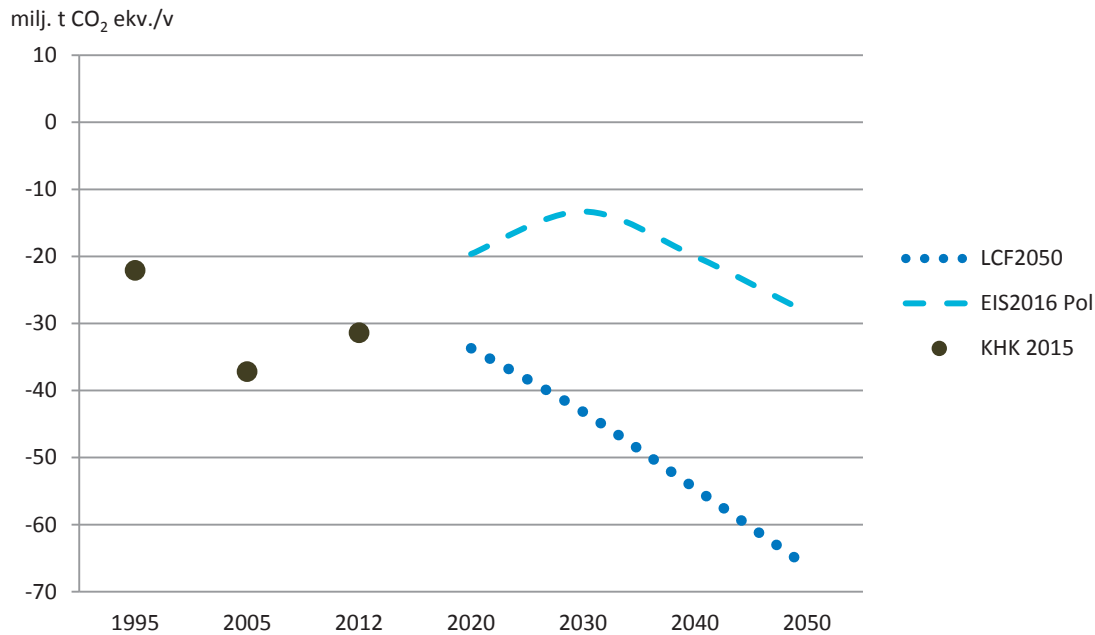
Tässä mallilaskelmiin perustuvassa skenaarioselvityksessä ei otettu huomioon ilmastonmuutoksen vaikutuksia puuston kasvuun vaan kasvun oletettiin jatkuvan pitkän ajan toteutuneen ilmaston (1984–2013) keskimääräisellä tasolla. Oletus on konservatiivinen, sillä VMI11 mitattu kasvu on 2–10 % ko. pitkän aikavälin indeksikorjattuja kasvuja korkeampi. MELA-ohjelmisto mahdollistaisi ilmastonmuutoksen mukaanoton, sillä MELA sisältää myös sen huomioon ottavan kasvuosion (Matala ym. 2003, 2005). MELA:n ilmastonmuutos perustuu FinnFor mallilla (Kellomäki ym. 1993, Kellomäki & Väisänen 1997) tuotettuihin ilmastonmuutoksen kasvuvaiikutuksiin. Uusimpien tutkimusten valossa kasvua kiihdyttävät mallit voivat kuitenkin yliarvioida ilmastonmuutoksen vaikutuksen, jos niissä ei ole mukana lisääntyviä häiriötekijöitä eikä CO₂-pitoisuuden ja lämpötilan nousun lisäksi muita kasvuun vaikuttavia tekijöitä, jotka voivat kumota ilmastonmuutoksen positiiviset vaikutukset (ks. Kallio-koski & Repo 2015). Noudattaen IPCC:n SRES A1B ilmastonmuutosskenaarion oletettua kehitystä Kallion ym. (2016) MELA-ohjelmistolla saama kasvu oli selvästi suurempi kuin nyt arvioitu, kun vertaillaan kahta hakkuukertymä kannalta lähellä toistaan olevaa skenaariota (kuva 10). Kasvun seurauksena erot tilavuuden kehityksessä ovat huomattava.

Puuston hiilinielu laskettiin tässä raportissa ja Kallio ym. (2016) tutkimuksessa kahden peräkkäisen tilan erotuksena, jolloin kohoavan kasvun seurauksena hakkuiden pysyessä samalla tasolla suurempi tilavuus johtaa suuren puuston hiilinieluun. Ilmastonmuutoksen positiiviset vaikutukset kasvattavat metsien hiilinielua, koska puiden kasvu ja kariketuotos lisääntyvät enemmän kuin ennakoitu karikkeen hajotus (kuva 11).

Kasvava metsähakkeen käyttö johti Perus- ja Poliittikkaskenaarioissa hakkutähteiden käytön lisäksi myös runkopuun energiakäytön lisäämiseen. Kantojen korjuu oli ekosysteemi- ja ilmastoyistä rajattu nykyisin toteutuneelle tasolle, jos tätä rajoitetta ei olisi, niin kantoja korjattaisiin Perus- ja Poliittikkaskenaarioissa lähes 4 milj. m³/v korvaten lisääntyvän runkopuun käytön. Talouden kannalta olisi siis edullisempaa lisätä ainakin aluksi metsähakkeen tuotantoa kannoista, kun hakkuutähde on täysikäytössä, kuin runkopuusta. Kantojen merkitys kookkaana lahoppuuna, josta talousmetsissä on puute, muodostaa kantojen energiakäytölle suurimman vaihtoehtokustannuksen. Toki useiden tutkimus-



Kuva 10. Ilmaston ja hakkuiden vaikutus puuston kasvuun. LCF2050: Low Carbon Finland 2050 (Kallio ym 2016) säästöskenaario, jossa ilmastonmuutos mukana. EIS2016 Pol: tämän raportin MMM Poliittikkaskenaario, jossa ei ilmastonmuutosta.



Kuva 11. Puuston ja maaperän kasvihuonekaasujen taseet, milj. t CO₂ ekv./v. LCF2050: Low Carbon Finland 2050 (Kallio ym 2016) säästöskenaario, jossa ilmastonmuutos mukana EIS2016 Pol: tämän raportin MMM Poliittikkaskenaario, jossa ei ilmastonmuutosta. KHK 2015: kasvihuonekaasuinventaarion raportoimat nielut (Statistics Finland 2016).

ten mukaan kantojen energiakäytön ilmastovaikutus on epäedullinen lyhyen aikavälin tarkasteluissa johtuen kantojen hitaasta lahoamisesta (esim. Repo ym. 2011).

Vuonna 2020 loppuvalle Kioton pöytäkirjan toiselle velvoitekaudelle metsänhoidon laskentamenetelmäksi sovittiin vertailutasomenetelmä, jossa kasvihuonekaasuinventaariorissa raportoituja velvoitekauden nettopäästöjä/-poistumia verrataan metsänhoidolle vuosille 2013–2020 asetettuun vertailutasoon. Kioton pöytäkirjan osapuolikokouksen päätöksen 2/CMP.7 (FCCC/KP/CMP/2011/10/Add.1) Suomen vertailutaso on -19,3 milj. tonnia hiilidioksidiekvivalenttia (ilman puutuotteita). Vertailutason määrittämisen jälkeen KHK-inventaarion kattavuutta on parannettu muun muassa uusilla päästöluokilla (esim. ojitettujen turvemaiden N₂O-päästöt, sarkojen ja ojien CH₄-päästöt). Muutosten seurauksena vertailutaso arvoa tullaan korjaamaan velvoitekauden lopussa tehtävän inventaariolaskennan mukaiseksi. Metsien hiilensidonta näyttää ylittävän päätöksen mukaisen vertailutaso Suurin kestävä skenaariota lukuun ottamatta. Myös politiikkaskenaariossa metsien hiilinielu laskee Kioto sopimuksen tavoitteen alapuolelle tarkastelujaksolla 2025–2034 hakkuiden voimakkaasti tällöin lisääntyessä. On kuitenkin huomattava, että tässä esitetyt metsien KHK-taseet eivät ole täysin Kioto pöytäkirjan sääntöjen mukaisesti laskettuja arvioita. Kioto-laskennassa metsitetyt alueet ja metsistä muuhun käyttöön siirtyneet alueet lasketaan erillisinä metsämaasta, joita ei tässä raportissa esitettyssä laskennassa ole mukana. Lisäksi Suomen on sisällytettävä puutuotteiden hiilivarasto-muutokset sekä metsänhoidon laskentaan että korjattuun vertailutasoon

Viitteet

- FCCC/KP/CMP/2011/10/Add.1. Decision 2/CMP.7. Land use, land-use change and forestry. Saatavissa: <http://unfccc.int/resource/docs/2011/cmp7/eng/10a01.pdf>
- Haakana, M., Ollila, P., Regina, K. Riihimäki, H. & Tuomainen, T. 2016. Menetelmä maankäytön kehityksen ennustamiseen. Pinta-alojen kehitys ja kasvihuonekaasupäästöt vuoteen 2040. Luonnonvarakeskus (Luke), Helsinki 2015. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 51/2015.
- Hynynen, J., Ojansuu, R., Hökkä, H., Siipilehto, J., Salminen, H. & Haapala, P. 2002. Models for predicting stand development in MELA System. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 835.
- IPCC 2013. Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands." Intergovernmental Panel on Climate Change, Switzerland.
- Kansallinen energia- ja ilmastostrategia. Valtioneuvoston selonteko eduskunnalle 20. päivänä maaliskuuta 2013 VNS 2/2013 vp. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja Energia ja ilmasto 8/2013. Saatavissa: http://www.tem.fi/files/36730/Energia_ja_ilmastostrategia_2013_SUOMENKIELINEN.pdf
- Kansallinen metsästrategia 2025. Valtioneuvoston periaatepäätös 12.2.2015. Maa- ja metsätaloustieteiden tutkimuskeskuksen julkaisuja 6/2015. Saatavissa: http://mmm.fi/documents/1410837/1720364/MMM_6_2015_Kansallinen_metsastrategia.pdf/a96a47d1-91db-47f9-8976-d191e206b616.
- Kallio, M, Salminen, O. & Sievänen R. 2014. Low Carbon Finland 2050 -platform: skenaariot metsäsektorille. Metlan työraportteja 308. Saatavissa: <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2014/mwp308.htm>
- Kalliokoski, T. & Repo, A. 2015. Mitä metsämallit kertovat Suomen metsien hiilinielun tulevasta kehityksestä. Ilmastopaneelin raportti 4/2015: Metsien hyödyntäminen ja ilmastonmuutoksen hillintä eds. Seppälä, Vesala & Kanninen. Saatavissa: http://www.ilmastopaneeli.fi/uploads/selvitykset_lausunnot/Metsätyöt_taustraraportit_2015_final.pdf
- Korhonen, K.T., Ihalainen, A., Heikkinen, J., Henttonen, H. & Pitkänen, J. 2007. Suomen metsävarat metsäkeskuksittain 2004–2006 ja metsävarojen kehitys 1996–2006. Metsätieteen aikakauskirja
- Kuitto, P.-J., Keskinen, S., Lindroos, J., Oijala, T., Rajamäki, J., Räsänen, T. & Terävä, J. 1994. Puutavaran koneellinen hakkuu ja metsäkuljetus. Metsätehon tiedotus 410.
- Metsätilastollisen vuosikirja 2014. Metsäntutkimuslaitos, Vantaan toimipaikka.
- Minkkinen, K., Laine, J., Shurpali, N., Mäkiranta, P., Alm, J. & Penttilä, T. 2007. Heterotrophic soil respiration in forestry-drained peatlands. Boreal Environment Research 12: 115-126.
- 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.
- Pöyry Management Consulting. 2016. Suomen metsäteollisuus 2015–2035. Loppuraportti X304203 19.1.2016. Saatavilla: https://www.tem.fi/files/44609/2016_Poyry_Suomen_metsateollisuus_2015-2035.pdf
- Redsven, V., Hirvelä, H., Härkönen, K., Salminen, O. & Siitonen, M. 2013. MELA2012 Reference Manual (2nd edition). 2013. The Finnish Forest Research Institute. Saatavissa: http://mela2.metla.fi/mela/julkaisut/oppaat/mela2012_2nd_ed.pdf
- Repo, A., Tuomi, M., & Liski, J. 2011. Indirect carbon dioxide emissions from producing bioenergy from forest harvest residues. GCB Bioenergy, 3(2), 107-115.
- Repola, J. 2008. Biomass equations for birch in Finland. Silva Fennica 42(4): 605-624.
- Repola, J. 2009. Biomass equations for Scots pine and Norway spruce in Finland. Silva Fennica 43(4): 625-647.
- Statistics Finland. 2016. Greenhouse gas emissions in Finland 1990–2014. National Inventory Report under the UNFCCC and the Kyoto protocol. Statistics Finland.
- Sievänen, R., Lehtonen, A., Ojanen, P. & Salminen, O. 2012. Metsien hiilitaseet. In: Asikainen, A., Ilvesniemi, H., Sievänen, R., Vapaavuori, E. & Muhonen, T. (eds.). Bioenergia, ilmastonmuutos ja Suomen metsät. Metlan työraportteja 240, p. 197-204.
- Sievänen, R., Salminen, O., Lehtonen, A., Ojanen, P., Liski, J., Ruosteenoja, K. & Tuomi, M. 2014. Carbon stock changes of forest land in Finland under different levels of wood use and climate change. Annals of Forest Science 71:255–265.
- Tuomi, M., Laiho, R., Repo, A. & Liski, J. 2011. Wood decomposition model for boreal forests. Ecological Modelling 222 (3):709–718, doi:10.1016/j.ecolmodel.2010.10.025
- Valtakunnan metsien 11. inventointi (VMI11). 2013. Maastotyön ohjeet 2013. Koko Suomi ml. Ahvenanmaa. Metsäntutkimuslaitos. Moniste. 191.

- Äijälä, O., Kuusinen, M. & Koistinen, A. (toim.). 2010. Hyvän metsänhoidon suositukset: energiapuun korjuu ja kasvatus. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion julkaisusarja 30.
- Äijälä, O., Koistinen, A., Sved, J., Vanhatalo, K. & Väisänen, P. (toim.). 2014. Metsänhoidon suositukset. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion julkaisuja.

Liite 1.

Teollisuuden puunkäyttöarviosta johdettu kotimaisen ainespuun kysyntä vuosille 2014–2035. Puunkäytön arvio perustuu Pöyry Consulting Oy:n Työ- ja elinkeinoministeriölle tekemään raporttiin ”Suomen metsäteollisuus ja puunkäyttö 2015-2035”.

Suomen metsäteollisuus 2015-2035/Pöyry 19.01.2016, X304203												
Tuotanto						coef	Metsäteollisuuden Puunkäyttö, kuoretta 1000 m ³ /v					
	2014	2020	2025	2030	2035		2014	2020	2025	2030	2035	
Mekaanin	2945	2443	2272	2122	1970	2,5	7362,5	6107,5	5680	5305	4925	
Valkaistu	3927	4625	5142	5471	5601	5,3	20813,1	24512,5	27252,6	28996,3	29685,3	
Valkaistu	2417	2371	2361	2351	2346	4,1	9909,7	9721,1	9680,1	9639,1	9618,6	
Valkaisen	470	712	762	791	820	4,9	2303	3488,8	3733,8	3875,9	4018	
PK massa	520	538	524	514	506	2,65	1378	1425,7	1388,6	1362,1	1340,9	
Saha	10900	11800	12000	12200	12500	1,95	21255	23010	23400	23790	24375	
Koivuvane	345	355	345	345	345	2,9	1000,5	1029,5	1000,5	1000,5	1000,5	
Havuvane	805	823	795	795	795	2,2	1771	1810,6	1749	1749	1749	
Lastulevy	100	100	100	100	100	1,8	180	180	180	180	180	
Kuitulevy	50	50	50	50	50	2,6	130	130	130	130	130	
Puun käyttö, ktta												
Tukki							24026,5	25850,1	26149,5	26539,5	27124,5	
Kuitu							41766,3	45255,6	47735,1	49178,4	49587,8	
Sahahake ja -puru % (p/100), 2011-2014							0,3 - Sahajäte	7207,95	7755,03	7844,85	7961,85	8137,35
=> Kuitu (raakapuu)							34558,35	37500,57	39890,25	41216,55	41450,45	
"Raakapuu" ktta							58584,85	63350,67	66039,75	67756,05	68574,95	
Kuorellisena, 1000m³/v												
							2014	2020	2025	2030	2035	
Kuori %							1,11 Tukki	26669,42	28693,61	29025,95	29458,85	30108,2
							1,125 Kuitu	38878,14	42188,14	44876,53	46368,62	46631,76
								65547,56	70881,75	73902,48	75827,46	76739,95
Tuontipuu 2011-2014, 1000 m³/v												
Tukki							500					
Kuitu+hake							8650					
Kotim. ainespuun hakkuukertymä, 1000 m³/v							2014	2020	2025	2030	2035	
Tukki							26169	28194	28526	28959	29608	
Kuitu							30228	33538	36227	37719	37982	
							56398	61732	64752	66677	67590	

Liite 2. Laskenta-aineisto

Taulukko 1. Käsittelyluokkien pinta-ala ja puuston tilavuus

Käsittelyluokka	Pinta-ala milj. ha			Osuus %
	Metsämaa	Kitumaa	Yhteensä	
Ensisijaisesti puuntuotanto	17,1	- *	17,1	75,1
Rajoitettu puuntuotanto	1,3	1,1	2,4	10,7
Puuntuotannon ulkopuolella	1,8	1,4	3,2	14,1
Yhteensä	20,3	2,5	22,8	100,0
	Tilavuus milj. m ³			
Ensisijaisesti puuntuotanto	1 928	- *	1 928	81,8
Rajoitettu puuntuotanto	165	29	194	8,2
Puuntuotannon ulkopuolella	200	35	235	10,0
Yhteensä	2 292	64	2 356	100,0

* Kitumaat ovat joko rajoitetussa puuntuotannossa tai puuntuotannon ulkopuolella.

Taulukko 2. Puuntuotannon rajoitukset laskenta-aineistossa.

Puuntuotannon rajoitukset¹⁾	Rajoitettu puuntuotanto	Puuntuotannon ulkopuolella
Luonnonsuojelulakiin perustuvat alueet		
Kansallis- ja luonnonpuistot		x
Soiden-, lehtojen- ja vanhojen metsien suojelualueet sekä muut luonnonsuojelualueet		x
Luonnonsuojelulailta suojellut luontotyytit	x	x
Maisemansuojelualueet	x	x
Muut lakiin perustuvat alueet		
Erämaat	x	x
Ulkoilureittialueet ja valtion retkeilyalueet	x	
Muut lakiin perustuvat suojelualueet	x	x
Omistajan päätökseen perustuvat suojelualueet		
Metsähallituksen suojelumetsät		x
Metsähallituksen alue-ekologisen suunnittelun luontokohteet ja muut alueet, joilla puuntuotannon rajoituksia	x	x
Suojametsäalue Metsähallituksen hallinnassa olevalla maalla	x	
Muut suojellut ja rajoitetun käytön alueet	x	x
Metsänjalostus-, tutkimus- ja havaintometsät	x	x
Puolustusvoimien harjoitusalueet	x	x
Virkistysalueet ja muut erikoisalueet	x	x
Suojeluun varatut alueet		
Kansallis- ja luonnonpuistojen kehittämisohjelma-alueet		x
Soidensuojelu-, lehtojensuojelu- ja vanhojen metsien suojeluohjelma-alueet		x
Rantojen-, lintuvesien- ja harjijensuojeluohjelma-alueet	x	x
Muut suojeluohjelma-alueet ja valtioneuvoston periaatepäätöksellä suojeluun varatut muut kuin suojeluohjelmien alueet		x
Kaava-alueet		
Maakunta-, seutu-, yleis-, asema- ja ranta-asemakaava-alueet	x	x
Muut alueet		
Muut Metsähallituksen ilmoittamat omiin päätöksiin perustuvat käytönrajoitukset	x	x
Muut arvot, jotka vaikuttavat metsätalouden harjoittamiseen (metsäluonnon tärkeä elinympäristö, rantametsä, asutuksen välitön läheisyys, maisema-arvot, uhanalaisen tai harvinaisen eliölajin esiintymistä tai pesimisalue sekä muu toimenpiteitä rajoittava syy)	x	
Kitumaa	x	

1) Muuttujien ja luokitusten täydelliset selitykset, ks. Valtakunnan metsien ... (2013)

Liite 3.

Ainespuun hakkuukertymät vuosina 2011–2044, milj. m³/v.

	2011-2014			2015-2024			2025-2034			2035-2044		
	Perus	Politiikka	SK	Perus	Politiikka	SK	Perus	Politiikka	SK	Perus	Politiikka	SK
Mäntytukki	10,0	10,0	10,0	10,5	12,1	17,3	10,5	13,9	16,9	10,5	14,8	17,7
Kuusitukki	12,0	12,0	12,0	12,6	13,4	15,8	12,5	13,2	15,9	12,5	12,9	15,0
Koivutukki	1,0	1,0	1,0	1,1	1,1	2,4	1,1	1,1	2,6	1,1	1,2	2,7
Lehtitukki	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,5	0,1	0,1	0,3	0,1	0,1	0,2
Tukki yhteensä	23,2	23,2	23,2	24,3	26,7	36,0	24,3	28,3	35,6	24,3	28,9	35,5
Mäntykuitu	14,8	14,8	14,8	17,1	17,4	20,1	18,3	20,5	20,8	18,2	21,1	21,5
Kuusikuitu	8,4	8,5	8,5	9,9	10,0	11,1	10,7	11,5	12,5	10,7	11,7	12,7
Koivukuitu	6,2	6,2	6,2	6,8	6,5	8,5	6,8	6,7	9,1	6,8	6,4	8,5
Lehtikuitu	1,4	1,4	1,5	1,1	1,1	1,8	1,1	1,1	1,4	1,1	1,0	1,1
Kuitu yhteensä	30,8	30,9	31,0	34,9	35,0	41,5	36,9	39,7	43,7	36,8	40,2	43,9
Yhteensä	54,0	54,1	54,2	59,2	61,7	77,5	61,2	68,0	79,3	61,1	69,2	79,4

Liite 4.

Liite 4a. Tilavuuden kehitys puulajeittain suojelun ja puuntuotannon metsä- ja kitumaalla 2011–2045.

Suojelu	2011	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045
Mänty	124,7	133,2	144,4	155,6	166,5	177,3	187,7	198,1
Kuusi	65,8	70,9	77,8	84,6	91,6	98,6	105,4	112,2
Koivu	38,4	40,5	43,7	46,8	49,8	52,7	55,2	57,6
Muu lehtipuu	6,2	6,4	6,9	7,3	7,8	8,3	8,6	9,0
Yhteensä	235,1	251,1	272,8	294,4	315,6	336,9	356,9	376,9
a) Perusskenaario								
Puuntuotanto								
Mänty	1052,9	1095,8	1137,4	1178,9	1214,4	1249,8	1298,7	1347,5
Kuusi	641,4	663,3	688,6	714,0	741,2	768,4	810,2	852,1
Koivu	353,6	360,0	368,5	376,9	378,1	379,3	384,8	390,3
Muu lehtipuu	73,8	67,5	65,6	63,6	61,5	59,3	56,6	53,9
Yhteensä	2121,7	2186,7	2260,1	2333,4	2395,1	2456,7	2550,2	2643,7
Kokonaistilavuus								
Mänty	1177,6	1229,0	1281,8	1334,5	1380,8	1427,1	1486,4	1545,6
Kuusi	707,2	734,3	766,4	798,6	832,8	867,0	915,6	964,3
Koivu	392,0	400,6	412,2	423,7	427,9	432,0	439,9	447,9
Muu lehtipuu	80,0	73,9	72,5	71,0	69,2	67,5	65,2	62,8
Yhteensä	2356,8	2437,8	2532,8	2627,8	2710,7	2793,6	2907,1	3020,6
b) Politiikkaskenaario								
Puuntuotanto								
Mänty	1052,9	1097,8	1134,0	1170,1	1179,8	1189,4	1199,6	1209,8
Kuusi	641,4	664,1	686,1	708,1	727,9	747,7	784,0	820,3
Koivu	353,6	358,7	367,8	377,0	376,6	376,2	380,6	385,0
Muu lehtipuu	73,8	67,2	65,2	63,3	61,2	59,1	56,4	53,8
Yhteensä	2121,7	2187,8	2253,1	2318,5	2345,4	2372,4	2420,7	2468,9
Kokonaistilavuus								
Mänty	1177,6	1231,0	1278,4	1325,7	1346,2	1366,7	1387,3	1407,9
Kuusi	707,2	735,0	763,9	792,7	819,5	846,3	889,4	932,5
Koivu	392,0	399,3	411,5	423,8	426,3	428,9	435,8	442,6
Muu lehtipuu	80,0	73,6	72,1	70,6	69,0	67,3	65,0	62,8
Yhteensä	2356,8	2438,9	2525,9	2612,8	2661,1	2709,3	2777,5	2845,8
c) Suurin kestävä								
Puuntuotanto								
Mänty	1052,9	1096,9	1090,4	1083,8	1064,1	1044,5	1012,9	981,2
Kuusi	641,4	665,1	671,9	678,7	678,6	678,6	701,4	724,2
Koivu	353,6	358,0	355,2	352,3	343,6	334,8	333,9	333,1
Muu lehtipuu	73,8	66,1	60,7	55,2	51,9	48,7	45,9	43,2
Yhteensä	2121,7	2186,2	2178,1	2170,0	2138,3	2106,5	2094,1	2081,7
Kokonaistilavuus								
Mänty	1177,6	1230,2	1234,8	1239,4	1230,6	1221,8	1200,5	1179,3
Kuusi	707,2	736,0	749,7	763,3	770,3	777,2	806,8	836,4
Koivu	392,0	398,6	398,9	399,2	393,3	387,5	389,1	390,7
Muu lehtipuu	80,0	72,5	67,5	62,5	59,7	56,9	54,5	52,2
Yhteensä	2356,8	2437,3	2450,9	2464,4	2453,9	2443,3	2450,9	2458,6

Liite 4b. Tilavuuden kehitys puutavaralajeittain puuntuotannon metsämaalla 2011–2045, milj. m³.

	2011	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045
a) Perusskenaario								
Mäntytukki	305,3	323,3	348,4	373,5	397,4	421,2	444,0	466,8
Kuusitukki	272,1	279,9	286,2	292,5	302,5	312,5	334,5	356,6
Koivutukki	34,1	36,2	40,2	44,2	46,6	49,0	50,9	52,7
Lehtitukki	8,7	8,4	8,4	8,3	7,9	7,4	7,0	6,5
Tukki	620,2	647,9	683,2	718,5	754,3	790,1	836,4	882,7
Mäntykuitu	671,4	688,1	704,5	720,8	732,1	743,3	766,2	789,0
Kuusikuitu	322,0	331,9	354,4	376,9	398,3	419,6	438,6	457,6
Koivukuitu	248,2	255,4	265,3	275,1	280,8	286,4	293,2	299,9
Lehtikuitu	50,0	45,4	45,2	45,1	45,1	45,1	43,3	41,4
Kuitu	1291,7	1320,8	1369,4	1417,9	1456,2	1494,4	1541,2	1588,0
Hukkapuu	180,7	185,9	171,3	156,7	140,2	123,7	119,4	115,0
Yhteensä	2092,6	2154,6	2223,9	2293,2	2350,7	2408,3	2497,0	2585,7
b) Poliittikkaskenaario								
Mäntytukki	305,3	324,8	345,3	365,9	375,5	385,2	385,9	386,7
Kuusitukki	272,1	280,2	282,8	285,4	291,2	297,0	314,6	332,3
Koivutukki	34,1	36,1	39,9	43,6	45,9	48,1	49,5	51,0
Lehtitukki	8,7	8,4	8,3	8,2	7,7	7,2	6,8	6,3
Tukki	620,2	649,4	676,3	703,2	720,3	737,5	756,9	776,3
Mäntykuitu	671,4	688,6	704,1	719,6	719,7	719,8	725,6	731,3
Kuusikuitu	322,0	332,2	355,0	377,8	395,9	414,0	431,6	449,1
Koivukuitu	248,2	254,2	264,8	275,4	279,7	284,1	290,1	296,2
Lehtikuitu	50,0	45,1	44,9	44,8	44,9	45,1	43,3	41,6
Kuitu	1291,7	1320,1	1368,8	1417,5	1440,3	1463,0	1490,6	1518,2
Hukkapuu	180,7	186,2	171,9	157,5	140,5	123,5	120,0	116,4
Yhteensä	2092,6	2155,7	2216,9	2278,2	2301,1	2324,0	2367,4	2410,9
c) Suurin kestävä								
Mäntytukki	305,3	326,4	322,1	317,8	310,4	303,1	281,1	259,2
Kuusitukki	272,1	281,2	273,6	266,1	258,5	251,0	256,3	261,6
Koivutukki	34,1	37,5	37,4	37,3	37,1	36,9	35,4	33,9
Lehtitukki	8,7	8,4	7,2	6,1	5,3	4,5	3,9	3,4
Tukki	620,2	653,5	640,4	627,3	611,3	595,4	576,7	558,0
Mäntykuitu	671,4	686,9	685,1	683,4	671,8	660,2	645,2	630,3
Kuusikuitu	322,0	332,6	351,0	369,5	380,8	392,1	407,0	421,9
Koivukuitu	248,2	253,0	256,2	259,4	257,6	255,7	259,2	262,6
Lehtikuitu	50,0	44,2	41,8	39,4	38,6	37,7	35,9	34,1
Kuitu	1291,7	1316,7	1334,2	1351,7	1348,7	1345,7	1347,3	1348,9
Hukkapuu	180,7	183,9	167,4	150,8	133,9	116,9	116,8	116,7
Yhteensä	2092,6	2154,1	2141,9	2129,8	2093,9	2058,0	2040,8	2023,6



luke.fi

Luonnonvarakeskus
Viikinkaari 4
00790 Helsinki
puh. 029 532 6000