



SUOMEN
ILMASTOPANEELI
The Finnish Climate
Change Panel

METSÄT JA ILMASTO: HAKKUUT, HIILINIELUT JA PUUN
KÄYTÖN KORVAUSHYÖDYT

JYRI SEPPÄLÄ, TERO HEINONEN, ANTTI KILPELÄINEN, HELI PELTOLA,
TIMO PUKKALA, MATTI SIHVONEN, SAMPO SOIMAKALLIO, SALLY
WEAVER, TIMO VESALA, MARKKU OLLIKAINEN

Suomen ilmastopaneeli
Raportti 3/2022

© Suomen ilmastopaneeli



Julkaistu [CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) -lisenssillä.

Suomen ilmastopaneelin raportti 3/2022

Metsät ja ilmasto: Hakkuut, hiilinielut ja puun käytön korvaushyödyt

Tekijät:

Jyri Seppälä (Suomen ympäristökeskus), Tero Heinonen (Itä-Suomen yliopisto), Antti Kilpeläinen (Itä-Suomen yliopisto), Heli Peltola (Itä-Suomen yliopisto), Timo Pukkala (Itä-Suomen yliopisto), Matti Sihvonen (Helsingin yliopisto), Sampo Soimakallio (Suomen ympäristökeskus), Sally Weaver (Helsingin yliopisto), Timo Vesala (Helsingin yliopisto), Markku Ollikainen (Helsingin yliopisto)

ISSN: 2737-0666

ISBN: 978-952-7457-12-2

DOI: <https://doi.org/10.31885/9789527457122>

Viittausohje:

Seppälä, J., Heinonen, T., Kilpeläinen, A., Peltola, H., Pukkala, T., Sihvonen, M., Soimakallio, S., Weaver, S., Vesala, T., Ollikainen, M. 2022. Metsät ja ilmasto: Hakkuut, hiilinielut ja puun käytön korvaushyödyt. Suomen ilmastopaneelin raportti 3/2022.

Suomen ilmastopaneeli edistää tieteen ja politiikan välistä vuoropuhelua ilmastokysymyksissä. Se antaa suosituksia hallituksen ilmastopoliittiseen päätöksentekoon ja vahvistaa monitieteellistä otetta ilmastotieteissä. Ilmastopaneelin selvitykset ja kannanotot tehdään tieteellisin perustein.

info@ilmastopaneeli.fi

www.ilmastopaneeli.fi

[@Ilmastopaneeli1](https://twitter.com/Ilmastopaneeli1)

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ.....	4
SUMMARY	6
REFERAT	8
ESIPUHE	10
1. JOHDANTO	11
2. ILMASTOPOLITIIKKA JA METSÄT	12
3. METSIEN HYÖDYNTÄMISEN ILMASTOVAIKUTUKSET	17
3.1 Hakkuiden vaikutus metsien hiilinieluihin	17
3.2 Puutuotteiden ja -polttoaineiden ilmastohyödyt.....	19
3.3 Kumulatiivinen hiilitaseen kehitys	21
3.4 Tulosten tulkintaan liittyviä näkökohtia	24
3.4.1. Metsätuhojen vaikutus metsien hiilinielujen kehitykseen	24
3.4.2 Hiilivuoto	25
3.4.3 Luonnon monimuotoisuus	26
4. JOHTOPÄÄTÖKSET	28
KYSYMYS 1: LISÄÄVÄTKÖ HAKKUUT METSIEN HIILINIELUA?	30
Vastaus	30
Vastauksen yksityiskohtaiset perustelut	31
Lähestymistapa	31
Metsien hiilinielujen käsitteet ja niiden toteutuminen metsikössä	32
Nettahiilinielun kehitys Suomessa eri hakkuutasoilla	38
KYSYMYS 2: PUUTUOTTEET VARASTOIVAT HIILTÄ JA KORVAAVAT FOSSIILISIA POLTTOAINEITA JA MATERIAALEJA, JOISTA AIHEUTUU KASVIHUONEKAASUPÄÄSTÖJÄ. SAAVUTETAANKO METSIEN HYÖDYNTÄMISELLÄ SIIS ILMASTOHYÖTYJÄ?	45
Vastaus	45
Vastauksen yksityiskohtaiset perustelut	47
Lähestymistapa	47
Puun hyödyntämisen ilmastovaikutuksiin vaikuttavat tekijät.....	48
Puutuotteiden hiilivaraston muutos	48
Puutuotteiden substituutiovaikutus ja sen arviointi	49
Metsikkötarkastelut	52
Koko maan kattava tarkastelu eri hakkuutasoilla	55
KYSYMYS 3: SEURAAKO PUURAKENTAMISEN LISÄÄMISESTÄ ILMASTOHYÖTYJÄ?	60
Vastaus	60
Vastauksen yksityiskohtaiset perustelut	61
Lähestymistapa	61
Puurakentamisen ilmastovaikutusten muodostuminen	62
Puurakentamisen substituutiohyötyjen ja puutuotteiden hiilinielujen arviointi	62
Puurakentamisen lisäys kasvattamalla kotimaisia hakkuita	66
Puurakentamisen lisäys kasvattamatta kotimaisia hakkuita.....	69
Puurakentamisen lisäys parantamalla materiaalitehokkuutta ja puutuotteiden substituutiovaikutuksia	69

TIIVISTELMÄ

Metsillä on keskeinen rooli ilmastonmuutoksen hillinnässä fossiilisten päästöjen vähentämisen ohella. Metsät ovat merkittävä ilmakehän hiilidioksidin sitoja. Metsät tarjoavat myös raaka-ainelähteen tuotteille ja energialle, jotka vähentävät fossiilisia päästöjä korvatessaan suurempipäästöisten tuotteiden ja polttoaineiden käyttöä. Lisähyötyjä ilmastolle saavutetaan myös puutuotteiden varastoiman hiilen kautta. Toisaalta tiedetään, että hakkuut vähentävät aina metsien hiilinielua ainakin lyhyellä aikavälillä. Olennaiset kysymykset metsien hyödyntämisen ilmastovaikutusten kannalta ovat, mitä tapahtuu metsien hiilinielulle pitemmällä aikavälillä hakkuutason muuttuessa pysyvästi nykytasosta, miten suuria ilmastovaikutuksia puun käytöllä saadaan aikaiseksi ja aiheuttaako puurakentamisen lisääminen ilmastohyötyjä. Nämä tutkimuskysymykset olivat lähtökohtana tälle selvitykselle, joka tarkastelee metsien käytön ilmastovaikutuksia Suomessa.

Tutkimuskysymyksiin on haettu vastauksia tekemällä metsien hiilitaseen kehityssimulaatioita eri hakkuutasoilla 80–100 vuoden aikajänteellä ja arvioimalla valmistettujen puutuotteiden hiilivarastojen muutoksia sekä puutuotteiden ja -polttoaineiden korvaushyötyjä tutkimustiedon perusteella.

Tehtyjen tarkastelujen perusteella voidaan sanoa, että lisäämällä hakkuita pysyvästi nykytasoa (72 miljoonaa m³ vuodessa) korkeammaksi vähennetään metsiemme hiilinielua joka vuosi vähintään tämän vuosisadan ajan verrattuna siihen, että hakkuita ei olisi lisätty. Vastaavasti pienentämällä hakkuita pysyvästi parannetaan metsiemme hiilinielua vähintään tämän vuosisadan ajan. Usein esitetty ajatus, että hakkuut lisääisivät metsien hiilinielua Suomessa jo keskipitkällä 30–80 vuoden aikavälillä, on virheellinen, sillä metsästä poistettu puumäärä vähentää hiilivarastoa pitkäksi ajaksi.

Koko Suomen kattava tarkastelu osoitti, että vaikka nykyisen kaltaisilla puutuotteilla ja -polttoaineilla korvataan fossiilisia materiaaleja, vältetyt päästöt ovat niin alhaiset, etteivät päästövähennykset ja puutuotteiden hiilivarastot pysty kompensoimaan hakkuiden lisäämisen kautta aiheutettuja hiilinielumenetyksiä ainakaan 150 vuoden aikajänteellä, jos hakkuutaso jää pysyvästi nykyistä suuremmaksi. Katsomalla pelkästään puutuotteiden hiilivarastojen muutosta sekä puutuotteiden ja -polttoaineiden korvaushyötyjä, syntyy vääränlainen mielikuva metsien hyödyntämisen roolista ilmastonmuutoksen hillinnässä.

Puurakentamisen tuotteet tuottavat nykyisin suurempia ilmastohyötyjä kuin sellutuotteet. Jos puurakentamisen tuotteiden osuutta pystytään lisäämään metsäteollisuuden tuotannossa kotimaista hakkuutasoa kasvattamatta, voidaan saavuttaa ilmastohyötyjä jo lyhyellä aikavälillä nykytilanteeseen verrattuna. Metsäteollisuuden ilmastovaikutuksia voidaan parantaa hakkuita lisäämättä kasvattamalla puutuotteiden valmistuksen ja käytön materiaalitehokkuutta sekä valmistamalla tuotteita, jotka pystyvät korvaamaan nykyistä enemmän suurempipäästöisiä tuotteita markkinoilla.

Suomen metsien hiilinielujen kehitykseen liittyy paljon epävarmuuksia. Mallilaskelmat kuitenkin osoittavat, että nykyisellä hakkuutasolla metsänielu kasvaa vuosisadan puoliväliin asti, minkä jälkeen se vähän pienenee. Sama nielun kehitys toteutuu myös suuremmilla hakkuilla, mutta nielun koko jää koko tarkastelujakson ajan selvästi alhaisemmalle tasolle kuin nykyhakkuilla. Lähitulevaisuudessa metsien nielun kehityksen arviointi on vaikeaa, ja riski nielujen riittävydestä korostuu, mitä suurempi hakkuutaso on.

Mallilaskelmissa ei otettu huomioon metsätuhoja, mikä tuo jossain määrin epävarmuutta tehtyihin arvioihin ilmastonmuutoksen vaikutuksiin liittyvien epävarmuuksien ohella. On myös mahdollista, että jos Suomi hakkaa metsiään vähemmän, muut maat kasvattavat hakkuita toisaalla. Hiilivuoto ei kuitenkaan välttämättä johda suurempaan globaalin nielun menetykseen, jos hakkuut siirtyvät sellaisille nopeammin metsää kasvaville lauhkeille alueille, joissa metsänhoito on kestävä.

Kotimaisten hakkuiden lisäämistä nykytasosta ei tehdyn selvityksen nojalla voi perustella ilmastosiivillä. Suomen ja EU:n ilmastopolitiikka sallii kuitenkin kotimaisten hakkuiden lisäämisen, jos maankäyttösektorin nettonielutavoite saavutetaan. Jos maankäyttösektorin päästöjä ei vähennetä, paine metsien hiilinielun kasvattamiseen lisääntyy ja päinvastoin. Nykyinen hakkuutaso näyttää kuitenkin tarjoavan paremman tasapainon ilmastotavoitteiden saavuttamisen, metsien taloudellisen hyödyntämisen, metsätuhoriskien hallinnan ja hiilivuodon välttämisen suhteen sekä antaa paremmat edellytykset vastata metsien monimuotoisuuden elpymisen haasteeseen lähitulevaisuudessa kuin nykyistä korkeammat hakkuutasot.

SUMMARY

As well as reducing fossil fuel use, forests are key in mitigating climate change since forests remove significant amounts of carbon dioxide from the atmosphere. Forests also provide raw materials for products and fuel for energy production, which decrease fossil emissions to the atmosphere when substituting more fossil emissions-intensive alternatives. Carbon stored in wood-based products is also an additional benefit of this. However, we know that harvesting, at least in the short term, reduces the carbon sink of a forest. If forestry is looked at from the perspective of climate change mitigation, there are some relevant questions which require attention. How harvesting affects the carbon sink in the long term, if harvesting levels increase permanently, is important to understand. The overall climate impact of wood utilization, and the climate impact of increasing the use of wood as a building material, also need to be looked at to fully analyse the effects of forestry in climate change mitigation. In this report the climate impact of forest utilisation in Finland is examined based on these questions.

Answers to these questions are looked for in the following ways. The carbon stock development of forests at different levels of harvesting are simulated in an 80-to-100-year timeframe. Also, changes in the carbon stocks of wood-based products and the substitution effects of wood-based products and fuels are assessed based on scientific research.

The analysis in this report shows that permanently increasing levels of harvesting from the current average annual level of 72 million m³ will decrease the carbon sink of forests each year for at least the rest of this century, if compared to a scenario where harvesting is kept at the current level. Alternatively, if harvesting levels were decreased, this would increase the carbon sinks of Finland during this century. Often it is thought that harvesting increases the carbon sink of forests in the medium term (30 to 80 years) and this justifies the claim of climate benefit of harvesting. This approach is incorrect – the amount of wood removed from forests decreases the carbon stock of the forest for a long time.

When looking at all managed forests at the national level, the emissions reduction due to the carbon stored in wood-based products and the substitution effects of wood-based products and fuels compared to fossil-based options are not enough to compensate for the loss of forest carbon sinks in at least 150 years' time if levels of harvesting are permanently increased to supply these products. Therefore, when only the emissions reductions factors are looked at, the full picture is not seen and the correct approach to examining forest use in climate change mitigation is overlooked.

Wood-based building materials currently provide higher climate benefits than pulp-based products. If increased production of wood-based building materials can be achieved without increasing levels of harvesting, climate benefits can be gained even in the short term compared to the current situation. Climate impacts provided by the forest industry can be increased through efficiency measures in both the production and use of wood-based products and through the production of wood-based products which can substitute more fossil emissions-intensive alternatives in the market, without increased harvesting.

There are many uncertainties concerning the carbon sink development of Finnish forests. Calculations presented in this report show that the forest sinks will increase towards the mid-century, after which they slightly decrease. The same pattern occurs with higher than the current levels of harvesting, but the size of the carbon sink is clearly at a lower level in the whole 100-year time horizon. However, it is difficult to assess the carbon sink development of Finnish forests in the near future, and high harvesting levels increase the risk of insufficient carbon sink development.

Possible disturbances and damages in forests are not included in this report, which adds to the uncertainty of the calculations alongside the uncertain effects of a changing climate. A concern over the overall carbon effect, if Finland decreases levels of harvesting, is that harvesting increase in other countries to match demand. This so called 'carbon leakage' effect does not however necessarily lead to

a greater net loss of carbon sinks at a global level, if harvesting shifts to quickly growing forests in temperate climates and their forestry practices are sustainable.

Increasing levels of harvesting in Finland cannot be justified by it having a solely positive climate change mitigation effect. However, climate policy in Finland and the EU allows to increase domestic harvesting if the target of net sink of the land-use sector will be achieved. If the GHG emissions of the land-use sector will not be mitigated, the pressure to increase the sink of forests will be increased and vice versa. The current harvesting level seems to offer the balance between the achievement of climate mitigation targets, the economic utilization of forests and the management of disturbances and damages in forests. In addition, the current harvesting level offers the better possibilities to respond to the challenge on improving the state of biodiversity in forests in the near future than the higher harvesting levels will do.

REFERAT

Skogen spelar, vid sidan av minskning av de fossila utsläppen, en central roll när det gäller att begränsa klimatförändringarna. Skogen är en viktig kolsänka som binder koldioxid från atmosfären. Skogen utgör också en källa till råmaterial för produkter och bränslen som minskar de fossila utsläppen genom att ersätta produkter och bränslen som ger upphov till större utsläpp. Därtill lagrar träprodukter kol, vilket innebär extra fördelar för klimatet. Samtidigt är det ett välkänt faktum att avverkningar alltid minskar skogens kolsänka, åtminstone på kort sikt. Relevanta frågeställningar när det gäller skogsanvändningens klimateffekter är hur skogens koldioxidupptag påverkas på längre sikt om avverkningsnivån förändras på ett bestående sätt jämfört med nuläget, hur man kan få till stånd stora klimateffekter genom användning av trä samt huruvida ökad användning av trä som byggmaterial ger några klimatfördelar. Dessa forskningsfrågor utgjorde utgångspunkt för denna utredning av hur skogsanvändning i Finland påverkar klimatet.

För att besvara dessa frågor har vi simulerat utvecklingen med avseende på skogens kolbalans med olika avverkningsnivåer på ett tidsspänn på 80–100 år och bedömt förändringar i tillverkade trävaruprodukters kollager samt substitutionsnyttan av trävaruprodukter och träbränslen på grundval av vetenskapliga uppgifter.

Utgående från de granskningar som gjorts kan det konstateras att en varaktig höjning av avverkningsnivån i förhållande till nuläget (72 miljoner m³ per år) minskar våra skogars upptag av koldioxid varje år under detta århundrade, jämfört med om avverkningsnivån inte höjts. På motsvarande sätt skulle en varaktig minskning av avverkningsnivån förbättra våra skogars kolsänka i alla fall under detta århundrade. En tanke som ofta läggs fram är att avverkningar skulle öka skogens kolsänka i Finland redan på medellång sikt (30–80 år). Detta är felaktigt, eftersom kolinlagringen minskar för en lång tid när virke avlägsnas ur skogen.

Granskningen omfattade hela Finland och visade att fastän fossila material skulle ersättas av dagens träprodukter och träbränslen skulle de uppnådda utsläppsminskningarna vara så obetydliga, att utsläppsminskningar och kolinlagring i träprodukter inte på åtminstone 150 år skulle kunna kompensera för den förlust av kolsänka som den ökade avverkningen skulle ge upphov till, om avverkningsnivån höjdes permanent i förhållande till nuläget. Att uteslutande fokusera på förändringen av träprodukters kollager samt trävaruprodukters och träbränslets substitutionsnytta ger en felaktig bild av den roll som användningen av skogen kan spela när det gäller att begränsa klimatförändringen.

Byggprodukter i trä ger idag större klimatfördelar än cellulosaprodukter. Om vår skogsindustri kan öka produktionen av byggnadsprodukter i trä utan att för den skull öka den inhemska avverkningsnivån, kan vi uppnå klimatfördelar redan på kort sikt i jämförelse med nuläget. Skogsindustrins påverkan på klimatet kan förbättras utan ökad avverkning om vi tillverkar och använder trävaruprodukter på ett mer materialeffektivt sätt samt tillverkar produkter som i högre grad än i nuläget kan ersätta de produkter på marknaden som ger upphov till större utsläpp.

Utvecklingen av den finska skogens kolsänka är förknippad med många osäkerhetsfaktorer. Modellberäkningarna visar dock att skogens kolsänka, med den nuvarande avverkningsnivån, ökar fram till århundradets mitt för att sedan minska en aning. Samma utveckling sker också med mer omfattande avverkning, men kolsänkans storlek förblir under hela den undersökta perioden på en betydligt lägre nivå än om nuvarande avverkningsnivå bibehålls. Det är svårt att uppskatta utvecklingen av den finska skogens kolsänka i nästa framtid och risken för otillräcklig utveckling av kolsänkan ökar med mer omfattande avverkningar.

I modellberäkningarna har skogsskador inte beaktats. Detta medför i någon mån osäkerhet i de bedömningar som gjorts, vid sidan av de osäkerhetsfaktorer som hänför sig till klimatförändringen. Det är också möjligt att andra länder ökar sin avverkning om Finland minskar avverkningen av sin skog.

Koldioxidläckage leder dock inte nödvändigtvis till större förluster av global kolsänka, om avverkningarna överförs till tempererade områden med mer snabbväxande skog och ett hållbart skogsbruk.

En ökning av den nuvarande avverkningsnivån i Finland kan inte, utgående från den utredning som gjorts, motiveras med hänvisning till klimatskäl. Finlands och EU:s klimatpolitik tillåter dock en ökning av den inhemska avverkningen, om markanvändningssektorns nettomål för koldioxidsänka uppnås. Om markanvändningssektorns utsläpp inte minskar ökar trycket på att öka skogens kolsänka, och omvänt. Den nuvarande avverkningsnivån ser ändå ut att erbjuda balans när det gäller att uppnå klimatmålen, utnyttja skogen ekonomiskt, hantera risker för skogsskador och undvika koldioxidläckage. Att bibehålla avverkningsnivån på nuvarande nivå ger också bättre förutsättningar att inom en nära framtid klara av utmaningen att återställa skogarnas biologiska mångfald, i jämförelse med ett scenario med högre avverkningsnivåer än i nuläget.

ESIPUHE

Suomen ilmastopaneelin keskeisenä tehtävänä on asettamispäätöksen mukaisesti tutkimuksen ja politiikan välisen vuoropuhelun vahvistaminen. Paneeli pyrkii tutkimukseen ja asiantuntijanäkemykseen perustuen tuomaan tietoa eri sektoreiden ilmastotoimien vaikuttavuudesta ilmastopolitiikan päätöksenteon pohjaksi. Käsillä oleva raportti vastaa tähän tavoitteeseen. Se kokoaa tieteellisen tietopohjan metsien hyödyntämisen ja ilmaston välisistä yhteyksistä. Tutkimuskirjallisuuden tarkastelun lisäksi on tehty Itä-Suomen yliopiston metsämalleilla hiilitaselaskelmia, joilla on tuotettu tehdyn analyysin tueksi tietoa metsien hyödyntämisen ilmastovaikutusten syy-seuraussuhteista ja toisaalta parannettu asioiden havainnollistamista.

Raportin toivotaan selventävän etenkin hakkuiden ja hiilinielujen välistä yhteyttä eri aikajän-teillä sekä puutuotteilla ja -energialla saavutettavia ilmastovaikutuksia, kun ne korvaavat fossiilis-peräistä energiaa ja muusta kuin puusta valmistettuja tuotteita. Nämä kummatkin aihealueet arvioitiin keskeisimmiksi tutkimustarpeiksi vuonna 2017 valmistuneessa Ilmastopaneelin työssä, jossa asiantuntijat arvioivat metsien hyödyntämisen ilmastovaikutuksia. Edellä mainitut aihealueet ovat olleet esillä myös julkisessa keskustelussa hyvin erilaisten väittämien ja näkemysten kautta. Raportin johtopäätösten ja aineiston toivotaan synnyttävän uusia aloitteita ja ratkaisuja metsien ja puutuotteiden hiilinielujen sekä puun käytön korvausvaikutusten vahvistamiseksi.

Työtä on esitelty ja annettu kommentoitavaksi ympäristö- sekä maa- ja metsätalousministeriön asiantuntijoille ennen julkistamista. Ilmastopaneeli kiittää heitä arvokkaista näkemyksistä, joiden avulla on parannettu työn ymmärrettävyyttä.

Suomen ilmastopaneeli 12.5.2022

1. JOHDANTO

Metsillä on ilmastomuutoksen hillinnässä keskeinen asema. Metsät ovat merkittävä ilmaston hiilidioksidin sitoja, ja niiden roolia tässä tehtävässä tulisi globaalisti vahvistaa. Metsien hiilivarastoa voidaan kasvattaa ehkäisemällä metsäkatoa, metsittämällä uusia alueita, ottamalla käyttöön hiilivarastoja kasvattavia metsänhoitotoimenpiteitä ja säätelemällä hakkuiden määrää. Globaalisti metsäkadon pysäyttäminen on näistä keinoista tärkein. Etenkin trooppiset metsät ovat toimineet viime vuosikymmeninä hiilen lähteenä. Hiilivarasto heikkenee pysyvästi, jos jokin toinen maankäyttö korvaa metsät. Trooppisissa metsissä on hävitetty erityisesti peltomaan ja karjan laiduntamisen tieltä. Metsäkato aiheuttaa nykyisin vähän alle 10 prosenttia ihmistoiminnan kasvihuonekaasupäästöistä¹.

Metsät tarjoavat myös raaka-ainelähteen tuotteille ja energialle, jotka vähentävät fossiilisia päästöjä, kun ne korvaavat suurempipäästöisten tuotteiden ja polttoaineiden käyttöä. Lisähyötyjä ilmastolle saavutetaan myös puutuotteiden varastoiman hiilen kautta. Puun hyödyntäminen on siksi nähty osana ilmastomuutoksen hillintätoimia etenkin maissa, joissa metsätalous on puuntuotannollisesti kestävä, eikä se johda metsien puuston ja maaperän hiilivaraston vähenemiseen. Parhaimmillaan metsien hiilivarasto on kasvanut hakkuista huolimatta, ja metsät ovat toimineet nettohiilinieluinä vuosikymmeniä. Etenkin puurakentamisen kasvattaminen on nähty kiistattomana ilmastotekona.

Ajatus, että puun käyttöä tulisi ilmastosyistä lisätä kestävä puuntuotannon maissa, on kuitenkin viime aikoina kyseenalaistettu monissa tieteellisissä julkaisuissa. Niiden mukaan hakkuiden aiheuttama metsien hiilinielujen väheneminen on suurempi kuin puutuotteiden hiilivaraston lisäämisen sekä puutuotteiden ja -polttoaineiden fossiilisia päästöjä vähentävät vaikutukset. Vastakkaisen näkemyksen omaavat ovat perustelleet kantaansa sillä, että Suomen tapaisessa maassa hakkuiden vähentäminen johtaa lyhyellä tähtämellä metsien hiilinielun kasvuun, mutta pitkällä aikavälillä suurempi ilmastohyöty saavutetaan metsien intensiivisellä hyödyntämisellä ja hoidolla, koska muuten hiilinielu heikkenisi puiden ikääntymisen myötä. Metsien intensiivinen hyödyntäminen merkitsee myös suurempaa puutuotteiden ja -energian tuotantoa, jolla pystytään välttämään enemmän fossiilisia päästöjä. Puun käytön lisäämistä perustellaan myös näillä korvaushyödyillä, koska fossiilisten päästöjen välttäminen on ilmastotoimien ensisijainen tavoite.

Edellä esitettyä taustaa vasten Suomen ilmastopaneeli asetti kolme tutkimuskysymystä, joiden analyysillä pyrittiin selkiyttämään metsien hyödyntämiseen liittyvää ilmastovaikutuskeskustelua.

Tutkimuskysymykset ovat:

- (1) Lisäävätkö hakkuut hiilinielua?**
- (2) Saavutetaanko metsien hyödyntämisellä ilmastohyötyjä?**
- (3) Seuraako puurakentamisen lisäämisestä ilmastohyötyjä?**

Tutkimuskysymyksiin on pyritty hakemaan vastaukset mahdollisimman ymmärrettävällä tavalla tinkimättä kuitenkaan tarkastelun tieteellisyydestä. Ymmärrettävyyden lisäämiseksi vastauksien tueksi on tehty eri hakkuutasoilla metsien hiilitaseen kehityssimulaatioita 80–100 vuoden aikajänteellä. Simulaatiot on tehty Itä-Suomen yliopiston metsämalleilla, jotka pohjautuvat tieteellisesti julkaistuihin tietoihin ja osamalleihin. Tutkimuskysymykset niihin liittyvine vastauksineen ja analyyseineen on esitetty kokonaisuudessaan tämän selvityksen lopussa. Tutkimuskysymykset vastauksineen on laadittu siten, että ne voidaan lukea itsenäisinä kokonaisuuksina.

¹ IPCC 2019. Climate Change and Land: an IPCC Special Report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. Cambridge University Press, Cambridge (UK).

Vastaamalla tutkimuskysymyksiin emme ota kantaa siihen, kuinka paljon Suomessa metsiä voidaan tai kannattaa hakata, vaan analysoimme, voidaanko ilmastosiylillä perustella hakkuiden lisäämistä nykytasosta. Metsien käyttö liittyy läheisesti maankäyttösektorin nettonielutavoitteeseen ja siihen, millä keinoin yhteiskunnallisesti päätetään saavuttaa hiilineutraalius vuonna 2035. Maankäyttösektoriin kuuluvat kaikkien maankäyttöluokkien (metsien lisäksi esimerkiksi viljelysmaa, kosteikot ja ruohikkoalueet) sekä puutuotteiden hiilivarastomuutokset ja kasvihuonekaasujen päästöt. Näiden yhteissummaa kutsutaan maankäyttösektorin nettonieluksi, ja metsät ovat olennainen osa nettonielua.

Ensimmäisen tutkimuskysymyksen vastauksen perustelun alussa on esitetty metsikkötarkastelu, jonka yhteydessä on pyritty havainnollistamaan metsien hiilenvaihdon ilmiöt ja käsitteet. Ne luovat perustan hakkuiden ilmastovaikutusten arviointiin ja ymmärtämiseen. Muutoin hakkuiden ilmastovaikutuksien käsittelyssä on tukeuduttu koko maata käsittelevän metsäekosysteemimallin tuloksiin. Raportti käsittelee Suomen metsien hyödyntämistä ja sen ilmastovaikutuksia, minkä vuoksi hakkuiden vaikutuksia luonnon monimuotoisuuteen ei käytännössä tarkastella.

Metsien hyödyntäminen aiheuttaa kasvihuonekaasupäästöjen lisäksi ilmastovaikutuksia metsien aerosolipäästö- ja albedomuutosten seurauksena. Aerosoleilla tarkoitetaan ilmakehän pienhiukkasia. Albedo eli heijastuvuus on takaisin ilmakehään heijastunut osuus metsään osuvasta auringonsäteilystä. Näitä ei kuitenkaan käsitellä tässä raportissa, sillä niiden kokonaisvaikutuksiin liittyy sen verran epävarmuutta, ettei niihin liittyviä näkökohtia ole vielä mukana kansainvälisissä ilmastopöytäkirjoissa.

Raportin luvussa 3.1 esitetään tutkimuskysymyksen 1 analyysin pohjalta tehdyt tärkeimmät päätelmät. Luvuissa 3.2 ja 3.3 esitetään puolestaan tutkimuskysymysten 2 ja 3 tärkeimmät päätelmät. Näiden lisäksi raportissa on tuotu esiin asioita ja näkökulmia, joilla on merkitystä tutkimuskysymysten päätelmien tulkinnaissa etenkin ilmastopolitiikan toteutumisen näkökulmasta. Tätä varten raportissa on myös lyhyt katsaus metsien roolista EU:n ja Suomen ilmastopolitiikassa (luku 2). Luvussa 3.4 käsitellään myös metsätuhoja aiheuttavia tekijöitä ja esitetään näkemyksiä hiilivuodon toteutumisesta ja vaikutuksista sekä nykyhakuutason mahdollisuuksista vastata luonnon monimuotoisuuden elpymisen haasteeseen. Lopuksi esitetään työn perusteella muodostetut johtopäätökset.

Suomen ilmastopaneeli on laatinut metsäaiheesta aiemmin kolme raporttia², joita tämä raportti merkittävästi täydentää. Raportti kytkee tieteellisen tiedon metsien hyödyntämisen ilmastovaikutuksista tämän päivän ilmastopolitiikkaan uusien laajojen tarkastelujen pohjalta.

2. ILMASTOPOLITIikka JA METSÄT

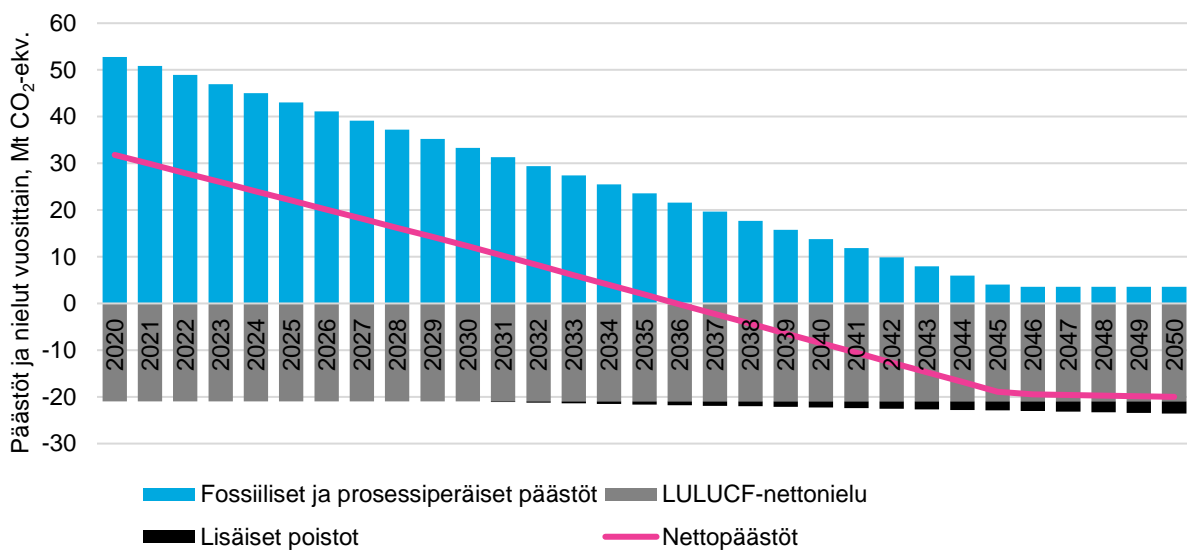
Euroopan unioni (EU) pyrkii ilmastoneutraaliksi vuoteen 2050 mennessä. Suomi tavoittelee hiilineutraaliutta vuonna 2035. EU:n, kuten myös Suomen, fossiilis- ja prosessiperäisten kasvihuonekaasupäästöjen tulee olla korkeintaan yhtä suuret kuin maankäytön, maankäytön muutoksen ja metsätalouden (LULUCF-sektorin) päästöjen ja poistumien summan eli nettonielun, jotta ilmasto- ja hiilineutraaliustavoitteet toteutuvat.

² Pingoud, K., Savolainen, I., Seppälä, J., Kanninen, M., Kilpeläinen, A. 2013. Metsien käytön ja metsäbioenergian ilmastovaikutukset. Suomen ilmastopaneeli. Raportti 2/2013.

Seppälä, J., Kanninen, M., Vesala, T., Uusivuori, J., Kalliokoski, T., Lintunen, J., Saikku, L., Korhonen, R., Repo, A. 2015. Metsien hyödyntämisen ilmastovaikutukset ja hiilinielujen kehittyminen. Suomen ilmastopaneeli 3/2015.

Seppälä, J., Asikainen, A., Kalliokoski, T., Kanninen, M., Koskela, S., Ratinen, I., Routa, I. 2017. Tutkijoiden pääviestit metsien käytön ilmastovaikutuksista. Suomen ilmastopaneeli 1/2017.

EU:n ilmastopoliitikassa LULUCF-sektorin nettonielutasolla on olennainen merkitys kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä. Käsitellyssä olevassa komission ehdotuksessa LULUCF-sektorin nettonielu pyritään pitämään koko EU:n alueella vuoteen 2030 asti melko samalla tasolla kuin se on ollut vuosina 2000–2009. Samalla pyritään vähintään 55 prosentin päästövähennykseen vuoden 1990 tasosta vuoteen 2030 mennessä. Tätä varten kullekin maalle on osoitettu LULUCF-sektorin nettonielun suuruutta koskeva velvoite vuosille 2021–2030, jotta koko EU:n tasolla tavoiteltu nettonielun taso (-310 Mt CO₂-ekv.) täyttyisi vuonna 2030. Se, kuinka vuoden 2030 jälkeen pyritään etenemään kohti ilmastoneutraaliutta EU:ssa, on vielä yksityiskohtien osalta auki. Tästä huolimatta lähestymistavasta on yhteisymmärrys: päästöjä vähennetään samalla, kun LULUCF-sektorin nettonielua pyritään vähitellen voimistamaan. Sama nettopäästöihin nojaava lähestymistapa on hyväksytty myös Suomen hiilineutraaliuden tavoittelussa (kuva 1). Nettonielun ollessa 21 Mt CO₂-ekv. Suomi saavuttaa hiilineutraaliuden, kun fossiiliset ja prosessiperäiset päästöt on vähennetty tasolle 21 Mt.



Kuva 1. Nettopäästöperiaate, jolla Suomi pyrkii kohti ilmastoneutraaliutta vuoteen 2035 mennessä ja 95 prosentin pitkän aikavälin päästövähennykseen verrattuna vuoteen 1990³. Lisäisillä poistoilla tarkoitetaan nettonielun vahvistamista hiilineutraaliustilanteen jälkeen, jolloin Suomi siirtyy hiilnegatiiviseen vaiheeseen.

LULUCF-sektorin mukaan ottaminen EU:n ilmastopoliittikkaan on perusteltua ilmastonmuutoksen hillinnän näkökulmasta. Päästöjen vähentäminen ei saa tapahtua siten, että saman aikaan LULUCF-sektorin nettonielu heikkenee. Päästöjen ja LULUCF-sektorin nielujen erotus kertoo, kuinka paljon ilmakehään joutuu päästöjä EU:n alueelta kunakin vuonna. Nettonielun kasvu merkitsee sitä, että LULUCF-sektorin ilmasto viilentävä vaikutus vahvistuu. Päästöt muodostuvat fossiilis- ja prosessiperäisistä päästöistä, jotka eivät kuulu biologiseen hiilen kiertoon, ja ovat sen takia olleet ilmastopoliittikan ensisijaisena toimenpidealueena. LULUCF-sektorissa on myös päästökomponeentteja, jotka toimivat fossiilisten päästöjen tavoin. Metsämaan tuhoutuminen maankäytön muutosten seurauksena johtaa päästöön, koska tuhoutunut alue ei voi enää sitoa vapautunutta biologista hiiltä takaisin uuden kasvun myötä. Ihmistoiminnasta johtuvat turvemaiden päästöt ovat vaikutuksiltaan fossiilisperäisiin päästöihin verrattavia, koska vuosituhannet hiilenkierrosta poissa ollutta hiiltä vapautuu ilmakehään.

³ Suomen ilmastopaneeli 2021. Ilmastolakiin kirjattavat pitkän aikavälin päästö- ja nielutavoitteet – Ilmastopaneelin analyysi ja suosituksen. Suomen ilmastopaneelin raportti 1/2021.

Metsät ovat suhteellisen nopeassa biologisessa hiilenkierrossa olevia ekosysteemejä. Jos metsät säilyvät metsinä, metsien hiilitase säilyy tasapainossa pitkällä aikavälillä. Vaikka metsästä vapautuu hakkuiden tai luonnontuhojen seurauksena hiiltä, se palautuu uuden metsän hiilensidonnan ja kasvun myötä takaisin metsään. Kaikki ilmakehään vapautunut hiili tai muut kasvihuonekaasukomponentit vaikuttavat ilmakehässä ilmastoa lämmittäen – oli niiden lähde biologinen tai fossiilinen. Metsän biologisessa kierrossa olevan hiilidioksidipäästön etuna fossiilisperäiseen päästöön nähden on hiilen sitoutuminen ilmakehästä takaisin metsään (puusto, muu kasvillisuus ja maaperä) sen kasvaessa. Se miten nopeasti biologisessa kierrossa oleva hiili sitoutuu takaisin metsään, on olennainen kysymys ilmaston kannalta ja sen merkitys on korostunut ilmastonmuutoksen hillinnän kiireellisyyden takia.

EU:n ilmastoneutraaliuden tavoittelussa katsotaan metsien biologista hiiltä osana kasvihuonekaasupäästöjen kehittymisen kokonaisuutta. Biologisessa hiilenkierrossa olevaa hiiltä voidaan vapauttaa ilmakehään metsiä käyttämällä, kunhan käyttö ei ole liian suurta suhteessa hiilen sitoutumisnopeuteen, jotta LULUCF-nettonielu säilyy riittävän suurena.

EU:ssa LULUCF-sektori on toiminut koko kasvihuonekaasuraportointikäytännön ajan nettonieluna. Jos EU:n nettonielu alkaa vähentyä viime vuosien tasosta, ilman että päästöjä saadaan nopeasti vähennettyä EU:n tavoitteen mukaisesti, asetetun ilmastotavoitteen saavuttaminen ei toteudu. LULUCF-sektorin nettonielun kasvattaminen antaa pelivaraa vähentää fossiilisia päästöjä kokonaisuuden kannalta tarkoituksenmukaisella aikataululla. Fossiilisperäisten päästöjen alasajo on ensisijainen tavoite, mutta niiden vähentäminen on tähän saakka tapahtunut ilmastonmuutoksen hillinnän näkökulmasta liian hitaasti. Sen vuoksi maankäyttösektorin nykyisen nettonielun säilyttäminen ei riittäne kunnianhimoisten ilmastotavoitteiden saavuttamiseen. Vuoden 2030 jälkeen pyritään vahvistamaan LULUCF-sektorin nettonielua koko EU:n tasolla, mistä voi tulla uusia velvoitteita myös Suomelle.

Suomen vuoden 2030 EU-tavoitteiden ja oman hiilineutraaliustavoitteen näkökulmasta on olennaista, kuinka päästövähennystavoitteissa onnistutaan ja millä tasolla LULUCF-sektorin nettonielu pystytään pitämään. Suomessa metsien nettonielu on ollut vuosina 2011–2020 keskimäärin noin -26,6,1 Mt CO₂-ekv. vuodessa (kuva 2). Lisäksi Suomessa tuotettujen puutuotteiden hiilivarasto on kasvanut viimeisen kymmenen vuoden aikana keskimäärin -3,1 Mt CO₂ vuodessa, eli myös puutuotteet ovat toimineet ilmaston kannalta hiilinieluna. Muut LULUCF-sektorin osa-alueet⁴ kuin metsä ja puutuotteet ovat päästölähteitä. Päästöt ovat olleet keskimäärin noin 12 Mt CO₂-ekv. vuodessa vuosina 2010–2020, jolloin koko LULUCF on ollut keskimäärin nettonielu, noin -17,7 Mt CO₂-ekv. vuodessa⁵.

Lisääntyneet runkokuun hakkuut viime vuosina (kuva 3) ovat merkinneet sitä, että LULUCF-sektorin nettonielu on ollut vuosittain (2016–2019 ilman vuotta 2018, jolloin kotimaan hakkuut olivat poikkeuksellisen suuret) keskimäärin noin 5 Mt CO₂ pienempi kuin mihin EU on Suomen velvoittanut vuosina 2021–2025 (EU 2021) ja mihin Suomi on asettanut nettonielun tavoitetason hiilineutraaliuden saavuttamiseksi vuonna 2035. LULUCF-sektorin vuosittainen nettonielun vaihtelu selittyy Suomessa lähes yksinomaan metsien hakkuumäärien vaihtelulla (kuva 2 ja kuva 3). Muiden LULUCF-sektorin osien päästöt ovat muuttuneet kasvihuonekaasuinventaariorissa vain vähän viimeisen kymmenen vuoden aikana (kuva 2).

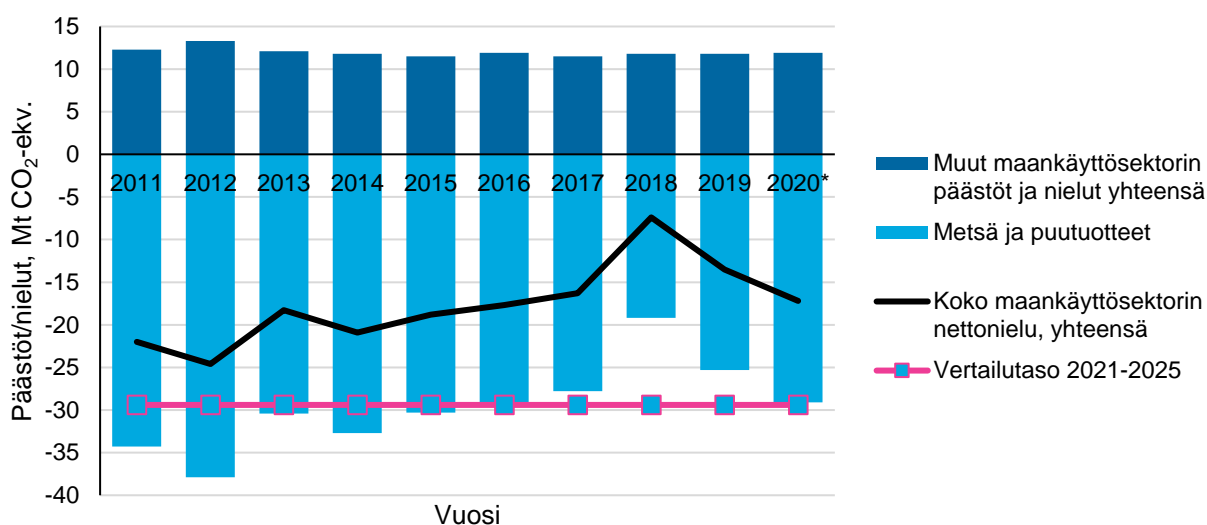
LULUCF-sektorin nettonielua voidaan vahvistaa vähentämällä etenkin turvemaapeltojen ja -metsien päästöjä ja lisäämällä peltojen ja metsien hiilensidontaa ja -varastoja. Päästöjen vähentämistoimien laajamittainen ja nopea käyttöönotto LULUCF-sektorilla voi olla kuitenkin haasteellista. Kivennäismaa-

⁴ Suomen LULUCF-sektorissa päästölähteitä ovat viljelysmaat, ruohikkoalueet, kosteikot (käytännössä turpeenottoalueet) ja rakennettu maa.

⁵ Statistics Finland 2022. Greenhouse gas inventories in Finland 1990 to 2020 – National Inventory Report under the UNFCCC and the Kyoto Protocol. Statistics Finland, Helsinki.

peltojen hiilivarastojen lisäämismahdollisuuksien selvittäminen vaatii myös tutkimusta. Hakkuiden määrä vaikuttaa metsien hiilivarastoon ja hiilinieluun eniten.

Hakkuiden määrä eri vuosina riippuu markkinatilanteesta ja puun kysynnästä sekä metsänomistajien halukkuudesta myydä puuta. Valtiolla ei toistaiseksi käytännössä ole keinoja rajoittaa hakkuita yksityisellä maalla. Jos hakkuut lisääntyvät niin, että EU:n Suomelle asettamat LULUCF-tavoitteet uhkaavat ylittyä, LULUCF-sektorin muut sektorit voivat rajoittaa päästöjään aiottua enemmän, jotta tavoitteessa pysytään. Jos LULUCF-tavoite ylittyy 1. jaksolla 2021–2025⁶, Suomen tulee toimittaa komissiolle selvitys tilanteen korjaamiseksi. Jos Suomella ei ole riittävästi joustoja käytössään hyvittämään ylityksiä, Suomi voi hyvittää LULUCF-sektorin nielun alituksen vähentämällä enemmän taakanjakosektorin päästöjä tai ostamalla erikseen muilta jäsenmailta mahdollisia LULUCF-sektorin nieluysiköitä, jos kyseiset jäsenmaat ovat ylittäneet omat LULUCF-sektorin tavoitteensa. Tällä hetkellä tällaisten nieluysiköiden saatavuudesta ei ole varmuutta eikä hinnasta tietoa.

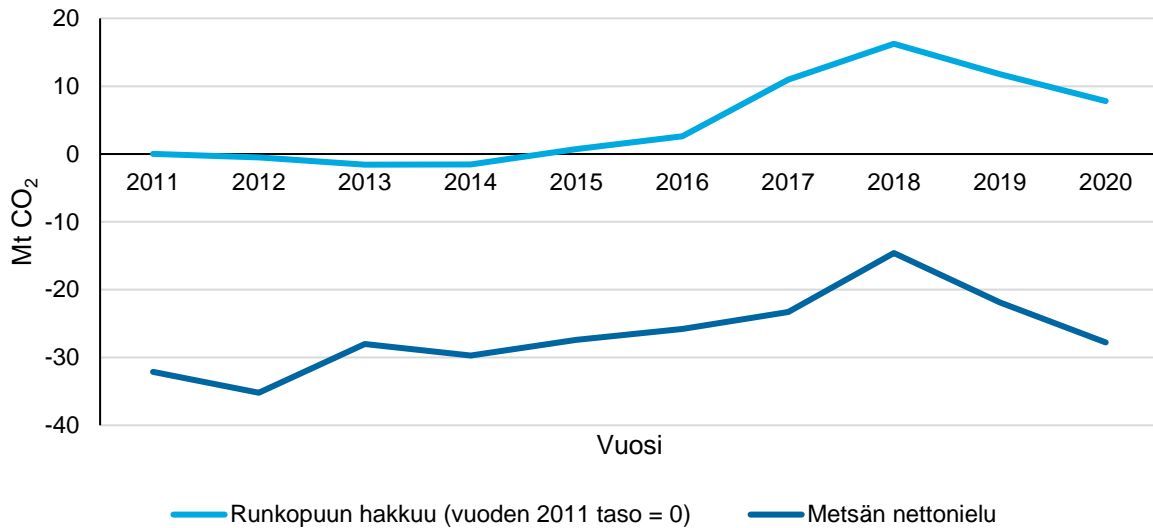


Kuva 2. Suomen LULUCF-sektorin päästöjen (+) ja nielujen (-) kehittyminen vuosina 2011–2020⁷ sekä EU:n LULUCF-asetuksen⁸ mukainen Suomen metsien ja puutuotteiden vertailutaso vuosille 2021–2025 (29,4 Mt CO₂-ekv.).

⁶ Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EU) 2018/841, annettu 30 päivänä toukokuuta 2018, maankäytöstä, maankäytön muutoksesta ja metsätaloudesta aiheutuvien kasvihuonekaasujen päästöjen ja poistumien sisällyttämisestä vuoteen 2030 ulottuviin ilmasto- ja energiapolitiikan puitteisiin sekä asetuksen (EU) N:o 525/2013 ja päätöksen N:o 529/2013/EU muuttamisesta. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018R0841&from=fi>.

⁷ Statistics Finland 2021. Greenhouse gas inventories in Finland in 2000–2019 – National Inventory Report under the UNFCCC and the Kyoto Protocol. Statistics Finland, Helsinki.

⁸ LULUCF Regulation (EU) 2018/841 ja COM(2021) 554. https://ec.europa.eu/clima/eu-action/european-green-deal/delivering-european-green-deal/land-use-forestry-and-agriculture_fi.



Kuva 3. Kotimaiset vuosittaiset runkopuun hakkuuerot (kun yksikkönä on hakatun runkopuun hiilimäärä CO₂:ksi muutettuna) vuoden 2011 hakkuutasoon nähden ja metsien (puusto ja maaperä) nettonielun kehittyminen vuosina 2011–2020. Vuonna 2010 kotimaan runkopuun hakkuut olivat noin 60,4 miljoonaa kuutiometriä (m³)⁹.

⁹ Statistics Finland 2022. Greenhouse gas inventories in Finland 1990 to 2020 – National Inventory Report under the UNFCCC and the Kyoto Protocol. Statistics Finland, Helsinki.

3. METSIEN HYÖDYNTÄMISEN ILMASTOVAIKUTUKSET

3.1 Hakkuiden vaikutus metsien hiilinieluihin

Kun metsästä poistetaan puita hakkuiden seurauksena, niiden sisältämä hiilimäärä raportoidaan kasvihuonekaasuinventaariossa¹⁰. Kunnostusojitusten ja metsänlannoitusten aiheuttamat kasvihuonekaasupäästövaikutukset arvioidaan lisäksi erikseen LULUCF-laskelmissa. Tehtyjen laskelmien perusteella Suomen metsät ovat toimineet koko päästöinventaariovaiheen ajan vuodesta 1990 lähtien nettonieluna, eli puustoon ja maaperään on sitoutunut selvästi enemmän hiiltä ilmakehästä kuin mitä metsien hakkuut ja muut toimenpiteet ovat aiheuttaneet päästöjä (vrt. kuva 3).

Vuosittain hakkuissa metsästä poistuva hiili (hiilidioksidiksi muutettuna) on ollut viime vuosien keskimääräisten runkopuu hakkuiden (72 miljoonaa kuutiometriä vuodessa) tasolla noin 66 miljoonaa tonnia CO₂ vuodessa. Lisäksi energiapuuna on korjattu hiiltä metsistä noin 2,9 miljoonaa tonnia CO₂ vuodessa¹¹. Yhteenlaskettu metsästä poisviety hiilimäärä on ollut vuosittain selvästi suurempi kuin Suomen raportoidut päästöt (vuonna 2019 noin 53 miljoonaa tonnia CO₂-ekv.). Metsissä 1 miljoonan kuutiometrin muutos runkopuun hakkuissa vastaa noin 0,9 miljoonan tonnin CO₂:n muutosta nielussa.

Tutkimuskysymystä (1) “tarvitaanko hakkuita, jotta hiilinielu kasvaa” voidaan arvioida kysymällä, mitä tapahtuu metsien hiilinielulle keskipitkällä (noin 30–80 vuotta) ja pitemmällä aikavälillä, jos hakkuiden tasoa muutetaan pysyvästi nykytasosta. Talousmetsät kattavat Suomen metsien kokonaispinta-alasta nykyisin lähes 80 prosenttia. Kasvihuonekaasuinventaarion osoittaa, että hakkuut vaikuttavat välittömästi metsän hiilitaseeseen (kuva 3) ja pysyvä hakkuutaso nosto pienentää metsän hiilitasetta vuodesta toiseen. Poistetun puumäärän lisäksi hakkuut pienentävät metsikön hiilitasetta muistakin syistä. Talousmetsistä korjataan kasvavaa puustoa, mikä heikentää hiilinielua menetety puuston kasvun ja hakkuujätteiden hajoamisen vuoksi ainakin tilapäisesti. Ensimmäisen tutkimuskysymyksen analyysin tulos osoittaa, että uusi metsän kasvu ei pysty korvaamaan tätä hiilivaraston kokonaismenetystä tämän vuosisadan aikana.

Mitä enemmän kotimaista runkopuuta käytetään metsäteollisuuden raaka-aineena, sitä voimakkaampina ja suuremmalla metsäpinta-alalla hakkuita pitää tehdä, jolloin Suomen metsien hiilivarasto pienenee kokonaisuudessaan alempaan hakkuutasoon nähden. Tehdyt 100 vuoden simulointilaskelmat eri oletuksilla koko maan tasolla kuvaavat hyvin metsien nieluun vaikuttavia ilmiöitä. Jos verrataan nykyhakkuutasoa¹² (72 miljoonaa m³ vuodessa) vuoden 2015 hakkuutasoon (noin 63 miljoonaa m³ vuodessa), hiilinielujen menetys on 2–3 kertaa suurempi kuin hakkuukertymän lisäyksen (9 miljoonaa m³ vuodessa) hiilimäärä. Vastaavanlainen tulos saadaan kasvattamalla vuosittaisia hakkuita 9 miljoonalla kuutiometrillä nykyhakkuutasosta. Hiilinieluoero on vielä sadan vuoden kuluttuakin suuruusluokaltaan sama. Suomessa hakkuiden suuren nielumenetyksen syitä ovat muun muassa talousmetsien nykyinen varsin nuori ikärakenne ja nykyiselläänkin korkea hakkuuintensiteetti.

Koko Suomen tasolla tehty skenaariotarkastelu metsänhoitotoimenpiteiden vaikutuksista osoitti, että jalostetun siemen- ja taimimateriaalin käyttö metsänuudistamisessa ja kivennäismaiden lannoitus soveltuvilla kohteilla vahvistavat nielua ja pienentävät hakkuutasojen välistä nieluoeroa yhteensä runsaalla 20 prosentilla. Tulos ei kuitenkaan muuta merkittävästi edellä esitettyä kokonaiskuvaa hakkuutaso vaikutuksesta nieluun.

¹⁰ Koska hakkuiden seurauksena metsästä poistuva puu raportoidaan kasvihuonekaasuinventaariossa päästönä LULUCF-sektorissa, niin inventaarion tehdään sitä varten puutuotteiden varastomuutoslaskelma, jonka seurauksena kunakin vuonna puutuotteisiin sitoutunut hakkuista saatu hiili tulee otetuksi huomioon hiilivarastoa lisäävänä tekijänä (ks. lähemmin kysymys 2).

¹¹ Hakkuutiedot: Torvelainen, J. 2021. Hakkuu- ja hakkuukertymätiedot 2011–2019 Luken metsätilastoista.

¹²Tässä yhteydessä nykyhakkuutaso vastaa viime vuosina toteutunutta hakkuutasoa vuosia 2018 (ennätyshakkuut) ja 2020 (keskimääräistä alhaisempi hakkuutaso koronan vaikutus) lukuun ottamatta

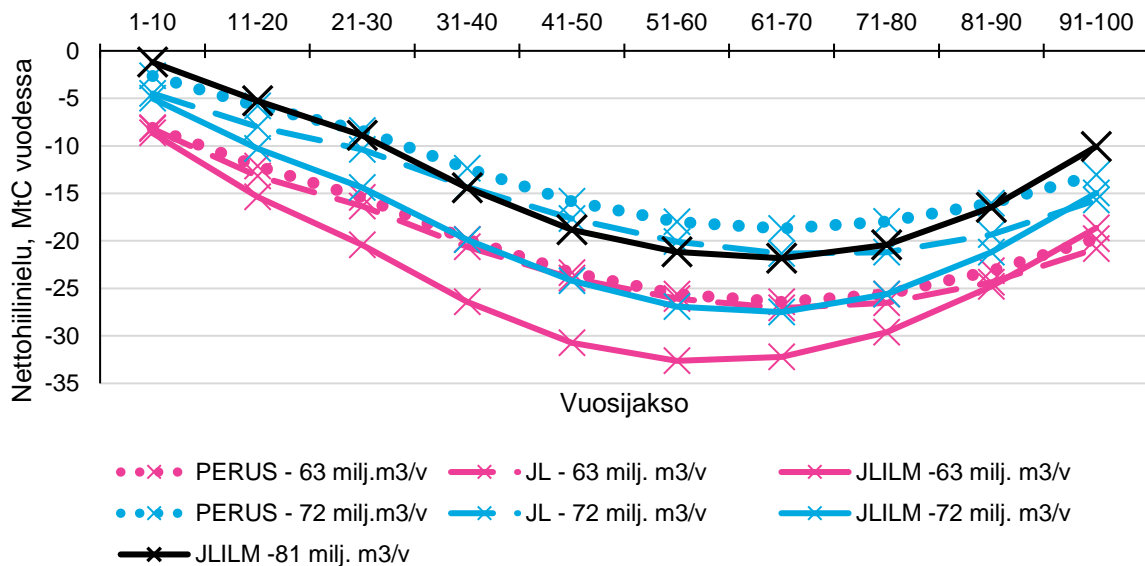
Mallisimulaatio 100 vuotta eteenpäin vuoden 2015 tilanteesta osoitti myös, että nykyhakkuutasolla metsien nielu kasvaa vähintään tämän vuosisadan keskivaiheelle Suomessa. Vastaavasti nykyistä 9 miljoonaa kuutiota suuremmillakin hakkuutasoilla metsien hiilinielu kasvaa jopa hieman pidempään, mutta nielun lähtötaso on selvästi alempi ja säilyy myös selvästi pienempänä kuin nykyhakkuutasolla koko sadan vuoden tarkasteluajan. Hakkuuiden lisäämistarkastelu nykytasosta on tehty Jalostushyöty, lannoitus ja ilmastonmuutos (JLILM) -skenaariolla, joka voi yliarvioida merkittävästi todellista hiilinielukehitystä. Lannoituksen ja jalostettujen taimien istutusten toimeenpano skenaariossa oletetulla optimaalisella tavalla ei ole todennäköistä. Tämä koskee myös Jalostushyöty ja lannoitus (JL) -skenaariota. Lisäksi JLILM-skenaariossa ilmastonmuutoksen vaikutusten ennustamiseen liittyy merkittävää epävarmuutta. Ilmastonmuutoksen suuren merkityksen nielukehitysarvioissa näkee vertaamalla JL- ja JLILM-skenaarioiden tuloksia keskenään samoilla hakkuutasoilla (63 ja 72 miljoonaa m³ vuodessa). Jo PERUS-skenaariokin, josta puuttuvat lannoitus- ja jalostushyödyn vaikutukset, saattaa yliarvioida nielukehitystä, koska läheskään kaikki metsänomistajat eivät hoida ja hakkaa metsiään metsänhoitosuosituksen mukaisesti. Tämä koskee myös JL- ja JLILM-skenaarioita, mikä omalta osaltaan vaikeuttaa todellisen nielutason arviointia eri ajan hetkinä. Toisaalta PERUS-skenaariosta puuttuvat ilmastomuutoksen vaikutukset, mikä aliarvioi todellista nielukehitystä. JL-skenaariossa puuttuva ilmasto-kehitys korjautuu osittain ylioptimisella lannoitus- ja jalostushyödyllä, minkä takia sen voidaan ajatella realistisimmin kuvaavan tulevaa nielukehitystä 63 ja 72 miljoonan m³:n vuosihakkuutasojen alkutilanteisiin nähden. Simulointiin liittyvien maaperän hiilitason alustamisvaikeuksien sekä turve-metsien ja ojitustoiminnan maaperäpäästöjen puuttumisen takia eri hakkuutasojen väliset hiilitase-erot tietyssä skenaariossa ovat merkityksellisiä tulosten tulkinnassa, eikä kuvan 4 metsien nielun tasoa pidä katsoa absoluuttisina arvoina. Kehityssennusteet kuvaavat muutoksen suuntaa ja suuruutta eri hakkuutasojen välillä. Skenaarioiden merkittävimmät oletukset on esitetty tutkimuskysymyksen 1 yhteydessä.

Vaikka kaikissa kuvan 4 skenaarioissa metsien hiilinielu näyttää kasvavan merkittävästi vähintään vuosisadan puoliväliin asti kaikilla hakkuutasoilla, se ei tarkoita, etteikö hakkuutason valinnalla ole merkitystä ilmaston kannalta. Perusskenaarion simuloinnissa Suomen metsistä ei voitu enää hakata JLILM-skenaarion mukaista vuosittaista 81 miljoonan m³:n määrää vuosittain tämän vuosisadan loppupuolella. Perusskenaariossa hakkuutaso 81 miljoonaa m³ vuodessa johtaa selvästi suurempaan hiilimenetykseen metsässä nykyhakkuutasoon nähden vuosisadan loppupuolella kuin mitä JLMILM-skenaarion hakkuutasojen ero näyttää vuositasolla loppupuolella. JLMILM-skenaario, joka antaa selvästi pienemmän nielueron hakkuutason välillä, johtaa sadan vuoden aikajaksolla keskimäärin 18,5 miljoonaa tonnia CO₂ vuodessa pienempään hiilinieluun kuin mitä se nykyhakkuutasolla olisi.

Suomen metsien hiilinielukehitys on simuloitu 10-vuotisjaksoina. Tämä ja edellä esitetyt muut syyt merkitsevät, ettei mallisimulaatio pysty antamaan vastausta, kuinka Suomi tulee saavuttamaan eri hakkuutasoilla EU:n metsien hiilinielun ja puutuotteiden vertailutason vuosina 2021–2025 ja siitä eteenpäin vuoteen 2030. Malliajojen perusteella metsien hiilinielut näyttävät kuitenkin olevan vahvistumassa metsiemme ikärakenteen johdosta ja sallivat hakkuuiden lisäämisen samalla, kun hiilinielujen taso voitaisiin säilyttää viime vuosien tasolla. Siihen, millaisia hakkuulisäyksiä voitaisiin tehdä ja milloin ne voitaisiin ajoittaa, ei pystytä antamaan yksiselitteistä vastausta mallin karkeuden ja epävarmuuksien takia. Lisäksi tulevien hakkuutasojen hiilinieluvaikutuksiin liittyy arviointivaikeuksia siksi, että Suomen metsien tulevaan kasvuun liittyy epävarmuutta. Viimeisimmän valtakunnan metsien 13. inventoinnin (VMI13) kahden ensimmäisen mittausvuoden (2019–2020) arvio puuston vuotuisesta kasvusta on 103,5 miljoonaa kuutiometriä, joka on samaa tasoa tässä selvityksessä käytetyn puuston kasvumallin kanssa. VMI13:n arvio on 4,3 miljoonaa kuutiometriä vähemmän kuin VMI12:n kasvu-arvio¹³. Vaikka kuvan 2 metsien ja puutuotteiden kasvihuonekaasuinventaarion nettonielutulos vuonna 2020

¹³ Luonnonvarakeskus 2021. Metsien vuotuinen kasvu laski tuoreimmassa valtakunnan metsien inventoinnissa. <https://www.luke.fi/uutinen/metsien-vuotuinen-kasvu-laski-tuoreimmassa-valtakunnan-metsien-inventoinnissa/>.

näytti vastaavan melko hyvin Suomelle asetettua vertailutasoa vuosille 2021–2025, tulos muuttuu, kun inventaarioarvio päivitetään. Inventaariotuloksen laskennassa ei ole toistaiseksi otettu huomioon VMI13:n uusia tuloksia. Vuonna 2020 runkopuun hakkuut olivat 69 miljoonaa m³ vuodessa, joka on siis 3 miljoonaa kuutiota vähemmän vuodessa kuin tässä työssä käytetty nykylukkuutaso. Mikäli vuonna 2020 olisi hakattu nykytason mukaisesti ja uusia puuston kasvutietoja olisi sovellettu, metsien ja puutuotteiden nettohiilinelu olisi ollut noin 6 miljoonaa tonnia CO₂-ekv. toteutunutta tulosta pienempi.



Kuva 4. Suomen talousmetsien nettohiilinelun (ml. puusto ja maaperä) simuloitu kehitys eri hakutasoilla Perus (P), Jalostushyöty ja lannoitus (JL) ja Jalostushyöty, lannoitus ja ilmastonmuutos (JLILM) -skenaarioissa 100 vuoden aikana. Lähtötilanne vastaa vuoden 2015 puuston tilannetta ikäjakaumineen, pisteet käyrillä kuvaavat 10-vuotisjakson keskimääräistä nettonielua. Maaperän hiilivaraston oikean lähtötason arvioinnin vaikeuden sekä turvemetsien maaperäpäästöjen ja ojitusten päästöjen puuttumisen takia kuvan tulosten tulkinta tulee tehdä tarkastelemalla muutoksien suuruutta hakkuutasojen välillä eri skenaarioissa absoluuttisen hiilimäärän sijaan. Eri skenaarioiden oletukset on esitetty tutkimuskysymyksen 1 yhteydessä.

Mallit ovat aina yksinkertaistuksia todellisuudesta. Lopputulokseen vaikuttavat lukuisat oletukset, kuten se, kuinka ja missä hakkuut toteutetaan. Maaperän hiilivaraston muutostarvioihin liittyy myös suuria epävarmuuksia. Tutkimuskirjallisuudessa esitetyt samansuuntaiset tulokset tutkimuskysymysten yhteydessä tehtyjen tarkastelujen tulosten kanssa kuitenkin kertovat, että tässä raportissa esitetty kokonaiskuva pysyvien hakkuutasojen välisistä hiilinelumuutoksista on linjassa nykyisen tieteelliseen tiedon kanssa.

3.2 Puutuotteiden ja -polttoaineiden ilmastohyödyt

Puun hyödyntämisen ilmastovaikutuksien kokonaisuutta tulee tarkastella metsän ja puutuotteiden hiilivaraston muutosten sekä puutuotteiden käytöllä saavutettavien vältettyjen fossiilisten kasvihuonekaasupäästöjen (ns. substituutiovaikutusten) yhteisvaikutuksena. Jos metsän hiilivarasto vähenee, metsä toimii päästölähteenä. Jos metsän hiilivarasto kasvaa, metsä toimii nieluna. Sama koskee tuotteiden hiilivarastoa. Puutuotteiden substituutiovaikutuksilla tarkoitetaan tuotteiden elinkaaren aikana vältettyjä fossiilisia kasvihuonekaasupäästöjä, kun puutuotteet korvaavat fossiilisia tai prosessiperäisiä päästöjä aiheuttavia tuotteita.

Selvityksessä tehdyn koko Suomen talousmetsät kattavan analyysin (tutkimuskysymys 2) perustella nähtiin, että lisähakatuista runkopuusta ja sen sivuvirroista valmistettujen puutuotteiden ja polttoaineiden sekä puutuotteiden hiilen varastoinnin kautta syntyvät ilmastohyödyt ovat koko 100 vuoden tarkastelujakson ajan selvästi vähäisemmät kuin ne päästöt, joita aiheutetaan lisähakkuiden seurauksena syntyvän nielumenetyksen kautta. Kun verrataan nykyhakkuutason (72 miljoonaa m³ vuodessa) ja suuremman hakkuutason (esimerkiksi 81 miljoonaa m³ vuodessa) kokonaisilmastovaikutuksia, runkopuusta valmistettujen puutuotteiden ja -polttoaineiden substituutiohyötyjen pitäisi olla vähintään kolmin-nelinkertaiset nykyiseen tasoon nähden, jotta lisähakkuilla saatavan puun käytön ilmastohyödyt pystyisivät kompensoimaan lisääntyvien hakkuiden aiheuttaman nielun menetyksen seuraavan 150 vuoden aikana. Vastaava pätee käänteisesti, ts. jos hakkuut vähenevät nykytasosta, nykyhakkuilla saadun lisäpuun ilmastohyötyjen tulee olla kolmin-nelinkertaiset nykytilanteeseen nähden, jotta alemman hakkuutason parempi nielutilanne tulisi kompensoitua lisäpuun tuotteiden ja polttoaineiden substituutiohyödyillä.

Selvityksessä arvioitiin, että metsäteollisuudessa käytetty runkopuun yksi hiilitonni vähentää nykyisin noin 0,55 tonnia fossiilisia hiilipäästöjä (hiilidioksidina 2,02 tonnia) ilmakehään. Tässä kokonaisuudessa puurakentamistuotteiden valmistus tukkipuusta ja sahalaitosten sivutuotevirtojen hyötykäyttö aiheuttavat nykytilanteessa suurempia ilmastohyötyjä kuin kuitupuun käyttö nykyisillä tuotteilla ja polttoaineilla, kun ei tarkastella hakkuiden aiheuttamaa metsän hiilinielumenetystä (tutkimuskysymys 3). Tukkipuun ilmastohyödyt muodostuvat siitä valmistettavien pitkäikäisten rakennustuotteiden nielu- ja substituutiovaikutuksista sekä sivutuotteiden substituutiovaikutuksista. Selluteollisuuden ilmastohyödyt muodostuvat sellutuotteiden ja sivutuotteiden materiaali- ja energiasubstituutiovaikutuksista. Työssä arvioitiin, että tonni tukkipuuta vähentää nykyisin fossiilisperäisiä hiilipäästöjä noin 0,67 tonnia, kun ainespuutonnin päästövähennys on 0,47 tonnia hiiltä.

Puutuotteisiin sitoutuneen hiilen merkitys puutuotteiden ilmastohyödyissä on nykyisin selvästi pienempi kuin puutuotteiden substituutiovaikutusten. Tällä hetkellä alle 20 prosenttia käytetystä runkopuusta päätyy pitkäikäisiin tuotteisiin. Näitä ovat vaneri- ja lautatuotteet, joiden puoliutumisaikat ovat IPCC:n ohjeiden mukaan 25 ja 35 vuotta. Sellutuotteille puoliutumisaika on keskimäärin vain 2 vuotta. Puoliutumisajalla tarkoitetaan aikaa, jonka kuluessa puolet tuotteiden hiilestä on vapautunut ilmakehään. Sellutuotteiden valmistukseen käytetystä puusta vain 40 prosenttia päätyy tuotteisiin, ja loppuosa menee enimmäkseen teollisuuden omaan energiakäyttöön. Puurakentamistuotteiden etuna sellutuotteisiin nähden on myös puutuotteiden nieluvaikutus.

Puurakentamisen paremmat ilmastohyödyt sellutuotuotteisiin nähden eivät ole kuitenkaan niin merkittävät, että ne kompensoisivat ratkaisevasti tuotteisiin tarvittavien hakkuiden aiheuttamaa hiilinielumenetystä metsässä. Tulevaisuudessa puurakentamisen substituutiovaikutukset ovat pikemmin laskussa kuin vahvistumassa, kun kilpailevien materiaalien valmistajat vähentävät hiilipäästöjään. Nykyisin valmistettavat puurakentamisen tuotteet vapautuvat energiahyötykäyttöön vasta tulevaisuudessa, jolloin korvattavan energian päästöt ovat vain murto-osa tämänhetkisistä päästöistä. Selluteollisuuden tuotteet sitä vastoin päätyvät tuotekäytön jälkeen nopeasti polttoon, jolloin niiden voidaan selkeämmin osoittaa korvaavan fossiilista energiantuotantoa. Tulevaisuudessa selluteollisuus saattaa löytää uusia tuotteita, joilla voi olla erittäin hyvät substituutiovaikutukset. Nykytilanteessa ongelmana on kuitenkin tällaisten tuotteiden valmistuksen vähäinen osuus koko tuotantokapasiteetista. Isot muutokset metsäteollisuuden tuotejakaumassa ovat ainakin tähän saakka tapahtuneet hitaasti. Metsäteollisuuden tuotteiden ilmastovaikutusten parantaminen kilpaileviin, saman toiminnallisuuden tarjoaviin tuotteisiin nähden jatkossa edellyttää panostusta tutkimus- ja kehitystoimintaan sekä investointeja uusiin, suurempia korvaushyötyjä tarjoaviin tuotteisiin.

Puutuotteiden ja -polttoaineiden substituutiohyödyt ovat vaikeasti arvioitavissa. Kyse on viime kädessä siitä, mitä tuotetta mikäkin puutuote korvaa markkinoilla. Puupolttoaineiden korvaustilanteet ovat helpommin arvioitavissa nykytilanteessa, jossa fossiilisten polttoaineiden käyttö on vielä yleistä. Varsinkin puutuotteiden substituutiovaikutusten arvioinnissa on vaikeutena löytää vertailukelpoisia elinkaaritietoja tuotteiden fossiilisten ja prosessiperäisistä kasvihuonekaasupäästöistä. Ennen kaikkea

kiertotalousvaikutusten arviointiin liittyy menetelmällisiä epävarmuuksia. Kirjallisuustarkastelu kuitenkin osoitti, että tässä selvityksessä käytetyt puutuotteiden ja -polttoaineiden substituutiokertoimet ovat hyvin linjassa tieteellisessä kirjallisuudessa esitettyjen vastaaviin nykytilannetta kuvaavien kertoimien kanssa.

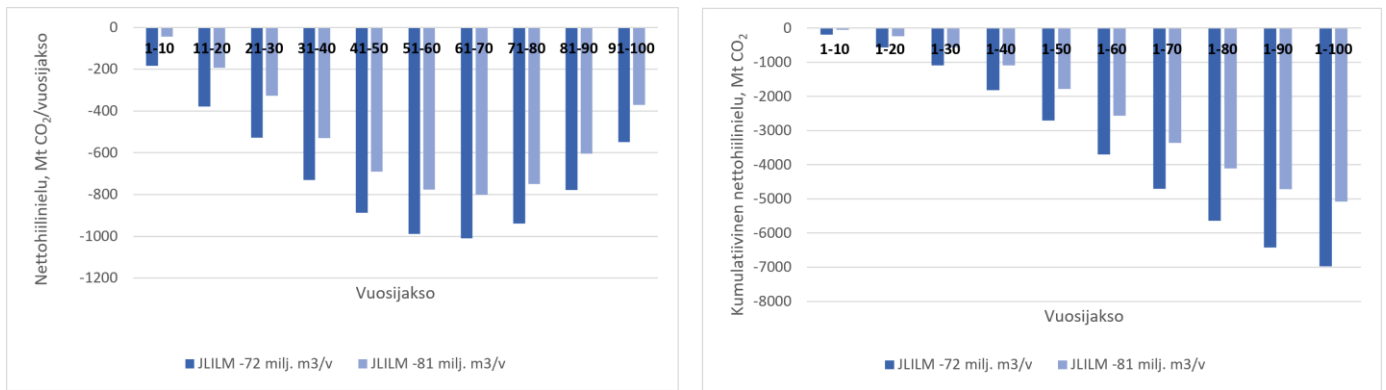
Metsän hyödyntämisen ilmastovaikutuksia voidaan tulevaisuudessa parantaa luopumalla fossiilisista polttoaineista, tehostamalla tuotantoprosessien materiaalitehokkuutta sekä pitämällä hakattua puuta mahdollisimman kauan talouskäytössä ja kohdentamalla puun käyttöä tuotteisiin, joissa saadaan suuria substituutiovaikutuksia. Nämä kaikki muutokset ovat tärkeitä askelia kohti ilmastokestävämpää metsäsektoria, kun samalla huolehditaan puun hankinta-alueen riittävän suuresta hiilinielusta. Hakkuiden aiheuttama hiilinielumenetys on kuitenkin niin suuri, ettei näillä toimenpiteillä pystytä kompensoimaan hakkuiden aiheuttamaa haittaa ilmastolle siinä aikataulussa, jossa päästöjä pitäisi vähentää ja nieluja saada vahvistettua 1,5 asteen tavoitteen saavuttamiseksi.

3.3 Kumulatiivinen hiilitaseen kehitys

IPCC:n arviointiraportin¹⁴ ilmastomuutoksen hillinnän strategiassa on painotettu fossiilisten polttoaineiden päästöjen nopeaa vähentämistä ja kumulatiivisen hiilidioksidipäästön vaikutusta maapallon keskilämpötilaan. Ilmasto ei kuitenkaan erittele sitä, onko ilmaston hiilidioksidilisiä peräisin fossiilisesta tai biopohjaisesta lähteestä. Ilmaston kannalta on olennaista, miten metsien hyödyntämisen nettovaikutus hiilidioksidipäästöihin näyttäytyy eri aikajänteellä. Selvityksessä simuloitiin nettopäästövaikutus, jossa metsien nieluvaikutuksen lisäksi huomioitiin myös puun käytön päästövaikutukset 100-vuoden aikajänteellä.

Kuva 5a esittää talousmetsiemme nettohiilinielujen kehitystä nykyhakuutasolla (72 miljoonaa m³ vuodessa) ja siitä pysyvästi 9 miljoonaa m³ korkeammalla vuosihakuulla (81 miljoonaa m³ vuodessa) 10-vuotisjaksoina Jalostus, lannoitus ja ilmastomuutos (JLILM) -skenaarion tilanteessa. Kuvassa 5b tämä tieto on muutettu eri vuosijaksojen kumulatiiviseksi nettohiilinieluksi. Kun katsotaan koko 100 vuoden tarkastelujakson kumulatiivisia nettohiilinielutuloksia, 72 miljoonan m³:n vuosihakuulla metsiin on sitoutunut 6 966 Mt CO₂ ja vastaavasti 81 miljoonan m³:n vuosihakuulla hiiltä on sitoutunut metsiin yhteensä 5 082 Mt CO₂. Lukuarvoja ei pidä katsoa absoluuttisena totuutena etenkin mallin maaperäosan alkutilan alustamisvaikeuksien takia. Hakuutasojen erot kuitenkin kertovat niiden välisistä ilmastovaikutuseroista. Nykyhakuutasolla saavutetaan 1 884 Mt CO₂ suurempi hiilinielu. Tämä ei muuta sitä tosiasiaa, että samalla myös 81 miljoonan m³:n vuosihakuulla saavutettaisiin merkittävä ilmastohyöty hyvän nielukehityksen takia 100 vuoden aikana.

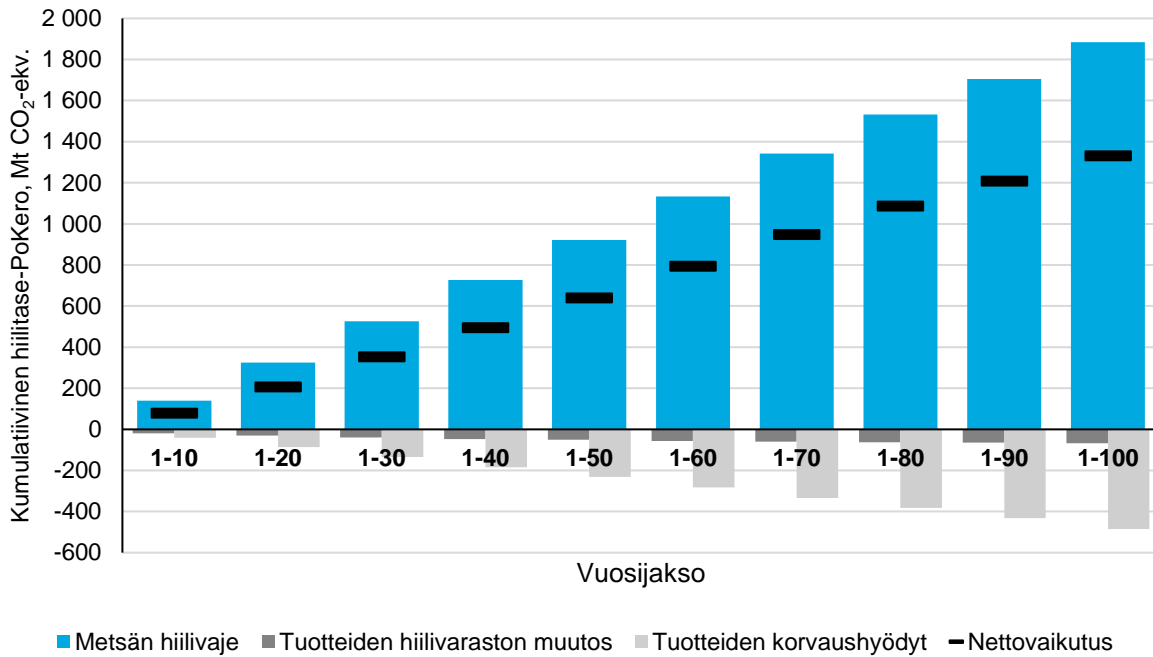
¹⁴ IPCC 2014. Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change Working Group III Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge (UK).



Kuva 5. Suomen talousmetsien nettohiilinielun kehitys 10-vuotisjaksoina (a) ja eri vuosijaksojen kumulatiiviset nettohiilinielut (b) hakkuutasoilla 72 ja 81 miljoonaa m³ vuodessa, kun tulokset on simuloitu Jalostushyöty, lannoitus ja ilmastomuutos (JLILM) -skenaariolla (ks. tutkimuskysymys 2).

Ilmaston kannalta olennainen kysymys on, pystytäänkö lisähakkuista (9 miljoonaa m³) koituvan suuremman ja matalamman hakkutason välinen kumulatiivinen hiilinielueron kompensoimaan lisääntyneen puun käytön tuomilla ilmastohyödyillä. Kuvassa 6 on yhdistetty nämä tekijät JLILM-skenaariossa siten, että suuremman hakkutason (81 miljoonaa m³ vuodessa) nielunmenetys alemmaan hakkutason (72 miljoonaa m³ vuodessa) nähden on merkitty päästökseen ja lisäpuulla aiheutetut substituutiohyödyt ja puutuotteiden hiilivaraston kasvu ovat negatiivisina arvoina, koska ne vähentävät päästöjä alemman hakkutason puun hyödyntämistilanteeseen nähden. Lopputuloksena saadaan kumulatiivinen nettopäästö, joka on 1 248 Mt CO₂ eli 12,5 Mt CO₂ vuodessa. Tulos on käytännössä päinvastainen, jos hakkuita pienennetään 9 miljoonaa m³ vuodessa.

Työssä on simuloitu metsien hiilinielunkehitys nykyhakkuutasolla ja sitä 9 miljoonaa m³ alemmalla hakkuutasolla (eli 63 miljoonaa m³) kolmella eri skenaariolla. Näistä JLILM-skenaario antoi metsien hyödyntämiselle positiivisimman tuloksen ja perusskenaario heikoimman. Perusskenaariossa, jossa ei otettu huomioon lannoitustoiminnan ja jalostetun siemen- ja taimimateriaalin käytön lisäämistä sekä ilmastomuutoksen vaikutuksia, kumulatiivinen hiilidioksidipäästö oli 1,7 kertaa suurempi kuin JLILM-skenaariossa, kun hakkuita lisätään 72 miljoonan m³:n vuositason 63 miljoonan m³:n hakkuutasosta.



Kuva 6. Hakkuutasojen 72 ja 81 miljoonaa kuutiometrin vuodessa väliset kumulatiiviset hiilitase-erot ilmakehään eri vuosijaksoina Jalostushyöty, lannoitus ja ilmastomuutos (JLILM) -skenaarioissa (ks. tutkimuskysymys 2). Positiivinen arvo kertoo, että hakkuutason 81 miljoonaa m³ vuodessa seurauksena metsä sitoo lukuarvon osoittaman määrän vähemmän hiilidioksidia kuin hakkuutasolla 72 miljoonaa m³ vuodessa. Vastaavasti negatiivinen arvo kertoo hakkuutasolla 81 miljoonaa m³ vuodessa saavutetut tuotteiden ilmastohyödyt hakkuutasoon 72 miljoonaa m³ vuodessa nähden. Nettovaikutus (viiva) kertoo metsän hiilivajeen ja tuotteiden ilmastohyötyjen yhteisvaikutuksen.

Skenaariotarkastelussa oletettiin, että puun hyödyntämisen substituuiovaikutukset säilyvät nykyisen kaltaisina tulevaisuudessa. Oletusta voidaan pitää konservatiivisena ja puunkäyttöä suosivana. Kun lisäksi otetaan huomioon päästöeron suuruus ja pysyvyys hakkuutasojen välillä, päätelmäksi saadaan, että lisähakkuiden nielummenetyksen kautta syntyviä hiilidioksidipäästöjä ei pystytä todennäköisesti korjaamaan edes 150 vuoden aikajänteellä.

Edellä esitetty tulos ei siis perustele hakkuiden lisäämistä ilmaston kannalta, mutta tästä huolimatta nykytasoa selvästi suurempi hakkuutaso näyttäisi mahdollistavan nykyistä suuremman hiilinielun lähitulevaisuudessa ja siten kumulatiivinen ilmastovaikutus olisi kokonaisuudessaan positiivinen (kuva 4). Tämä ei kuitenkaan poista sitä tosiasiaa, että lisähakkuiden toteuttamatta jättäminen tai hakkuiden vähentäminen nykytasosta johtaisi ilmaston kannalta selvästi parempaan lopputulokseen todennäköisesti vähintään 150 aikajänteellä. Aikarajaa, milloin tilanne kääntyisi lisähakkuiden eduksi, on mahdotonta arvioida tulevaisuuden lukuisten epävarmuustekijöiden takia. Lisäksi lisähakkuiden hiilinieluvaikutuksiin lähitulevaisuudessa liittyy suuria epävarmuuksia (vrt. kohta 3.1), eikä tämän tarkastelun perusteella voida sanoa lähitulevaisuuden ajankohtaa, mistä lähtien pysyvästi nykyistä hakkuutasoa korkeammalla 81 miljoonan kuutiometrin vuosihakkuutasolla nielu saavuttaisi suuremman tason kuin mitä se on nykyisin.

3.4. Tulosten tulkintaan liittyviä näkökohtia

3.4.1. METSÄTUHOJEN VAIKUTUS METSIEN HIILINIELUJEN KEHITYKSEEN

Koko maata koskevan skenaariotarkastelun yhteydessä laskettiin puuston ikäjakauman muutos 100 vuoden tarkastelujakson aikana. Alempi hakkuuskenaario (63 miljoonaa m³vuodessa) johtaa siihen, että talousmetsiemme puusto on simulointiajan lopulla keskimäärin noin 34 vuotta vanhempaa kuin simuloinnin alussa. Vastaavasti nykyisellä hakkuutasolla (72 miljoonaa m³vuodessa) puusto vanhenisi keskimäärin 19 vuotta sadan vuoden aikana. Näillä melko vähäisillä metsien keski-ikä eroilla (15 vuotta) ei liene suurta vaikutusta metsätuhoriskiin. Joten hakkuiden lisäämistä ei voida perustella metsätuho-riskien vähentämisellä. Toisaalta puuston keski-ikä aluetasolla ei myöskään suoraan kerro metsätuhoille alttiin puuston määrää. Toisaalta myös alhainen hakkuutaso voi altistaa metsiä tuhoille.

Metsätuho-riskeihin vaikuttavat metsien ikärakenteen ohella puulajisuhteet ja metsien käsittely. Tulevaisuudessa kuusen osuus lisääntyy, sillä sitä on suosittu vahvasti muiden puulajien kustannuksella metsänuudistamisessa, männiköiden ja koiviköiden kärsiessä hirvituhoista. Myös tämän selvityksen laskelmissa oletettiin, että pääosa lehtomaisten ja tuoreiden kankaiden avohakkuualoista uudistetaan kuuselle. Ilmastonmuutoksen odotetaan lisäävän monia abioottisia ja bioottisia tuho-riskejä Suomessa ja ne voivat myös voimistaa toisiaan¹⁵. Eritoten varttuneet ja uudistuskypsyyssikäiset kuusikot ovat alttiita sekä tuulen, kuivuuden, kaarnakuoriaisten (kirjanpainajat) että juurikäävän aiheuttamille tuhoille. Sekä kuivuus että tuulituhot voivat lisätä kirjanpainatuhoja kuusella. Vastaavasti juurikäävän lahottamat puut ovat alttiita tuulituhoille. Suurimmassa vaarassa ovat Etelä- ja Keski-Suomen puhtaat varttuneet kuusikot.

Toisaalta metsät ovat puulajista riippumatta alttiita tuulituhoille uusien avohakkuualojen reunametsissä. Ilmaston lämpeneminen voi myös aiheuttaa sen, että esimerkiksi kirjanpainajalla on useampia jälkeläissukupolvia samana kesänä, mikä nopeuttaa tuholaispopulaatioiden kasvuvauhtia. Ilmaston lämpeneminen lyhentää myös rauta-ajanjakson pituutta, mikä osaltaan lisää metsien tuulituhoja kovatuulisimpaan vuoden aikaan, myöhäissyksystä varhaiskevääseen, eritoten Etelä- ja Keski-Suomessa. Sen sijaan Itä- ja Pohjois-Suomessa oletetaan lumituho-riskien lisääntyvän. Lisääntyvät kuivuusjaksot lisäävät myös metsäpalojen riskiä. Sekametsien oletetaan kestävän yhden puulajin metsiköitä paremmin erilaisia tuhoja.

Mallilaskelmissa ei ole otettu huomioon metsätuhoja, mikä tuo osaltaan epävarmuutta tehtyihin laskelmiin ilmastonmuutoksen liittyvien epävarmuuksien ohella. Toisaalta erilaisten metsätuhojen esiintymistä on hyvin vaikeaa ennustaa. Ilmaston lämmitessä laaja-alaiset metsäpalot¹⁶, kaarnakuoriaistuhot tai myrskytuhot voivat muuttaa metsät hiilinieluista jopa hiilenpäästölähteiksi¹⁷. Jossain määrin tuhopuuston jättäminen metsään hiilivarastoksi (ja lahoamaan) voi olla perusteltua, ellei se johda merkittäviin seurannaistuhoihin. Tällä parannetaan myös lahopuuta tarvitsevien lajien elinympäristöolosuhteita.

¹⁵ Venäläinen A., Lehtonen I., Laapas M., Ruosteenoja K., Tikkanen O-P., Viiri H., Ikonen, V-P., Peltola H. 2020. Climate change induces multiple risks to boreal forests and forestry in Finland: a literature review. *Global Change Biology* 26, 4178–4196. doi: 10.1111/gcb.15183.

¹⁶ Metsäpalossa häviää ainoastaan oksien ja neulasten hiili (20 % biomassan hiilestä). Hiiltynyt puu ja puuhiili ovat hyviä hiilivarastoja, ja paloalueelle syntyvä uusi metsä sitoo hyvin hiiltä.

¹⁷ Kallio, A.M.I., Solberg, B., Käär, L. and Päivinen, R., 2018. Economic impacts of setting reference levels for the forest carbon sinks in the EU on the European forest sector. *Forest Policy and Economics*, 92, pp.193–201.

3.4.2 HIILIVUOTO

Metsien potentiaalisista ilmastohyödyistä puhuttaessa ei voida sivuuttaa kansainvälistä hiilivuotoa. Se on tunnistettu paitsi ilmastomuutoksen hillintätoimien myös metsien omaehtoisten alueellisten suojeleuhjelmien keskeiseksi haasteeksi¹⁸. IPCC määrittelee hiilivuodon alueellisista ilmastomuutos-toimista johtuvaksi, odottamattomaksi CO₂-päästöjen nousuksi tai laskuksi toimien kohdealueen rajojen ulkopuolella¹⁹. Yksinkertaisemmin hiilivuoto on CO₂-päästöjen siirtymistä ilmastotoimien vaikutuspiirissä olevasta paikasta paikkaan, jossa niitä ei ole, tai jossa on löysempiä rajoitteita päästöille. Hiilivuodon olemassaolo heikentää ilmastotoimien tehokkuutta lisäämällä päästöjä toisaalla ja nostamalla päästövähennykskustannuksia. Pahimmillaan se voi jopa kumota ilmastotoimien alkuperäiset tarkoitukset. Globalisaation myötä hiilivuodon riski on kasvanut²⁰. Kallio ym.²¹ olettivat, että EU:n nielupolitiikan seurauksena hakkuita EU-maissa rajoitetaan, jolloin hakkuut kasvoivat EU:n ulkopuolella merkittävästi. Julkisessa keskustelussa on esitetty, että tämä voi johtaa jopa suurempaan globaalin nielun menetykseen. Syyksi suurempaan nielun menetykseen nähdään joko paikallinen huono metsänhoito tai saastuttava metsäteollisuus. EU:n nielupolitiikan vaikutusta puun hintaan, hakkuisiin ja hiilivuotoon ei kuitenkaan ole tiettävästi tutkittu markkinaehtoisesti.

Tutkimuskirjallisuudessa on kuitenkin tunnistettu merkkejä metsän hiilivuodosta. Pan ym.²² tutkivat metsien hiilivuotoa soveltamalla meta-analyysia tehtyihin tutkimuksiin. Heidän otoksensa koostui 46 tutkimuksesta (27 koski energiasektoria ja 19 metsäsektoria), jotka tarjosivat yhteensä 230 estimaattia hiilivuodolle (70 estimaattia metsäsektorille ja 160 energiasektorille). Heidän mukaansa hiilivuoto vaihteli välillä -10,31–130 prosenttia, keskimääräisen hiilivuodon ollessa 23 prosenttia, mikä tarkoittaa, että noin kolme neljännestä kotimaan toimista tuo vähennyksiä ja yksi neljännes korvautuu päästöjen kasvulla muualla. Jos katsotaan pelkästään metsäsektoria, hiilivuoto oli keskimäärin 40 prosenttia (vaihteluväli -10,31 % ja 100 %). Sen sijaan energiasektorilla keskimääräinen hiilivuoto oli 16 prosenttia (vaihteluväli -7,75 % ja 130 %). Suurempi hiilivuodon riski metsäsektorilla johtuu siitä, että puutuotteet ovat homogeenisempia kuin energiatuotteet. Lisäksi puutuotteita vaihdetaan globaalisti, ja vaihdannalle on hyvin vähän esteitä²³. Metsäsektorilla puutuotemarkkinoiden aiheuttama hiilivuoto on usein absoluuttisesti pieni, mutta kuitenkin iso verrattuna ilmastotoimien päästövähennyshyötyihin²⁴. Metsäsektoriin liittyvät ilmastotoimet ovat täten alttiimpia hiilivuodolle kuin ilmastotoimet energiasektorilla.

¹⁸ Martin, R., Muûls, M., de Preux, L.B., Wagner, U.J., 2014. On the empirical content of carbon leakage criteria in the EU emissions trading scheme. *Ecol. Econ.* 105, 78–88.

Ebeling, J. & Yasué, M. 2008. Generating carbon finance through avoided deforestation and its potential to create climatic, conservation and human development benefits. *Phil. Trans. R. Soc. B* 363, 1917–1924.

Lambin, E. F. & Meyfroidt, P. 2011. Global land use change, economic globalization, and the looming land scarcity. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* 108, 3465–3472.

¹⁹IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2007. Climate change 2007: Mitigation. Contribution of working group III to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. In: Metz, B., Davidson, O.R., Bosch, P.R., Dave, R., Meyer, L.A. (Eds.), Cambridge University Press. Cambridge, UK and New York, NY, USA.

²⁰ Ostwald, M., Henders, S., 2014. Making two parallel land-use sector debates meet: carbon leakage and indirect land-use change. *Land Use Policy* 36, 533–542.

²¹ Kallio, A.M.I., Solberg, B., Käär, L. and Päivinen, R., 2018. Economic impacts of setting reference levels for the forest carbon sinks in the EU on the European forest sector. *Forest Policy and Economics*, 92, pp.193–201.

²² Pan, W., Kim, M-K., Ning, Z., Yang, H. 2020. Carbon leakage in energy/forest sectors and climate policy implications using meta-analysis. *Forest Policy and Economics* 115, 102–161.

²³ Kallio, A.M.I., Solberg, B., Käär, L., Päivinen, R., 2018. Economic impacts of setting reference levels for the forest carbon sinks in the EU on the European forest sector. *Forest Policy Econ.* 92, 193–201.

²⁴ Murray, B.C., Mccarl, B.A., Lee, H.C., 2004. Estimating Leakage from Forest carbon sequestration programs. *Land Econ.* 80 (1), 109–124.

Yllä esitetyt globaalit tulokset osoittavat, että mikäli EU:n nielupolitiikka rajoittaa aidosti hakkuita, se aiheuttaa todennäköisesti hiilivuotoa. Hiilivuodon suuruuden arviointi Suomen osalta ei kuitenkaan ole suoraviivaista. Jos boreaalisisessa havumetsässä jätetään yksi kuutiometri hakkaamatta ja hakkuut kasvavat lauhkean vyöhykkeen tai tropiikin metsissä saman verran, ei globaali nielu supistu yhtä paljon kuin Suomen hakkuiden tapauksessa. Selitys on se, että metsän kasvu lauhkeilla ja lämpimillä alueilla on nopeampaa ja voimakkaampaa kuin boreaalisisessa metsässä, kunhan metsänhoito vain on kunnossa. Täten globaali nielu voi hyvinkin jäädä korkeammalle tasolle kuin Suomen hakkuiden tapauksessa. Jos taas paikallisen metsäteollisuuden päästöt ovat suuremmat kuin Suomen metsäteollisuuden, tuotannon kasvihuonekaasupäästöt voivat kasvaa. Täten globaalin hiilinielun muutoksen ja kasvihuonekaasupäästöjen muutoksen summa voi olla suurempi tai pienempi kuin mitä Suomen hakkuista aiheutuu. Synteesiä siitä, millainen vaikutus hakkuilla on hiilinieluun erityyppisissä metsissä ja eri alueilla, ei toistaiseksi ole saatavilla.

Rajoittuminen pelkän nieluvaikutuksen tarkasteluun on kuitenkin riittämätöntä. Euroopan unioni ottaa vakavasti huomioon IPCC:n korostuksen, jonka mukaan globaalien nielujen kasvattaminen on välttämätöntä, jotta globaalin keskilämpötilan nousu saadaan rajoitetuksi 1,5 asteeseen. Tämä tavoite ohjaa EU:n ilmasto- ja nielupolitiikkaa. Ottamalla aktiivisen nielupolitiikan käyttöön ensimmäisenä maaryhmänä maailmassa (samalla tapaa kuin päästökaupankin), EU kannustaa muita maita etenemään nielujensa vaalimisessa ja lisäämisessä. Tämän ohella EU pyrkii hillitsemään hiilivuodon riskiä valmistelussa olevilla hiilitulleilla, joiden arvioidaan lisäävän ilmastotoimia EU:n ulkopuolella. Esimerkiksi Branger ja Quirion²⁵ ovat meta-analyysin avulla osoittaneet, että hiilitullit vähentävät hiilivuotoa 6 prosenttia. Suomi edistää EU:n ilmastopolitiikan strategisia tavoitteita ja nielupolitiikkaa parhaiten vaalimalla omaa nieluaan ja viemällä metsäosaamistaan muihin maihin, jotta ne voivat parantaa omien metsiensä hiilitasetta.

3.4.3 LUONNON MONIMUOTOISUUS

EU:n biodiversiteettistrategian tavoitteena on saada luonnon monimuotoisuus elpymään vuoteen 2030 mennessä. Suomen Luontopaneeli näkee, että EU-tavoitteiden täyttämiseksi kaikki jäljellä olevat vanhat luonnontilaiset metsät (400 000 hehtaaria) ja yhteensä vähintään 10 prosenttia metsäpinta-alasta kaikissa Suomen maakunnissa tulisi asettaa tiukan suojelun piiriin. Nyt Etelä-Suomen metsämaasta on suojeltu tiukasti vain alle 3 prosenttia. Luontopaneelin arvion mukaan kaikkien vanhojen metsien lisäksi Etelä-Suomen metsämaasta tulisi asettaa tiukkaan suojeluun vielä 471 000 hehtaaria ja Pohjois-Suomen metsämaasta 176 000 hehtaaria²⁶.

Suomessa talousmetsän pinta-ala on noin 18 291 000 hehtaaria. Lisäksi on huonotuottoista metsää noin 1 090 700 hehtaaria. Jos Suomen metsiä suojeltaisiin Luontopaneelin esittämän näkemyksen mukaisesti, talousmetsien pinta-ala supistuisi noin 5,5 prosenttia. Puuntuotannollisesti vähennys olisi jonkin verran enemmän, koska valtaosa suojelupinta-alasta kohdistuisi Etelä-Suomeen, jossa puun kasvu on Pohjois-Suomea suurempi.

Luonnon monimuotoisuuden elpyminen edellyttää tiukasti suojeltavien metsäalojen kasvattamisen lisäksi, että talousmetsissä otetaan metsänkäsittelytoimissa luonnon monimuotoisuuden näkökulma huomioon (esimerkiksi säästöpuut ja lahopuiden jättäminen). Vaikka tässä työssä ei ole tarkasteltu hakkuutasojen ja luonnon monimuotoisuuden elpymisen välistä yhteyttä, voidaan sanoa, että nyky-

²⁵ Branger, F., Quirion, P., 2014. Would border carbon adjustments prevent carbon leakage and heavy industry competitiveness losses? Insights from a meta-analysis of recent economic studies. *Ecol. Econ.* 99, 29–39.

²⁶ Kotiaho, J. S., Ahlviik, L., Bäck, J., Hohti, J., Jokimäki, J., Kallio, K.P. Tarmo Ketola, Liisa Kulmala, Lakka, H.-K., Lehikoinen, A., Oksanen, E., Pappila, M., Sääksjärvi, I.E., Peura, M. 2022. Metsäluonnon turvaava suojelun kohdentaminen Suomessa. Suomen Luontopaneelin julkaisuja 4/2022.

hakkuutason säilyttämisellä pystytään helpommin vastaamaan metsien luonnon monimuotoisuuden elpymisen ja hiilinielujen riittävän tason turvaamisen haasteisiin lähitulevaisuudessa kuin jos hakkuita lisättäisiin selvästi, esimerkiksi 81 miljoonaa kuutioon vuodessa. Näin on, vaikka metsiemme hiilinielu näyttäisi lähitulevaisuudessa kasvavan nykyhakkuutasoa suuremmallakin hakkuutasolla (kuva 4).

4. JOHTOPÄÄTÖKSET

Työssä tehdyt Suomen metsien hiilitaseen tarkastelut osoittivat, että pysyvä hakkuutason nosto nykytasosta (72 miljoonaa m³ vuodessa) johtaa hiilinielujen selvään vähennykseen Suomessa koko 100 vuoden tarkasteluajan, ja vastaavasti hiilinielut kasvavat hakkuiden vähentyessä. Ilmaston kannalta on olennaista suuremman ja matalamman hakkuutason välinen kumulatiivinen päästöero, jossa on huomioitu lisähakkuiden aiheuttama metsän hiilinielumenetyks ja puusta saatavien tuotteiden ja polttoaineiden ilmastohyödyt. Tällä hetkellä puutuotteiden hiilivarastot sekä puutuotteista ja -polttoaineista saatavat korvaushyödyt ovat vähäiset suhteessa lisähakkuilla aiheutettuun metsän hiilinielumenetykseen. Tämä koskee myös puurakentamista. Hakattua puumäärää kohti saatavia puutuotteiden ja -polttoaineiden ilmastohyötyjä ei ole tämänhetkisen tietämyksen mukaan mahdollista kasvattaa merkittävästi lähitulevaisuudessa. Tämän takia lisääntyvillä hakkuilla aiheutettuja päästöjä ei todennäköisesti saada kompensoitua uuden metsän kasvun ja puutuotteiden ilmastohyötyjen myötä vähintään 150 vuoteen. Kotimaisten hakkuiden lisäämistä nykytasosta ei voida siten perustella ilmastosiyllä.

Hakkuiden lisääminen ei ole kuitenkaan ristiriidassa ilmastopolitiikan kanssa, jos metsien ja puutuotteiden yhteenlasketut hiilivarastomuutokset säilyvät tavoitetasoilla, joilla Suomen maankäyttösektorin nettohiilinielu on vähintään EU:n tavoitteen ja kansallisesti asetetun hiilineutraaliustavoitteen mukainen. Pyrittäessä ilmaston kannalta kestävään tulevaisuuteen myös puun hyödyntämisen hiilitaseen tulee kehittyä nykypäivästä paremmaksi. Muutos ilmastollisesti myönteiseen suuntaan tapahtuu, jos puun hankinta-alueen metsien ja niistä valmistettujen puutuotteiden hiilivarastojen muutokset sekä puutuotteiden ja -energian korvausvaikutukset yhteensä aiheuttavat vähemmän kasvihuonekaasupäästöjä ilmakehään kuin nykytilanteessa. Korvaushyötyjen arviointiin liittyy kuitenkin suuria vaikeuksia ja toisaalta niiden vaikutukset fossiilisiin päästöihin on mukana kunkin maan kasvihuonekaasuinventaariossa, minkä takia metsien ja puutuotteiden hiilivarastojen muutokset ovat vain mukana ilmastotavoitteissa ja niiden seurannassa.

Suomen maankäyttösektorin nettonielutavoite 21 Mt CO₂-ekv. tähtää ilmastoneutraaliuteen vuonna 2035. Tämän ohella myös EU on asettanut maakohtaiset velvoittavat tavoitteet jäsenmaidensa maankäyttösektorin nettonielulle. Nettonielutavoitteen saavuttamisessa Suomen tulee tasapainottaa maaperäpäästöjen vähentämistä ja metsien hiilinielun ylläpitämistä. Vaikka Suomi ei ole selventänyt omaa nielupolitiikkaansa ja metsien hakkuut määräytyvät markkinaehtoisesti, tarjoaa nykyinen hakkuutaso tasapainon ilmastotavoitteiden saavuttamisen, metsien taloudellisen hyödyntämisen, metsätuho-riskien hallinnan ja hiilivuodon välttämisen suhteen. Lisäksi nykyhakkuutaso antaa paremmat edellytykset vastata metsien monimuotoisuuden elpymisen haasteeseen kuin nykyistä korkeammat hakkuutasot. Näin vaikka Suomen metsien nykyinen ikärakenne voi mahdollistaa hakkuiden lisäämisen lähitulevaisuudessa samalla kun metsien hiilinielu kasvaa viime vuosien tasosta. Suomen metsien hiilinielujen kehitykseen liittyy kuitenkin paljon epävarmuutta, minkä takia hakkuiden lisäämistä ja ajoittamista tulisi tarkastella varovaisuusperiaatteen mukaisesti maankäyttösektorin ilmastotoimien kokonaisuudessa. Siinäkin tilanteessa, jossa sekä hakkuita että nieluja pystytään kasvattamaan nykytasosta, nykyinen hakkuutaso aiheuttaisi ainakin 150 vuotta eteenpäin ilmaston kannalta paremman lopputuloksen, mikäli puutuotteet säilyvät nykyisen kaltaisina. Tässä raportissa ei ole analysoitu hakkuiden vaikutusta metsäluonnon monimuotoisuuteen ja sen turvaamiseen, mikä on otettava huomioon johtopäätösten tulkinnessa.



SUOMEN
ILMASTOPANEELI
The Finnish Climate
Change Panel

5. TUTKIMUSKYSYMYKSET JA NIIHIN LIITTYVÄT ANALYYSIT

Seuraavat kolme kysymystä auttavat hahmottamaan metsien ja ilmastonmuutoksen hillinnän kannalta olennaisia kysymyksiä.

- 1. Lisäävätkö hakkuut metsien hiilinielua?**
- 2. Puutuotteet varastoivat hiiltä ja korvaavat fossiilisia polttoaineita ja materiaaleja, joista aiheutuu kasvihuonekaasupäästöjä. Saavutetaanko metsien hyödyntämisellä siis ilmastohyötyjä?**
- 3. Seuraako puurakentamisen lisäämisestä ilmastohyötyjä?**

Tutkimuskysymysten vastaukset sisältävät jonkin verran toistoa raportin aiemmista luvuista sekä jonkin verran päällekkäisyyttä keskenään, sillä niiden on tarkoitus toimia myös itsenäisinä kokonaisuuksina.



SUOMEN ILMASTOPANEELI The Finnish Climate Change Panel

KYSYMYS 1: LISÄÄVÄTKÖ HAKKUUT METSIEN HIILINIELUA?

Timo Vesala, Jyri Seppälä, Antti Kilpeläinen, Tero Heinonen Markku Ollikainen, Timo Pukkala

Vastaus

Tehtyjen tarkastelujen perusteella voidaan sanoa, että kasvattamalla hakkuita Suomessa pysyvästi nykytasoa (72 miljoonaa m³ vuodessa) korkeammaksi vähennetään metsiemme hiilinielua joka vuosi vähintään tämän vuosisadan ajan verrattuna tilanteeseen, jossa hakkuut säilyisivät nykytasolla. Vastaavasti pienentämällä hakkuita pysyvästi parannetaan metsiemme hiilinielua joka vuosi vähintään tämän vuosisadan ajan. Usein esitetty tulkinta, että hakkuut lisäävät metsien hiilinielua Suomessa jo keskipitkällä aikavälillä (30–80 vuotta), on virheellinen ja johtuu pitkälti siitä, että metsästä poistuva puumäärä vähentää hiilivarastoa pitkäksi ajaksi.

Kysymys kumpuaa ajatuksesta, että hakkuita tarvitaan, jotta metsien hiilinielu säilyisi. Tämä perustuu oikeaan havaintoon puidenkasvun korkeasta tasosta metsätalouksessa eli niiden korkeasta biologisesta hiilinielusta. Biologinen nielu ei kuitenkaan yksin kerro kaikkea metsien hiilivarastossa tapahtuvista muutoksista. Täsmällisempi käsite hiilivarastojen muutoksen tarkasteluun on nettonielu. Siinä huomioidaan biologisen nielun ohella myös korjatun puun mukana poistunut hiili. Kasvihuonekaasujen raportoinnissa kansainvälisille sopimuksille käytetään menetelmää, jossa raportoidaan biomassan hiilivaraston muutoksia hiilen virtojen sijasta. Nielujen määrällisenä yksikkönä käytetään *poistumaa ilmakehästä*, joka on vastakkainen lähteistä aiheutuville poistumille metsistä. Mikäli metsien kasvihuonekaasujen poistumat ilmakehästä ovat lähteitä suuremmat, metsät raportoidaan nettonieluina. Siksi nettonielu on metsien ilmastovaikutusten käsittelyssä oikea lähestymistapa, kun haluamme peilata metsien käyttöä ilmastotavoitteisiin. Metsien nettonielun suuruus riippuu merkittävästi aikajänteestä. Hiilivaraston muutos määräytyy yksikäsitteisesti tietyn aikajänteen keskimääräisestä nielusta. Varaston yksikkö on esimerkiksi tonni hiiltä hehtaaria metsämaata kohti. Nielun yksikkö on tällöin tonni hiiltä hehtaaria metsämaata ja vuotta kohti, kun tarkastelujaksoksi valitaan vuosi. Nielu kertoo siis tässä tapauksessa, kuinka paljon varasto on kasvanut vuoden aikana. Jos metsä on nettolähde, varasto pienenee. Varaston arvo ei koskaan voi olla negatiivinen.

Esimerkkinä metsikkötasolla käytetään istutuskuusikkoa, jonka hiilivarastojen kehitystä simuloidaan 80 vuoden ajan. Aikajänne valittiin siten, että siinä ajassa metsikkö saavuttaa rinnankorkeusläpimitan, jossa metsikkö suositellaan uudistettavaksi. Simulointi paljasti, että talousmetsässä biologinen nielu on suuri yli 20-vuotiaalla metsällä. Kuitenkin kun metsä päätehakataan ja sitä kautta metsästä poistuu huomattavasti hiiltä, kestää yli 70 vuotta, että tämä poistunut hiili on uuden puiden kasvun kautta sitoutunut takaisin metsään. Toisin sanoen päätehakkuun ja uuden taimikon istuttamisen jälkeen esimerkikiuusikko toimii nettohiililähteenä noin 70 vuotta. Jos istutuskuusikko jätetään hakkaamatta, sen kumulatiivinen nettohiilinielu seuraavan 80 vuoden aikana on moninkertainen verrattuna tilanteeseen, jossa metsikkö olisi hakattu tasaisikäismetsätalouden suositusten mukaisesti. Siten talousmetsässä on keskimäärin vähemmän hiiltä varastossa kuin luonnontilaisissa metsissä.

Yksittäinen metsikkötarkastelu ei pysty antamaan kokonaiskuvaa Suomen metsien nettohiilitaseen kehityksestä metsiköiden puulajien, kasvupaikkojen ja ikärakenteiden erilaisuuden vuoksi. Siksi nettohiilitasetta on syytä tarkastella koko Suomen kattavilla simuloinneilla. Maakohtaisessa tarkastelussa simuloitiin Suomen talousmetsien hiilivarastojen kehitystä nykyhakkuutasolla²⁷ eli noin 72 miljoonaa kuutiometriä (m³) vuodessa, ja siitä noin 9 miljoonaa m³ vuodessa pienemmällä ja suuremmalla hakkuutasolla 100 vuoden aikajänteellä. Tulokset osoittivat, että hakkuiden vähentäminen nykytasosta vahvistaisi nettonielua joka vuosi ainakin 100 vuotta eteenpäin. Metsänhoidon tehostetut toimenpiteet, kuten lannoitus ja istutuspuiden jalostus, vähentävät suuremman hakkuutason aiheuttamia nettonieluhäviöitä, mutta eivät muuta yleistä johtopäätöstä.

Koko Suomen metsät kattavien simulointiajojen tuloksia verrattiin muilla simulointimalleilla tehtyihin vastaaviin tarkasteluihin. Eri mallien tulosten välillä on eroja. Johtopäätöksenä voidaan kuitenkin sanoa, että tulokset ovat samansuuntaisia sekä keskenään että tämän selvityksen tulosten kanssa.

Vastauksen yksityiskohtaiset perustelut

LÄHESTYMISTAPA

Tarkastelemme kysymystä luonnontieteellisestä näkökulmasta **ja vain metsän hiilivaraston osalta. Ilmastovaikutukset käsitellään kysymysten 2 ja 3 kautta.** Luonnontieteellisessä tarkastelussa on tärkeää ymmärtää, mikä on ilmastollisesti relevantti nettohiilinielu ja metsänhoidollisesti relevantti biologinen nielu. Biologisella nielulla tarkoitetaan tilannetta, jossa puustoon ja metsämaahan sitoutuu enemmän hiiltä kuin mitä biologisen hajotustoiminnan kautta vapautuu maaperästä ilmakehään. Päinvastaisessa tilanteessa metsä toimii biologisena hiilen lähteenä. *Nettohiilinielu* saadaan, kun metsän *biologisesta nielusta* vähennetään hakkuiden mukana poistuva hiilimäärä. Tarkemmissa perusteluissa alla määrittelemme nielun ja *hiilenvaihdon* käsitteet yksityiskohtaisemmin.

Kysymystä tarkastellaan ensiksi metsikkötasolla kahdella eri hakkuuvaihtoehdolla, mikä mahdollistaa nielukäsitteiden selventämisen (ks. myös tietolaatikko sivulla 33). Tämän jälkeen kysymystä tarkastellaan koko Suomen metsien näkökulmasta siten, että katsomme, miten metsien netto- ja biologinen hiilinielu kehittyvät ajan mukana eri skenaarioissa eri hakkuutasoilla. Skenaariot liittyvät jalostukseen, lannoitukseen ja ilmastonmuutokseen.

Vastaamalla yllä esitettyyn kysymykseen emme ota kantaa siihen, pitääkö Suomessa metsiä hakata vähemmän tai enemmän. Metsien käyttö linkittyy kuitenkin vahvasti maankäyttösektorin ilmastotavoitteisiin ja siihen, millä keinoin yhteiskunnallisesti päätetään saavuttaa hiilineutraalius vuonna 2035. Maankäyttösektoriin kuuluvat kaikkien maankäyttöluokkien (esimerkiksi viljelysmaa, kosteikot ja ruohikko-alueet) sekä puutuotteiden hiilivarastomuutokset ja kasvihuonekaasujen päästöt. Näiden yhteissummaa kutsutaan maankäyttösektorin nettonieluksi, ja metsät ovat olennainen osa nettonielua.

Maankäyttösektorin nettonielua ja hakkuita koskevan keskustelun kannalta on tähdellistä arvioida vastausta tähän kysymykseen luonnontieteellisestä näkökulmasta hiilensidonnan kannalta. Suomessa metsänhoidon ja -käytön tarkoitus ei ole maksimoida metsän hiilinielua ja -varastoa vaan maksimoida omistajan metsästään samaa hyötyä (tulo, monimuotoisuus, virkistysarvo, hiilensidonta), kun puulle on kysyntää. Hakkuille voidaan siis esittää myös muita perusteluja kuin hiilensidonta, ja on syytä aina ilmaista selkeästi, mikä näkökulma on.

²⁷ Vuosien 2017 ja 2019 runkokuun hakkuutaso 73 miljoonaa m³ vuodessa, vuodet 2018 ja 2020 olivat poikkeusvuosia

METSIEN HIILINIELUJEN KÄSITTEET JA NIIDEN TOTEUTUMINEN METSIKÖSSÄ

Määrittelemme ensin yleisesti hiilenvaihdon ja hiilinielun käsitteet. Tämän jälkeen määrittelemme tarkemmin nettohiilenvaihdon ja biologisen hiilenvaihdon.

Hiilenvaihto kuvaa yleisesti hiilen siirtymistä metsän ja ympäristön välillä. Negatiivinen vaihto tarkoittaa nielua. Tällöin nielu on sitä suurempi mitä pienempi negatiivinen arvo, eli suurempi itseisarvo, vaihdolla on. Positiivinen vaihto tarkoittaa lähdeä, joka on yhtä kuin negatiivinen hiilinielu. Hiilenvaihdon etumerkki vastaa metsän ulkopuolisten hiilivarastojen näkökulmaa (ilmakehä ja teknosysteemi). Positiivinen vaihto pienentää metsän hiilivarastoa (metsä toimii lähteenä ja ilmakehän ja teknosysteemin hiilivarasto kasvaa) ja negatiivinen vaihto suurentaa sitä (metsä toimii hiilinieluna ja ilmakehän varasto pienenee). **Varaston muutos määräytyy yksikäsitteisesti nielusta. Varaston yksikkö on esimerkiksi tonni (t) hiiltä (C) hehtaaria metsämaata kohti. Vastaava nielun/vaihdon yksikkö olisi t C hehtaaria metsämaata ja vuotta kohti, jos varaston muutosta tarkastellaan yhden vuoden yli.**

Kokonaiskuvan saamiseksi metsän nettohiilinielusta pitää tarkastella *nettohiilenvaihtoa*, jossa on huomioitu kaikki prosessit. Nettohiilenvaihdossa pitää huomioida sekä biologiset nielut ja lähteet – esimerkiksi metsiin liittyen puuston kasvun ja maaperän vaikutukset – että hakkuiden (puunkorjuu) aiheuttama nielun pienentyminen. Molemmat mekanismit, biologiset prosessit ja hakkuut (puunkorjuu), muuttavat hiilivarastoa. *Biologinen hiilenvaihto* tarkoittaa maaperähajotuksessa (karike- ja humuskerros) ilmakehään vapautuvan orgaanisen aineksen hiilen määrää, josta on vähennetty puustoon kasvussa sitoutuva hiilen määrä. Jos biologinen hiilenvaihto on negatiivinen, metsä toimii biologisena hiilen nieluna. **Kun biologisesti sidottuun tai vapautettuun hiilimäärään lisätään ainespuun (kuitu- ja tukkipuu) korjuussa poistuva hiilimäärä saadaan nettohiilenvaihto. Lopullisen ilmastovaikutuksen kannalta on suuri merkitys sillä, mitä lopputuotteita puusta tehdään. Tällä ei kuitenkaan ole merkitystä metsän nettohiilinielun ja hiilivaraston säilymisen, kasvamisen tai pienemisen näkökulmasta.**

HIILENVAIHTO = yleisesti viittaa hiilen siirtymiseen metsän puustoon ja maaperään sekä sieltä pois biologisten prosessien ja ihmisen toiminnan takia tiettyinä ajanjaksona. **Negatiivinen hiilenvaihto tarkoittaa hiilinielua. Positiivinen vaihto tarkoittaa hiilen lähdeä.**

Metsässä on aina tietty määrä hiiltä varastossa puissa ja maaperässä. Nielun ja varaston välillä on yksikäsitteinen yhteys:

NIELU = VARASTON MUUTOS / AIKA

Varaston arvo on aina suurempi kuin nolla, mutta sen muutos voi olla suurempi tai pienempi kuin 0. Edellisessä tapauksessa nielu on positiivinen ja jälkimmäisessä nielu on negatiivinen eli metsä on lähde.

Vastaavasti pätee:

VARASTON MUUTOS = NIELU x AIKA

Aika-suureen arvo on valitun aikajänteen pituus. Lyhimmillään se voi olla peräti vuorokausi tietyn tyyppisissä nielun mittauksissa. Usein aikajänne on vuosi tai pidempi riippuen tarkasteltavasta asiasta ja käytetyistä menetelmistä.

BIOLOGINEN HIILENVAIHTO = MAAPERÄSTÄ JA SEN PÄÄLTÄ HAJOTUSTOIMINNASTA VAPAUTUVA HIILI – PUIDEN KASVUSSA SIDOTTU HIILI

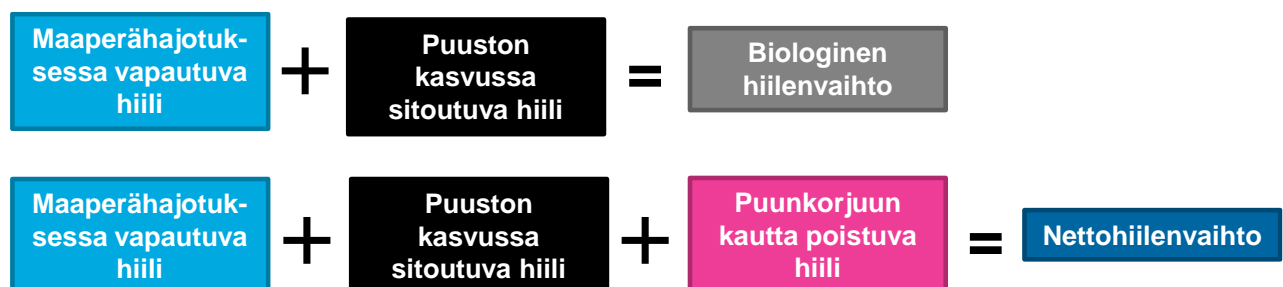
BIOLOGINEN HIILINIELU = -1 x BIOLOGINEN HIILENVAIHTO

Puiden ja maaperän ilmakehän kanssa vaihtama hiili on hiilidioksidia (CO₂). Maaperästä vapautuva CO₂ vastaa heterotrofisessa hengityksessä vapautuvan CO₂:n määrää. Kasvien, kuten puiden, kasvussa sidottu CO₂ on yhteyttämisessä sidotun ja autotrofisessa hengityksessä vapautuvan CO₂:n määrän erotus. Hiilivaraston muutos kasvien kasvun ja maaperäprosessien seurauksena tiettyä aikajaksoa kohti on yhtä kuin tätä jaksoa vastaava biologinen nielu. Tämä varaston muutos kerrottuna -1:llä on yhtä kuin tätä jaksoa vastaava biologinen vaihto. Tieteellinen synonyymi biologiselle hiilenvaihdolle on nettoekosysteemivaihto, joka on yhtä kuin nettoekosysteemituotos (biologinen hiilinielu) kerrottuna -1:llä.

NETTOHIILENVAIHTO = BIOLOGINEN HIILENVAIHTO + KORJATUN PUUN MÄÄRÄ

NETTOHIILINIELU = -1 x NETTOHIILENVAIHTO

Jos nettohiilenvaihto on tiettyä aikavälinä negatiivinen, niin metsä on nettohiilinielu eli metsän hiilivarasto kasvaa. Positiivinen tulos kertoo, että metsä on nettohiililähde tarkasteltavana aikavälinä. Metsän koko hiilivaraston muutos tiettyä aikajaksoa kohti on yhtä kuin tätä jaksoa vastaava nettonielu. Tämä varaston muutos kerrottuna -1:llä on yhtä kuin tätä jaksoa vastaava nettovaihto. Tieteellinen synonyymi nettohiilenvaihdolle on nettobiomivaihto, joka on yhtä kuin nettobiomit tuotos (nettohiilinielu) kerrottuna -1:llä.



Tarkastelemme esimerkkinä yhtä kuusimetsikköä luonnontieteellisestä hiilen kierron näkökulmasta. Kuusimetsikkö on valittu esimerkiksi, koska kuusi on yleisin puulaji Etelä- ja Keski-Suomen metsissä. Koko Suomen metsien nielut voidaan kuitenkin summata yhteen yksittäisistä metsäalueista. Alueet eivät ole luonnontieteellisessä syy-yhteydessä keskenään, ts. toisen metsäalueen kasvu ei luonnontieteellisesti kompensoi toisessa aiheutettua nielun menetystä. Jos nielu pienenisi samalla tavalla kaikissa Suomen metsissä tai vain puolessa niistä, olisi jälkimmäisessä tapauksessa pieneneminen puolet edellisestä.

Emme huomioi metsätuhoja tässä esimerkkilaskelmassa, koska äkilliset häiriöt (kuten metsäpalot tai myrsky- ja hyönteistuhot) ovat varsin satunnaisia tai harvinaisia ilmiöitä yhdelle metsikölle. Säännönmukaiset puiden kuolemat metsikön vanhetessa ovat kuitenkin mukana mallinnuksessa. Emme myöskään huomioi haihtuvien orgaanisten hiilivetyjen osuutta hiilivaraston muutoksessa, koska se on tyypillisesti vain prosenttien suuruusluokkaa verrattuna hiilidioksidin osuuteen.

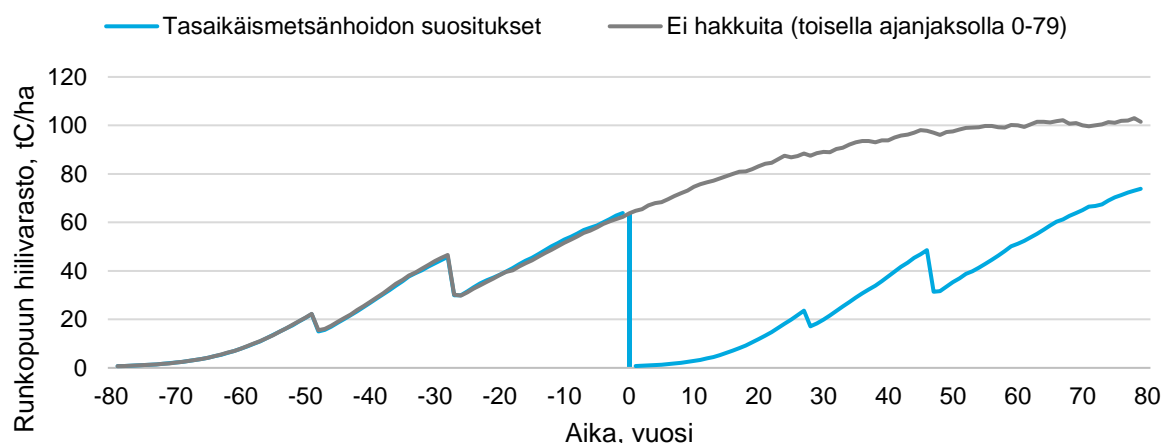
Metsikkötarkastelu on tehty Itä-Suomen yliopiston metsikköjen kasvun ja kehityksen simulointiin kehitetyllä SIMA-ekosysteemimallilla²⁸, joka ottaa huomioon sekä maaperän että puuston hiilivaraston muutokset²⁹. Kuvassa 7 on esitetty runkopuun³⁰ tilavuuden kehitys esimerkkimetsikön, eli tuoreen kankaan kuusikon, kahdessa eri metsänkäsittelyvaihtoehdoissa 160 vuoden ajanjaksolla. Molemmissa käsittelyissä metsää on kasvatettu edellisellä kiertoajalla nykyisten tasaikäismetsätalouden pohjapinta-alasuositusten mukaisesti³¹. Simuloinnin alussa puuston lähtötiheys on 2 500 runkoa hehtaarilla. Tarkastelujakson (vuodet 0–79) alusta lähtien metsänkäsittelyvaihtoehdot eroavat toisistaan puun korjuun osalta. Tasaikäismetsätalouden suositukset -käsittelyssä tehdään tarkastelujakson alussa päätehakkuu ja sen jälkeen kaksi harvennusta. Ei hakkuuta -käsittelyssä päätehakkuuta ei tehdä tarkastelujakson alussa ja metsä kasvaa tarkastelujakson loppuun saakka ilman harvennuksia. Alla tätä tapausta kutsutaan myös nimellä hakkaamaton metsä. Tarkastelu antaa vastauksen pelkästään siihen, mitä metsän hiilivarastolle tapahtuu, jos metsää ei hakata ja annetaan sen kasvaa hoitamatta tai tehdään päätehakkuu ja jatketaan hoitamista metsän uudistamisen jälkeen.

²⁸ Kellomäki ym. 2008. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci.* 363(1501): 2341–2351.

²⁹ Kilpeläinen ym. 2011. *GCB Bioenergy* 3:461–471.

³⁰ Puitten runkojen tilavuus kannon korkeudesta latvaan

³¹ Äijälä ym. 2014. Hyvän metsänhoidon suositukset: metsänhoito. Tapio Oy. <https://metsanhoidonsuosituks.fi/fi>.



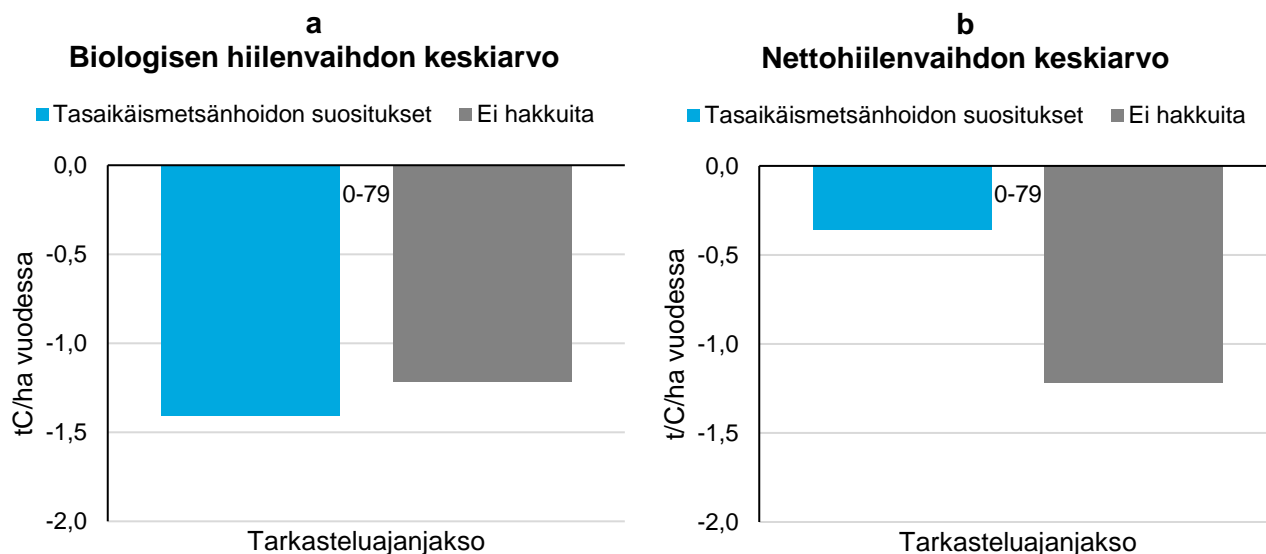
Kuva 7. Simuloitu runkopuun hiilivaraston kehitys tuoreen kankaan esimerkkikuusikossa 160 vuoden jakson yli. Molemmissa käsittelyissä metsää on kasvatettu edellisellä simulointijaksolla (vuodet -80–0) nykyisten tasaikäismetsänhoidon pohjapinta-alasuositusten mukaisesti *Tasaikäismetsätalouden suositukset*-käsittelyssä tehdään vuonna 0 päätehakkuu hoidetulle metsälle ja sen jälkeen kaksi harvennusta (vuosina 29 ja 48). Runkopuun hiilivarasto on tarkastelujakson lopussa hieman korkeampi kuin edellisellä jaksolla. Päätehakuun jälkeen hakkuutähteistä vapautuu tyypeä puiden käyttöön, mikä parantaa kasvua. *Ei hakkuuta* -käsittelyssä metsää kasvatetaan ilman käsittelyä toisen 80 vuoden simulointijakson yli. (tC = tonnia hiiltä.)

Kuvassa 8 on esitetty esimerkkimetsikön **biologinen hiilenvaihto ja nettohiilenvaihto. Biologisessa vaihdossa ei ole huomioitu metsän käytön yhteydessä poistettua biomassaa.** Sen epäsuora vaikutus hiilenvaihtoon biologisten prosessien muutosten kautta on kuitenkin huomioitu. Kun kuva 7 esitti vain runkopuun hiilivaraston kehityksen, niin kuvassa 8 on mukana sekä runkopuiden kasvun että maaperän vaikutukset biologiseen vaihtoon. Metsän biologinen hiilenvaihto on negatiivinen, kun puuston kasvun sitoma hiilimäärä on suurempi kuin maaperästä ja kuolleesta puuaineksesta ilmakehään vapautuva hiilimäärä. Biologinen hiilenvaihto on pienimmillään (itseisarvoltaan eli nielultaan suurimmillaan) tavallisesti noin 30–50-vuotiaassa metsässä, jolloin puun kasvu on parhaimmillaan ja edellisen hakkuun oksien ym. hakkuutähteiden hajoaminen on vähentynyt selvästi (ks. kuva 9a).

Kuvan 8a esimerkkitapauksessa tasaikäismetsätalouden suosituksia noudattamalla saadaan hieman pienempi (itseisarvoltaan suurempi) biologinen hiilenvaihto tarkasteluvälillä 0–79 vuotta kuin Ei hakkuuta -vaihtoehdossa, eli tasaikäismetsätalouden suosituksia noudattamalla saadaan parempi biologinen hiilinielu ko. aikavälillä. Kuvan 8a tulokset ovat keskiarvo kuvan 9a tuloksista. Kuvan 8a arvot kuvaavat hiilenvaihdon keskimääräistä ”vauhtia” per vuosi keskiarvona 80 vuoden ajanjakson yli. Kun ne kerrotaan -1:llä ja 80 vuodella saadaan ajanjakson varaston muutos lähtötilanteesta.

Kuvassa 8a esitettyä **biologista hiilinielua käytetään usein virheellisesti perusteena, kun pohditaan kysymystä ”Lisäävätkö hakkuut metsien hiilinielua?” ja päädytään vastaukseen ”Kyllä”.** Kysymykseen vastattaessa pitäisi tarkastella nettohiilinielua, jota katsommekin seuraavaksi.

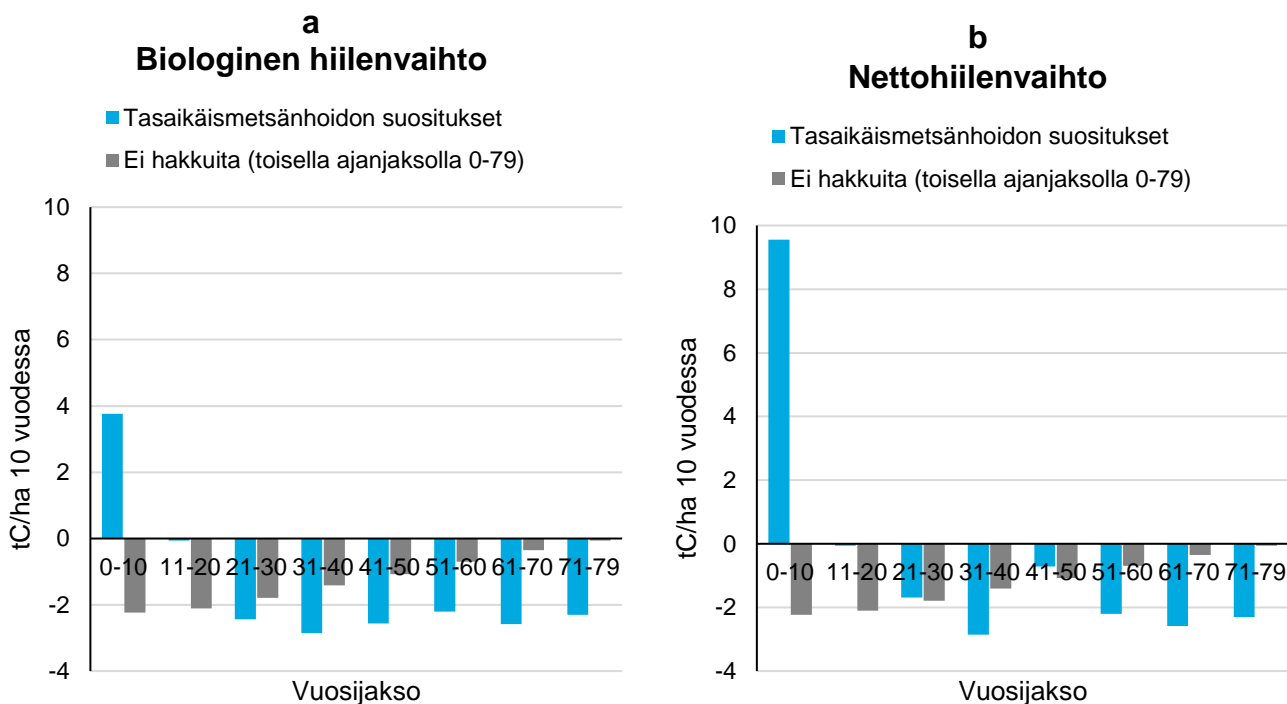
Kuvassa 8b on esitetty saman esimerkkimetsikön nettohiilenvaihto. Kuvan 8b tulokset ovat keskiarvo kuvan 9b tuloksista. Kuva 8b esittää vastaavat tulokset kuin kuva 8a, mutta **hiilenvaihtoon on nyt laskettu mukaan metsän käytön yhteydessä poistetun ainespuun (tukki- ja kuitupuu) sisältämän hiilen määrä.** Emme erottele poistetun hiilen päätymistä ilmakehään tai teknosysteemiin. Puutuotteiden sitoman hiilen merkitys on tarkastelun kohteena kysymyksissä 2 ja 3. Hakkuutähteitä ei ole korjattu pois metsästä. Lopputuloksena saadaan nettohiilenvaihto, kun biologiseen hiilenvaihtoon lisätään metsästä poistetun puumäärän hiili. Summa on negatiivinen, jos metsä on nettohiilinielu.



Kuva 8. Biologisen hiilenvaihdon (a) ja nettahiilenvaihdon (b) keskiarvot eri metsänkäsittelyvaihtoehdoissa tuoreen kankaan esimerkkikuusikossa laskettuna 80 vuoden jakson yli. *Tasaikäismetsätalouden suositukset* -käsittelyssä tehdään vuonna 0 päätehakkuu hoidetulle metsälle ja sen jälkeen kaksi harvennusta (vuosina 29 ja 48) ja *Ei hakkuuta* -käsittelyssä metsää kasvatetaan ilman käsittelyä 80 vuoden ajanjakson yli (ks. kuva 6). Biologinen hiilenvaihto on simuloitu SIMA-mallilla (Kellomäki ym. 2008, Kilpeläinen ym. 2011). Negatiivinen arvo tarkoittaa biologista nielua (a) ja netto Nielua (b) ja saadaan kertomalla vaihto -1:llä. Nielu kertoo edelleen, kuinka paljon metsän hiilivarasto kasvaa keskimäärin vuoden aikana biologisten prosessien (a) ja sekä biologisten prosessien että metsästä poistetun puun (b) seurauksena. Mitä pidempi on palkki, sitä suurempi on hiilinielu ja -varaston kasvu. (tC = tonnia hiiltä.)

Kuvan 8b hakkaamattoman metsän nettahiilenvaihdon arvo on identtinen kuvan 8a biologisen hiilenvaihdon arvon kanssa, koska sen nettovaihto on sama kuin biologinen vaihto. Tasaikäisrakenteisen metsänhoidon suositusten mukaisesti metsän nielu jää hyvin paljon pienemmäksi kuin hakkaamattoman metsän nielu tarkastelujaksolla 0–79 vuotta. **Nettahiilenvaihto eli nettahiilinielu on ilmaston kannalta relevantti metsän hiilinielun tarkastelunäkökulma, koska se kuvaa biomassan koko hiilivaraston muutosta. Se on myös kansainvälisten kasvihuonekaasujen raportointikäytäntöjen mukainen**³². Tarkastelu, jossa huomioidaan, mihin biomassaa käytetään ja mitä ilmastohyötyjä puutuotteet aiheuttavat yhteiskunnassa, on kysymysten 2 ja 3 aiheena.

³² Kansainvälisesti on sovittu, että biomassan polton CO₂-päästöt raportoidaan energiasektorilla nollana. Maankäyttö, maankäytön muutos ja metsätalous -sektorilla (LULUCF) raportoidaan varaston muutoksia. Puutuotteet raportoidaan omana luokkana LULUCF-sektorilla. Q2-10, <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/faq/faq.html>.

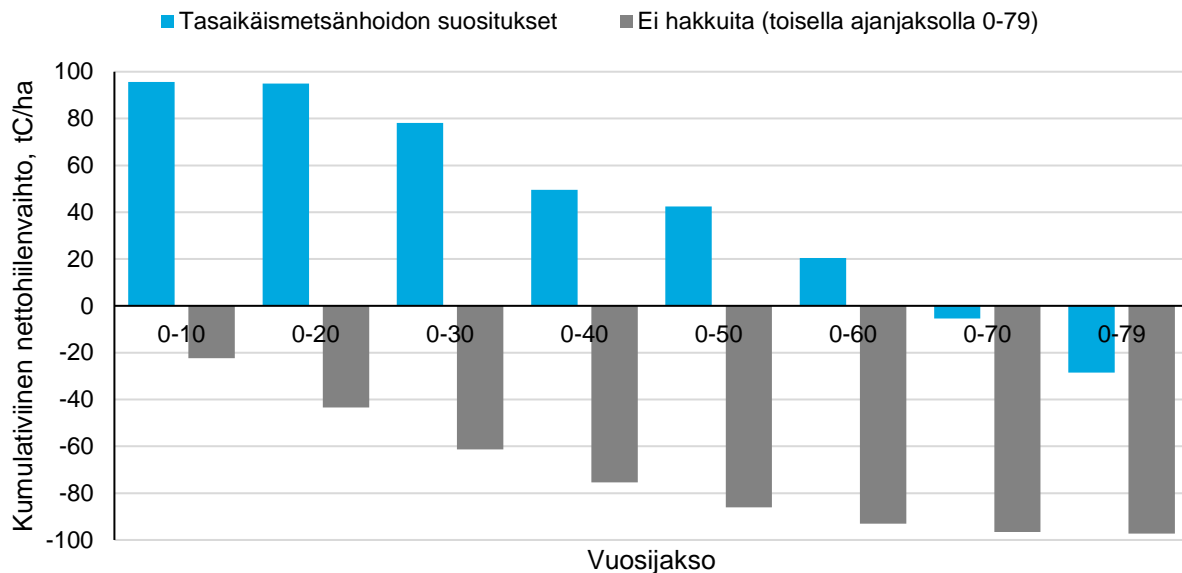


Kuva 9. Biologisen (a) ja nettohiilenvaihdon (b) keskiarvot 10-vuotisjaksoissa eri metsänkäsittelyvaihtoehdoissa tuoreen kankaan esimerkkikuusikossa laskettuna 80 vuoden aikana. Nettohiilenvaihdossa on biologiseen vaihtoon lisätty metsästä poistetun ainespuun sisältämä hiilen määrä. Tasaikäismetsätalouden suosituksia noudattamalla tehdään vuonna 0 päätehakkuu hoidetulle metsälle ja sen jälkeen kaksi harvennusta (vuosina 29 ja 48). *Ei hakkuuta* -käsittelyssä metsää kasvatetaan ilman käsittelyä 80 vuoden ajanjakson yli (ks. kuva 6). Negatiivinen arvo tarkoittaa biologista nielua (a) ja netto Nielua (b) ja saadaan kertomalla vaihto -1:llä. Nielu kertoo edelleen kuinka paljon metsän hiilivarasto kasvaa keskimäärin tarkastelujakson aikana biologisten prosessien (a) ja sekä biologisten prosessien että metsästä poistetun puun (b) seurauksena. Vastaavasti positiivinen arvo merkitsee hiililähdettä ja sen seurauksena tapahtuvaa varaston pienenemistä. Mitä pidempi on palkki, sitä suurempi on hiilinielu tai lähde (negatiivinen ja positiivinen palkki vastaavasti) ja niitä vastaavat varaston kasvu tai pieneneminen. (tC = tonnia hiiltä.)

Kuvassa 9 on esitetty vastaavat kuin kuvan 8 tulokset tarkastelujaksolla 10-vuotiskausittain. Kuvasta 9a nähdään, että metsä on 10 vuoden ajan hakkuun jälkeen biologinen lähde maaperästä vapautuvan hiilen takia. Kun huomioidaan metsästä poistettu puu, hiililähde jaksolla 0–10 vuotta (kuva 9b) on yli kaksinkertainen kuvan 9a biologiseen lähteeseen verrattuna. Seuraavan 10 vuoden aikana hakatun metsän hiilenvaihto on lähellä nollaa maaperälähteiden kompensoituessa nuoren puuston nielulla. Tämän jälkeen biologinen nielu säilyy suurena hakkaamattoman metsän nielun pienenessä puiden ikääntymisen myötä. Luontainen uudistuminen otetaan huomioon kummassakin metsien käsittelyvaihtoehdossa. Kuvasta 9b nähdään, miten harvennuksissa poistetun ainespuun määrä kuitenkin pienentää edelleen nettohiilenvaihtoa. Nielua kuvaavat negatiiviset siniset palkit ovat kuvassa 8b kooltaan merkittävästi pienempiä vuosijaksoilla 21–30 ja 41–50 kuin kuvan 8a harvennusten takia. Ainespuun poisto päätehakkuun ja kahden harvennuksen yhteydessä aiheuttaa kuvan 8a ja kuvan 8b sinisten palkkien suuren eron. Kuvan 9b hakkaamattoman metsän arvot ovat identtisiä kuvan 9a arvojen kanssa, koska sen nettovaihto on sama kuin biologinen vaihto.

Kuvassa 10 on esitetty esimerkkikuusikon eri metsänkäsittelyvaihtoehtojen kumulatiiviset nettohiilenvaihdot 10-vuotisjaksoina. Kunkin kymmenvuotisjakson lopputilanne kertoo metsikön nettohiilenvaihdon lähtötilanteesta lähtien. Viimeinen jakso (0–79) kertoo koko 80 vuoden tarkastelujakson tuloksen. Vuosijakson 0–79 lopputulos on sama kuin kuvassa 8b, mutta tässä esitettynä hiilivaraston muutoksena hehtaaria kohti (kuvan 8b nielu-arvot vastaavat kuvan 9 viimeisten palkkien (0–79) arvoja jaettuna 80 vuodella). Kuvasta

nähdään, että ainespuun korjaaminen aiheuttaa aina 79 vuoteen asti pienemmän metsän nettohiilun Ei hakkuita -vaihtoehtoon nähden. Jakson lopulla hiilidioksidiksi muutettuna vaje on 303 t CO₂/ha. Metsän hiilivaje kuvaa hakkuilla aiheutettua metsän hiilivaraston pienenemistä verrattuna tilanteeseen, jos metsää ei hakattaisi.



Kuva 10. Esimerkkikuusikon eri metsäkäsittelyvaihtoehtojen kumulatiivinen nettohiilenvaihto eri vuosijaksoittain. Kunkin kymmenvuotiskäytön lopputilanne kertoo kokonaisvarastomuutoksen lähtötilanteesta (0 vuotta) päätevuoteen. Negatiivinen arvo merkitsee nettohiilenvaihtoa ja kun se kerrotaan -1:llä se kertoo, kuinka paljon metsän hiilivarasto on kasvanut lähtötilanteesta lähtien sekä biologisten prosessien että metsästä poistetun puun seurauksena. Vastaavasti positiivinen arvo merkitsee nettohiililähdettä ja sen seurauksena tapahtunutta varaston pienenemistä lähtötilanteesta. Positiivisen palkin pieneminen ja negatiivisen palkin pituuden kasvaminen vastaavat varaston kasvua. (tC = tonnia hiiltä.)

NETTOHIILINIELUN KEHITYS SUOMESSA ERI HAKKUUTASOILLA

Metsikkötason tarkastelu ei pysty antamaan kokonaiskuvaa koko maan metsien hakkuiden vaikutuksesta nettohiilinelujen kehitykseen, koska eri metsiköillä eri puolilla Suomea on erilaiset kasvuolosuhteet ja puulajikoostumus, ja hakkuiden ajoittuminen riippuu metsiköiden ikärakenteesta ja hakkuuintensiteetistä. Jotta hakkuiden merkitystä 1. kysymyksen näkökulmasta voidaan tarkastella koko maan näkökulmasta, Suomen metsien nettohiilinelujen kehitystä on seuraavassa tarkasteltu eri hakkuutasovaihtoehdoilla vuosina 2016–2116. Sadan vuoden simulointi on tehty Itä-Suomen yliopiston alueellisella Monsu-metsäekosysteemi-mallilla³³, joka ottaa huomioon metsien puuston ja maaperän hiilivarastojen muutokset. Turvemetsien ja ojitusten maaperäpäästöjä ei ole mukana mallin hiililaselaskennassa. Mallissa lähtötietoina ovat valtakunnallisen metsien inventoinnin (VMI11) metsien ikärakenteet ja uusimmat kasvumallit, jotka perustuvat puiden kasvuun VMI10 ja VMI11 välisenä aikana (puuston kasvu noin 102,5 miljoonaa m³ vuodessa). Mallitarkastelun kohteena ovat vain talousmetsät, eikä suojelumetsien hiilivarastomuutoksia siinä ole mukana.

³³ Pukkala, T., 2011. Optimising forest management In Finland with carbon subsidies and taxes. *Forest Policy Economics* 3, 425–434.

Hakkuuvaihtoehdot kaikissa skenaarioissa ovat 63 ja 72 miljoonan kuutiometrin runkopuun vuosihakkuut. Jälkimmäinen hakkuutaso vastaa viime vuosina toteutunutta hakkuutasoa vuosia 2018 (ennätyshakkuut) ja 2020 (keskimääräistä alhaisempi hakkuutaso koronan vaikutus) lukuun ottamatta. Pienempi hakkuutaso vastaa aikaisempaa hakkuutasoa. Metsäteollisuuden puun käytön lisäksi kummasakin vaihtoehdoissa ovat mukana noin 5 miljoonan kuutiometrin vuosittaiset energiarunkopuun ja kotitarvepuun hakkuut. Kaikissa skenaarioissa on sovellettu kivennäismailla tasaikäisrakenteista metsänkasvatusta ja ojitetuilla turvemaidella jatkuvapeitteistä metsätaloutta. Mäntyä, kuusta tai koivua istutetaan tuoreille kankailla (todennäköisyyksillä 0,2, 0,7 ja 0,1). Lehtomaisille kankailla istutetaan kuusta tai koivua (0,8 ja 0,2). Mäntyä kylvetään kuivahkoille kankailla ja sitä karummat kankaat uudistetaan luontaisesti. Hakkuuvaihtoehtojen taustaoletukset vaihtelevat kahdessa eri skenaarioissa. Skenaariot keskeisimpine oletuksineen ovat seuraavat³⁴:

- **PERUS (P):** laskelmissa ei ole otettu huomioon ilmastonmuutoksen vaikutusta eikä tehostetuttuja metsänhoitotoimenpiteitä.
- **JALOSTUSHYÖTY JA LANNOITUS (JL):** laskelmissa ei ole otettu huomioon ilmastonmuutoksen vaikutusta, mutta lannoitus- ja jalostusvaikutukset ovat mukana. Viljelymetsissä sovelletaan 10 prosentin kasvulisäystä taimien jalostuksen seurauksena. Lannoitusmäärä on keskimäärin 157 000 ha vuodessa (vuonna 2020 lannoitus oli 76 000 ha vuodessa). Lannoitusta käytetään vain kivennäismaan mäntyvaltaisilla kuivahkoilla kankailla ja kuusivaltaisilla tuoreilla kankailla, jos seuraavat ehdot täyttyvät: keskiläpimitta 15–25 cm, pohjapinta-ala 10–30 m²ha⁻¹ ja lämpösumma 900–1 400 d.d.
- **JALOSTUSHYÖTY, LANNOITUS JA ILMASTONMUUTOS (JLILM):** muuten sama kuin edellinen, mutta ilmastonmuutoksen oletetaan etenevän RCP 2.6 -skenaariota mukaisesti eli ilmastonmuutos onnistutaan rajoittamaan alle 2 asteen globaaliin lämpötilanousuun. Hiilidioksidin lannoitevaikutus on otettu huomioon metamallissa³⁵.

JALOSTUSHYÖTY, LANNOITUS JA ILMASTONMUUTOS (JLILM) -skenaariosta on laskettu tulokset myös 81 miljoonan kuution runkopuun vuosihakkuulla, jotta nähtäisiin pysyvästi nykyistä hakkuutasoa korkeamman hakkuutaso-vaikutukset metsien hiilitaseen kehitykseen. JLILM-skenaario on valittu suuremman hakkuumäärän skenaarioksi, koska hakkuuiden kasvattamisen yhteydessä on ajateltu tehostaa metsähoitotoimenpiteitä EU:n hiilinielutavoitteiden saavuttamiseksi.

Metsien hiilinielujen muutosten arviointi perustuu metsien nettohiilinielu-käsitteeseen (ks. edellä), joka on myös kasvihuonekaasuinventaariossa käytetty laskentatapa. Tietyn aikavälin hiilinielu saadaan vähentämällä tarkastelujakson lopetusajankohdan metsien hiilivarastosta (ml. puusto ja maaperä) aloitusajankohdan metsien hiilivarasto. Simulointiin liittyvän maaperän hiilitason alustamisvaikeuksien sekä turvemetsien ja ojitustoiminnan maaperäpäästöjen puuttumisen takia eri hakkuutasojen väliset hiilitase-erot tietyssä skenaariossa ovat merkityksellisiä tulosten tulkinnassa, eikä siis kuvien 11 ja 12 metsien hiilivarastojen ja

³⁴ Heinonen, T., Pukkala, T., Mehtätalo, L., Asikainen, A., Kangas J., Peltola, H., 2017. Scenario analyses on the effects of harvesting intensity on development of forest resources, timber supply, carbon balance and biodiversity of Finnish forestry. *Forest Policy and Economics* 80: 80–98.

Heinonen, T., Pukkala, T., Asikainen, A., Peltola, H. 2018. Scenario analyses on the effects of fertilization, improved regeneration material, and ditch network maintenance on timber production of Finnish forests. *European Journal of Forest Research* (2018) 137:93–107
<https://doi.org/10.1007/s10342-017-1093-9>.

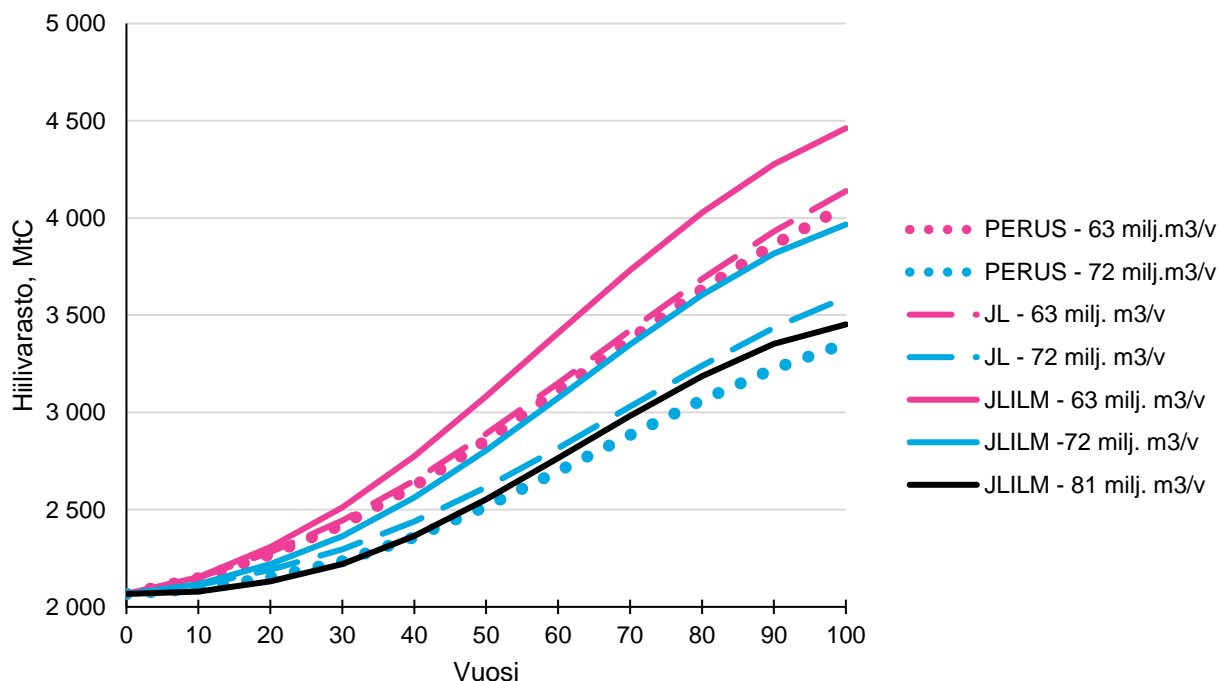
Seppälä, J., Heinonen, T., Pukkala, T., Kilpeläinen, A., Mattila, T., Myllyviita, T., Asikainen, A., Peltola, H., 2019. Effect of increased wood harvesting and utilization on required greenhouse gas displacement factors of wood-based products and fuels. *J. Environ. Management*: 247, 580–587.

³⁵Seppälä, J., Heinonen, T., Pukkala, T., Kilpeläinen, A., Mattila, T., Myllyviita, T., Asikainen, A., Peltola, H., 2019. Effect of increased wood harvesting and utilization on required greenhouse gas displacement factors of wood-based products and fuels. *J. Environ. Management*: 247, 580–587.

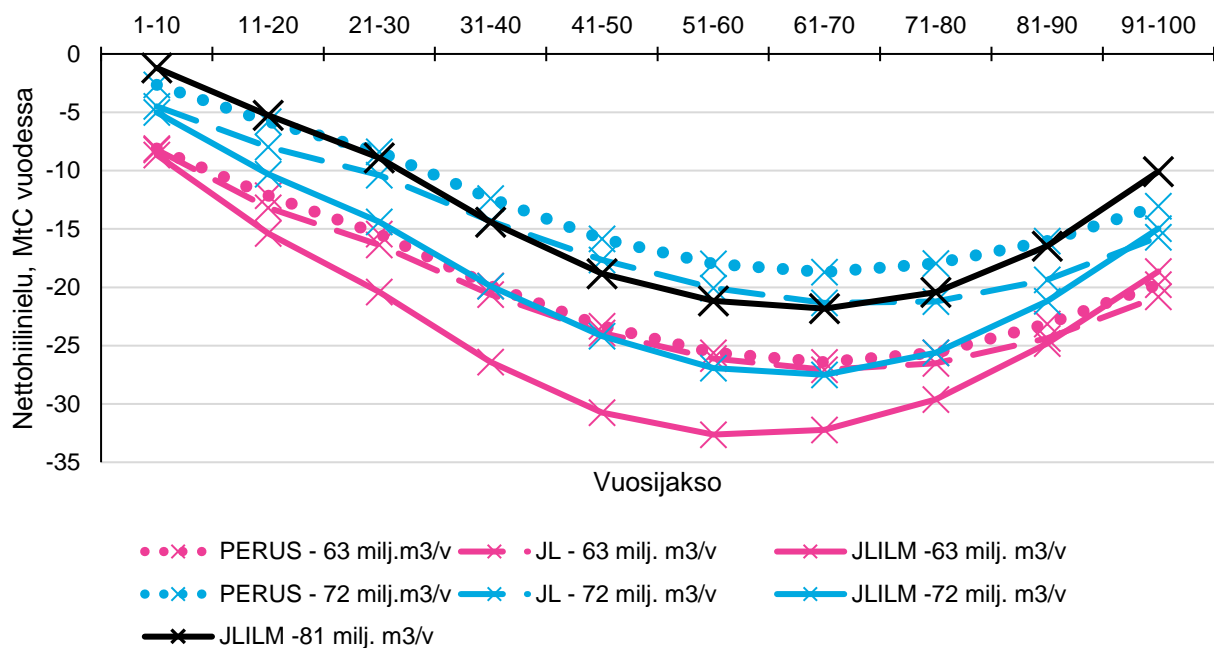
nielujen tasoa pidä katsoa absoluuttisina arvoina. Kehityssennusteet kuvaavat muutoksien suuntaa ja suuruutta eri hakkuutasojen välillä.

Kuvassa 11 on esitetty skenaarioiden tulokset Suomen talousmetsien nettohiilivaraston kehityksestä hakkuutasoilla 63 miljoonaa m³ vuodessa ja 72 miljoonaa m³ vuodessa seuraavan 100 vuoden aikana. Kaikissa skenaarioissa Suomen metsien hiilivarasto kasvaa sadan vuoden tarkastelujakson loppuun asti. Suurin varastonmuutos saadaan pienimmällä hakkuutasolla (63 miljoonaa m³ vuodessa), jossa tehostettujen metsänhoitotoimien lisäksi kasvua vauhdittaa ilmastonmuutos. Siinä metsiemme hiilivarasto kaksinkertaistuu sadan vuoden aikana, eli suhteellisen nuoriin ja harvakasvuisiin metsiimme kertyy runsaasti puuta. Alempi hakkuutaso (63 miljoonaa m³ vuodessa) perusskenaariossa johtaa tilanteeseen, jossa talousmetsiemme puusto on simulointiajan lopulla keskimäärin noin 34 vuotta vanhempaa kuin simuloinnin alussa. Vastaavasti nykytason hakkuutasolla puusto vanhenee keskimäärin 19 vuotta samalla ajanjaksolla. Laskelmien alkutilanteessa mallin metsien ikärakenne vastaa VMI11:n mukaista ikärakennetta. Kuvassa 11 on esitetty JALOSTUSHYÖTY, LANNOITUS JA ILMASTONMUUTOS (JLILM) -skenaarion mukaiset talousmetsien nettohiilivaraston kehitykset kaikilla kolmella hakkuutasolla. Kuvasta nähdään, että alemman hakkuutason (63 miljoonaa m³ vuodessa) ja nykytason (72 miljoonaa m³ vuodessa) talousmetsien nettohiilivaraston ero on hyvin samanlainen kuin nykyhakkuutason ja 81 miljoonaa m³ vuodessa -hakkuutason välillä.

Kuvassa 12 on esitetty vastaava kehitys nettohiilinieluna. **Kaikilla hakkuutasoilla kaikissa skenaarioissa metsien nettohiilivarasto kasvaa eli metsät säilyvät nettohiilinieluinä.** Nielun kasvu hidastuu 60–70 vuoden kuluttua skenaariosta riippuen. Syynä on todennäköisesti metsien vanhenemisesta seuraava kasvun hidastuminen ja ilmastovaikutuksen kääntyminen kasvua nopeuttavasta kasvua hidastavaan suuntaan. Kuvasta nähdään, että nykytasoa suuremmalla hakkuutasolla (81 miljoonaa m³ vuodessa) talousmetsiemme vuosittainen nettonielu säilyy vuosittain pienempänä kuin alhaisimmilla hakkuutasolla koko 100 vuoden simulointiajan aikana.



Kuva 11. Suomen talousmetsien hiilivaraston (ml. puusto ja maaperä) kehitys hakkuutasoilla 63 miljoonaa m³ vuodessa ja 72 miljoonaa m³ vuodessa PERUS (P), JALOSTUSHYÖTY JA LANNOITUS (JL) ja JALOSTUSHYÖTY, LANNOITUS JA ILMASTONMUUTOS (JLILM) -skenaarioissa 100 vuoden aikana. Tarkastelu alkaa vuoden 2015 Suomen metsien tilanteesta.

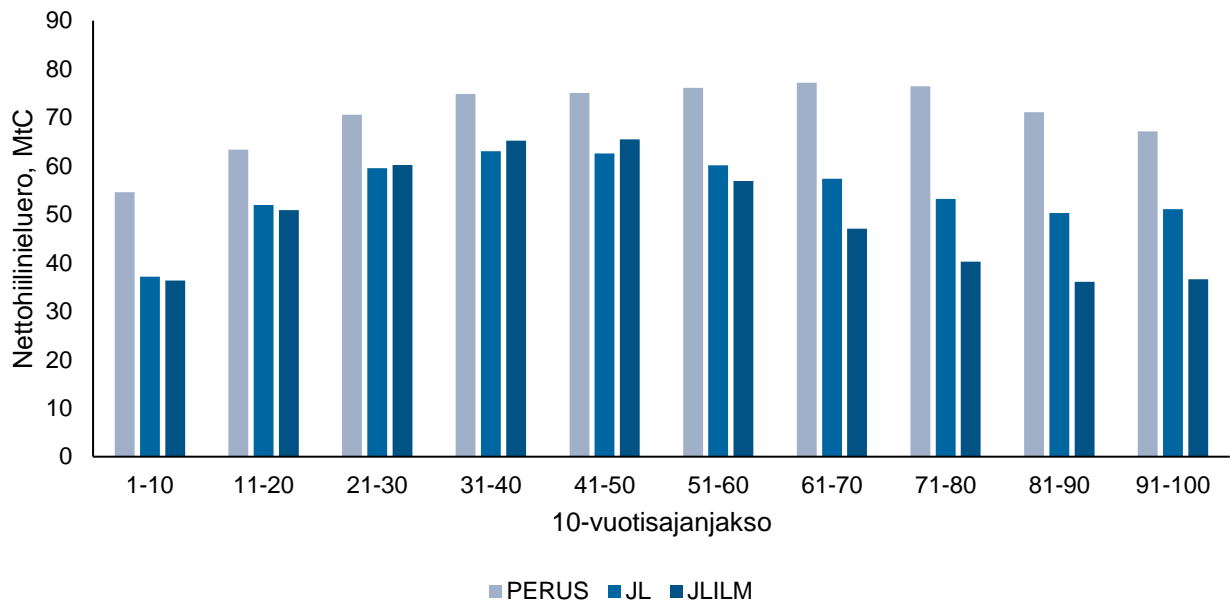


Kuva 12. Suomen talousmetsien nettohiilinielun (ml. puusto ja maaperä) kehitys eri hakkutasoilla PERUS (P), JALOSTUSHYÖTY JA LANNOITUS (JL) ja JALOSTUSHYÖTY, LANNOITUS JA ILMASTONMUUTOS (JLILM) -skenaarioissa 100 vuoden aikana. Lähtötilanne vastaa vuoden 2015 puuston tilannetta ikäjakaukseen Suomessa.

Skenaarioissa, joissa ilmastonmuutos on mukana, nettohiilinielun poikkeaminen PERUS-skenaariosta (tai JL-skenaariosta) heijastelee ilmastonmuutoksen oletettua vaikutusta kasvuun³⁶. Lämpötilan kohoaminen parantaa puiden kasvua 50 (Etelä-Suomi) – 65 (Pohjois-Suomi) vuoden ajan, minkä jälkeen kasvu alkaa heikentyä. Lämpötilan kohoamisen lisäksi ilmakehän suurentunut CO₂-pitoisuus parantaa metsien kasvua noin 50 vuoden ajan, minkä jälkeen CO₂:n vaikutus alkaa pienentyä. Lämpötilan kohoamisen vaikutus puiden kasvuun on laskettu ns. metamallilla, joka perustuu SIMA-ekosysteemimallin tuloksiin ja alkuperäkokeissa saatuihin mittaustuloksiin lämpötilan vaikutuksesta eri puualkuperien kasvuun. Ilmakehän CO₂-pitoisuuden vaikutus kasvuun on laskettu mallilla, joka perustuu SIMA-ekosysteemimallin tuloksiin.

Kuvan 12 tuloksista on laskettu 10-vuotisjaksoittain nettohiilinielun kehitystulokset, joista on edelleen laskettu kummankin skenaariovaihtoehdon nettohiilinieluerot 63 ja 72 miljoonan m³:n vuosittaisen hakkuutasojen välille. Tulokset on esitetty kuvassa 13. Erotus on positiivinen, eli korkeamman hakkuutason nettohiilinielu on tämän verran pienempi. Kuvasta 13 huomataan, että PERUS (P) -skenaariossa suuremman hakkuutason aiheuttama nettohiilinielumenetys alempaan hakkuutasoon nähden kasvaa seuraavat 40 vuotta, minkä jälkeen nielumenetyksen määrä pysyy samalla tasolla, kunnes se lähtee lievään laskuun. Metsien lisätoimenpiteillä (jalostus ja lannoitus) saavutetaan pienempi nielumenetys korkeammalla hakkuutasolla, mutta nielumenetys pysyy korkealla tasolla koko tarkastelujakson. Pienin hiilinielun menetys saavutetaan skenaariossa JALOSTUSHYÖTY, LANNOITUS JA ILMASTONMUUTOS (JLILM). Lannoituksen nopea kasvu edistävä vaikutus näkyy hyvin P- JA JL-skenaarioiden välisenä erona heti 1–10 vuoden aikana.

³⁶ Seppälä, J., Heinonen, T., Pukkala, T., Kilpeläinen, A., Mattila, T., Myllyviita, T., Asikainen, A., Peltola, H., 2019. Effect of increased wood harvesting and utilization on required greenhouse gas displacement factors of wood-based products and fuels. J. Environ. Management: 247, 580–587.



Kuva 13. Eri skenaarioiden (PERUS, JL, JLILM) runkopuuhakkuutasolla 72 miljoonaa m³ vuodessa aiheutuneet 10 vuoden hiilinielumenetykset hakkuutasoon 63 miljoonaa m³ vuodessa nähden Suomen metsien 100 vuoden hiilinielusimuloinnissa.

Kuvan 13 hiilinielunmenetykset voidaan jakaa ko. aikavälillä otetun puumäärän hiilimäärällä, joka saadaan hakkuutasojen 72 miljoonaa m³ vuodessa ja 63 miljoonaa m³ vuodessa erotuksena. Tuloksena saadaan kerroin (t C/t C), joka kuvaa, kuinka paljon metsän hiilinielu pienenee suhteessa korkeamman hakkuutason metsästä poistettuun hiilimäärään nähden. Kuvan 13 tapauksessa nielunmenetykset on 1–10 vuoden välillä JL-skenaariossa noin 1,7 eli metsän hiilinielu vähenee 1,7 kertaisesti siihen nähden, minkä verran hakkuissa viedään hiiltä pois metsästä. Vastaava tarkastelu on tehty myös JLILM-skenaariossa hakkuutasojen 72 miljoonaa m³ vuodessa ja 81 miljoonaa m³ vuodessa välille. Taulukossa 1 on esitetty eri 10-vuotisjaksoina aiheutetut hiilinielunmenetykset hakkuutasojen välillä.

Taulukko 1. Hakkutasojen 81 miljoonaa m³ vuodessa, 72 miljoonaa m³ vuodessa ja 63 miljoonaa m³ vuodessa välinen hiilinielun vähenemiskerroin (t C/t C) eri skenaarioissa siirryttäessä alemmasta hakkutasosta ylempään. Vähenemiskerroin kertoo sen, kuinka monta hiilitonnia pienempi hiilinielu on ko. vuosijaksolla, kun lisätään yksi hiilitonni runkopuun hakkuita.

Skenaariot	Vuosijakso										
	1–10	11–20	21–30	31–40	41–50	51–60	61–70	71–80	81–90	91–100	1–100
63 vs. 72 milj. m³ vuodessa											
PERUS	1,8	2,7	3,2	3,3	3,3	3,6	3,6	3,5	3,3	3,2	3,1
JL	1,7	2,3	2,7	2,8	2,8	2,6	2,5	2,4	2,3	2,3	2,4
JLILM	1,6	2,3	2,7	2,9	2,8	2,6	2,1	1,8	1,6	1,7	2,2
72 vs. 81 milj. m³ vuodessa											
JLILM	1,7	2,2	2,5	2,4	2,6	2,5	2,6	2,4	2,2	2,1	2,3

Koko maan kattavaa hakkuiden ja nielujen välistä riippuvuutta on simuloitu Suomessa 100 vuoden aikavälillä harvoin. Luonnonvarakeskuksen Mela-mallilla on tyypillisesti simuloitu 30–45 vuotta eteenpäin. Energia- ja ilmastostrategian tueksi laaditussa maankäyttösektorin skenaariotyössä³⁷ Melalla saatiin hakkuiden aiheuttamaksi nielujen menetykseksi (t C/t C) eri skenaarioiden hakkutasojen välillä 30 vuoden aikana seuraavasti:

BAU vs. POL: 1,7 t C/t C (1–10 vuotta: 0,7 t C/t C; 11–20 vuotta: 1,9 t C/t C; 213–0 vuotta 2,5 t C/t C)
 POL vs. SY: 2,6 t C/t C (1–10 vuotta: 1,8 t C/t C; 11–20 vuotta: 3,0 t C/t C; 213–0 vuotta 3,1 t C/t C)
 BAU vs. SY: 2,2 t C/t C (1–10 vuotta: 1,6 t C/t C; 11–20 vuotta: 2,2 t C/t C; 21–30 vuotta 2,8 t C/t C)

jossa BAU edusti runkopuu hakkuiden nykytasoa (72 miljoonaa m³ vuodessa), POL metsäpolitiikan mukaista hakkuutasoa (80 miljoonaa m³ vuodessa) ja SY suurinta ylläpidettävää hakkuutasoa (85 miljoonaa m³ vuodessa).

Mela-mallin tulokset osoittavat samaa suuruusluokkaa hiilinielujen menetykseksi 30 vuoden aikana kuin Monsu-mallin tulokset. Kolmekymmenen ensimmäisen vuoden aikana Monsun hiilinielumenetykset 63 miljoonaa m³ vuodessa ja 72 miljoonaa m³ vuodessa -hakkuutasoilla eri skenaariossa ovat: P: 2,6 t C/t C, JL: 2,2 t C/t C ja JLILM 2,2 t C/t C. On tärkeää huomata, että Mela-mallin tarkastelussa hakkuutasot eivät muuttuneet välittömästi eri tasolle toisin kuin Monsu-mallin simuloinnissa tehtiin. Tämä selittää myös osittain sen, miksi ensimmäisen kymmenen vuoden aikana Mela näyttää pienempiä hiilinielumenetyksiä kuin Monsu.

³⁷ Soimakallio, S, Kalliokoski, T., Lehikoinen, A., Salminen, O. 2021. On the trade-offs and synergies between forest carbon sequestration and substitution. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change.26, 4. <https://doi.org/10.1007/s11027-021-09942-9>.

TEM. 2017. Government report on the National Energy and Climate Strategy for 2030. Publications of the Ministry of Economic Affairs and Employment Energy 12/2017. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/79247>.

On myös tärkeää huomata, että Mela-mallin nielumenetykset kasvavat mentäessä ajassa eteenpäin samalla tavalla kuin Monsussa tapahtuu. Se, miten Mela-mallin jatkotulokset kehittyvät, jää arvailujen varaan. Toisaalta Monsu perustuu monissa asioissa samoihin luonnontieteellisiin osamalleihin kuin Mela-malli, minkä takia tulokset voivat olla samansuuntaisia myös pitemmällä ajanvälillä.

Ilmastopaneelin toteuttama erilaisten simulointimallien vertailu³⁸ Suomen tilanteessa osoitti, että Mela-malli näytti viidestä mallista suurinta nielunmenetystä 45 vuoden simulointijakson aikana, kun hakkuita muutettiin 40 ja 80 miljoonan kuutiometrin vuosihakkuiden välillä. Nielun menetys jatkoi Melassa kasvua vielä viimeisenä 10-vuotisjaksolla. Aiemman Monsu-mallin version nielunmenetys asetettiin keskimääräiselle tasolle. Viiden mallin keskimääräinen nielunmenetys oli 40 vuoden tarkastelujaksolla 1,7 t C/t C. Eri mallien välillä on suuria eroja, mikä johtuu niihin liitetystä oletuksista ja syy-seuraussuhteita kuvaavista tekijöistä parametrisoinneen. Myös eri malleissa toteutettu hakkuutapa vaikuttaa lopputulokseen. Kaikki mallit kuitenkin yhtä luukuunottamatta (Prebas) näyttivät yli 1,5-kertaista hiilinielunmenetystä ko. tarkastelujaksolla. Kaksi muuta mallia (Formit ja Efiscen) näyttivät kasvavaa hiilinielunmenetystä noin 25 vuoden päähän aloitusajankohdasta, minkä jälkeen hiilinielunmenetys alkoi vähentyä. Kolmella mallilla (Prebas, Format ja Efiscen) simulointi pystyttiin tekemään lähes vuosisadan loppuun, jona aikana hiilinielu säilyi pienempänä suuremman hakkuutason tapauksessa verrattuna alempaan hakkuutasoon.

Ilmastopaneelin vertailututkimuksessa esitetty nielun väheneminen hakkuiden kasvaessa kuvaa käytännössä myös sitä, mitä tapahtuu hakkuita pienentäessä kuten tässä selvityksessä tehty simulointi osoittaa (taulukko 1). Mallien tulosten epävarmuudet kasvavat sitä enemmän, mitä pitemmälle tulevaisuutta pyritään mallintamaan. Tällä hetkellä ei ole kuitenkaan parempaa keinoa arvioida, miten pysyvä hakkuutason nosto vaikuttaa tulevaisuudessa. Mallien perusteella ei voi sanoa varmasti, mitä tulevaisuudessa tapahtuu. **Tulokset osoittavat kuitenkin yhtenäisesti, ettei ole perusteita sanoa, että kasvattamalla pysyvästi hakkuita nykytasosta parannettaisiin metsiemme vuosittaista nettohiilinielua ainakaan 100 vuoden aikana.**

³⁸ Kalliokoski, T., Heinonen, T., Holder, J., Mäkelä, A., Minunno, F., Lehtonen, A., Packalen, T., Peltoniemi, M., Pukkala, T., Salminen, O., Scheilhaas, M.-J., Vauhkonen, J., Kanninen, M., Seppälä, J., Ollikainen, O. 2019. Skenaarioanalyysi metsien kehitystä kuvaavien mallien ennusteiden yhtäläisyyksistä ja eroista. Suomen ilmastopaneelin raportti 2/2019. <https://www.ilmastopaneeli.fi/aineistot-ja-raportit/#2019>.



SUOMEN ILMASTOPANEELI The Finnish Climate Change Panel

KYSYMYS 2: PUUTUOTTEET VARASTOIVAT HIILTÄ JA KORVAAVAT FOSSIILISIA POLTTOAINEITA JA MATERIAALEJA, JOISTA AIHEUTUU KASVIHUONEKAASUPÄÄSTÖJÄ. SAAVUTETAANKO METSIEN HYÖDYNTÄMISELLÄ SIIS ILMASTOHYÖTYJÄ?

Jyri Seppälä, Timo Pukkala, Tero Heinonen, Antti Kilpeläinen, Sampo Soimakallio & Markku Ollikainen

Vastaus

Koko Suomen kattava tarkastelu osoitti, että nykyisen kaltaisilla puutuotteilla ja -polttoaineilla ei pystytä kompensoimaan hakkuiden kasvattamisen kautta aiheutettuja hiilinielumenetyksiä ilmakehään ainakaan 150 vuoden aikajänteellä, jos hakkuutaso jää pysyvästi nykyistä (72 miljoonaa m³ vuodessa) suuremmaksi. Ainoastaan korvaushyötyihin ja puutuotteiden hiilivarastoihin keskittyminen luo siksi rajoittuneen mielikuvan metsien hyödyntämisen roolista ilmastomuutoksen hillinnässä.

Yksittäiselle istutuskuusikolle tehty laskelma osoitti, että metsikön talouskäytöllä ei saavuteta 80-vuotisen simulointijakson aikana ilmastohyötyjä verrattuna päätehakkaamattomaan metsään, kun otetaan samanaikaisesti huomioon metsikön hiilinielumuutokset sekä puutuotteiden hiilinielu- ja korvaushyötynäkökohdat. Esimerkissä kuusikkoa hyödynnetään tasaikäismetsätalouden suositusten mukaisesti ja verrataan tilanteeseen, jossa hoidettu 80-vuotinen kuusikko jätetään päätehakkaamatta. Kummassakin tarkastelutilanteessa ilmastovaikutus oli käytännössä sama kiertoajan lopussa. Lopputulos korostaa käytettyjen oletusten ja lähtötietojen merkitystä.

Käytännössä vain tukkipuusta saadaan puutuotteiden hiilinieluvaikutuksia. Niiden merkitys ei ole kuitenkaan suuri, koska tukkipuun hiilestä ohjautuu pitkäikäisiin tuotteisiin vain noin 45 prosenttia. Toisaalta tukkipuusta tehdään nykyisin myös puutuotteita, joilla saadaan selvästi suurempia tuotteiden valmistusvaiheen korvauseli substituutiovaikutuksia kuin kuitupuusta tehdyillä tuotteilla. Kuitu- ja tukkipuun substituutiovaikutusten suuruuteen vaikuttaa myös voimakkaasti oletus siitä, mihin tuotteiden hiili päätyy niiden käytön jälkeen ja mitä energiaa puujätteen poltto korvaa tuotteiden elinkaaren lopussa. Substituutiohyötyjen arviointiin liittyy myös paljon epävarmuuksia. Edellä esitetyissä laskelmissa on käytetty kirjallisuudessa yleisesti käytettyjä puutuotteiden ja -polttoaineiden substituutiokertoimia, joiden avulla arvioidaan puutuotteiden ja -polttoaineiden ilmastohyödyt.

Puupolttoaineiden ja -tuotteiden markkinajakauman ja substituutiokertoimien on laskelmissa oletettu pysyvän samoina tulevaisuudessa kuin mitä ne ovat nykyisin. Esimerkissä metsästä hakatun kuitu- ja tukkipuun suhde (kuitupuuta 25 % ja tukkipuuta 75 % ainespuusta) eroaa kuitenkin merkittävästi koko maan metsävarojen nykytilanteesta: ainespuusta kuitupuuta on noin 58 prosenttia ja tukkipuuta 42 prosenttia. Tämä kuitu- ja tukkipuun saantosuhde samoin kuin substituutiokertoimia koskeva oletus yliarvioinee puun hyödyntämisen ilmastohyötyjä verrattuna keskimääräiseen kuitu- ja tukkipuun saantosuhteeseen valtakunnan tasolla.

Metsikkötason ilmastovaikutusten kokonaistarkastelu tehtiin myös esimerkkikuusikon päätehakkuun jälkeiselle tilanteelle siten, että vaihtoehtoina oli jättää istutustaimikko kokonaan ilman metsänhoito-toimenpiteitä tai sitten metsikköä harvennetaan ja päätehakataan tasaikäismetsäntalouden nykyisten ohjeiden mukaisesti istutusvaiheesta eteenpäin. Puun hyötykäyttö ei tuonut ilmastohyötyjä, kun 1–159 vuoden laskentajaksoa tarkastellaan kokonaisuutena. Puun käytön ilmastohyötyjä saavutettiin toisen päätehakkuun jälkeisellä jaksolla (80–159 vuotta) verrattuna hoitamattomaan metsään, mutta nämä toisen jakson hyödyt jäivät aloitusjakson (1–79 vuotta) hiilidioksidimenetyksiä pienemmiksi.

Metsikkötason tarkastelu auttaa ymmärtämään eri tekijöiden merkitystä hiilitaseen kehityksessä, mutta se ei pysty antamaan kokonaiskuvaa koko Suomen metsien hyödyntämisen ilmastovaikutuksista. Koko Suomen metsien hiilinielukehityksen arvioinnissa puutuotteiden hiilinielu- ja substituutiohyötyjä arvioitiin Monsu-mallilla kahdella eri hakkuutasolla samoilla menetelmillä ja kertoimilla kuin metsikkötason laskelmissa. Kuitu- ja tukkipuun osuudet hakkuissa kuitenkin erosivat metsikkötason tarkastelusta selvästi. Osuudet olivat samat kuin mitä ne ovat keskimäärin nykyisin Suomessa (runkopuusta 59 % kuitupuuta ja 41 % tukkipuuta). Lisäksi simulointi tehtiin 100 vuoden aikajänteellä.

Suomen kattava metsien hyödyntämisen kokonaisilmastovaikutusten simulointi osoitti, ettei nykyhakkuu-tason (noin 72 miljoonaa m³ vuodessa) ylittävien hakkuiden aiheuttamaa metsien hiilinielumenetystä pystytä korvaamaan lisääntyvillä puutuotteilla ja -polttoaineilla kuluvan vuosisadan aikana. Perusskenaariossa puutuotteiden ja -polttoaineiden substituutiovaikutusten tulisi olla vähintään 4,5-kertaiset tässä laskelmassa käytettyihin kertoimiin nähden, jotta metsien lisähakkuiden nielunmenetys pystyttäisiin kompensoimaan niillä. Tehostetut metsänhoitotoimet (metsien lannoitus ja jalostetun siemen- ja taimimateriaalin käyttö) eivät muuta kokonaiskuvaa, mutta pienentävät eri hakkuutasojen välistä hiilinielun eroa. Vähittäisen ilmastomuutoksen (2 asteen globaali lämpötilannousu) vaikutusten huomioonottaminen pienentää myös hakkuutasojen välistä nielunmuutosta tarkastelujakson loppupuolella, koska ilmastomuutos parantaa puuston kasvua. Skenaariossa, jossa jalostetun uudistamismateriaalin käytön, lannoituksen ja ilmastomuutoksen yhteisvaikutus on otettu huomioon, puutuotteiden ja -polttoaineiden substituutiovaikutusten tulisi olla noin kolminkertaiset tämän selvityksen laskelmassa käytettyihin kertoimiin nähden, jotta metsien lisähakkuiden nielunmenetys pystyttäisiin kompensoimaan 100 vuoden aikana.

Laskelmatuloksiin voi liittyä joitakin epävarmuuksia ja virhemahdollisuuksia. Käytetyt puutuotteiden ja -polttoaineiden substituutiokertoimet ovat hyvin linjassa tieteellisessä kirjallisuudessa esitettyjen kertoimien kanssa. Niiden käyttö tulevaisuuden simuloinnissa todennäköisesti jossain määrin yliarvioi puun käytön ilmastohyötyjä, koska puutuotteiden substituutiokertoimien on oletettu säilyvän nykyisen kaltaisina myös tulevaisuudessa. Puutuotteiden varaston muutoksen arviointi perustuu tehdyissä laskelmissa kasvihuone-kaasuinventaariorissa käytettyyn menetelmään. Hakkuiden aiheuttama hiilinielun menetys on suuruus-luokaltaan samaa luokkaa vastaavien simulointimallien tulosten kanssa.

Hakkuiden aiheuttama hiilinielun suuri menetys johtuu useasta tekijästä. Suomen metsät ovat keskimäärin nuoria ja metsiemme hakkuuintensiteetti on nykyisin korkea suhteessa puiden kasvuun. Aikaisten päätehakkuiden seurauksena puuston kasvupotentiaalia ei hyödynnetä täysmääräisesti. Tätä vaikutusta kuvaa hyvin se, että koko maan kattavassa perusskenaariossa pienemmällä hakkuumäärällä metsien keski-ikä suurenee 34 vuodella 100 vuoden aikana. Nykyhakkuu-tasolla puuston keski-ikä suurenee 100 vuoden aikana 19 vuodella.

Tarkastelussa arvioitiin metsien hyödyntämisellä aiheutettu kumulatiivinen nettohiilidioksidipäästö 100 vuoden aikana, kun vertailutilanteessa vuotuiset hakkuut olivat noin 9 miljoonaa m³ alhaisempia nykyhakkuu-tasoon nähden. 100 vuoden kumulatiiviseksi nettopäästökseksi, jossa on laskettu vuosittain yhteen metsien ja tuotteiden hiilivarastojen muutosten vaikutukset puutuotteiden ja -polttoaineiden korvaushyötyjen kanssa, saatiin jalostushyöty-, lannoitus- ja ilmastomuutos-skenaariossa 1 248 Mt CO₂ eli 12,5 Mt CO₂ vuodessa. Perusskenaariossa nielunmenetyksen kautta syntyvä suuremman hakkuutason hiilidioksidipäästö

oli jopa 1,7 kertaa suurempi. Koska vielä 100 vuoden kuluttuakin pienemmällä hakkuutasolla metsien nettohiilinielu on suurempi kuin nykyhakuutasolla, on ilmeistä, että lisähakkuiden nielunmenetyksen kautta syntyviä hiilidioksidipäästöjä ei pystytä korjaamaan edes 150 vuoden aikajänteellä.

Lopuksi voidaan todeta, että kysymys kohdentaa huomion pelkästään puun hyödyntämisen kautta saataviin puutuotteiden ja -polttoaineiden ilmastohyötyihin, eikä tuo esiin metsän puuston ja maaperän hiilivaraston muutoksen eikä aikajänteen merkitystä metsien hyödyntämisen ilmastovaikutuksien arvioinnissa.

Vastauksen yksityiskohtaiset perustelut

LÄHESTYMISTAPA

Kysymystä esitetään usein hiukan erilaisissa muodoissa, mutta perusajatus on sama. Ajatuskulku on, että metsäbiomassan hyödyntämisellä voidaan saavuttaa ilmastohyötyjä, mikäli puusta ja puunjalostuksen sivuvirroista valmistetaan puutuotteita ja -polttoaineita, jotka vähentävät fossiilisia päästöjä, kun ne korvaavat suurempipäästöisten tuotteiden ja polttoaineiden käyttöä. Lisähyötyjä saavutetaan myös puutuotteiden varastoiman hiilen kautta. Näiden ilmastohyötyjen saaminen edellyttää kuitenkin, että hakkuiden aiheuttama metsien hiilinielujen vähenemisen vaikutus on pienempi kuin puutuotteiden hiilivaraston lisäämisen sekä puutuotteiden ja -polttoaineiden fossiilisia päästöjä vähentävät vaikutukset. Puutuotteiden korvaus- eli substituutiohyödyillä tarkoitetaan kasvihuonekaasupäästöjen vähennyksiä, jotka syntyvät siitä, että puutuotteet korvaavat elinkaarensa aikana saman käyttötarkoituksen omaavia, enemmän fossiilisia ja prosessilähtöisiä kasvihuonekaasupäästöjä aiheuttavia materiaaleja ja polttoaineita.

Metsien käytön ilmastovaikutuksen suuruuteen vaikuttavat seuraavat kolme keskeistä tekijää:

- puustoon ja maaperään sitoutuneen hiilivaraston muutos
- puutuotteisiin sitoutuneiden hiilivarastojen muutos
- puutuotteiden käytöllä vältetyt fossiiliset ja prosessilähtöiset kasvihuonekaasupäästöt (ns. substituutiovaikutukset)

Näiden kolmen tekijän yhteisvaikutuksesta syntyvä ilmastovaikutus on erilainen yksittäisen metsikön tasolla eri ajanhetkinä. Siihen vaikuttavat muun muassa metsikön rakenne (puulajisto sekä koko- ja ikärakenne) ja hakkuiden ajoitus sekä kasvuolosuhteet sekä se, millaisia tuotteita puusta tehdään.

Puun käytön metsikkötason vaikutusta havainnollistettiin kysymyksen 1 osalta istutetulla kuusikolla, jota harvennettiin nykyisen tasaikäismetsätalouden suosituksien mukaisesti ja uudistettiin avohakkuuta käyttäen 80-vuotisen SIMA-metsäekosysteemimallilla tehdyn simulointijakson lopussa. Metsän päätehakkuu vähentää merkittävästi metsikön hiilivarastoa, kunnes uuden puusukupolven kasvu alkaa kuroa umpeen metsikön hiilivajetta verrattuna kuusikkoon, jossa päätehakkuu jätetään tekemättä. Päätehakattu metsikkö toimii nettohiilinieluna vasta kiertoajan loppupuolella uuden puusukupolven kasvattaman hiilivaraston ylittäessä hakkuiden kautta menetetyt hiilivaraston metsikössä.

Myös koko maan kattava metsien hyödyntämisen Monsu-mallilla tehty simulointi kertoi selvästi, että vähentämällä nykyhakuutasoa (72 miljoonaa m³ vuodessa) tasoon 63 miljoonaa m³/v saavutetaan merkittävä vuotuinen nettohiilinielulisäys ainakin seuraavan 100 vuoden ajan. Hakkuiden seurauksena tapahtuva mahdollinen biologisen nielun voimistuminen ei riitä korvaamaan menetettyä nettohiilinielua ainakaan 100 vuoteen. Esitetyn kysymyksen kannalta olennaista on, ovatko puutuotteiden hiilinielujen ja korvausvaikutusten tuomat ilmastohyödyt niin merkittävät, että hakkuiden kasvattaminen on ilmastonmuutoksen hillinnän näkökulmasta perusteltua.

Tarkastelemme kysymystä luonnontieteellisestä näkökulmasta katsomalla, mistä tekijöistä puun hakkaamisen ja teollisen hyödyntämisen ilmastovaikutukset muodostuvat. Näiden tekijöiden vaikutuksia tarkastellaan ensin esimerkkikuusikon avulla ja arvioidaan niiden keskinäistä merkitystä ajan suhteen. Tämän

jälkeen kysymystä tarkastellaan Suomen metsävarojen näkökulmasta, kun metsien hiilinielut, tuotteiden hiilivarastot ja puusta saatavien tuotteiden korvaushyödyt kehittyvät ajan mukana, kahdella eri hakkuutasolla.

PUUN HYÖDYNTÄMISEN ILMASTOVAIKUTUKSIIN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

Puun hyödyntämisen ilmastovaikutuksien kokonaisuutta tarkastellaan tieteellisissä tutkimuksissa tavallisesti metsän ja puutuotteiden hiilivaraston muutoksien sekä puutuotteiden käytöllä saavutettavien vältettyjen fossiilisten kasvihuonekaasupäästöjen (ns. substituutiovaikutusten) yhteisvaikutuksena.³⁹ Jos metsän hiilivarasto vähenee, metsä toimii päästölähteenä⁴⁰. Jos metsän hiilivarasto kasvaa, metsä toimii nieluna. Sama koskee tuotteiden hiilivarastoa. Puutuotteiden *substituutiovaikutuksilla* tarkoitetaan tässä yhteydessä fossiilisia kasvihuonekaasujen päästövähennyksiä, kun puutuotteet korvaavat tuotteita, jotka aiheuttavat enemmän fossiilisia tai prosessiperäisiä päästöjä elinkaarensa aikana. Tämä vastaa yleisesti käytössä olevaa tulkintaa puutuotteiden substituutiovaikutuksista.

Hakkuut pienentävät hiilivarastoa metsikössä, kunnes puuston lisäkasvu alkaa kuroa umpeen hakkuiden synnyttämää hiilivajetta metsikössä. *Hiilivaje* syntyy, kun metsiköstä hakattu puumäärä poistetaan metsiköstä ja metsään jääneet hakkuutähteet hajoavat. Metsän hyödyntämisen *nettoilmastovaikutus* kunakin ajanhetkenä on positiivinen, jos metsään synnytetyn hiilivajeen seurauksena aiheutettu hiilidioksidipäästö on ilmastovaikutuksiltaan pienempi kuin tuotteiden substituutio- ja nieluvaikutusten aiheuttamat hiilidioksidipäästöjen vähennykset ilmakehästä.

PUUTUOTTEIDEN HIILIVARASTON MUUTOS

YK:n ilmastopöytäkirjan mukaisessa kasvihuoneinventaariorissa kaikki metsästä otettu puu käsitellään välittömänä päästönä. Todellisuudessa kuitenkin ihmisen käyttöön siirtyneen puun hiili ei vapaudu heti ilmakehään, vaan iso osa siitä varastoituu puutuotteisiin eripituisiksi ajoiksi. Tämän takia kasvihuonekaasuinventaariorissa tehdään puutuotteita koskeva korjaus, jolla arvioidaan ihmisen käyttöön otettujen puuvirtojen hiilivarastojen muutosta. Jos jonakin vuotena puutuotteiden hiilivarasto kasvaa, se toimii hiilinieluna. Jos taas varastosta hajoaa enemmän hiiltä kuin sinne tulee, puutuotevarasto toimii hiililähteenä.

Varaston muutosta voidaan arvioida erilaisilla IPCC:n laskentaohjeiden mukaisilla yhtälöillä. Periaatteessa kukin jäsenmaa saa valita haluamansa menetelmän, mutta yleisin käytetty on ns. tuotantomenetelmä ("product in use")⁴¹. Tätä käytetään myös Suomen kasvihuonekaasuinventaariorin tulosten raportoinnissa. Se maa, joka tuottaa puutuotteita, saa hiilivaraston muutostuloksen käyttöönsä eikä puutuotteiden käyttäjää.

Tuotantomenetelmässä kriittinen tekijä on puutuotteiden hajoamisnopeus. Eri maat joutuvat käyttämään samoja oletuksia eri tuoteryhmien hiilisisällön hajoamisnopeudesta. Lähtökohtana on melko karkea päätuotejako, joiden tuotteille on määritelty puoliutumisaajat. Nämä puoliutumisaajat yhdessä hajoamis-

³⁹ Metsähoitoon liittyy myös jonkin verran maankäytön muutoksiin aiheuttamia typpioksiduuli- ja metaanipäästöjä, mutta metsien hyödyntämisen vaihtoehtotarkasteluissa ne jätetään yleensä pois vähäisen merkityksensä takia. Metsätalous vaikuttaa myös puuston aiheuttamiin aerosolipäästöihin (viilentävä vaikutus) ja metsämaan heijastusvaikutuksiin eli albedoon (lämmittävä vaikutus). Niiden vaikutusten arviointi on vielä kehitysvaiheessa. Yleensä niiden ilmastovaikutusten katsotaan kumoavan melko hyvin toisensa, minkä takia niitä ei yleensä oteta huomioon metsänkäytön ilmastovaikutusten vertailututkimuksissa.

⁴⁰ Tässä yhteydessä käytetään samaa terminologiaa kuin kasvihuonekaasupäästöinventaariorissa, eli hiilen lähteen sijasta puhutaan päästöistä (vrt. tutkimuskysymys 1).

⁴¹ IPCC 2019. IPCC Updates Methodology for Greenhouse Gas Inventories. <https://www.ipcc.ch/2019/05/13/ipcc-2019-refinement/>.

nopeutta kuvaavan yhtälön kanssa tuottavat kulloisenkin tuotteista vapautuvan hiilimäärän. Tuotteiden hiilivarastonmuutoksen arviointi tarvitsee myös tiedon hiilivaraston alkutilasta ja tiedot kunakin vuonna varastoon tulvasta hiilimäärästä. Tässä selvityksessä tuotteiden hiilinielun arviointi perustuu tuotantomenetelmään sekä metsikkötarkasteluissa että koko maata koskevien hakkuuskenaarioiden yhteydessä. Laskelmissa on käytetty IPCC:n oletuskertoimia puutuotteiden puoliutumisaajoille. Sahatavaran puoliutumisaika on 35 vuotta ja puupaneelien 25 vuotta. Vanerituotteiden osuus rakennustuotteiden puuvirrasta on vain noin 11 prosenttia. Sellutuotteille puoliutumisaika on 2 vuotta. Koska tämän selvityksen tarkoituksena on ollut havainnollistaa hakkuutasojen muutosten merkitystä puun hyödyntämisen ilmastovaikutuksiin, ei puutuotevarastojen alkutilalla ole arvioinnissa merkitystä eli laskelmissa puutuotteiden hiilen aloitusvarasto on ollut nolla ennen ensimmäistä hakkuuta.

PUUTUOTTEIDEN SUBSTITUUTIOVAIKUTUS JA SEN ARVIOINTI

Puutuotteiden substituutiovaikutukset syntyvät, kun puutuotteet korvaavat saman käyttötarkoituksen omaavia, pääasiassa muista materiaaleista kuin puusta koostuvia tuotteita. Yleensä puutuotteiden elinkaariset fossiiliset ja prosessiperäiset kasvihuonekaasupäästöt ovat pienempiä kuin kilpailevien tuotteiden, minkä takia niiden substituutiovaikutukset ovat positiivisia eli ne tuottavat ilmastohyötyjä. Jotta korvausvaikutuslaskelmia pystytään tekemään, täytyy puutuotteiden ja kilpailevien tuotteiden olla toiminallisten ominaisuuksien ja käyttötarkoituksen osalta samanlaisia. Käytännössä arviointi tehdään siten, että puutuotteiden sisältämä hiilisisältö kerrotaan tuotetta vastaavalla substituutiokertoimella, jolloin saadaan vältetty fossiilisen tai prosessiperäisen päästön hiilen määrä (joka muutetaan tavallisesti hiilidioksidimääräksi). Yleisesti käytetty substituutiokertoimien laskentakaava on esitetty Sathren ja O'Connorin julkaisussa⁴².

Puutuotteiden substituutiokertoimet ilmaistaan tyypillisesti vältettyinä hiilipäästöinä puutuotteen sisältämää hiilimäärää kohti, yksikössä t C/ t C. Jos tulos on esimerkiksi 1,1 t C/t C, puutuotteen yksi hiilitonni korvaa 1,1 tonnia fossiiliset ja prosessiperäistä hiiltä. Laskelmissa muutetaan vältetyt CO₂-ekvivalenttina arvioidut päästöt hiileksi yksinkertaisesti hiilidioksidin hiilisisällön perusteella eli CO₂-ekvivalenttipäästö (esimerkiksi tonneina) kerrotaan suhdeluvulla 12/44.

Substituutiokertoimet ovat hankalasti arvioitavissa. Suurin epävarmuus liittyy siihen, mitä tuotteita puutuotteiden voidaan olettaa milloinkin korvaavan. Lisäksi arviota vaikeuttavat laskennassa tarvittavien elinkaariarviointien lähtötietojen puutteet ja herkkyydet erilaisille oletuksille sekä puutuotteiden että niiden kanssa kilpailevien tuotteiden osalta. Kirjallisuudessa esitetyt substituutiokertoimet koskevat usein vain tuotteiden valmistuksen päästöjä. Tuotteen käytön ja kiertotaloustoimenpiteiden (uusiokäyttö, uusiotuotanto, kierrätys ja niiden kautta synnytyt mahdolliset uudet tuotteet) päästövaikutukset on erittäin vaikea arvioida: kiertotaloustoimenpiteiden substituutiovaikutuksia koskeva laajempi, nykyisiä puutuotteita koskeva arvio käytännössä puuttuu kirjallisuudesta. Ongelman vaikeutta kuvaa se, ettei arvioon riitä tieto siitä, mitä puutuotteille tapahtuu ensimmäisen käytön jälkeen, vaan samat tiedot tarvitaan myös korvattavista tuotteista. Sen sijaan hylättyjen puutuotteiden energiahyödyntäminen on paremmin arvioitavissa, sillä puun polttamisen substituutiokertoimet ovat kirjallisuudesta hyvin löydettävissä.

Yksittäisten tuotteiden substituutiokertoimien avulla ei voi tehdä johtopäätöksiä puutuotteilla ja -polttoaineilla saatavista korvaushyödyistä. Lopputulokseen vaikuttaa olennaisesti se, kuinka paljon mitään tuotetta valmistetaan. Tuotteiden valmistusmäärät metsästä otetusta puusta pitää pystyä siis myös arvioimaan. Koska substituutiokertoimet ilmaistaan tyypillisesti tuotteen sisältämää hiilitonnia kohti, substituutiohyöty

⁴² Sathre, R., O'Connor, J., 2010. Meta-analysis of greenhouse gas displacement factors of wood product substitution. *Environmental Science and Policy* 13,104-114.

hakkuista saatua puumäärää kohti ei ole sama kuin tuotteiden substituutiokertoimien ja valmistusmäärien tulo. Muun muassa sellutehtaissa käytetään runsaasti puuraaka-ainetta oman tehtaan energian tuottamiseen, mikä näkyy substituutiokertoimien arvioinnissa nollopäästöisenä. Omaa tuotantoa palveleva tai prosessihukkana syntyvä puumäärä vaikuttaa kuitenkin hiilivarastojen muutokseen metsissä. Tämän takia metsäteollisuuden puun hyödyntämisen ilmastovaikutuksien laskennan lähtökohtana pitää olla arvio siitä, kuinka paljon substituutiovaikutuksia syntyy hakattua runkopuuyksikköä kohti. Jotta tämä saadaan arvioitua, tarvitaan tuotteiden valmistusmäärien ja substituutiokertoimien lisäksi myös tieto siitä, kuinka hakkuista saadun puun käyttö kohdentuu eri metsäteollisuuden tuotantoprosesseihin.

Tässä raportissa metsäteollisuuden tuotejärjestelmän sisällä tapahtuva puun hiilivirta eri tuotantoprosessien välillä on arvioitu Luonnonvarakeskuksen vuoden 2017 tilannetta kuvaavan tiedonannon⁴³ ja Hurmekosken ym. artikkelin⁴⁴ pohjalta (taulukko 2). Käytetyssä arviossa metsäteollisuuden käyttämästä runkopuusta noin 40 prosenttia on tukkipuuta ja loput 60 prosenttia kuitupuuta. Tukkipuusta päätyy hiilenä mitattuna sahatavaraksi ja vaneriksi noin 45 prosenttia, suoraan polttoon noin 33 prosenttia, selluteollisuuden kuitupuuksi 18 prosenttia ja häviöihin sekä omaan energiatuotantoon 4 prosenttia. Vastaavasti kuitupuun hiilestä 46 prosenttia ohjautuu tuotteisiin, 5 prosenttia ulkoiseen energiatuotantoon ja 49 prosenttia tehtaan energiatarpeisiin häviöineen. Eri tuoteryhmien tuotteisiin sitoutuvana hiilimääränä ja niiden keskimääräisinä substituutiokertoimina on peruslaskemassa käytetty Hurmekosken ym.⁵ esittämiä arvioita.

Taulukko 2. Metsäteollisuuden tuote/välituoteryhmien vastaavat tuotantomäärät ja niitä vastaavat substituutiokertoimet (SK) per tuotteiden hiilimäärä vuoden 2016 tilanteessa⁴⁵.

Tuote/välituoteryhmä	Tuotantomäärä (Mt C)	SK (t C/t C)
Sahatavara	2,4	1,0
Vaneri	0,3	0,5
Mekaaninen sellu	0,9	0,0
Puolikemiallinen massa	0,2	1,4
Sulfaattisellu	2,6	0,1
Liukoselluloosa	0,1	3,0
Energia (CHP)	1,8	0,7
Tehtaiden energia	5,1	0,0
Nestemäiset polttoaineet	0,0	0,7
Kemikaalit	0,0	1,3
Tuotantohäviöt	0,7	0,0
Yhteensä	14,1	

⁴³ Luonnonvarakeskus 2019. <https://www.luke.fi/uutinen/puun-kuiva-ainetta-kaytettiin-lahes-40-miljoonaa-tonnia-vuonna-2019/>.

⁴⁴ Hurmekoski, E., Myllyviita, T., Seppälä, J., Heinonen, T., Kilpeläinen, A., Pukkala, T., Mattila, T., Hetemäki, L., Asikainen, A., Peltola, H., 2020. Impact of structural changes in wood-using industries on net carbon emissions in Finland. J. Ind. Ecol. 24, 899–912.

⁴⁵ Hurmekoski, E., Myllyviita, T., Seppälä, J., Heinonen, T., Kilpeläinen, A., Pukkala, T., Mattila, T., Hetemäki, L., Asikainen, A., Peltola, H., 2020. Impact of structural changes in wood-using industries on net carbon emissions in Finland. J. Ind. Ecol. 24, 899–912.

Edellä esitettyjen tietojen perustella tukkipuun tuotteiden valmistuksen (pl. välitön energiahyödyntäminen) substituutiokerroin on keskimäärin noin 0,44 t C/t C, eli yksi metsästä korjatun tukkipuun hiilitonni vähentää fossiilista ja prosessiperäistä hiilipäästöä ilmakehään 0,44 tonnia. Kuitupuusta saatava tuotteiden valmistuksen korvaushyöty on puolestaan keskimäärin noin 0,11 t C/t C. Todettakoon, että jos arvio tehdään kuitupuun tuotteiden hiilisisältöä kohti, valmistuksen substituutiokertoimeksi saadaan 0,25 t C/t C, kun arvioinnissa on käytetty Hurmekosken ym. artikkelin kuitupuusta saatavien tuotteiden (pl. energiahyödyntäminen) tuotantomäärillä painotettuja keskimääräistä substituutioarvioita (per tuotteiden hiilisisältö) vastaavilla tuotantomäärillä. Vastaavasti tukkipuun tuotteiden hiilimäärää kohti tehty keskimääräinen substituutiokerroin on 0,93 t C /t C (taulukko 2).

Nykyisin puu korvaa energiatuotannossa pitkälti fossiilisia polttoaineita ja energian käytön puun substituutiokerroin on arvioitu olevan noin 0,7 t C/t C puutuotteiden hiilisisältöä kohti arvioituna. Sellutuotteet kierrätyskuituineen ovat keskimäärin vain muutaman vuoden tuotteina, minkä jälkeen ne päätyvät yleensä polttoon. Tämän nykyisten sellutuotteiden substituutiovaikutuksen voi karkeasti arvioida muodostuvan tuotteiden valmistuksen ja polton hyötykäytön yhteisvaikutuksena. Tällöin kuitupuun kokonaissubstituutiokertoimeksi saadaan noin 0,47 t C/t C, kun arvio on tehty käytettyä kuitupuun hiilimäärää kohti ja arviossa on otettu huomioon edellä esitetyt kuitupuun hiilivirrat metsäteollisuuden tuotantojärjestelmässä.

Tukkipuun välittömän energiahyödyntämisen substituutiohyödyn arviointi on tehty käyttämällä nykytilanteessa substituutiokerrointa 0,7 t C /t C. Saha- ja levyteollisuuden puutuotteiden energiahyödyntämisen aiheuttaman korvaushyödyn arviointi on vaikeampaa, koska niiden hiili päätyy polttoon tuotevaiheen loputtua. Kuten edellä todettiin, IPCC:n puutuotteiden hiilinielumalleissa sahatavaran puoliutumisaika on 35 vuotta ja vanerin 25 vuotta. Kulloinenkin polttoon vapautuva hiilimäärä lasketaan tämän puoliutumisaajan ja sitä hyödyntävän tuotantomenetelmän yhtälön perusteella. Laskelmissa saadaan esimerkiksi tulos, että puolet sahatavarasta on poltettu ennen vuotta 35 ja loput tämän jälkeen. Peruslaskennassa on käytetty oletusta, että tukkipuun energiahyödyntämisen substituutiokertoimenä käytetään nykyistä kerrointa (0,7 t C /t C). Tällöin tukkipuun tuotteiden ja polton yhteenlasketuksi substituutiokertoimeksi saadaan 0,67 t C/t C, kun arvio on tehty käytettyä kuitupuun hiilimäärää kohti ja arviossa on otettu huomioon edellä esitetyt kuitupuun hiilivirrat metsäteollisuuden tuotantojärjestelmässä.

Perusteltu oletus on, että puutuotteiden polton substituutiokerroin pienenee ajan kuluessa puuenergian substituutiokertoimen pienentyessä, kun energiatuotanto vapautuu yhä enemmän fossiilisesta energiasta ja puun energiakäytön vaihtoehdoksi löytyy muita puhtaita energiatuotantotapoja (esimerkiksi tuuli- ja aurinkoenergia). Tämän takia metsikkötarkasteluissa ja koko maan kattavissa mallitarkasteluissa on tehty herkkyystarkastelu, jossa puun polton substituutiokerroin pienenee nolnaan lineaarisesti tästä päivästä vuoteen 2070 mennessä. Tuotteista vapautunut hiilimäärä polttoon kulloisellakin ajan hetkellä on laskettu puutuotteiden varastomuutosta kuvaamalla tuotantomenetelmällä (ks. kohtaa ”puutuotteiden hiilivarastoa koskeva muutos”).

Puutuotteiden valmistusvaiheen tulevaisuuden substituutiokertoimiin liittyy erittäin suurta epävarmuutta. On vaikea tietää, mitä tuotteita mitkäkin puutuotteet korvaavat tulevaisuudessa. Vaikka metsäteollisuus pyrkii tuotannossaan eroon fossiilisista polttoaineista, myös kilpailevien tuotteiden osalta tapahtuu samaa, ja niiden päästövähennyspotentiaali on yleensä suurempi kuin puutuotteilla. Jos esimerkiksi hiilivapaa teräs syrjäyttää merkittäväällä osuudella perinteisesti valmistettua terästä ja betonin päästöt saadaan huomattavasti nykyistä pienemmiksi, rakentamisen puutuotteiden valmistuksen substituutiokerroin pienenee merkittävästi, jopa lähelle nolaa. Tässä raportissa kuitenkin puutuotteiden valmistuksen substituutiokertoimet on pidetty nykyisen suuruisina. Vaikka kiertotaloustoimenpiteiden yhteisvaikutusta substituutiohyötyihin ei ole otettu laskelmissa huomioon niiden arviointiin liittyvien vaikeuksien ja tiedon puutteen takia, voidaan sanoa, että

työssä käytetyt substituutiokertoimet ovat linjassa kirjallisuudessa esitettyjen arvioiden kanssa. Asiaa on tarkemmin käsitelty koko maata koskevan metsätarkastelun yhteydessä.

METSIKKÖTARKASTELUT

Eri tekijöiden merkitystä ilmastohyötyihin ajan suhteen on hahmoteltu seuraavassa esimerkikiuusikon avulla. Metsikkötarkastelu on toteutettu Itä-Suomen yliopistossa kehitetyllä Sima-mallilla⁴⁶. Tarkasteltavana on kaksi tilannetta, joissa seurataan istutuskuusikon hiilivaraston ja siitä saatavien puutuotteiden hiilivaraston muutosta sekä tuotteiden substituutiovaikutuksia. Ensimmäinen tilanne vastaa kysymyksen 1 metsikkötarkastelua. Siinä 1. ja 2. harvennushakkuun jälkeen istutuskuusikko hakataan 80-vuotiaana tai jätetään hakkaamatta. Toisessa tilanteessa vaihtoehtoina on päätehakkuun jälkeen hoitaa istutettua kuusimetsää tasaikäismetsätalouden suositusten mukaisesti tai sitten ei hakata lainkaan. Tilanteessa 2 kummassakin vaihtoehdossa päätehakkuun jälkeen istutetaan kuusitaimikko. Taulukossa 3 on esitetty kummankin tarkastelutilanteen hakkuutapahtumat, kun metsää hyödynnetään.

Taulukko 3. Esimerkkikiuusikon hakkuiden ajankohdat ja saadut puumäärät kahdessa eri tilanteessa. Tilanteessa 1 päätehakataan 80-vuotias istutuskuusikko tarkastelujakson alussa. Tilanteessa 2 tarkastelu alkaa päätehakkuun jälkeisestä ajasta, jolloin heti alussa istutetaan kuusikko.

Hakkuutapahtuma	Ajankohta (vuosi)	Hakkuissa poistettu runkopuu yhteensä (g CO ₂ /m ²)	Hakkuiden tukkipuu (g CO ₂ /m ²)	Hakkuiden kuitupuu (g CO ₂ /m ²)
Tilanne 1				
Päätehakkuu	1	23 350	20 520	2 830
1. harvennushakkuu	29	2 737	0	2 737
2. harvennushakkuu	48	6 790	4 033	2 757
Tilanne 2				
1. harvennushakkuu	32	2 559	0	2 559
2. harvennushakkuu	53	2 513	0	2 513
1. päätehakkuu	80	23 350	20 520	2 830
3. harvennushakkuu	108	2 737	0	2 737
4. harvennushakkuu	127	6 790	4 033	2 757

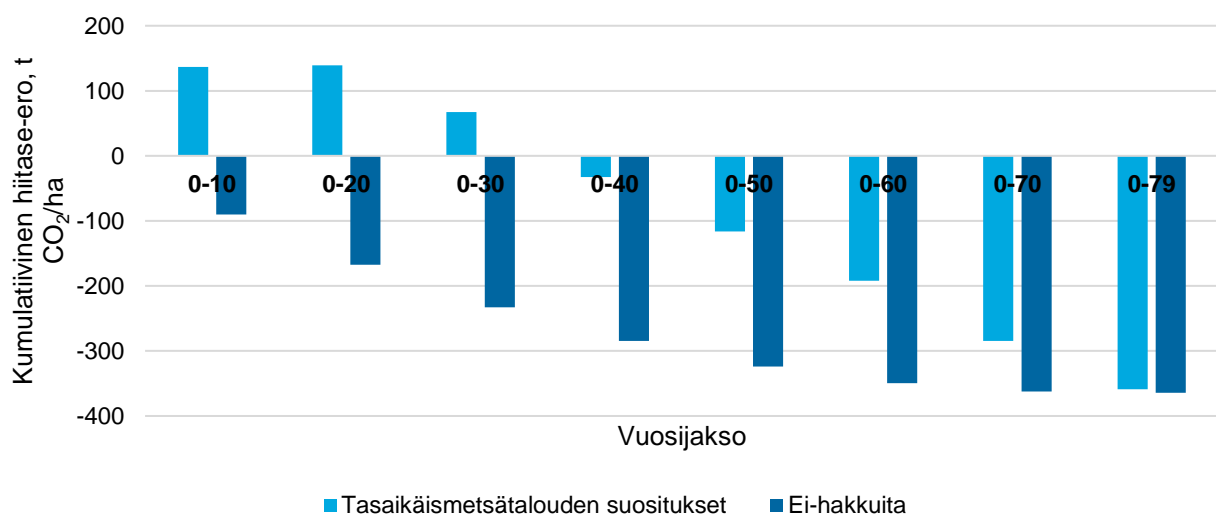
Tilanteen 1 tulokset (taulukko 4) kertovat, että tasaikäismetsätalouden suositusten mukaisesta metsiköstä saadut tuotteiden hiilivarastojen muutokset näkyvät päätehakkuun jälkeen nieluna ensimmäisenä 10-

⁴⁶ Kellomäki ym. 2008. Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci. 363(1501): 2341–2351.

vuotiskautena, minkä jälkeen tuotteiden hiilivarastot näyttäytyvät päästöinä, kunnes seuraava hakkuutapahtuma muuttaa tilanteen. Puutuotteiden nettohiilivaikutus on kuitenkin koko 79-vuotiskautena selvästi pienempi kuin puutuotteilla saatavat substituutiovaikutukset. Tuotteilla saadut ilmastohyödyt yhdessä uudistetun metsän biologisen hiilinielun kanssa kompensoivat vasta tarkastelujakson lopussa etenkin päätehakkuun aiheuttaman hiilivaraston pienenemisen vaikutuksen (taulukko 4 ja kuva 14). Tuloksiin liittyy luonnollisesti epävarmuutta ja lisäksi oletus, että puun energia- ja materiaalikäytön substituutiovaikutukset säilyvät nykyisen suuruisena myös tulevaisuudessa. Jos oletetaan, että puun polton substituutiokerroin pienenee nolnaan lineaarisesti tästä päivästä vuoteen 2070 mennessä, lopputuoksena saadaan, että Ei hakkuita -vaihtoehdon ilmastohyödyt ovat tarkastelujakson lopussa noin 20 prosenttia suuremmat.

Taulukko 4. Esimerkkikuusikon nettoilmastovaikutuksen tulos (t CO₂/ha) 10-vuotiskausina ja tarkastelujakson (0–79 vuotta) kumulatiivisena tuloksena tilanteissa, jossa 80-vuotias istutuskuusikko päätehakataan tarkastelujakson alussa ja sitä hoidetaan siitä lähtien tasaikäismetsätalouden ohjeiden mukaisesti tai jätetään kokonaan hakkaamatta (Ei hakkuita -vaihtoehto). Negatiivinen luku kertoo ilmakehästä poistetun hiilidioksidimäärän ja positiivinen luku ilmakehään aiheutetun hiilidioksidimäärän.

Vuosisjaksot	Metsän hiilivaraston muutos		Puutuotteiden varaston muutos		Substituutiovaikutus		Yhteensä	
	Tasaikäis. suos.	Ei hakkuita	Tasaikäis. suos.	Ei hakkuita	Tasaikäis. suos.	Ei hakkuita	Tasaikäis. suos.	Ei hakkuita
0–10	385	90	-77	0	-172	0	137	-90
11–20	-2	-77	15	0	-11	0	2	-77
21–30	-62	-66	4	0	-14	0	-72	-66
31–40	-105	-52	16	0	-11	0	-100	-52
41–50	-26	-39	-16	0	-42	0	-84	-39
51–60	-81	-26	16	0	-11	0	-76	-26
61–70	-95	-13	8	0	-5	0	-92	-13
70–79	-76	-2	6	0	-4	0	-74	-2
0–79	-61	-364	-28	0	-270	0	-359	-364



Kuva 14. Esimerkkikuusikon kumulatiivinen hiitase-eron kehitys eri vuosijaksoina Taulukko 4 tilanteessa (metsikkötarkastelun tilanne 1). Kunkin jakson tulos kertoo nettoilmastovaikutuksen tarkastelujakson alusta ko.

jakson loppuun. Negatiivinen luku kertoo ilmakehästä poistetun hiilidioksidimäärän ja positiivinen luku ilmakehään aiheutetun hiilidioksidimäärän.

Taulukossa 5 on esitetty esimerkkikuusikon toisen tarkastelutilanteen nettoilmastovaikutusten tulokset vuosien 1–79 ja 80–159 ajanjaksoissa. Tulokset on esitetty päätehakatun metsikön eri hyödyntämisvaihtoehtojen – metsikköä hoidetaan tasaikäikäismetsätalouden suositusten mukaisesti tai jätetään hoitamatta – tulosten erotuksena. Taulukosta 5 nähdään, että puun hyötykäyttö jää päästön puolelle (167 kg CO₂/ha) 159 vuoden aikajänteellä verrattuna tilanteeseen, jossa metsikkö jätetään aloitustilanteen eli päätehakkuun jälkeen hoitamatta. Toisaalta toisen päätehakkuun jälkeen (80–159 vuotta) metsähoito tuottaa jo ilmastohyötyjä, mutta ne eivät pysty kompensoimaan vuosien 1–79 nielunmenetystä.

Taulukko 5. Esimerkkimetsikön ja siitä saatujen tuotteiden hiilivarastomuutosten ja substituutiohyötyjen kumulatiiviset nettoilmastovaikutukset ajanjaksoilla 1–79 ja 80–159 vuotta kun tulokset on esitetty päätehakatun metsikön hyödyntämisvaihtoehtojen (metsikköä hoidetaan tasaikäikäismetsätalouden suositusten mukaisesti tai jätetään hakkaamatta) tulosten erotuksena. Positiivinen arvo kertoo tasaikäikäismetsätalouden suositusten mukaisen vaihtoehdon aiheuttaman hiilidioksidipäästön ilmakehään ja negatiivinen arvo vastaavasti ilmakehästä poistetun hiilidioksidimäärän verrattuna vaihtoehtoon, jossa metsä jätetään istutusvaiheen jälkeen hakkaamatta.

Tarkastelujakso	Metsän hiilivaraston muutos t CO ₂ /ha	Puutuotteiden varaston muutos t CO ₂ /ha	Substituutiovaikutus t CO ₂ /ha	Yhteensä t CO ₂ /ha
1–79 vuotta	323	-9	-64	250
80–159 vuotta	205	-21	-301	-117
Yhteensä	529	-31	-325	134

Metsikkötason tulos riippuu siis aikajänteen lisäksi metsän ikärakenteesta, kun hakkuupäätös tehdään, ja ennen kaikkea siitä, kuinka puu hyödynnetään ja millaisia oletuksia tehdään puun hyödyntämisen substituutiovaikutuksista.

Tulosten tulkinnassa on myös olennaista huomata, että tilanteessa 1 kuitupuun osuus hakkuista saadusta runkopuusta on 25 prosenttia ja tilanteessa 2 kuitupuun osuus on 35 prosenttia hakkuiden runkopuusta. Esimerkit eivät tältä osin kuvaa Suomen keskimääräistä tilannetta, jossa viime vuosina kuitupuun osuus metsäteollisuuden kotimaan runkopuusta (=ainespuusta) on ollut noin 43 prosenttia. Tältä osin esimerkkitalanteet antavat suurempia puutuotteiden nielu- ja substituutiovaikutuksia suhteessa metsikön hiilivaraston muutoksiin, koska tukkipuusta saatavat puutuotteiden ilmastohyödyt ovat suurempia kuin kuitupuun vastaavat hyödyt.

KOKO MAAN KATTAVA TARKASTELU ERI HAKKUUTASOILLA

Metsikkötason tarkastelu ei anna kokonaiskuvaa metsien hyödyntämisen kokonaisilmastovaikutusten kehityksestä koko maan tasolla, koska eri puolilla Suomea on erilaiset kasvuolosuhteet ja metsien rakenne (puulaji- ja ikärakenne), jotka vaikuttavat metsien kehitykseen ja hakkuuiden ajoittumiseen hakkuuintensiteetin ohella. Suomen metsien hyödyntämisen ilmastovaikutuksia on seuraavassa tarkasteltu eri hakkuutaso- vaihtoehtoilla sadan vuoden aikajäniteellä. Sadan vuoden metsäekosysteemien hiilivarastojen kehityksen simulointi on tehty Itä-Suomen yliopistossa kehitetyllä Monsu-mallilla⁴⁷. Hakkuuvaihtoehdot (noin 63 ja 72 miljoonaa m³ vuodessa) ja niiden yhteydessä sovellettavat skenaariot (PERUS, JALOSTUSHYÖTY JA LANNOITUS, JALOSTUSHYÖTY, LANNOITUS JA ILMASTONMUUTOS) ovat samat kuin 1. tutkimuskysymyksessä⁴⁸. Skenaarioiden perusteet on esitetty kysymyksen 1 yhteydessä. Hakkuutaso 72 miljoonaa m³ vuodessa on valittu sen takia, että se vastaa viime vuosien toteutunutta hakkuutasoa. JALOSTUSHYÖTY, LANNOITUS JA ILMASTONMUUTOS -skenaariossa simuloitiin myös tilanne, jossa vuosittaisia hakkuuta kasvatettiin nykytasosta 9 miljoonaa m³ (81 miljoonaa m³:iin vuodessa).

Tuotteiden hiilinielu- ja substituutiovaikutukset ovat eri skenaarioissa käytännössä samat, koska hakkuumäärät poikkeavat vain hyvin vähän eri skenaarioiden välillä. Tässä yhteydessä puutuotteiden hiilivaraston muutokset ja substituutiovaikutukset on laskettu samoilla menetelmillä kuin mitä edellä on käytetty metsikkötarkastelun yhteydessä. Puutuotteiden nieluvaikutus on keskimäärin 0,67 Mt CO₂ vuodessa 100 vuoden aikana, kun tarkastellaan hakkuuskenaarioiden 63 ja 72 miljoonaa m³ vuodessa erotuksena lasketun runkokuun (9,4 miljoonaa m³ vuodessa) aikaansaamaa puutuotenieluvaikutusta. Puutuotteiden nieluvaikutus vähenee tuotantomenetelmän (ks. edellä) laskentakaavan perusteella ajan myötä ollen skenaarioiden alussa noin 1,1 Mt CO₂ vuodessa ja lopussa 0,4 Mt CO₂ vuodessa. Vastaavasti hakkuuerotuksen runkokuun mahdollistamien puutuotteiden ja -polttoaineiden substituutiovaikutukset ovat keskimäärin 5,7 Mt CO₂ vuodessa, kun oletetaan, että valmistettavien puutuotteiden ja -polttoaineiden substituutiokertoimet säilyvät samoina tulevaisuudessa kuin tässä selvityksessä oletetut nykyiset kertoimet. Lisäksi peruslaskennassa

⁴⁷ Pukkala, T., 2011. Optimising forest management In Finland with carbon subsidies and taxes. *Forest Policy Economics* 3, 425–434.

⁴⁸ -PERUS (P): laskelmissa ei ole otettu huomioon ilmastonmuutoksen vaikutusta eikä mitään tehostetuttuja metsänhoitotoimenpiteitä.

JALOSTUSHYÖTY JA LANNOITUS (JL): laskelmissa ei ole otettu huomioon ilmastonmuutoksen vaikutusta, mutta lannoitus- ja jalostusvaikutukset ovat mukana. Viljelymetsissä sovelletaan 10 prosentin kasvulisäystä taimien jalostuksen seurauksena. Mäntyä, kuusta tai koivua istutetaan tuoreille kankaille (todennäköisyyksillä 0.2, 0.7 ja 0.1). Lehtomaisille kankaille istutetaan kuusta tai koivua (todennäköisyyksillä 0.8 ja 0.2). Mäntyä kylvetään kuivahkoille kankaille ja sitä karummat kankaat uudistetaan luontaisesti. Lannoitusta käytetään vain kivennäismaan mäntyvaltaisilla kuivahkoilla kankailla ja kuusivaltaisilla tuoreilla kankailla, jos seuraavat ehdot täyttyvät: keskiläpimitta 15–25 cm, pohjapinta-ala 10–30 m²ha⁻¹ ja lämpösumma 900–1400 d.d.

JALOSTUSHYÖTY, LANNOITUS JA ILMASTONMUUTOS (JLILM): muuten sama kuin edellinen, mutta ilmastonmuutoksen oletetaan etenevän RCP 2.6 -skenaarion mukaisesti eli ilmastonmuutos onnistutetaan rajoittamaan alle 2 asteen globaaliin lämpötilanousuun.

Skenaarioiden taustalla olevat julkaisut:

Heinonen, T., Pukkala, T., Mehtätalo, L., Asikainen, A., Kangas J., Peltola, H., 2017. Scenario analyses on the effects of harvesting intensity on development of forest resources, timber supply, carbon balance and biodiversity of Finnish forestry. *Forest Policy and Economics* 80: 80–98.

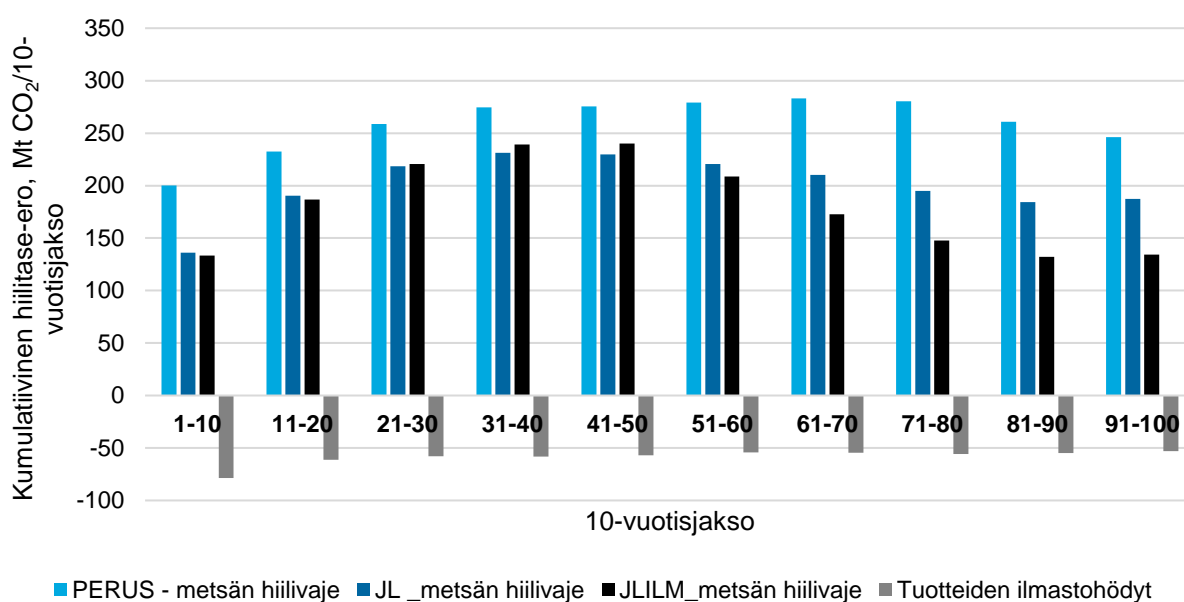
Heinonen, T., Pukkala, T., Asikainen, A., Peltola, H. 2018. Scenario analyses on the effects of fertilization, improved regeneration material, and ditch network maintenance on timber production of Finnish forests. *European Journal of Forest Research* (2018) 137:93–107

<https://doi.org/10.1007/s10342-017-1093-9>.

Seppälä, J., Heinonen, T., Pukkala, T., Kilpeläinen, A., Mattila, T., Myllyviita, T., Asikainen, A., Peltola, H., 2019. Effect of increased wood harvesting and utilization on required greenhouse gas displacement factors of wood-based products and fuels. *J. Environ. Management*: 247, 580–587.

oletetaan, että nykyisten kaltaisten puutuotteiden ja -polttoaineiden valmistus jatkuu tulevaisuudessa, ja niiden tuotantojakauma säilyy nykyisen kaltaisena myös tulevaisuudessa. Mikäli oletetaan, että puun polton substitutiokerroin pienenee nollaan lineaarisesti tästä päivästä vuoteen 2070 mennessä, puutuotteiden ja -polttoaineiden substituuatiohyöty laskee arvoon 3,2 Mt CO₂ vuodessa.

Kun puutuotteiden ja -polttoaineiden ilmastohyödyt liitetään rinnakkain eri skenaarioiden välisiin nieluvaikutuksiin (kuva 15), niin huomataan, että 72 miljoonan m³:n vuosittainen hakkuutaso aiheuttaa hiilinielun vähenemisen seurauksena suuren hiilidioksidipäästöllisen ilmakehään kaikilla 10-vuotisjaksoilla 100 vuoden aikana verrattuna hakkuutasoon 63 miljoonaa m³ vuodessa. Tuotteiden ilmastohyödyt (eli yhteenlasketut tuotteiden hiilinielu- ja substituuatiovaikutukset) jäävät vähintään kaksi kertaa pienemmiksi kaikissa 10-vuotisjaksoissa 100 vuoden aikana verrattuna aiheutettuun hiilinielumenetykseen metsässä. Tulos on lähes samalainen, kun hakkuuta kasvatetaan JLILM-skenaariossa tasosta 72 miljoonaa m³ vuodessa tasoon 81 miljoonaa m³ vuodessa.

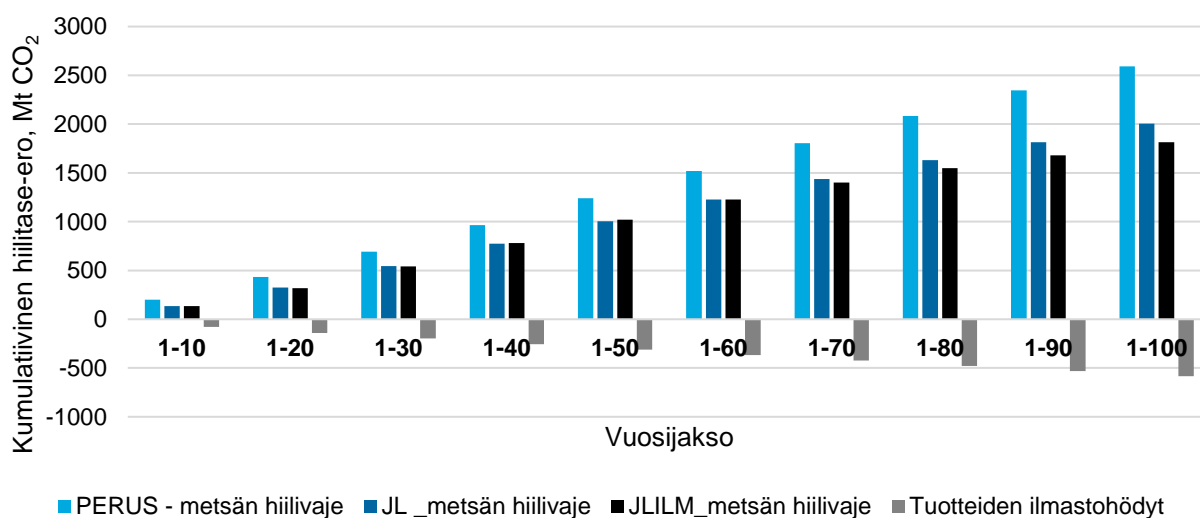


Kuva 15. Hakkuutasojen 63 ja 72 miljoonaa m³ vuodessa väliset hiilitase-erot 10-vuotisjaksoina PERUS, JALOSTUSHYÖTY JA LANNOITUS (JL) ja JALOSTUSHYÖTY, LANNOITUS JA ILMASTOMUUTOS (JLILM)-skenaarioissa. Positiivinen arvo kertoo, että hakkuutaso 72 milj. m³/v aiheuttaa lukuarvon osoittaman määrän hiilidioksidipäästöjä ilmakehään metsänielun vähenemisenä hakkuutilanteeseen 63 milj. m³/v nähden. Vastaavasti negatiivinen arvo kertoo tuotteilla saavutettujen ilmastohyötyjen määrän.

Kuvassa 16 on esitetty kumulatiiviset nettoilmastovaikutukset eri tarkastelujaksoille. Tulokset on saatu suoraan kuvan 15 tiedoista laskemalla kunkin tarkastelujakson päästöt ja poistumat yhteen. Kuvasta nähdään, että perusskenaariossa puutuotteiden ja -polttoaineiden ilmastohyötyjen tulisi olla vähintään 4,5-kertaiset arvioituihin hyötyihin nähden, jotta metsien lisähakkuiden nielunmenetys pystyttäisiin kompensoimaan niillä. Tehostetut metsänhoitotoimet (metsien lannoitus ja istutuspuiden jalostus) eivät muuta kokonaiskuvaa, mutta pienentävät eri hakkuutasojen välistä hiilinielun erotusta (ks. kysymys 1). Ilmastonmuutoksen vaikutusten mukaanotto lisää myös puuston kasvua, ja pienentää hakkuutasojen välistä nielunmuutosta tarkastelujakson loppupuolella. Skenaariossa (JLILM), jossa metsien jalostuksen, lannoituksen ja ilmastonmuutoksen yhteisvaikutus on otettu huomioon, puutuotteiden ja -polttoaineiden ilmastohyötyjen tulisi olla noin 3-kertaiset käytettyihin arvioihin nähden, jotta metsien lisähakkuiden nielunmenetys pystyttäisiin kompensoimaan niillä 100 vuoden aikana. Tulos on käytännössä samalainen, kun hakkuuta kasvatetaan JLILM-skenaariossa tasosta 72 miljoonaa m³ vuodessa tasoon 81 miljoonaa m³ vuodessa (kuva 17).

Lisähakkuilla saatujen puutuotteiden ja -polttoaineiden ilmastohyötyjen ja aiheutettujen metsien hiilivajeen suuri ero herättää kysymyksen, säilyykö lopputulos, kun otetaan huomioon eri tekijöihin liittyvät epävarmuudet. Puutuotteiden hiilinieluvaiikutuksen laskenta perustuu IPCC:n tuotantomenetelmään, eikä sen tuloksiin liity samalaista epävarmuutta kuin muihin metsien hiilinielujen tai puutuotteiden ja -polttoaineiden hiilinieluvaiikutuksiin. Tuotantomenetelmällä lasketaan Suomen kasvihuonekaasuinventaariossa puutuotteiden hiilinieluvaiikutukset.

Puutuotteiden ja -polttoaineiden substituutiovaikutuksiin liittyvä epävarmuutta voidaan arvioida sen perustella, kuinka tässä yhteydessä käytetyt substituutiokertoimet vastaavat suuruusluokaltaan muualla tehtyjä arvioita. VTT:n tekemä selvitys⁴⁹ metsäteollisuuden puutuotteiden valmistuksen substituutiovaikutuksesta vuoden 2017 tilanteessa antoi tuloksen, jossa nettopäästöjä vältetään 16,6 Mt CO₂ vuodessa. Metsäteollisuus jalosti raakapuuta noin 69,7 miljoonaa m³ (josta kotimaista raakapuuta 62 miljoonaa m³) vuonna 2017⁵⁰, jolloin tuotteiden valmistuksen keskimääräiseksi substituutiokertoimeksi saadaan noin 0,27 t C/t C. Tässä selvityksessä käytetty vastaava kerroin on hieman pienempi, 0,24 t C/t C. Tässä yhteydessä otetaan lisäksi huomioon myös energiahyödyntämisen substituutio täysimääräisesti, jolloin runkopuun keskimääräiseksi kokonaissubstituutiokertoimeksi tulee 0,55 t C/ t C. Luku on täsmälleen sama, kuin mihin Hurmekoski ym.⁵¹ ovat päätyneet 44 vertaisarvioidun artikkelin perusteella. Artikkelien substituutiokertoimien vaihteluväli oli 0,27–1,16 t C/t, C, ja ne on tehty eri puolilla maailmaa.

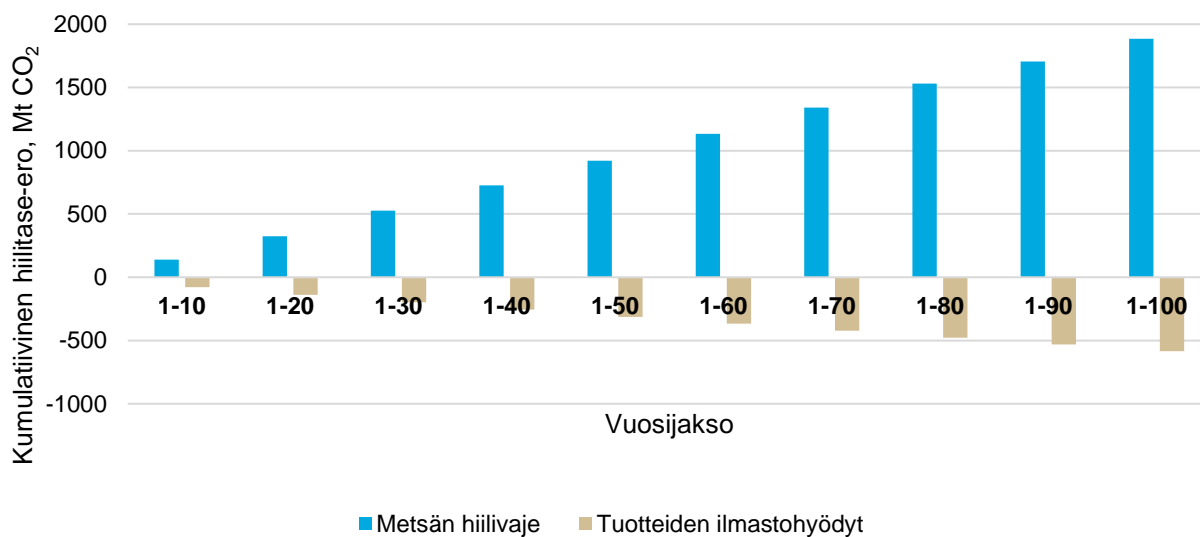


Kuva 16. Hakkuutasojen 63 ja 72 miljoonaa m³ vuodessa väliset kumulatiiviset hiilitase-erot eri vuosijaksoina PERUS, JALOSTUSHYÖTY JA LANNOITUS (JL) ja JALOSTUSHYÖTY, LANNOITUS JA ILMASTOMUUTOS (JLILM)- skenaarioissa. Positiivinen arvo kertoo, että hakkuutaso 72 milj. m³/v aiheuttaa lukuarvon osoittaman määrän hiilidioksidipäästöjä ilmakehään metsänielun vähenemisenä hakkuutasoon 63 milj. m³/v nähden. Vastaavasti negatiivinen arvo kertoo tuotteilla saavutettujen ilmastohyötyjen määrän.

⁴⁹ Alarotu, M., Pajula, T., Hakala, J. Harlin, A. 2020. Metsäteollisuuden tuotteiden ilmastovaikutukset. Asiakasraportti VTT-CR-00682-20.

⁵⁰ Luonnonvarakeskus 2018. Kotimaisen raakapuun käyttö nousi ennätystasolle. Uutinen. <https://www.luke.fi/uutinen/kotimaisen-raakapuun-kaytto-nousi-ennatystasolle-2017/>.

⁵¹ Hurmekoski, E., Smyth, C., Stern, T., Asada, R., Verkerk, H. 2021. Substitution impacts of wood use at the market level: A systematic review. Environmental Research Letters, resubmitted manuscript.



Kuva 17. Hakkuutasojen 72 ja 81 miljoonaa m³ vuodessa väliset kumulatiiviset hiilitase-erot eri vuosijaksoina JALOSTUSHYÖTY, LANNOITUS JA ILMASTOMUUTOS (JLILM)- skenaarioissa. Positiivinen arvo kertoo, että hakkuutaso 81 milj. m³/v aiheuttaa lukuarvon osoittaman määrän hiilidioksidipäästöjä ilmakehään metsänielun vähenemisenä hakkuutasoon 72 milj. m³/v nähden. Vastaavasti negatiivinen arvo kertoo tuotteilla saavutettujen ilmastohyötyjen määrän.

Tutkimuskysymyksen 1 yhteydessä käsiteltiin uusimman Monsu-mallin antaman metsien nielukehityksen luotettavuutta ja siinä päädyttiin johtopäätökseen, että Monsu-mallin antama kuva metsien nielumutoksista eri hakkuutasoilla on samankaltainen kuin mitä muutkin vastaavat simulointimallit antavat. Aiempiin Monsu-simulointeihin verrattuna tässä raportissa on käytetty uudempia kasvumalleja, jotka perustuvat VMI10:n ja VMI11:n pysyviin koealoihin. Hakkuiden aiheuttama hiilinielun suuri menetys johtuu useasta tekijästä. Suomen metsät ovat keskimäärin nuoria ja metsiemme hakkuuintensiteetti on nykyisin korkea suhteessa puiden kasvuun, ja metsiä päätehakataan aiempaa nuorempina.⁵² Koko maan kattavassa perusskenaariossa pienemällä hakkuumäärällä puuston keski-ikä kasvaa 34 vuodella 100 vuoden aikana, kun se nykyhakkuutasolla kasvaa 19 vuodella. Lisäksi päätehakkuun jälkeen tehtäväänmuokkaus lisää maan orgaanisen aineksen hajoamista.

Kuvasta 16 pystytään johtamaan nettoilmastovaikutustulos 100 vuoden aikana. Se saadaan vähentämällä viimeisimmän tarkastelujakson kumulatiivisesta metsien nielumutoksen arvosta sitä vastaava puutuotteiden ja -poltoaineiden lisähakkuilla saavutettava ilmastohyöty. Sadan vuoden aikana PERUS-skenaariossa suurempi hakkuumäärä aiheuttaa 2 058 Mt CO₂ päästön ilmakehään verrattuna tilanteeseen, jossa hakattaisiin 9,4 miljoonaa m³ vuodessa vähemmän. JALOSTUSHYÖTY JA LANNOITUS -skenaariossa ero on 1 436 Mt CO₂ ja JALOSTUSHYÖTY, LANNOITUS JA ILMASTONMUUTOS (JLILM) -skenaariossa 1 248 Mt CO₂. Tulos on lähes samalainen, kun hakkuuta kasvatetaan JLILM-skenaariossa 9 miljoonalla m³:lla vuodessa. Tämä päästölisä pitäisi saada takaisin tulevaisuudessa metsien käsittelyn kautta. Kuvasta 15 kuitenkin nähdään, että vielä sadan vuoden kohdallakin alhaisempi hakkuutaso aiheuttaa suuremman nielun.

⁵² Kniivilä M, Hantula J, Hotanen J-P, Hynynen J, Hänninen H, Korhonen KT, Leppänen J, Melin M, Mutanen A, Määttä K, Siitonen J, Viiri H, Viitala E-J, Viitanen J (2020) Metsälain ja metsätuholain muutosten arviointi. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 3/2020. Luonnonvarakeskus. Helsinki.

Tilanteen muuttuminen siten, että kuvan 15 osoittama nettohiilivaje kääntyisi nettohiilinieluksi ja vastaisi aiheutettua nettohiilivajetta (summaamalla 1–100 vuoden arvot yhteen), ei ole realistinen ainakaan 150 vuoteen. Lopputuloksen voidaan sanoa, että **pysyvä hakkuutason lisääminen ei tämän aineiston perusteella voi tuottaa ainakaan 150 vuoteen ilmastohyötyjä nykyisen kaltaisilla metsäteollisuuden tuotteilla ja nykyisellä tuotejakaumalla.**



SUOMEN ILMASTOPANEELI The Finnish Climate Change Panel

KYSYMYS 3: SEURAAKO PUURAKENTAMISEN LISÄÄMISESTÄ ILMASTOHYÖTYJÄ?

Jyri Seppälä, Sampo Soimakallio, Tero Heinonen, Timo Pukkala, Heli Peltola, Antti Kilpeläinen, Markku Ollikainen

Vastaus

Puurakentamisen vaikutusten arvioinnin lopputulokseen vaikuttaa useat tekijät, kuten miten puurakentamisen lisäämiseksi tarvittu puuraaka-aine on tuotettu, mitä puurakentamistuotteita tehdään ja miten puurakentamisen lisääminen korvaa muiden rakennusmateriaalien käyttöä markkinoilla. Puurakentamisen lisääminen kotimaassa nykyisillä puutuotteilla kotimaisia hakkuita kasvattamalla ei ole kuitenkaan ilmaston näkökulmasta perustelua. Jos puurakentamisen tuotteiden osuutta pystytään lisäämään metsäteollisuutemme tuotannossa kotimaista hakkuutasoa kasvattamatta, voidaan saavuttaa ilmastohyötyjä jo lyhyellä aikavälillä nykytilanteen verrattuna. Kotimaisen puurakentamisen kasvattaminen vientiä vähentämällä tai tuontia kasvattamalla vähentäisi päästöjä Suomessa, muttei parantaisi välttämättä globaalia kasvihuonekaasutasetta. Puurakentamisen määrää ja positiivisia ilmastovaikutuksia nykytilanteeseen nähden voidaan kasvattaa hakkuita lisäämättä parantamalla puutuotteiden valmistuksen ja käytön materiaali-tehokkuutta sekä valmistamalla tuotteita, jotka pystyvät korvaamaan nykyistä enemmän suurempipäästöisiä tuotteita markkinoilla.

Puurakentamisen avulla pystytään vähentämään fossiilisia päästöjä, kun puu korvaa vaihtoehtoisia, enemmän fossiilisia päästöjä aiheuttavia materiaaleja. Myös puutuotteisiin pitemmäksi aikaan sitoutunut hiili aiheuttaa ilmastohyötyjä. Puurakentamisen kokonaisilmastovaikutukset näyttävät kuitenkin eri tavalla, kun puutuotteiden lisäksi katsotaan myös metsässä tapahtuvaa hiilitasemuutosta. Tehty selvitys osoittaa, että jos puurakentamisen lisäys tehdään nykyisen kaltaisilla tuotteilla lisäämällä kotimaisia tukkipuun hakkuita, puurakentamisen avulla saavutetut ilmastohyödyt eivät riitä kompensoimaan metsissä menetettyä hiilinielua todennäköisesti edes 150 vuoteen. Puurakentamisen lisääminen kotimaisia hakkuita lisäämällä saattaa siten vaikeuttaa Suomen pääsemistä ilmastotavoitteisiinsa lähivuosisikymmeninä.

Jos puurakentamisen tuotteiden osuutta pystytään lisäämään metsäteollisuutemme tuotannossa kotimaista hakkuutasoa kasvattamatta, voidaan saavuttaa ilmastohyötyjä jo lyhyellä aikavälillä nykytilanteeseen verrattuna. Tukkipuun hiilitonnista saatavien puutuotteiden ja -polttoaineiden ilmastohyödyt arvioidaan olevan nykyisin noin kaksi kertaa suuremmat kuin kuitupuun hiilitonnista kohti saatavat ilmastohyödyt. Kuitupuun ohjautuu pääasiassa sellun ja mekaanisen massan valmistukseen, mistä aiheutuu vain vähän tuotteiden hiilinieluvaikutuksia, koska tuotteet ovat lyhytikäisiä. Puutuotteiden hiilivaraston kasvaessa puutuotteet toimivat kokonaisuudessaan hiilinieluna, koska silloin puuvarastosta vapautuu vähemmän hiiltä ilmakehään kuin sitä vapautuu. Vaikka noin puolet tukkipuun hiilisisällöstä päätyy rakentamistuotteisiin, näiden tuotteiden

hiilinieluvaikutukset ovat nykyisin selvästi vähäisemmät kuin niistä saatavat substituutiohyödyt. Puutuotteiden korvaus- eli substituutiohyödyillä tarkoitetaan kasvihuonekaasupäästöjen vähennyksiä, jotka syntyvät siitä, että puutuotteet korvaavat elinkaarensa aikana saman käyttötarkoituksen omaavia, enemmän fossiilisia ja prosessilähtöisiä kasvihuonekaasupäästöjä aiheuttavia materiaaleja ja polttoaineita.

Puurakentamisen tuotteiden osuuden kasvattaminen metsäteollisuudessamme hakkuita kasvattamatta edellyttäisi kotimaisen puun käytön vähentämistä selluteollisuuden tuotteiden valmistuksessa tai puun lisätuontia ulkomailta. Metsäteollisuuden nykyisen tuotantorakenteen nopea muutos ei liene realistista ja siihen vaikuttavat myös kuitu- ja sellupuun saannin väliset kytkökset.

Puutuoteteollisuuden tuotannon kasvattaminen nykyisestä pelkästään tukkipuun tuontia kasvattamalla, pienentää päästöjä kotimaassa, mutta hiilinielumenetykset jäävät tuontimaan kasvihuonekaasutaseeseen. Se, onko lopputulos ilmaston kannalta parempi kuin hankkia raaka-aine kotimaasta, riippuu muun muassa tuontimaan metsien kasvuolosuhteista.

Kotimaisen puurakentamisen osuuden kasvattaminen rakentamisessa puutuotteiden vientiä vähentämällä ei myöskään todennäköisesti vähennä globaaleja päästöjä. Toisaalta tällainen muutos vähentäisi fossiilisperäisiä päästöjä Suomessa, jos samaan aikaan muiden Suomessa valmistettujen rakennusmateriaalien tuotanto vähenisi. Kotimaisten rakennuspuutuotteiden valmistus aiheuttaa vielä nykytilanteessa keskimäärin vähemmän fossiilisperäisiä päästöjä kuin vastaavat kilpailevat rakennustuotteet.

Puurakentamisen määrää ja positiivisia ilmastovaikutuksia nykytilanteeseen nähden voidaan kasvattaa hakkuita lisäämättä parantamalla puutuotteiden valmistuksen ja käytön materiaalitehokkuutta sekä valmistamalla parempia substituutiohyötyjä aiheuttavia puutuotteita. Koska saha- ja vaneriteollisuuden sivutuotteet käytetään nykyisin hyödyksi tehokkaasti, puutuotteiden valmistuksen materiaalitehokkuuden parantamisella ei saavuteta merkittäviä parannuksia puurakentamisen ilmastovaikutuksiin. Tuotteiden käytön materiaalitehokkuutta voidaan kuitenkin parantaa pidentämällä puutuotteiden elinikää tai hyödyntämällä puutuotteiden materiaali uusissa tuotteissa.

Vastauksen yksityiskohtaiset perustelut

LÄHESTYMISTAPA

Kysymys esitetään toistuvasti julkisessa keskustelussa, ja vastausta siihen on pidetty yksiselitteisen myönteisenä. Ajatuksena on, että hakkuiden aiheuttama metsien hiilinielujen väheneminen on tilapäistä tai niin vähäistä, että puurakentamisella muutoin saavutettavat ilmastohyödyt ovat ilmastomuutoksen hillinnän kannalta merkittävämpiä. Tämän takia kysymykseen vastaamisen kannalta olennainen tieto on, ovatko rakentamisen puunkäytön aiheuttamat ilmastohyödyt merkittävämpiä ilmastomuutoksen hillinnän näkökulmasta kuin lisähakkuiden aiheuttama hiilinielumenetykset.

Aluksi luodaan kokonaiskuva puurakentamisen ilmastovaikutuksiin vaikuttavista tekijöistä. Sen jälkeen käsitellään rakentamisen puutuotteiden hiilivarastojen ja substituutio- eli korvausvaikutusten arviointiin liittyviä lähestymistapoja ja tehdään niihin liittyvät arviot Suomen tilanteessa. Puutuotteiden aiheuttamat ilmastohyödyt yhdistetään koko maata koskevien metsien hakkuuskenaarioiden hiilinielutulosten kanssa. Tämän perusteella tehdään arvio puurakentamisen lisäämisen ilmastovaikutuksista tilanteessa, jossa hakkuita lisätään. Lisäksi arvioidaan vaikutus tilanteessa, jossa puurakentamisen kasvu saadaan vähentämällä vientiä tai kasvattamalla tuontipuuta kotimaan hakkuiden pysyessä nykytasolla. Lopuksi arvioidaan puurakentamisen lisäämisen ilmastovaikutuksia nykyisellä hakkuutasolla, kun mekaanisen metsäteollisuuden tuotannon materiaalitehokkuutta parannetaan ja niiden puutuotteiden hiilen elinkaarta jatketaan tuotekäytössä.

PUURAKENTAMISEN ILMASTOVAIKUTUSTEN MUODOSTUMINEN

Puurakentamisen päästövaikutukset syntyvät rakentamisvaiheen päästöistä, puurakentamisessa käytetyn puuraaka-aineen hakkuiden aiheuttamasta metsän hiilivaraston muutoksesta, puutuotteiden valmistuksen päästöistä, puutuotteiden hiilivaraston kasvusta, puutuotteen käytön aikaista päästöistä sekä puurakennuksen purkuvaiheen jälkeisistä puumateriaalin mahdollisesta hyötykäytöstä ja siitä, että purkupuu jätetään lahoamaan. Jotta puurakentaminen aiheuttaisi nettoilmastohyötyjä, tulisi näiden tekijöiden ilmastovaikutusten olla pienempiä kuin jos saman toiminallisuuden omaava rakennuskohde valmistetaan vaihtoehtoisista materiaaleista.

Rakentamisvaiheessa puurakentamisen päästöt ovat hieman paremmat esimerkiksi betonirakentamiseen nähden, mutta ero on pieni materiaalien valmistuksen päästöeroihin nähden⁵³. Käytönaikaisten päästöerojen, jotka syntyvät ennen kaikkea huoltotoimenpiteiden kautta, vaikutus on myös pieni kokonaisuuden kannalta. Tältä osin puurakentaminen aiheuttaa luultavasti hieman enemmän päästöjä, mutta tämä vaihe on jätetty pois jatkotarkasteluista rakentamisvaiheen päästöjen tavoin. Eri materiaalien kiertotalousratkaisujen väliset päästöerot ovat hankalasti arvioitavissa ja niiden väliset erot ovat todennäköisesti pieniä, minkä vuoksi niidenkin päästövaikutuserot on jätetty pois tästä tarkastelusta. Tässä yhteydessä on lähdetty siitä, ettei puurakentamisen tuotteita ei enää päädy kaatopaikalle lahoamaan, vaan niiden hiilisisältö hyödynnetään tuotteiden elinkaaren lopussa energiakäytössä.

Edellä esitetyn perusteella puurakentamisen päästövaikutusten arviointi pelkistyy rakentamisessa käytettyjen puutuotteiden substituutiovaikutusten, sekä puutuotteiden ja metsän hiilivarastojen muutosten laskentaan. Puutuotteiden korvaus- eli substituutiohyödyillä tarkoitetaan kasvihuonekaasupäästöjen vähennyksiä, jotka syntyvät siitä, että puutuotteet korvaavat elinkaarensa aikana saman käyttötarkoituksen omaavia, enemmän fossiilisia ja prosessilähtöisiä kasvihuonekaasupäästöjä aiheuttavia materiaaleja ja polttoaineita. Puutuotteiden hiilivaraston kasvaessa puutuotteiden sanotaan toimivan hiilinieluna.

PUURAKENTAMISEN SUBSTITUUTIOHYÖTYJEN JA PUUTUOTTEIDEN HIILINIELUJEN ARVIOINTI

Puutuotteiden substituutiohyödyt syntyvät, kun puutuotteet korvaavat fossiilisilta ja prosessipäästöiltään suurempipäästöisiä tuotteita. Päinvastaisessa tilanteessa puutuotteet aiheuttavat enemmän päästöjä. Puurakentamisessa tilanne on ensin mainittu.

Käytännössä substituutiovaikutusten arviointi tehdään siten, että puurakentamisessa käytetty puun hiilisisältö kerrotaan sitä vastaavalla substituutiokertoimella, jolloin lopputuloksena saadaan vältetty fossiilis- ja prosessiperäisten päästöjen hiilen määrä (joka muutetaan tavallisesti hiilidioksidimääräksi). Jotta substituutiolaskelmia pystytään tekemään, täytyy puutuotteiden ja kilpailevien tuotteiden olla toiminallisten ominaisuuksien ja käyttötarkoituksen osalta samalaisia. Vaikka substituutiokertoimien arviointiyhtälö on vakiintunut⁵⁴, arviointi on haasteellinen tehtävä. On hyvin vaikeaa arvioida, mitä tuotteita puutuotteet korvaavat milloinkin markkinoilla. Tämän lisäksi ongelmana on löytää sekä puusta että kilpailevista materiaaleista vertailukelpoista lähtötietoa.

Substituutiokertoimien määrittelyssä otetaan huomioon eri materiaalien elinkaariset valmistuksen päästöerot, mikä on tehtävissä elinkaariarviointien periaatteilla. Lisäksi substituutioarvioissa ovat mukana puun energiakäytön hyödyt puutuotteiden elinkaaren lopussa. Vastaavasti betonin hyötykäytön (esimerkiksi

⁵³ Nykänen, E., Häkkinen, T., Kiviniemi, M., Lahdenperä, P., Pulakka, S., Ruuska, A., Saari, M, Vares, S. 2017, Puurakentaminen Euroopassa. VTT Technology 297. Teknologian tutkimuskeskus Oy, Espoo.

⁵⁴ Sathre, R., O'Connor, J., 2010. Meta-analysis of greenhouse gas displacement factors of wood product substitution. Environmental science & policy, 13(2), p.104–114.

betonin kierrätys) ja karbonatisoitumisen⁵⁵ tulisi olla mukana, mutta juuri koskaan näiden ja ylipäättänsä eri materiaalien kiertotalousratkaisujen päästövaikutukset eivät ole substituutiovaikutuksien määrittelyssä mukana niihin liittyvien arviointivaikkeuksien takia. Poikkeuksena on teräs, jonka kierrätyksen hyödyt on otettu huomioon teräksen elinkaariarvioinneissa, ja ne ovat siksi mukana puurakennusmateriaalien substituutio-arvioissa mukana.

Yksittäisten puutuotteiden substituutiokertoimen arvot vaihtelevat suuresti ja ne on ilmaistu yleensä tuotteen sisältämää hiilimäärää kohti. Kirjallisuudesta kerättyjen tietojen perusteella viimeaikaisessa selvityksessä⁵⁶ on saatu tulos, jossa eri yhteydessä arvioitujen puutukirakenteiden ja -seinien substituutiokertoimet ovat keskimäärin 1,3 t C/t C ja muiden rakennustuotteiden (ikkunoiden, ovien, kaiteiden jne.) keskimääräinen kerroin on 1,6 t C/t C. Tulos on kuitenkin erilainen, kun otetaan huomioon eri rakennustuotteiden valmistusmäärät ja etenkin niiden käyttö rakennuksissa. Puurakentamisen substituutiovaikutuksia on perusteltua arvioida vertaamalla puurakennuksia ja saman toiminnallisuuden tarjoavia mutta, enimmäkseen muista vaihtoehtoisista materiaaleista valmistettuja taloja. Vares ym.⁵⁷ vertailivat viittä erilaista puukerrostaloa betonikerrostaloon, ja saivat puukerrostalossa käytetyn puumäärän substituutiokertoimen vaihteluväliksi 0,5–1,0 (t C / t C) keskiarvon ollessa 0,74 (t C/t C). Smyth ym.⁵⁸ johtivat erilaisten talotyyppien tarkasteluista sahatavara tuotteiden keskimääräiseksi korvauskertoimeksi 0,54 t C/t C ja vanerituotteiden keskimääräiseksi kertoimeksi 0,45 t C/t C.

Edellä esitettyä taustaa vasten tutkimuskysymyksessä 2 käytetty puurakentamisen puutuotteiden hiilisisältöä kohden arvioitu keskimääräinen substituutiokerroin 0,93 t C/t C on suuri. Se on ollut kuitenkin lähtökohtana, kun tässä raportissa arvioidaan puurakentamisen ilmastohyötyjä.

Rakentamisen puutuotteet valmistetaan tukkipuusta, josta tehdään kysymyksen 2 yhteydessä tehdyn arvion mukaan noin 48 prosenttia puurakentamistuotteita. Noin 30 prosenttia tukkien tilavuudesta päätty selluteollisuuden raaka-aineeksi, 16 prosenttia ulkoiseen energiatuotantoon ja loppu päätty tehtaiden omaan energiakäyttöön (ml. materiaalihäviöt). Nämä sivuvirrat liittyvät olennaisesti rakentamistuotteiden valmistukseen, minkä vuoksi on perusteltua tarkastella puurakentamisen lisäämisen vaikutuksia tukkipuun käytön kokonais-ilmastovaikutusten perusteella.

Puurakentamistuotteiden valmistus ja sivutuotevirtojen hyötykäyttö tukkipuusta aiheuttavat nykytilanteessa suurempia ilmastohyötyjä kuin kuitupuun nykyinen käyttö, kun ei tarkastella hakkuiden aiheuttamaa metsän hiilinielumenetystä. Tukkipuun ilmastohyödyt muodostuvat siitä valmistettävien pitkäikäisten rakennustuotteiden nielu- ja substituutiovaikutuksista sekä sivutuotteiden substituutiovaikutuksista. Kuitupuun ilmastohyödyt muodostuvat käytännössä siitä valmistettävien sellutuotteiden ja sivutuotteiden substituutiovaikutuksista.

Tutkimuskysymyksen 2 yhteydessä tehtyjen arvioiden perustella puurakentamistuotteiden valmistukseen käytetty tukkipuun hiilitonni vähentää nykytilanteessa fossiilis- ja prosessiperäistä hiilipäästöä ilmakehään 0,93 tonnia. Kuitupuusta saatava tuotteiden valmistuksen korvaushyöty on puolestaan noin 0,25 t C/t C

⁵⁵ Karbonatisoituminen on ajan myötä kehittyvä betonin neutraloitumisreaktio, jonka seurauksena osa sementin tuotantovaiheen hiilidioksidipäästöistä sitoutuu takaisin betoniin.

⁵⁶ Leskinen, P., Gardellini, G., Gonzalez-García, S., Hurmekoski, E., Sathre, R., Seppälä, J., Smyth, C., Stern, T. and Verkerk, P.J. 2018. Substitution effects of wood-based products in climate change mitigation. From science to policy. European Forest Institute.

⁵⁷ Vares, S. Häkkinen, T. & Vainio, T. (2017). Rakentamisen hiilivarasto. VTT.

<https://www.ym.fi/download/noname/%7B2859F537-ECD2-479D-A62B-F13AD75403F2%7D/136827..>

⁵⁸ Smyth, C., Rampley, G., Lempière, T.C., Schwab, O., Kurz, W.A., 2017. Estimating product and energy substitution benefits in national-scale mitigation analyses of Canada's forest sector. *Gcb Bioenergy* 9(6), 1071–1084.

(tuotteiden hiilisisältöä kohti arvioituna). Sekä kuitupuun että tukkipuun käytön lopussa niiden oletetaan päätyvän polttoon, jonka substituutiokertoimen on arvioitu olevan nykytilassa 0,7 t C/t C. Polttoon päätyvä puutuotteiden puuaineksen määrä muuttuu ajan myötä sen mukaan, miten puutuotteiden käyttöaika muuttuu, ja tämä kehitys on arvioitu samalla IPCC:n ”Tuotantomenetelmä”-mallilla⁵⁹, jolla arvioidaan tuotteiden hiilivarasto- ja nieluvaikutukset. Peruslaskelmissa oletetaan, että puupoltoaineiden substituutiokerroin säilyy samana (0,7 t C/t C). Lisäksi on tehty herkkyystarkastelu, jossa puun polton substituutiokerroin pienenee nollaan lineaarisesti tästä päivästä vuoteen 2070 mennessä.

Tuotteiden hiilivarastojen vaikutukset on arvioitu IPCC:n tuotantomenetelmällä, jossa on myös käytetty IPCC:n oletuskertoimia puutuotteiden puoliutumisaajoille. Sahatavaran puoliutumisaika on 35 vuotta ja puupaneelien 25 vuotta. Vanerituotteiden osuus rakennustuotteiden puuvirrasta on vain noin 11 prosenttia. Sellutuotteille puoliutumisaika on 2 vuotta.

Kun otetaan huomioon edellä esitetyt lähtökohdat ja tutkimuskysymyksen 2 yhteydessä esitetty skenaariotarkastelujen puun käyttö, tukki- ja kuitupuusta valmistettujen tuotteiden ja polttoaineiden substituutio- ja hiilivarastomuutosten yhteisvaikutus kehittyy kymmenvuotiskausina taulukon 6 mukaisesti. Tuloksesta nähdään, että tietyllä hakkuutasolla hakattua runkopuuta kohti saatu kokonaisilmastohyötykerroin pienenee ajan myötä, koska puutuotteiden hiilinieluvaikutus heikkenee melko nopeasti. Toisaalta peruslaskentatilanteessa, jossa puutuotteiden valmistuksen ja energian hyötykäytön substituutiokertoimien on oletettu säilyvän nykyisinä, tukkipuusta saatava ilmastohyöty näyttää säilyvän kaksinkertaisena koko tarkasteluajan.

Taulukko 6. Hakatun runkopuun hiilisisältöä kohti arvioitujen kokonaisilmastohyötykerroimien (t C/t C) ja sen osatekijöiden (tuotteiden substituutiokertoimen ja nielukertoimien) kehittyminen eri vuosijaksoilla, kun puutuotteiden valmistuksen ja energian hyötykäytön substituutiokertoimien on oletettu säilyvän nykyisinä.

Vuosijakso	Tukkipuu			Kuitupuun		
	yht.	subst.	nielu	yht.	subst.	nielu
1–10	1,07	0,64	0,43	0,55	0,41	0,15
11–20	1,05	0,70	0,35	0,51	0,49	0,02
21–30	1,03	0,74	0,29	0,50	0,50	0,00
31–40	1,01	0,78	0,24	0,50	0,50	0,00
41–50	1,00	0,81	0,19	0,50	0,50	0,00
51–60	0,99	0,83	0,16	0,50	0,50	0,00
61–70	0,98	0,86	0,13	0,50	0,50	0,00
71–80	0,98	0,98	0,00	0,50	0,50	0,00
81–90	0,97	0,97	0,00	0,50	0,50	0,00
91–100	0,97	0,96	0,00	0,50	0,50	0,00
Keskim.	1,01	0,83	0,18	0,51	0,49	0,02

Taulukossa 7 on esitetty taulukon 6 tulokset muuten samalla tavalla laskettuna, paitsi että puun energiakäytön substituutiohyötyjen on oletettu pienenevän nykytasosta lineaarisesti nolaksi vuoteen 2070 mennessä. Ensimmäisenä 10-vuotiskautena ero tukkipuun ja kuitupuun hyötyjen välillä on noin kaksinkertainen ja se kasvaa ajan mittaan tukkipuun eduksi. Absoluuttinen kokonaisilmastohyötykerroin kuitenkin vähenee myös tukkipuun tilanteessa verrattuna taulukon 6 tilanteeseen.

⁵⁹ IPCC 2019. IPCC Updates Methodology for Greenhouse Gas Inventories. <https://www.ipcc.ch/2019/05/13/ipcc-2019-refinement/>.

Energiasubstituution lisäksi puurakentamisen materiaalisubstituutiovaikutukset ovat pikemmin laskussa kuin vahvistumassa kilpailevien materiaalien vähentäessä mahdollisesti puutuoteteollisuutta nopeammin valmistuksensa päästöjään (hiilivapaa teräs⁶⁰). Kun valtaosa tämän päivän puurakennustuotteiden hiilestä vapautuu energiakäyttöön vasta 30 vuoden jälkeen, selluteollisuuden tuotteet sitä vastoin päätyvät tuotekäytön jälkeen nopeasti polttoon, jolloin niiden voidaan selkeämmin osoittaa korvaavan fossiilista energiantuotantoa. Tulevaisuudessa selluteollisuudella on omat mahdollisuutensa löytää uusia tuotteita, joilla voi olla erittäin hyvät substituutiovaikutukset. Ongelmana on kuitenkin tällaisten tuotteiden valmistuksen vähäinen osuus koko tuotantokapasiteetista, koska metsäteollisuuden tuotejakaumaa pystytään muuttamaan hitaasti.

Taulukko 7. Hakatun runkopuun hiilisisältöä kohti arvioitujen kokonaisilmastohyötykertoimien (t C/t C) kehittyminen eri vuosijaksoilla, kun energian hyötykäytön substituutiokertoimien on pienevän lineaarisesti nykypäivästä nolnaan vuoteen 2070 mennessä.

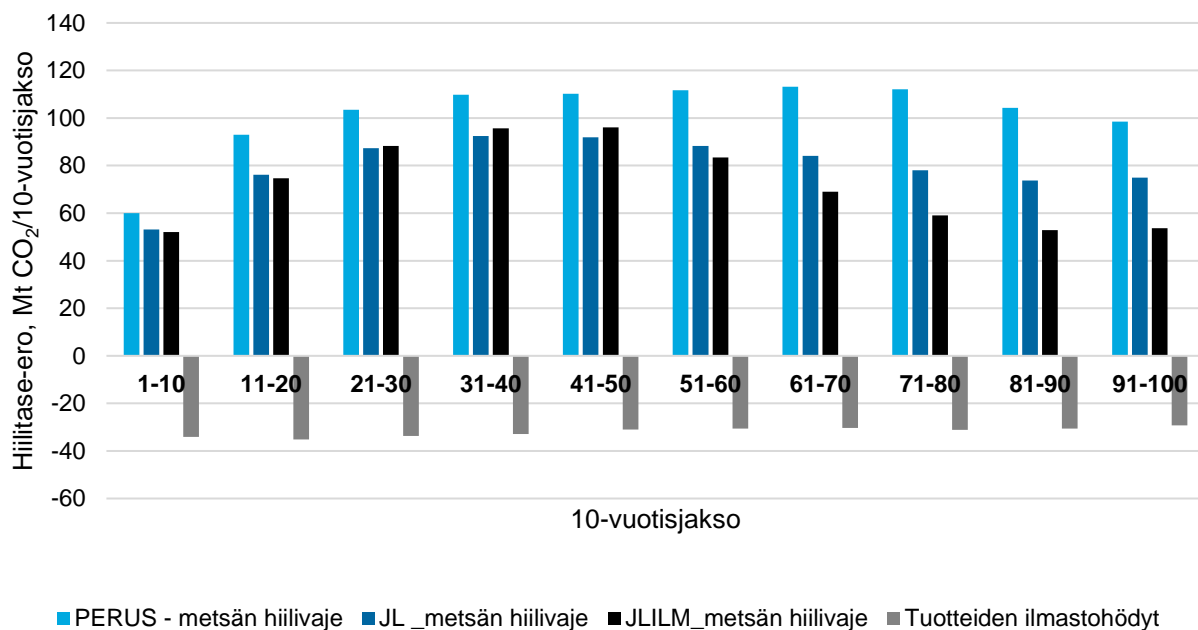
Vuosijakso	Tukkipuu			Kuitupuu		
	yht.	subst.	nielu	yht.	subst.	nielu
1–10	1,06	0,62	0,43	0,52	0,37	0,15
11–20	0,99	0,64	0,35	0,39	0,37	0,02
21–30	0,91	0,62	0,29	0,30	0,30	0,00
31–40	0,82	0,58	0,24	0,22	0,22	0,00
41–50	0,72	0,53	0,19	0,14	0,14	0,00
51–60	0,65	0,50	0,16	0,11	0,11	0,00
61–70	0,62	0,50	0,13	0,11	0,11	0,00
70–80	0,60	0,60	0,00	0,11	0,11	0,00
81–90	0,58	0,58	0,00	0,11	0,11	0,00
91–100	0,57	0,56	0,00	0,11	0,11	0,00
Keskim.	0,75	0,57	0,18	0,21	0,20	0,02

⁶⁰ SSAB 2021. The world's first fossil-free steel ready for delivery. <https://www.ssab.com/news/2021/08/the-worlds-first-fossilfree-steel-ready-for-delivery>.

PUURAKENTAMISEN LISÄYS KASVATTAMALLA KOTIMAISIA HAKKUITA

Jos nykytilanteessa puurankentamista lisätään nykytuotteilla kasvattamalla kotimaisia hakkuita, niin todennäköisesti se tapahtuu runkopuun hakkuita kasvattamalla siten, että kuitupuun hakkuut myös lisääntyvät. Nykyisin runkopuusta noin 43 prosenttia päätyy tukkipuiksi ja 57 prosenttia kuitupuiksi.

Kysymys kuuluu: "Mikä osuus hakkuiden kasvattamisen metsän hiilinielumenetyksestä kohdistuu tukki- ja kuitupuulle?" Kysymykseen ei ole täsmällistä vastausta. Hakkuiden aiheuttaman kokonaishiilinielun menetyksen allokointi tukki- ja kuitupuille niiden runkopuumäärän hiilisisällön suhteessa on yksi tapa, ja sitä on käytetty tässä yhteydessä, kun kysymyksen 2 hakkuuskenaarioiden hiilinielumenetykset on yhdistetty taulukon 6 puunkäytön ilmastohyötyjen kanssa. Kuvasta 18 nähdään, että perusskenaariossa rakennuspuutuotteiden valmistukseen käytettävän tukkipuun ilmastohyötyjen tulisi olla vähintään 3,2-kertaiset tämänhetkisiin ilmastohyötyihin verrattuna, jotta metsien lisähakkuiden nielunmenetys pystyttäisiin kompensoimaan niillä sadan vuoden aikana. Tehostetut metsänhoitotoimet (metsien lannoitus ja istutuspuiden jalostus) eivät muuta kokonaiskuvaa, mutta pienentävät eri hakkuutasojen välistä hiilinielun erotusta (ks. kysymys 1). Ilmastonmuutoksen vaikutusten mukaanotto lisää myös puuston kasvua, ja pienentää hakkuutasojen välistä nielunmuutosta tarkastelujakson loppupuolella. Skenaariossa (JLILM), jossa metsien jalostuksen, lannoituksen ja ilmastonmuutoksen yhteisvaikutus on otettu huomioon, rakennuspuutuotteiden valmistuksessa käytettävän tukkipuun ilmastohyötyjen tulisi olla noin 2,3-kertaiset tässä raportissa käytettyihin arvoihin verrattuna, jotta metsien lisähakkuiden nielunmenetys pystyttäisiin kompensoimaan niillä 100 vuoden aikana. Hakkuiden lisääntyessä nykytasosta noin 9 miljoonaa m³ vuodessa JLILM-skenaariossa, lopputulos on käytännössä sama.

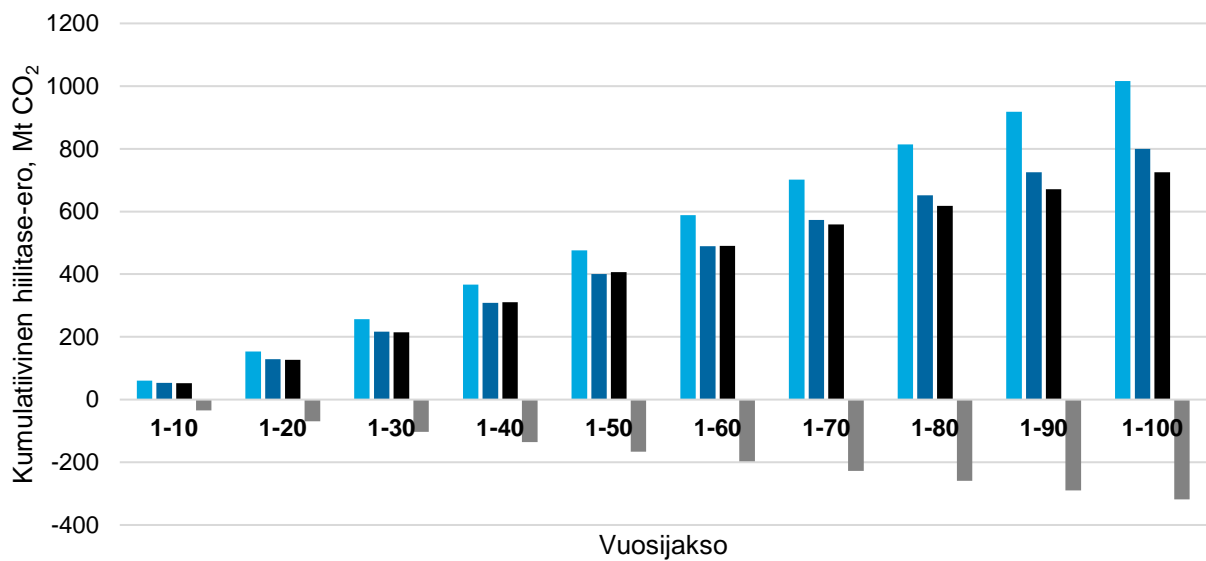


Kuva 18. Hakkuutasojen 63 ja 72 miljoonaa m³ vuodessa väliset tukkipuun käytön hiilitase-erot 10-vuotijaksoina PERUS, JALOSTUSHYÖTY JA LANNOITUS (JL) ja JALOSTUSHYÖTY, LANNOITUS JA ILMASTOMUUTOS (JLILM) -skenaarioissa. Positiivinen arvo kertoo, että hakkuutaso 72 milj. m³/v aiheuttaa hiilidioksidipäästöjä ilmakehään metsänielun vähenemisenä hakkuutasoon 63 milj. m³/v verrattuna. Vastaavasti negatiivinen arvo kertoo tuotteilla saavutettujen ilmastohyötyjen määrän.

Kuvassa 19 on esitetty tukkipuiden hakkuiden lisäämisen kumulatiiviset ilmastovaikutukset 10 vuoden jaksoina. Sadan vuoden nettoilmastovaikutus saadaan vähentämällä viimeisimmän tarkastelujakson kumulatiivisesta metsien nielumenetyksen arvosta sitä vastaava tukkipuiden lisähakkuilla saavutettava ilmastohyöty. Sadan vuoden aikana PERUS-skenaariossa suurempi hakkuumäärä aiheuttaa tukkipuun hyödyntämisen näkökulmasta 698 Mt CO₂ päästön ilmakehään verrattuna tilanteeseen, jossa hakattaisiin 9,4 miljoonaa m³/v vähemmän. JALOSTUSHYÖTY JA LANNOITUS -skenaariossa ero on 481 Mt CO₂ ja JALOSTUSHYÖTY, LANNOITUS JA ILMASTONMUUTOS (JLILM) -skenaariossa 406 Mt CO₂. Ero on samaa luokkaa, jos hakkuita lisätään tasosta 9 miljoonaa m³ vuodessa tasoon 72 miljoonaa m³ vuodessa verrattuna JLILM-skenaariossa (kuva 20). Tämä päästölisiä pitäisi saada takaisin tulevaisuudessa korkeamman hakkuutason mahdollistaman kasvulisäyksen kautta, jotta metsien lisähyödyntämisen ilmastovaikutuksia voitaisiin perustella pitkällä aikavälillä. Kuvista 19 ja 20 kuitenkin nähdään, että vielä sadan vuoden kohdalla alhaisempi hakkuutaso aiheuttaa suuremman nielun. Tilanteen muuttuminen siten, että kuvien 18 ja 19 osoittama nettohiilivaje kääntyisi nettohiilinieluksi ja se määrä vastaisi aiheutettua nettohiilivajetta (summaamalla 1–100 vuoden arvot yhteen), ei näytä mahdolliselta ainakaan 150 vuoteen⁶¹. Lopputuloksena voidaan sanoa, että puurakentamisen kasvattaminen lisäämällä **pysyvästi hakkuutasoa ei voi tuottaa ilmastohyötyjä ainakaan 150 vuoteen nykyisen kaltaisilla metsäteollisuuden tuotteilla ja tuotejakaumalla.**

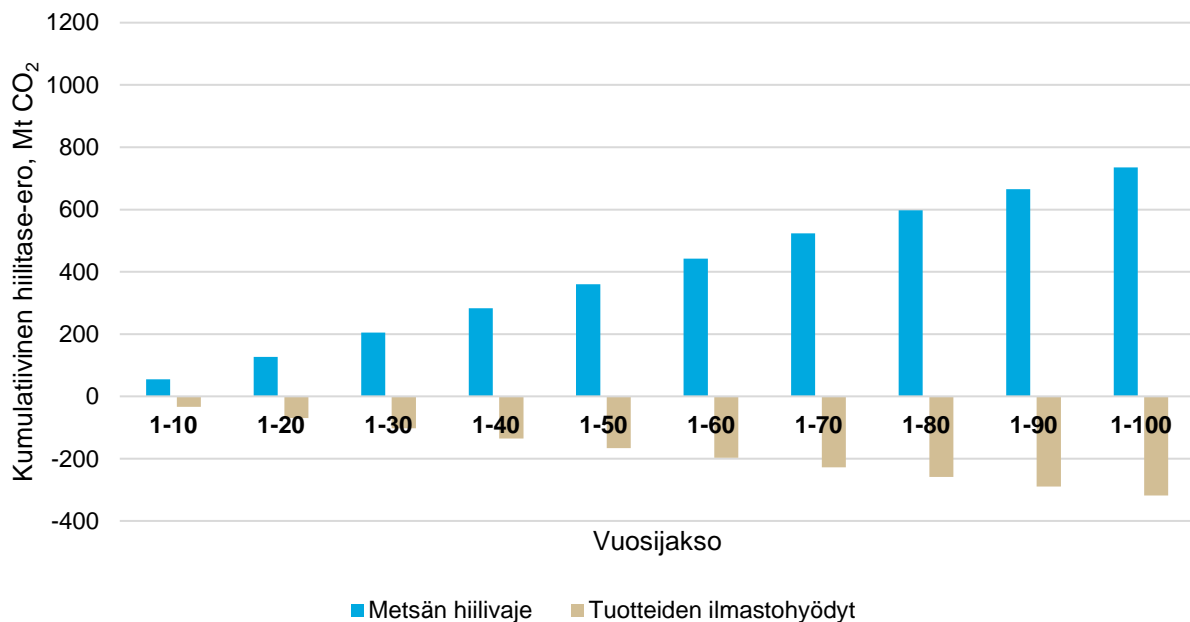
Puurakentamisen lisääminen kotimaisia hakkuita lisäämällä saattaa vaikeuttaa Suomen pääsemistä ilmastotavoitteisiinsa lähivuosikymmeninä, jos tukkipuun hakkuiden kasvattamisen yhteydessä myös hakatun kuitupuun määrä lisääntyy tukkipuun ja kuitupuun saannon suhteessa ja hakkuiden kasvattaminen kokonaisuudessaan tapahtuu liian nopeasti suhteessa Suomen metsien kykyyn sitoa hiiltä tulevana vuosina. Lopputulokseen vaikuttaa myös se, että useimmat metsien hiilensidontaa lisäävät toimet ovat hidasvaikutteisia, metsänlannoitusta lukuun ottamatta. Toisaalta turvemaiden mahdollinen siirtyminen jatkuva peitteiseen metsänkasvatukseen ja kunnostusojitusten vähentäminen voivat lisätä ilmastohyötyjä nopeastikin.

⁶¹ Puurakentamisen kasvihuonekaasupäästövaikutuksia, kun hakkuita kasvatetaan kotimaassa, on tutkittu aikaisemmin vuoteen 2035 mennessä (Soimakallio ym. 2021, ks. alaviite 62). Tulos 15 vuoden aikajäniteellä on samankaltainen kuin tässä yhteydessä esitetty tulos kertoo ko. aikajäniteen vaikutuksista.



■ PERUS - metsän hiilivaje ■ JL - metsän hiilivaje ■ JLILM - metsän hiilivaje ■ Tuotteiden ilmastohödyt

Kuva 19. Hakkuutasojen 63 ja 72 miljoonaa m³ vuodessa väliset tukkipuun käytön kumulatiiviset hiilitase-erot eri vuosijaksoina PERUS, JALOSTUSHYÖTY JA LANNOITUS (JL) ja JALOSTUSHYÖTY, LANNOITUS JA ILMASTOMUUTOS (JLILM) -skenaarioissa. Positiivinen arvo kertoo, että hakkuutaso 72 milj. m³/v aiheuttaa hiilidioksidipäästöjä ilmakehään metsänielun vähenemisenä hakkuutilanteeseen 63 milj. m³/v verrattuna. Vastaavasti negatiivinen arvo kertoo, että tuotteilla saavutetaan ilmastohyötyjä.



■ Metsän hiilivaje ■ Tuotteiden ilmastohödyt

Kuva 20. Hakkuutasojen 72 ja 81 miljoonaa m³ vuodessa väliset tukkipuun käytön kumulatiiviset hiilitase-erot eri vuosijaksoina JALOSTUSHYÖTY, LANNOITUS JA ILMASTOMUUTOS (JLILM) -skenaariossa. Positiivinen arvo kertoo, että hakkuutaso 81 milj. m³/v aiheuttaa hiilidioksidipäästöjä ilmakehään metsänielun vähenemisenä hakkuutilanteeseen 72 milj. m³/v verrattuna. Vastaavasti negatiivinen arvo kertoo, että tuotteilla saavutetaan ilmastohyötyjä.

PUURAKENTAMISEN LISÄYS KASVATTAMATTA KOTIMAISIA HAKKUITA

Edellä saatiin tulokseksi, että tukkipuun hyötykäytön ilmastohyödyt ovat nykytilanteessa noin 2 kertaa suuremmat kuin kuitupuun käytön ilmastohyödyt. Kun puun energian hyötykäytön substituutiovaikutukset pienenevät energiatuotannon puhdistumisen myötä, puurakentamisen hyödyt kasvavat selluntuotantoon nähden, jos sellutuotteiden substituutiovaikutuksissa ei tapahdu merkittävää paranemista (taulukko 7). Lyhyellä aikavälillä voidaan kuitenkin sanoa varmuudella, että jos puurakentamista lisätään siten, että kuitupuun käyttöä vähennetään, muutos johtaa ilmastovaikutusten paranemiseen nykytilanteeseen nähden.

Rakennuspuun määrän nopea kasvattaminen siten, ettei Suomessa lisätä hakkuita, on käytännössä mahdotonta ilman teknisiä innovaatioita, viennin vähentämistä tai puun ulkomailta tuonnin lisäämistä. Näitä voisivat olla valmistusratkaisut, joilla esimerkiksi purusta tehdään pitkäikäisiä rakennustuotteita. Suunnitteilla olevat sellutehtaat kuitenkin vievät toteutuessaan kehitystä toiseen suuntaan: hakkuita kasvatetaan ja se mahdollistaa myös lisäpuun saannin puurakentamiselle kuitu- ja sellupuun saannin välisten kytkösten takia.

Puutuoteteollisuuden tuotannon kasvattaminen nykyisestä pelkästään tukkipuun tuontia kasvattamalla pienentää kotimaan rakennusteollisuuden ja rakentamisvaiheen päästöjä, jos puurakentamisen oletetaan korvaavan nykyistä muuta kotimaista rakennusteollisuutta. Lisäksi tuontipuusta valmistettujen puutuotteiden yhteydessä syntyvillä sivutuotteilla pystytään korvaamaan kotimaassa fossiilisia polttoaineita energiatuotannossa ja tuontipuusta valmistetut puutuotteet lisäävät myös Suomen puutuotteiden hiilivarastoa kasvihuonekaasupäästöjen inventaariossa. Lopputulos kotimaassa kuitenkin riippuu tulevaisuudessa etenkin siitä, kuinka kilpailevista materiaaleista valmistavien tuotteiden ja energiatuotannon päästövähennykset etenevät. Ilmaston kannalta tuontipuun kasvattamisen lopputulosta tulee katsoa globaalisti, mikä tuo oman vaikeusasteen arviointiin. Metsien hyödyntämisen hiilinielumenetys jää puun tuontimaan kasvihuonekaasupäästötaseeseen. Sen suuruus ja palautumisnopeus voi vaihdella melkoisesti hakattua runkopuu-kuutiometriä kohti arvioituna maan metsien kasvuolosuhteista riippuen. Lisäksi Suomessa valmistetut puurakentamistuotteet saavat vähentää vientimaassa enemmän päästöjä kuin Suomessa, jos Suomen muun rakennusteollisuuden päästöt vähenevät nopeammin kuin vientimaan teollisuuden päästöt tai vaihtoehtoisten tuontituotteiden päästöt. Puurakentamisen kasvattaminen tuontipuuta lisäämällä ei ole välttämättä parannus ilmaston kannalta.

Puurakentamisen osuuden kasvattamien kotimaan rakentamisessa pienentämällä rakennuspuutuotteiden vientimäärää ei myöskään todennäköisesti pienennä globaaleja päästöjä, mutta vähentää fossiilisperäisiä päästöjä Suomessa⁶². Kotimaisten rakennuspuutuotteiden valmistus aiheuttaa vielä toistaiseksi keskimäärin vähemmän fossiilisperäisiä päästöjä kuin vastaavat ei-puuperäiset kilpailevat rakennustuotteet aiheuttavat.

PUURAKENTAMISEN LISÄYS PARANTAMALLA MATERIAALITEHOKKUUTTA JA PUUTUOTTEIDEN SUBSTITUUTIOVAIKUTUKSIA

Puurakentamisen määrää ja ilmastovaikutuksia voidaan lisätä hakkuita lisäämättä parantamalla puutuotteiden valmistuksen ja käytön materiaalitehokkuutta. Valmistuksen materiaalitehokkuuden parantaminen tarkoittaa käytännössä saha- ja vaneriteollisuuden nykyisen sivutuotteiksi päätyvän hiilen ohjaamista uusiksi rakentamisen puutuotteiksi kuten lastulevyksi. Ilmaston kannalta myönteinen vaikutus jää

⁶² Soimakallio, S., Häkkinen, T., Seppälä, J. 2021. Puutuotteet hiilivarastona ja uusiutumattomien materiaalien korvaajina - Puurakentamisen lisäämisen vaikutukset kasvihuonekaasutaseisiin Suomessa vuoteen 2035 mennessä. Suomen ympäristökeskuksen raportti 45/2021.

kuitenkin vähäiseksi, koska nykyisten sivutuotteiden hyötykäyttökohteiden, energiantuotannon ja sellun valmistuksen raaka-aineet pitäisi löytää jostakin muualta. Käytännössä tämä johtaisi siihen, että ko. säästetty sivutuotteiden puumateriaalimäärä edellyttäisi vastaavan puumäärän korjaamista metsästä hiilinieluja vähentämällä.

Rakentamisen puutuotteiden materiaalitehokkuutta voidaan parantaa myös kierrättämällä olemassa olevaa puutuotehiiltä tai ohjaamalla käytettyjä puutuotteita uusiokäyttöön. Puutuotteiden elinikää pidentämällä tai hyödyntämällä vanhojen puutuotteiden hiilimateriaali uusissa tuotteissa, vahvistetaan luonnontieteellisesti katsottuna aina puutuotteiden hiilivarastoa. Nykyinen Suomessa käytössä oleva puutuotteiden hiilinielulaskenta kansainvälisessä kasvihuonekaasupäästöjen inventaariossamme perustuu kuitenkin menetelmään, joka ei palkitse toimenpiteistä, joilla puutuotteiden hiilimäärän varastoa kasvatetaan nykyisistä IPCC:n oletusarvoista. Laskentaperustaan olisi kuitenkin tehtävissä muutos kotimaassa käytettävien puutuotteiden osalta, jos Suomi ilmoittaisi haluavansa muuttaa kotimaassa käytettävien puutuotteiden hiilivarastomuutosten laskentatapaa⁶³.

Jos puutuotteita tai niiden hiiltä pystytään käyttämään uusiokäytössä tai tuotteiden valmistuksessa siten, että vältetään uuden neitseellisen puuraaka-aineen käyttöä, niin samalla vältetään hakkuiden aiheuttamaa nielun menetystä metsässä. Tämän seurauksena syntyvä päästövähennys on ilmaston kannalta merkittävämpi kuin mahdolliset kiertotaloustoimenpiteen kautta saavutettavat substituutio- ja nieluhyödyt ainakin tämän vuosisadan aikana. Koko maata koskevien simulointiajojen perusteella tukkipuun hakkuiden säästämisen hiilinieluhyödyt ovat skenaariosta riippuen noin 2,3–3,2 t C/ t C sadan vuoden aikana, kun tukkipuun hyötykäytön substituutio- ja nieluvaikutusten hyödyt jäävät alle 1 t C/ t C. Jos samalla pystytään pienempiin valmistuksen päästöihin aikaisempaan tilanteeseen nähden, puurakentamisen lisääminen aiheuttaa selkeitä ilmastohyötyjä nykytilanteeseen verrattuna.

Puurakentamisen ilmastohyötyjä voidaan kasvattaa myös lisäämällä sellaisten puutuotteiden osuutta puutuoteteollisuudessa, joiden substituutiohyödyt ovat aikaisempaa parempia. Toisin sanoen metsästä otettua tukkipuumäärää kohti saatu vältetty kasvihuonekaasupäästömäärä teknosysteemissä kasvaisi. Substituutiohyötyjä voidaan kasvattaa tehostamalla puutuotteiden valmistuksen materiaalitehokkuutta (ks. edellä) ja vähentämällä fossiilisten polttoaineiden käyttöä puutuoteketjusta. Suurimmat hyödyt kuitenkin todennäköisesti saataisiin ohjaamalla tukkipuun käyttö tuotteisiin, jossa jo valmiisti tiedetään saavutettavan suurimmat kasvihuonekaasupäästövähennykset nykytilanteessa. Nykyisin nämä tuotteet löytyvät käyttökohteista, jossa puutuotteet pystyvät selvästi olemaan vaihtoehto metallituotteille.

⁶³ IPCC 2019. IPCC Updates Methodology for Greenhouse Gas Inventories. <https://www.ipcc.ch/2019/05/13/ipcc-2019-refinement/>.