

Suomen ympäristökeskuksen raportteja 9 | 2023

# **Metsänielujen kehityssuunnat vuosina 2021–2025 ja suhde EU-velvoitteisiin sekä ohjauskeinot nielujen vahvistamiseksi**

Sampo Soimakallio, Sampo Pihlainen



Suomen ympäristökeskus  
Finlands miljöcentral  
Finnish Environment Institute



Suomen ympäristökeskuksen raportteja 9 | 2023

# **Metsänielujen kehityssuunnat vuosina 2021–2025 ja suhde EU-velvoitteisiin sekä ohjauskeinot nielujen vahvistamiseksi**

Sampo Soimakallio, Sampo Pihlainen



**Suomen ympäristökeskus**  
**Finlands miljöcentral**  
**Finnish Environment Institute**

Suomen ympäristökeskuksen raportteja 9 | 2023

Suomen ympäristökeskus

Ilmastomuutoksen hillintä ja muutokseen sopeutuminen / Ilmastoratkaisut

Kirjoittajat: Sampo Soimakallio, Sampo Pihlainen

Suomen ympäristökeskus

Vastaava erikoistoimittaja: Ari Nissinen

Rahoittaja/toimeksiantaja: Ympäristöministeriö

Julkaisija ja kustantaja: Suomen ympäristökeskus (Syke)

Latokartanonkaari 11, 00790 Helsinki, puh. 0295 251 000, syke.fi

Taitto: Pirkko Väänänen

Kannen kuva: Jani Riekkinen/EyeEm/stock.adobe.com

Julkaisu on saatavana veloitusetta internetistä: [syke.fi/julkaisut](https://syke.fi/julkaisut) | [helda.helsinki.fi/syke](https://helda.helsinki.fi/syke)

ISBN 978-952-11-5570-3 (PDF)

ISSN 1796-1726 (verkoj.)

Julkaisuvuosi: 2023



## Tiivistelmä

### Metsänielujen kehityssuunnat vuosina 2021–2025 ja suhde EU-velvoitteisiin sekä ohjauskeinot nielujen vahvistamiseksi

Osana Pariisin ilmastopimukselle antamaa sitoumusta Euroopan unioni on asettanut jäsenmailleen sitovat velvoitteet maankäyttö, maankäytön muutos ja metsätalous -sektorille (ns. LULUCF-sektori) kausille 2021–2025 ja 2026–2030. Osana LULUCF-asetusta on Suomelle määritelty hoidetun metsämaan (mukaan lukien puutuotteet) vertailutasoksi -29,4 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. vuodessa kaudelle 2021–2025. Metsien vertailutaso kuitenkin muuttuu, kun kasvihuonekaasuintentaariossa käytettäviä menetelmiä muutetaan vastaamaan kulloinkin käytössä olevaa parasta tietoa, eli vertailutasoon tehtävien niin sanottujen teknisten korjausten seurauksena.

Tässä raportissa tarkastellaan metsien ja puutuotteiden kasvihuonekaasutaseiden kehitystä Suomessa tilastohistorian aikana vuosina 1990–2021, sekä arvioidaan, miten taseet kehittyvät vuosina 2021–2025, miten Suomen metsien vertailutaso voi muuttua teknisten korjausten seurauksena, ja millaisiksi voivat Suomen laskennalliset hoidetun metsämaan tilinpitoluokan kasvihuonekaasutaseet vuosina 2021–2025 muodostua. Lisäksi raportissa on koostettu julkisuudessa ja kirjallisuudessa esitettyjä ohjauskeinoja metsien hiilinielun vahvistamiseksi Suomessa ja analysoitu niiden kustannustehokkuutta, hyväksyttävyyttä, luotettavuutta sekä tulonsiirtovaikutuksia.

Metsät ovat Suomessa olleet nettohiilinielu koko kasvihuonekaasujen tilastohistorian (1990–2021) ajan. Metsien hiilinielu on kuitenkin alentunut 1990- ja 2000-lukujen tasosta selvästi 2010-luvulla. Syynä tähän ovat olleet erityisesti puuston tilavuuskasvun pieneneminen ja hakkuiden lisääntyminen, joka on todennäköisesti myös osittain pienentänyt puuston tilavuuskasvua. Lisäksi orgaanisten metsämaiden maaperäpäästöt ovat uusimman arvion mukaan kasvaneet, erityisesti 2010-luvulla.

Tällä hetkellä ei ole käytössä ohjauskeinoja, joilla varmistettaisiin hoidetun metsämaan nielun olevan riittävän suuri velvoitteiden saavuttamiseksi. Tässä raportissa arvioidulla puuston kasvun ja hakkuukertymän kehityksellä on olemassa merkittävä riski, että Suomi jää vertailutasosta ja LULUCF-velvoitteista jopa useilla kymmenillä miljoonilla hiilidioksidiekvivalenttitonneilla kaudella 2021–2025. Tämän alijäämän paikkaaminen lisäpäästövähennyksillä taakanjakosektorilla tai ostamalla nieluysiköitä muilta jäsenmailta voi tulla hyvin kalliiksi.

Ohjauskeinokategorioita ovat normiohjaus, taloudelliset ohjauskeinot sekä informaatio-ohjaus. Normiohjaukseen liittyy laaja kattavuus, edullisuus valtiolle ja toteutuksen suoraviivaisuus. Normien tiukkuus on yhteydessä niiden vaikuttavuuteen ja toisaalta hyväksyttävyyteen. Taloudellisten ohjauskeinojen vahvuutena voidaan pitää niiden kustannustehokkuutta. Ne perustuvat tulonsiirtoihin, joilla on vaikutus ohjauskeinon hyväksyttävyyteen, ja jotka voivat vahvistaa tai heikentää valtiontaloutta. Informaatio-ohjauksen vahvuuksina voidaan pitää sen edullisuutta valtiolle ja korkeaa hyväksyttävyyttä toimijoiden keskuudessa ja haasteena vaikeutta ennakoita ohjauksen vaikuttavuutta. Ohjauskeinovalinnasta riippumatta on ensiarvoisen tärkeää kiinnittää huomiota ohjauskeinon käyttöönottopaahan ja käytännön toteutukseen muun muassa toimijoiden sopeutumismahdollisuuksien parantamiseksi, epätoivotun ennakoivan käyttäytymisen ja hiilivuodon ehkäisemiseksi sekä hallinnointikulujen hillitsemiseksi.

**Asiasanat:** hiilinielu, metsä, kasvihuonekaasu, ilmastonmuutos, ohjauskeino, LULUCF

## Sammandrag

### Skogssänkornas utvecklingstrender 2021–2025 och förhållande till EU-förpliktelser samt styrmedel för att förbättra sänkorna

Som en del av åtagandet för klimatavtalet från Paris har Europeiska unionen ålagt sina medlemsländer bindande skyldigheter för sektorn för markanvändning, förändrad markanvändning och skogsbruk (den s.k. LULUCF-sektorn) för perioden 2021–2025 och 2026–2030. Referensnivån för skogsmark som brukas i Finland (inklusive träprodukter) är -29,4 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. per år för perioden 2021–2025. Skogarnas referensnivå ändras dock när metoderna som används i inventariet av växthusgas ändras så att de motsvarar den bästa tillgängliga informationen, det vill säga till följd av så kallade tekniska korrigeringar som görs i referensnivån.

I denna rapport granskas utvecklingen av balansen för växthusgas för Finlands skogar och träprodukter under statistikhistorien åren 1990–2021. I rapporten bedömer vi även hur balansräkningarna utvecklas åren 2021–2025, hur referensnivån för Finlands skogar kan ändra till följd av tekniska korrigeringar och hur Finlands kalkylmässiga växthusgasbalanser i markbokföringskategorin för brukad skogsmark kan bildas åren 2021–2025. Dessutom har man i rapporten sammanställt styrmedel för att förbättra kolsänkan i skogarna i Finland, och analyserat deras kostnadseffektivitet, acceptabilitet, tillförlitlighet och inverkan på inkomstöverföringar.

Skogarna i Finland har varit en nettokolsänka under hela den tid som växthusgaserna har statistikförts (1990–2021). Skogarnas kolsänka har dock tydligt minskat på 2010-talet jämfört med nivån på 1990- och 2000-talen. Orsaken till detta har i synnerhet varit att trädbeståndets volymtillväxt har minskat och avverkningsmängden ökat, vilket sannolikt också delvis har minskat trädbeståndets volymtillväxt. Dessutom har de organiska markernas utsläpp från marken ökat enligt den senaste bedömningen, särskilt på 2010-talet.

För närvarande finns det inga styrmedel för att säkerställa att den vårdade skogsmarkens sänka är tillräckligt stor för att uppfylla skyldigheterna. Den uppskattade utvecklingen av trädbeståndets tillväxt och avverkningsmängden i denna rapport medför en betydande risk för att Finland inte når referensnivån och LULUCF-förpliktelserna. Enligt uppskattningen skulle Finland ligga under referensnivån och efter i förpliktelserna med upp till flera tiotals miljoner ton koldioxidekvivalenter under perioden 2021–2025. Det kan bli mycket dyrt att korrigera detta underskott med ytterligare utsläppsminskningar inom ansvarsfördelningssektorn eller genom att köpa sänkkrediter från andra medlemsländer.

Styrmedelskategorierna är normstyrning, ekonomiska styrmedel och informationsstyrning. Normstyrningen har en bred täckning, en rak implementation och låga kostnader för staten. Normernas striktitet är relaterad till deras effektivitet och acceptabilitet. De ekonomiska styrmedlen är kostnadseffektiva. De bygger på inkomstöverföringar som påverkar acceptabiliteten och som kan förstärka eller försvaga statsbudgeten. Informationsstyrningen har låga kostnader för staten och en hög acceptabilitet, men det är svårt att förutsäga styrningens effektivitet. Särskild uppmärksamhet ska fästas vid hur styrmedlen tas i bruk och hur de genomförs i praktiken för att minska oönskat förutseende beteende och koldioxidläckage, begränsa förvaltningskostnader, och ge aktörerna möjlighet att anpassa sig till förändringar i verksamhetsmiljön.

**Nyckelord:** kolsänka, skog, växthusgas, klimatförändring, styrmedel, LULUCF

## Abstract

### Development trends of forest carbon sinks in 2021-2025 and how they relate to EU obligations, as well as policy instruments for strengthening the sinks

As part of its commitment made to the Paris Climate Agreement, the European Union has set binding obligations for its member states in the land use, land use change, and forestry sector (the so-called LULUCF sector) for the 2021–2025 and 2026–2030 periods. Finland's reference level for managed forest land (including wood products) was -29.4 Mt of CO<sub>2</sub>-eq. a year for 2021–2025. However, the reference level for forests changes when the methods used in the greenhouse gas inventory is altered to correspond to the best knowledge available at any given time – that is, as a result of technical corrections to the reference level.

This report examines the development of the greenhouse gas balances of forests in Finland and harvested wood products during the statistical history in 1990–2021 and evaluates the development of the balances in 2021–2025, how the forest reference level of Finland can change as a result of technical corrections, and how Finland's calculated greenhouse gas balances in the accounting category for managed forest land develop in 2021–2025. In addition, the report compiles policy options that aim to strengthen the carbon sinks of forests in Finland and analyses their cost-efficiency, acceptability, reliability, and income transfer effects.

Forests in Finland have been a net carbon sink as long as greenhouse gas statistics have been kept (1990–2021). However, in the 2010s the forest carbon sink has declined considerably from the levels of the 1990s and 2000s. The main reason for this has been the decline in the growth of the wood volume of the trees, as well as increased felling, which has probably also contributed to the decline in the growth in wood volume. In addition, the emissions from the soil of organic land have grown, according to the latest estimate, especially in the 2010s.

At present there are no policy instruments in use that would ensure that the carbon sink effect of managed forest land would be adequate for the fulfilment of the requirements. The development estimated in this report on how the growth of trees and total felling develop includes a significant risk that Finland will fall behind the reference level and the LULUCF obligations by tens of millions of tonnes of CO<sub>2</sub>-eq. in the 2021–2025 period. Fixing this deficit through further reductions in emissions in the effort sharing sector, or by buying sink units from other member states could prove very costly.

Policy instrument categories are regulation, economic instruments and informational instruments. Regulation entails broad coverage, low costs for the state and straightforward implementation. The strictness of the regulation has implications for its effectiveness and acceptability. Economic instruments are cost-efficient. They are based on income transfers which affect their acceptability and can have positive or negative effects to the state budget. Informational instruments bear low costs for the state and enjoy high acceptance. Their effectiveness is, however, difficult to predict beforehand. Special attention needs to be paid to the way that the policy instruments are taken into use, and to their practical implementation, to reduce undesirable proactive behaviour and carbon leakage, to limit the governance costs, and to give actors the possibility to adapt to the change in the operating environment.

**Keywords:** carbon sink, forest, greenhouse gas, climate change, policy instrument, LULUCF

# Metsänielujen kehityssuunnat vuosina 2021–2025 ja suhde EU-velvoitteisiin sekä ohjauskeinot nielujen vahvistamiseksi

Soimakallio Sampo, Pihlainen Sampo

- Metsien hiilinielu on pienentynyt 2010-luvulla ja se on seurausta erityisesti puuston kasvun alentumisesta ja hakkuiden lisääntymisestä
- Mikäli vuosien 2010–2021 lineaarinen trendi metsien kasvihuonekaasutaseessa jatkuu, muuttuvat metsät Suomessa päästölähteeksi vuonna 2025
- On olemassa merkittävä riski, että Suomi jää vertailutasosta ja LULUCF-velvoitteista jopa useilla kymmenillä miljoonilla hiilidioksidiekvivalenttonneilla kaudella 2021–2025
- Nykyisellä puuston kasvulla voimassa oleva metsien vertailutaso saavutetaan 65–68 Mm<sup>3</sup>:n vuotuisella hakkuukertymällä. Riippuen teknisten korjausten vaikutuksesta vertailutasoon sekä puuston kasvusta ja maaperän kasvihuonekaasutaseista, arvioitiin vertailutason saavuttavan vuotuisen hakkuukertymän epävarmuusväliksi 56–78 Mm<sup>3</sup> (taulukko 11)
- Jotta Suomi voisi saavuttaa metsien vertailutason ja LULUCF-velvoitteet, tulisi käyttöön ottaa tehokkaita ohjauskeinoja, joiden avulla metsien hiilinielua voitaisiin vahvistaa riittävästi ja luotettavasti. Tämä on kuitenkin haastavaa, koska riittävän tehokkaiden ohjauskeinojen käyttöönotto ei ole yksinkertaista ja voi viedä aikaa.
- Ohjauskeinojen käyttöönottopaikkaan ja käytännön toteutukseen on kiinnitettävä erityistä huomiota muun muassa toimijoiden sopeutumismahdollisuuksien parantamiseksi, epätoivotun ennakoivan käyttäytymisen ja hiilivuodon ehkäisemiseksi sekä hallinnointikulujen hillitsemiseksi.



## Esipuhe

Ilmastonmuutoksen hillintä Pariisin ilmastopimuksen tavoitteiden saavuttamiseksi edellyttää nopeita toimia päästöjen vähentämiseksi ja hiilen poistamiseksi ilmakehästä nielujen avulla. Osana Pariisin ilmastopimukselle antamaa sitoumusta Euroopan unioni on asettanut jäsenmailleen sitovat velvoitteet maankäyttö, maankäytön muutos ja metsätalous -sektorille (ns. LULUCF-sektori) kausille 2021–2025 ja 2026–2030. Kaudelle 2021–2025 on LULUCF-sektorin velvoite määritetty jäsenmaille tilinpitoluokittain siten, että kokonaisuudessaan LULUCF-sektorin tilinpitoluokkien vertailulukuihin suhteutettuna päästöt eivät saa ylittää poistumia. Uudistetussa ja komission, Euroopan parlamentin ja neuvoston hyväksymässä LULUCF-asetuksessa kauden 2026–2030 velvoite on jyvitetty jäsenmaille suoraan koko LULUCF-sektoria koskien.

Suomessa metsien hiilinielu on pienentynyt voimakkaasti 2010-luvulla johtuen puuston kasvun alentumisesta, lisääntyneistä hakkuista ja maaperäpäästöjen lisääntymisestä. Tämän seurauksena LULUCF-sektori muuttui Suomessa ensi kertaa tilastohistorian aikana nettopäästölähteeksi. Metsien ja koko LULUCF-sektorin kasvihuonekaasutase riippuu oleellisesti puuston kasvusta ja poistumasta, johon vaikuttavat erityisesti metsien hakkuut. Tällä hetkellä Suomella ei ole käytössä ohjauskeinoja, joilla voitaisiin varmistaa, että hoidetun metsämaan nielu tulee olemaan riittävän suuri velvoitteiden saavuttamiseksi. Ohjauskategorioita ovat normiohjaus, taloudelliset ohjauskeinot sekä informaatio-ohjaus.

Tässä raportissa tarkastellaan metsien ja puutuotteiden kasvihuonekaasutaseiden kehitystä Suomessa tilastohistorian aikana vuosina 1990–2021 sekä arvioidaan miten taseet kehittyvät vuosina 2021–2025, miten Suomen metsien vertailutaso voi muuttua teknisten korjausten seurauksena ja millaiset ovat Suomen laskennalliset hoidetun metsämaan tilinpitoluokan kasvihuonekaasutaseet vuosina 2021–2025. Lisäksi raportissa on koostettu julkisuudessa ja kirjallisuudessa esitetyjä ohjauskeinoja metsien hiilinielun vahvistamiseksi ja analysoitu niiden kustannustehokkuutta, hyväksyttävyyttä, luotettavuutta sekä tulonsiirtovaikutuksia.

Tämä selvitys toteutettiin ympäristöministeriön rahoittamassa SinkDev-hankkeessa Suomen ympäristökeskuksen toimesta. Kirjoittajat haluavat kiittää Ympäristöministeriön neuvottelevaa virkamiestä Tuomo Kalliokoskea ja Suomen ympäristökeskuksen professori Jyri Seppälää arvokkaista kommentteista työn aikana.

Helsingissä huhtikuussa 2023,  
Sampo & Sampo

## Laajennettu tiivistelmä

Sanna Marinin hallituksen ohjelman (Valtioneuvosto 2019) tavoitteena oli, että Suomi on hiilineutraali vuoteen 2035 mennessä ja hiilinegatiivinen pian sen jälkeen. Nämä tavoitteet on myös kirjattu Suomen uudistettuun ilmastolakiin (423/2022), johon on sisällytetty maankäyttösektori. Ilmastolaissa on esitetty päästövähennystavoitteet (pl. maankäyttösektori), mutta ei määrällisiä tavoitteita maankäyttösektorin kasvihuonekaasutaseelle. Päästövähennystavoitteista on kuitenkin johdettavissa, että hiilineutraalius vuonna 2035 saavutetaan, mikäli maankäyttösektori on vähintään -21 miljoonan hiilidioksidiekvivalenttitonin (Mt CO<sub>2</sub>-ekv.) vuotuinen nettohiilinielu.

Osana Pariisin ilmastopimukselle antamaa sitoumusta Euroopan unioni on asettanut jäsenmaille sitovat velvoitteet *maankäyttö, maankäytön muutos ja metsätalous* -sektorille (ns. LULUCF-sektori) kausille 2021–2025 ja 2026–2030. Kaudelle 2021–2025 on LULUCF-sektorin velvoite määritetty jäsenmaille tilinpitoluokittain siten, että kokonaisuudessaan LULUCF-sektorin tilinpitoluokkien vertailulukuihin suhteutettuna päästöt eivät saa ylittää poistumia. Uudistetussa ja komission, Euroopan parlamentin ja neuvoston hyväksymässä LULUCF-asetuksessa kauden 2026–2030 velvoite on jyvitetty jäsenmaille suoraan koko LULUCF-sektoria koskien, toisin kuin voimassa olevassa LULUCF-asetuksessa.

Suomelle hoidetun metsämaan (mukaan lukien puutuotteet) vertailutaso on -29,4 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. vuodessa kaudelle 2021–2025. Metsien vertailutaso kuitenkin muuttuu, kun kasvihuonekaasuinventaarissa käytettäviä menetelmiä muutetaan vastaamaan kulloinkin käytössä olevaa parasta tietoa, eli vertailutasoon tehtävien niin sanottujen teknisten korjausten seurauksena. Esimerkiksi Suomi otti vuoden 2023 kasvihuonekaasuinventaarissa käyttöön uuden turvemaiden maaperämallinnustavan, johon liittyvä tekninen korjaus tulee muuttamaan Suomen metsien vertailutasoa. Lopullisesti vertailutaso ja sen saavuttaminen on tiedossa vuonna 2027, kun vuoden 2025 kasvihuonekaasuinventaario on valmistunut ja sektorin veloitteen mukaisuus tarkistettu. Uudistetussa LULUCF-asetuksessa Suomen LULUCF-sektorin velvoite vuodelle 2030 on -17,8 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. ja vuosien 2026–2029 velvoite johdetaan lineaarisesti vuosien 2021–2023 toteutuneen nielun keskiarvosta ja vuoden 2030 veloitteesta. Myös kauden 2026–2030 velvoite tulee muuttumaan, kun sen taustalla olevat laskelmat tarkentuvat.

Tässä raportissa tarkastellaan metsien ja puutuotteiden kasvihuonekaasutaseiden kehitystä Suomessa tilastohistorian aikana vuosina 1990–2021 sekä arvioidaan miten taseet kehittyvät keskimäärin vuosina 2021–2025, miten Suomen metsien vertailutaso voi muuttua teknisten korjausten seurauksena, ja millaisiksi voivat Suomen laskennalliset hoidetun metsämaan tilinpitoluokan kasvihuonekaasutaseet vuosina 2021–2025 muodostua. Lisäksi raportissa on arvioitu, millaisilla ohjauskeinoilla metsien hiilinielua voitaisiin Suomessa vahvistaa ja analysoitu, ja minkälaisia hyötyjä ja haittoja eri keinoihin liittyy.

Metsät ovat Suomessa olleet nettohiilinielu koko kasvihuonekaasujen tilastohistorian (1990–2021) ajan. Metsien hiilinielu on kuitenkin alentunut 1990- ja 2000-lukujen tasosta (n. -35 Mt CO<sub>2</sub>-ekv./a) selvästi 2010-luvulla (n. -26 Mt CO<sub>2</sub>-ekv./a). Mikäli vuosien 2010–2021 lineaarinen trendi metsien kasvihuonekaasutaseessa jatkuu, muuttuvat metsät Suomessa päästölähteeksi vuonna 2025. Metsien hiilinielun pienentyminen 2010-luvulla on seurausta etenkin puuston vuotuisen tilavuuskasvun alentumisesta tasolle 103 Mm<sup>3</sup> ja hakkuiden lisääntymisen voimistumisesta 2010-luvulla. Lisäksi orgaanisten metsämaiden maaperäpäästöt ovat uusimman kasvihuonekaasuinventaariotiedon mukaan kasvaneet, erityisesti 2010-luvulla. Keskeisin metsien hiilinieluun vaikuttava tekijä on ollut elävän biomassan kasvihuonekaasutase, jonka tässä raportissa osoitettiin riippuvan käytännössä täysin puuston tilavuuskasvun ja -poistuman erotuksesta. Vaikka vuoden 2023 kasvihuonekaasuinventaariossa on esitetty tiedot elävän biomassan kasvihuonekaasutaseelle vuoteen 2021 saakka, muuttuvat vuosien

2014–2021 arviot, mikäli puuston tilavuuskasvu arvio muuttuu VMI13:n ensimmäisten mittausvuosien mukaisesta arviosta (103,23 Mm<sup>3</sup>/a).

Puutuotteet ovat olleet Suomessa vuosina 1990–2021 keskimäärin noin -4 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. vuotuinen nettohiilinielu. Tilinpidossa puutuotteiden vuotuinen kasvihuonekaasutase riippuu kotimaisesta puusta kyseisenä vuonna valmistettavien puutuotteiden määrästä ja aiempien vuosien tuotannosta. Erityisesti sahatavaran ja puulevyjen tuotanto kotimaisesta puusta lisää puutuotteiden laskennalliseen varastoon tulevaa hiilidioksidin määrää.

Tässä raportissa arvioitiin metsien ja puutuotteiden kasvihuonekaasutaseiden kehitystä Suomessa kolmella erilaisella puuston kasvuarviolla (96, 103 ja 106 Mm<sup>3</sup>/a) ja kolmella erilaisella hakkuukertymäarviolla (79, 76 ja 72 Mm<sup>3</sup>/a) kaudelle 2021–2025. Arvioinnissa hyödynnettiin uusinta saatavilla olevaa tilastotietoa kasvihuonekaasuista vuosille 1990–2021 sekä samalle aikavälille puuston tilavuuskasvusta ja poistumasta. Metsien ja puutuotteiden kasvihuonekaasutaseiden keskiarvot vuosille 2021–2025 vaihtelivat keskimäärin välillä -2 ja -21 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. vuodessa puuston kasvusta ja poistumasta riippuen. Tietyllä puuston kasvulla ja poistumalla epävarmuutta arvioitiin olevan ±3,5 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. vuodessa, missä maaperän kasvihuonekaasutaseen epävarmuus oli ±2,5 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. vuodessa ja elävän biomassan kasvihuonekaasutaseen epävarmuus oli ±1 Mt CO<sub>2</sub> vuodessa.

Tässä raportissa arvioitiin käytössä olevien julkisten tietojen perusteella kauden 2021–2025 metsien vertailutaso (hoidettu metsämaa ml. puutuotteet) muutosta. Vertailutaso arvioitiin muuttuvan tiedossa olevien teknisten korjausten seurauksena arvioinnissa käytettyjen keskiarvojen perusteella välillä -24...-26 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. vuodessa ja arvioinnissa käytetyt alaraja- ja yläraja-arviot huomioiden välillä -19...-33 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. vuodessa. Teknisten korjausten vaikutusta vertailutasoon oli kuitenkin vaikea arvioida, koska tarkkaa tietoa siitä, mitä korjauksia tehdään ja miten ne muuttavat vertailutaso määrittämisessä käytettyä mallinnusta ja kalibrointikerrointa, ei ollut käytettävissä.

Metsien vertailutaso ja LULUCF-velvoitteiden saavuttaminen kaudella 2021–2025 tulee olemaan Suomelle haastavaa. Huomioiden epävarmuudet sekä metsien ja puutuotteiden kasvihuonekaasutaseissa että metsien vertailutasossa, vaihtelee vertailutasoon suhteutettu laskennallinen tase -2,5 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. vuotuisesta (yhteensä -12,5 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. kaudella 2021–2025) poistumasta (kasvihuonekaasutase pienempi kuin vertailutaso ts. nielu suurempi kuin vertailutaso) +35 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. vuotuisen (yhteensä +175 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. kaudella 2021–2025) päästöön (kasvihuonekaasutase suurempi kuin vertailutaso ts. nielu pienempi kuin vertailutaso). Suurimmassa osassa tässä raportissa tarkastelluista tapauksista Suomi ei saavuta metsien vertailutasoa. Mikäli LULUCF-asetuksessa määritetty metsäjousto ja Suomen erillisjousto ovat käytettävissä, ja muiden LULUCF-sektorin tilinpitoluokkien laskennalliset päästöt kehittyvät kuten Luonnonvarakeskus loppuvuodesta 2022 arvioi, muodostuu LULUCF-sektorin alijäämäksi (laskennalliseksi päästökseksi) kaudella 2021–2025 noin 0–37 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. vuodessa (yhteensä 0–185 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. kaudella 2021–2025).

Tässä raportissa arvioitiin, että voimassa oleva vertailutaso saavutettaisiin nykyisellä puuston kasvulla 65–68 Mm<sup>3</sup>:n vuotuisella hakkuukertymällä ja arvioidulla puuston kasvun vaihteluvälillä 59–71 Mm<sup>3</sup>:n vuotuisella hakkuukertymällä. Arvioitujen teknisten korjausten seurauksena muuttuva vertailutaso arvioitiin saavutettavan 56–78 Mm<sup>3</sup>:n vuotuisella hakkuukertymällä.

Tällä hetkellä ei ole käytössä ohjauskeinoja, joilla voitaisiin varmistaa, että hoidetun metsämaan nielu tulee olemaan riittävän suuri velvoitteiden saavuttamiseksi. Tässä raportissa arvioidulla puuston kasvun ja hakkuukertymän kehityksellä on olemassa merkittävä riski, että Suomi jää vertailutasosta ja LULUCF-velvoitteista jopa useilla kymmenillä miljoonilla hiilidioksidiekvivalenttitonneilla kaudella 2021–2025. Näin suuren alijäämän kompensoiminen lisäpäästövähennyksillä taakanjakosektorilla tai ostamalla nieluysiköitä muilta jäsenmailta voi olla hyvin haastavaa ja tulla huomattavan kalliiksi.

Keskeinen haaste on se, että nielua pitäisi pystyä kasvattamaan merkittävästi käytännössä heti, mutta tehokkaiden ja riittävän vaikuttavien ohjauskeinojen käyttöönotto ei ole yksinkertaista ja saattaa viedä aikaa. On epäselvää, missä määrin ohjauskeinoilla ehdittäisiin vaikuttaa kauden 2021–2025 metsien ja puutuotteiden hiilinielua kasvattavasti. Mitä pikaisemmin ohjauskeinojen suunnittelu aloitettaisiin, sitä nopeammin ne olisi valmius ottaa käyttöön.

Julkisuudessa ja kirjallisuudessa on esitetty lukuisia ohjauskeinoja metsien hiilinielujen kasvatukseen. Ohjauskeinokategorioita ovat normiohjaus, taloudelliset ohjauskeinot sekä informaatio-ohjaus. Ohjauskeinoehdotuksia voidaan arvioida usealla kriteerillä, ja tässä raportissa on kiinnitetty huomiota ohjauskeinojen kustannustehokkuuteen, hyväksyttävyyteen, luotettavuuteen sekä tulonsiirtovaikutuksiin.

Normiohjaukseen pohjaavista ohjauskeinoehdotuksista on raportissa mukana metsälain muutokset. Tämän ehdotuksen vahvuuksia ovat laaja kattavuus (kaikki metsät automaattisesti regulaation piirissä), edullisuus valtiolle (kustannuksia vain valvonnasta, eikä suuria tulonsiirtoja tarvita) sekä toteuttamisen suoraviivaisuus, sillä on tarpeen vain muuttaa olemassa olevia lakeja ja asetuksia. Ehdotuksen haasteena voidaan pitää sen todennäköisesti rajallista lisäävää vaikutusta metsien hiilinieluihin Suomen tavoitteisiin nähden. Vaikuttavuus riippuu luonnollisesti uusitun lainsäädännön tiukkuudesta, mutta merkittävien tiukennusten hyväksyttävyyden on todennäköisesti heikko. Kaikille toimijoille samat määrärajoitteet laein ja asetuksin eivät myöskään tyypillisesti ole kustannustehokkaita ohjauskeinoja, koska toimijoiden päästövähennys- tai nielunlisäyskustannukset ovat erilaisia.

Taloudellisista ohjauskeinoehdotuksista ovat raportissa mukana hiilituki- ja hiilivuokrajärjestelmät, HiiliMetso, hakkuuoikeusjärjestelmä, puutuotteiden ja puupolttoaineiden päästöoikeusjärjestelmä, metsäsektorin sisäinen päästökauppa, hakkuuhaittaverot, hakkuuvero, puupolttoaineiden verotuen poisto, puutuotteiden hiilivero, vapaaehtoiset hiilimarkkinat, METKA-tukien uudistus, sekä hiilikorvaus METSO-ohjelmaan. Taloudellisten ohjauskeinojen vahvuutena voidaan pitää niiden kustannustehokkuutta, eli niillä päästään teorian mukaan asetettuun tavoitteeseen mahdollisimman pienin kustannuksin. Hiilellä on teorian mukaan oltava hinta sekä sen vapautuessa ilmakehään että sen sitoutuessa sieltä pois. Maankäyttösektori (ml. metsät) eroaa ilmastonmuutoksen torjuntatoimien osalta muista sektoreista (esim. liikenne ja energiantuotanto) erityisesti siksi, että maankäyttösektorin kasvihuonekaasutaseet koostuvat sekä päästöistä että nielujen aikaansaamista poistumista. Tällöin metsien hiilivaraston kasvattamiseksi on siis oltava kannuste sekä välttää metsään tai puuhun sitoutuneen hiilen vapautumista ilmakehään että lisätä metsien hiilensidontaa. Jälkimmäisen osalta on tosin päätettävä suhtautuminen lisäisyyteen, eli maksetaanko kannuste myös sen hiilen osalta, joka olisi sitoutunut metsiin ilman kannustettakin.

Taloudellisiin ohjauskeinoihin kuuluu määritelmällisesti tulonsiirtoja. Tukien tapauksessa niiden maksajana on valtio, jolloin on riski, että ohjauskeinosta tulee kallis valtiolle. Tätä riskiä ei ole verojen tapauksessa, koska tulonsiirtojen saaja on valtio. Tällöin toisaalta haasteeksi voi nousta ohjauskeinojen matala hyväksyttävyyden. Ehdotetuista ohjauskeinoista hiilituki- ja hiilivuokrajärjestelmät, HiiliMetso, METKA-tukien uudistus sekä hiilikorvaus METSO-ohjelmaan sisältävät tulonsiirtoja valtiolta metsänomistajille. Lisäksi tulonsiirtoja metsänomistajille yksityisiltä toimijoilta edustavat metsäsektorin sisäinen päästökauppa ja vapaaehtoiset hiilimarkkinat. Tulonsiirtoja valtiolle edustavat hakkuuhaittaverot, hakkuuvero, puupolttoaineiden verotuen poisto, puutuotteiden hiilivero, sekä toteutuksesta (lähinnä oikeuksien alkujasta) riippuen hakkuuoikeusjärjestelmä sekä puutuotteiden ja puupolttoaineiden päästöoikeusjärjestelmä. Lisäksi on huomionarvoista, että ehdotetut hiilitukijärjestelmäehdotukset sisältävät tyypillisesti metsänomistajille annettavan tuen lisäksi maksun valtiolle hiilen poistuessa metsästä tai sen vapautuessa puusta ilmakehään. Tämän maksun suorittaa ehdotuksesta riippuen metsänomistaja, puun polttaja, tai sen jatkojalostaja. Täten esimerkiksi puutuotteiden verotuen poisto,

puutuotteiden hiilivero ja hakkuuvero voivat olla kokonaistarkastelussa osa hiilitukijärjestelmää, muodostamassa hiilen hinnoittelun järjestelmästä poistuvalla hiilelle.

Hakkuuoikeusjärjestelmä sekä puutuotteiden ja puupolttoaineiden päästöoikeusjärjestelmä perustuvat kansallisesti asetettuun kattoon liikkeelle laskettavista oikeuksista. Kansalliset tavoitteet saavutetaan suurella varmuudella näillä ohjauskeinoilla, jos katto on asetettu niiden mukaisesti. Toisaalta on vaikea arvioida kansallisten hakkuukattojen tai puutuotteiden ja -polttoaineiden päästökattojen yhteyttä kansalliseen metsänielukehitykseen. Lisäksi tavoitteeseen pääsy näillä ohjauskeinoilla voi muodostua kansantaloudellisesti hyvin kalliiksi, jos niiden seurauksena metsäteollisuuden kansantaloudelle tuoma arvonlisä pienenee selvästi enemmän kuin LULUCF-sektorin laskennallisten päästöjen alijäämän kompensointi aiheuttaa valtiolle kustannuksia. Tuki- tai verojärjestelmien tapauksessa puolestaan on haastavaa ennalta tietää tuen tai veron taso, jolla tavoitteisiin päästään. Niiden avulla on toisaalta helppoa arvioida kansantaloudellisesti siedettäviä vaikutuksia toimintaympäristöön.

Taloudellisiin ohjauskeinoihin liittyy lisäksi kysymys järjestelmien toteutettavuudesta. Yksityiskohtaiset järjestelmät voivat olla teoreettisesti perusteltuja, mutta tietovaatimuksiltaan epäkäytännöllisiä ja kalliita. Esimerkiksi metsikkö- ja metsänomistajatasoisten hiilitaseiden määrittämiseen tarvittavilla tietojärjestelmillä ja hallinnoinnilla on riski muodostua liian raskaiksi. Kansainväliset esimerkit osoittavat, että tämä voi estää ohjauskeinon tarkoituksenmukaisen toiminnan.

Informaatio-ohjausta ohjauskeinona edustavat raportissa olemassa olevista kansallisista politiikka-toimista maankäyttösektorin ilmastosuunnitelma (MISU) ja Kansallinen metsästrategia 2035 (KMS2035). Molempien toimenpiteisiin sisältyvät ohjauskeinot metsien hiilinielujen kasvattamiseksi painottuvat informaatio-ohjaukseen, koulutukseen ja neuvontaan. Informaatio-ohjauksen vahvuuksina voidaan pitää sen edullisuutta valtiolle (ei tarvetta tulonsiirtoihin) sekä sen korkeaa hyväksyttävyyttä toimijoiden keskuudessa. Informaatio-ohjauksen puutteena pidetään usein sitä, että sen vaikuttavuus voi jäädä tavoitteiden kannalta hyvin alhaiseksi ja on hyvin vaikea etukäteen arvioida sen aikaansaa-  
maa muutosta toimijoiden käytöksessä.

Raportissa esitellyistä ohjauskeinoista Metsähallituksen omistajapoliittisten linjausten päivitys, metsien suojelupinta-alan lisäys sekä valtion ja metsäteollisuuden väliset vapaaehtoiset sopimusjärjestelyt eivät suoraan ole mihinkään edellä mainittuun ohjauskeinokategoriaan kuuluvia (pl. METSO-suojeluohjelma), vaan edustavat lähinnä valtion päätösvaltaa hallinnoimansa omaisuuden käytössä sekä valtion neuvotteluvoimaa yksityisiin tahoihin nähden.

Ohjauskeinovalinnasta riippumatta on ensiarvoisen tärkeää kiinnittää huomiota ohjauskeinon käyttöönottopaahan ja käytännön toteutukseen. Kansainväliset ja kansalliset esimerkit osoittavat merkittävän riskin ennakoivaan käyttäytymiseen (esim. aavistushakkuut) erityisesti ennen velvoittavan ohjauskeinon käyttöönottoa. Lisäksi on perusteltua ottaa ohjauskeino porrastaen käyttöön, sillä tällä annetaan toimijoille mahdollisuus sopeutua toimintaympäristön muutokseen. Toisaalta tällöin ohjauskeinon mahdollisuudet vaikuttaa nielun kasvuun lyhyellä aikavälillä voivat jäädä vähäisiksi. Ohjauskeinon käytännön toteutuksen pohdinnassa on tärkeää varmistaa, etteivät järjestelmän hallinnointikulut kasva liian suuriksi.

Kansallisiin vapaaehtoisuuteen perustuviin ohjauskeinoihin liittyy maansisäisen hakkuuvuodon riski. Lisäksi kaikkiin velvoittaviinkin instrumentteihin liittyy kansainvälisen hakkuuvuodon riski, mikä tosin ei suoraan liity Suomen EU-velvoitteiden täyttymiseen, vaikka onkin globaalin ilmastokysymyksen kannalta olennainen. Hakkuuvuodon tutkimukseen on syytä panostaa lähivuosina lisää, jotta tämän ongelman ratkaisuun löydettäisiin keinoja.

Tässä raportissa tarkasteltujen näkökulmien lisäksi ohjauskeinoja suunniteltaessa on tärkeää huomioida ohjauskeinon toteutettavuus, mihin liittyy muun muassa erilaisia tietotarpeita ja juridisia kysy-



myksiä. Lisäksi olisi tärkeää arvioida mahdollisimman monipuolisesti ohjauskeinoilla tuotettavia ja vältettäviä ympäristöllisiä, taloudellisia ja sosiaalisia vaikutuksia, jotta kokonaisuuden kannalta paras ratkaisu olisi löydettävissä.

# Sisällys

Tiivistelmä.....	3
Sammandrag.....	4
Abstract .....	5
Esipuhe .....	7
Laajennettu tiivistelmä.....	8
<b>1 Johdanto .....</b>	<b>15</b>
<b>2 Metsien ja puutuotteiden kasvihuonekaasutaseet .....</b>	<b>17</b>
2.1 Yleistä .....	17
2.2 Historiallinen kehitys vuosina 1990–2021 .....	17
2.2.1 Elävän biomassan kasvihuonekaasutase .....	17
2.2.2 Maaperän kasvihuonekaasutaseet .....	22
2.2.3 Metsien ja puutuotteiden kasvihuonekaasutaseet .....	24
2.3 Arvioitu kehitys vuosina 2021–2025 .....	26
2.3.1 Elävän biomassan kasvihuonekaasutase .....	26
2.3.2 Maaperän kasvihuonekaasutase.....	28
2.3.3 Metsien ja puutuotteiden kasvihuonekaasutaseet .....	29
<b>3 Suomen metsien vertailutaso 2021–2025 ja sen vastaavuus uusimpien kasvihuonekaasuarvioiden kanssa.....</b>	<b>30</b>
3.1 Suomen metsien vertailutaso ja sen tekniset korjaukset .....	30
3.2 Vertailutason vastaavuus uusimpien kasvihuonekaasuinventointimenetelmien kanssa.....	31
3.3 Arvio Suomen metsien vertailutason ja LULUCF-velvoitteen saavuttamisesta .....	35
3.3.1 Hoidetun metsämaan laskennalliset päästöt.....	35
3.3.2 LULUCF-tilinpitoluokkien laskennalliset päästöt.....	35
3.3.3 Vertailutason saavuttamisen kannalta suurin hakkuukertymä .....	36
<b>4 Ohjauskeinot metsien ja puutuotteiden hiilinielun kasvattamiseksi .....</b>	<b>38</b>
4.1 Ohjauskeinojen teoriaa .....	38
4.1.1 Ohjauskeinovaihtoehdot.....	38
4.1.2 Ohjauskeinojen arviointi .....	39
4.2 Tämänhetkiset ohjauskeinot Suomessa metsien hiilinielujen kasvattamiseksi.....	40
4.2.1 Maankäyttösektorin ilmastosuunnitelma (MISU).....	40
4.2.2 Kansallinen metsästrategia 2035 (KMS2035) .....	41
4.2.3 Metsätalouden määräaikainen kannustejärjestelmä (METKA) .....	41
4.3 Julkisuudessa ja kirjallisuudessa esitetyt ohjauskeinot metsien hiilinielun kasvattamiseksi.....	42
4.3.1 Hiilituki- ja hiilivuokrajärjestelmät .....	42
4.3.2 HiiliMetso 48	
4.3.3 Hakkuuoikeusjärjestelmä.....	49

4.3.4	Puutuotteiden ja puupolttoaineiden päästöoikeusjärjestelmä .....	49
4.3.5	Metsäsektorin sisäinen päästökauppa .....	50
4.3.6	Hakkuuhaittaverot .....	50
4.3.7	Hakkuuvero .....	50
4.3.8	Puupolttoaineiden verotuen poisto .....	51
4.3.9	Puutuotteiden hiilivero .....	52
4.3.10	Vapaaehtoiset hiilimarkkinat .....	52
4.3.11	METKA-tukien uudistus .....	53
4.3.12	Hiilikorvaus METSO-ohjelmaan .....	53
4.3.13	Informaatio-ohjaus .....	54
4.3.14	Metsähallituksen omistajapolitiittisten linjausten päivitys .....	54
4.3.15	Metsien suojelupinta-alan lisäys .....	55
4.3.16	Metsälain muutokset .....	55
4.3.17	Valtion ja metsäteollisuuden väliset vapaaehtoiset sopimusjärjestelyt .....	56
<b>5</b>	<b>Johtopäätökset .....</b>	<b>57</b>
5.1	Yleistä .....	57
5.2	Metsien hiilinielun kehitys ja Suomen metsien vertailutason saavuttaminen .....	57
5.3	Ohjauskeinot metsien hiilinielun kasvattamiseksi .....	58
	Lähteet .....	59

# 1 Johdanto

Sanna Marinin hallituksen ohjelman (Valtioneuvosto 2019) tavoitteena oli, että Suomi on hiilineutraali vuoteen 2035 mennessä ja hiilinegatiivinen pian sen jälkeen. Nämä tavoitteet on myös kirjattu Suomen uudistettuun ilmastolakiin (423/2022), johon on sisällytetty maankäyttösektori. Hiilineutraalius vuonna 2035 saavutetaan Ilmastolaissa asetetuilla päästövähennystavoitteilla (pl. maankäyttösektori), mikäli maankäyttösektori on vähintään -21 miljoonan hiilidioksidiekvivalenttitonin (Mt CO<sub>2</sub>-ekv.) vuotuinen nettohiilinielu.

EU:n maankäyttöä, maankäytön muutosta ja metsätaloutta (ns. LULUCF-sektori) koskeva LULUCF-asetus velvoittaa, että LULUCF-sektori ei saa muodostaa määriteltyjen tilinpitosääntöjen mukaan ja joustomahdollisuudet huomioiden laskennallisia päästöjä kausilla 2021–2025 ja 2026–2030 (EU 2018/841). Komission esittämästä uudistetusta LULUCF-asetuksesta (Euroopan komissio 2021) päästiin komission, Euroopan parlamentin ja jäsenmaiden kesken alustavaan sopuun marraskuussa 2022 (Euroopan neuvosto 2022). Sen mukaisesti voimassa olevan LULUCF-asetuksen sääntöjä noudatetaan ilman merkittäviä muutoksia vuoteen 2025 saakka. Kauden 2026–2030 tilinpitosäännöt on uudistettu suhteessa voimassa olevaan LULUCF-asetukseen.

Voimassa olevan LULUCF-asetuksen mukaisesti kaudella 2021–2025 LULUCF-sektorin eri maankäyttöluokkien kasvihuonekaasutasetta verrataan hoidetun viljelysmaan ja hoidettujen ruohikkoalueiden ja hoidettujen kosteikkojen osalta vuosien 2005–2009 keskiarvoon ja hoidetun metsämaan (ml. puutuotteet) osalta metsien kaudelle 2021–2025 määriteltyyn vertailutasoon, joka perustuu vuosina 2000–2009 toteutuneiden metsänhoitokäytänteiden jatkamiseen kaudelle 2021–2025. Maankäytön muutosten kasvihuonekaasutase lasketaan täysimääräisinä. Hoidettujen kosteikkojen sisällyttäminen on asetuksen mukaan vapaaehtoista.

Suomen metsien vertailutaso kaudelle 2021–2025 on komission asettaman delegoidun säädöksen mukaan 29,4 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. vuodessa (European commission 2020). Metsien ja puutuotteiden toteutuuva kasvihuonekaasutasetta kaudelta 2021–2025 tullaan asetuksen mukaan vertaamaan määriteltyyn vertailutasoon. Jäsenmaiden on toimitettava 15.3.2027 mennessä Euroopan komissiolle kertomus, joka sisältää vaaditut tiedot kasvihuonekaasutaseista. Vertailutasoon tullaan tarvittaessa tekemään niin sanottuja teknisiä korjauksia, jotta voidaan varmistaa johdonmukaisuus kasvihuonekaasujen raportoinnissa käytettävien menetelmien kanssa. Tekninen korjaus suoritetaan, mikäli kasvihuonekaasuinventoinnissa käytettävät menetelmät ovat muuttuneet kertomuksen toimittamisen ajankohtana vuoden 2019 raportoinnissa käytetyistä menetelmistä.

Kaudella 2026–2030 ei uudistetussa LULUCF-asetuksessa sovelleta vertailulukuja eri maankäyttöluokille, vaan LULUCF-sektorille on asetettu jäsenmaakohtainen velvoite. Suomelle vuoden 2030 velvoite on -17,8 Mt CO<sub>2</sub>-ekv., mutta velvoite tulee muuttumaan, kun jyvityksen taustalla olevat tiedot tarkentuvat. Vuosien 2026–2029 velvoite määräytyy nelivuotisena budjettina, joka johdetaan lineaarisesti vuodelle 2022 asetetusta vuosien 2021–2023 raportoitujen LULUCF-sektorin kasvihuonekaasutaseiden ja vuodelle 2030 asetetun velvoitteen perusteella. Mikäli vuosien 2026–2029 velvoitetta ei saavuteta, kerrotaan alijäämä kertoimella 1,08, ja tulos lisätään vuoden 2030 velvoitteeseen. (Euroopan neuvosto 2022)

Vuoden 2023 kasvihuonekaasuinventaarion mukaan Suomessa LULUCF-sektorin nettonielu on pienentynyt 2010-luvulla ja maankäyttösektori oli vuonna 2021 ensimmäistä kertaa nettopäästölähde (n. 0,5 Mt CO<sub>2</sub>-ekv./a) (Luke 2023a). Nettonielussa tapahtuneet muutokset johtuvat erityisesti metsien hiilinielun vaihtelusta (Luke 2023a). 2010-luvulla metsien hiilinielu on pienentynyt selvästi 1990- ja

2000-luvun tasoon nähden. Metsien hiilinielu riippuu oleellisesti puuston kasvun ja poistuman välisestä erotuksesta. Syynä metsien hiilinielun pienentymiseen on erityisesti hakkuiden lisääntyminen yhdessä valtakunnan metsien 13. inventoinnissa kahtena ensimmäisenä mittausvuotena havaitun puuston kasvun alenemisen kanssa. Lisäksi metsien maaperä on uusimman arvion mukaan kääntynyt nettonielusta nettopäästöjen lähteeksi (Luke 2023a). Metsien ohella puutuotteiden nielu vaihtelee vuosittain johtuen erityisesti sahatavaran ja puulevyjen tuotannossa tapahtuvista volyymin muutoksista. Myös puutuotteiden nielu on ollut alenemaan päin. Muissa maankäyttöluokissa (pl. hoidettu metsämaa ja puutuotteet) tapahtuneet muutokset ovat olleet verrattain vähäisiä 2000-luvun alun jälkeen (Luke 2023a).

Luonnonvarakeskuksen arvion mukaan Suomi olisi jäämässä LULUCF-asetuksen kauden 2021–2025 velvoitteesta kumulatiivisesti jopa useilla kymmenillä miljoonilla hiilidioksidiekvivalenttitonneilla, ellei LULUCF-sektorin nettonielua saada lisättyä oleellisesti viimeisten vuosien tasosta (Luke 2022a). Muissa maankäyttöluokissa (pl. hoidettu metsämaa ja puutuotteet) ei arvioida tapahtuvan merkittäviä muutoksia kaudella 2021–2025 (Luke 2022a). Näin ollen nettonielun kehityksessä kaudella 2021–2025 oleellisin epävarmuus liittyy hoidetun metsämaan ja puutuotteiden yhteenlasketun kasvihuonekaasutaseen kehitykseen. Tämän ohella metsien vertailutason saavuttaminen riippuu siitä, miten vertailutaso teknisten korjausten seurauksena tulee muuttumaan. Tilastotiedot metsien hiilinielussa ovat muuttuneet sitä mukaa, kun kasvihuonekaasuinventoinnissa on otettu käyttöön uusia menetelmiä. Metsien vertailutaso on laskettu käyttämällä vuoden 2019 raportoinnissa käytettyjä menetelmiä, jotka poikkeavat muun muassa vuoden 2023 kasvihuonekaasuinventaarion menetelmistä.

Tämän työn tavoitteena oli arvioida metsien hiilinielun kehitystä Suomessa vuosina 2021–2025 sekä kasvihuonekaasuinventaarioon mahdollisesti tehtävien teknisten korjausten vaikutuksia Suomen metsien vertailutasoon vuoden 2023 kasvihuonekaasuinventaarion tietojen perusteella. Lisäksi tavoitteena oli koostaa julkisuudessa ja kirjallisuudessa esitettyjä ohjauskeinoja metsien hiilinielun vahvistamiseksi Suomessa ja arvioida niiden kustannustehokkuutta, hyväksyttävyyttä, luotettavuutta sekä tulonsiirtovaikutuksia.



## 2 Metsien ja puutuotteiden kasvihuonekaasutaseet

### 2.1 Yleistä

Suomi on veloitettu muiden YK:n ilmastopimuksen liitteessä I mainittujen maiden (ns. Annex I -maat) tavoin raportoimaan kasvihuonekaasupäästöistään kasvihuonekaasuinventaarioissa vuosittain 15 huhtikuuta mennessä. Nämä raportit koskevat kasvihuonekaasujen lähteiden aiheuttamia päästöjä ja nielujen aikaansaamia poistumia suorista kasvihuonekaasuista energian tuotannosta ja kulutuksesta, teollisista prosesseista, liuottimista, maataloudesta, jätesektoreista sekä maankäytöstä, maankäytön muutoksista ja metsätaloudesta (LULUCF) kaikille vuosille sopimuksessa määritellystä perusvuodesta uusimpaan tilastovuoteen saakka (UNFCCC 2023). Raportoinnissa noudatetaan hallitusten välisen ilmastopaneelin (IPCC) ohjeistusta (IPCC 2006, 2019a).

YK:n ilmastopimukselle raportoitavat LULUCF-sektorin maankäyttöluokat ovat: metsämaa, viljelysmaa, ruohikkoalueet, kosteikot, rakennettu maa ja puutuotteet. Biomassan hiilidioksidipäästöt ja -poistumat raportoidaan varastonmuutoksina virtojen sijasta IPCC:n ohjeistuksen mukaisesti (IPCC 2006). Kasvihuonekaasutaseeseen lasketaan myös muut kasvihuonekaasut kuin hiilidioksidi. LULUCF-sektorin osalta lasketaan CO<sub>2</sub>:n lisäksi metaani (CH<sub>4</sub>) ja typpioksiduuli (N<sub>2</sub>O), joiden virrat muunnetaan hiilidioksidiekvivalenteiksi käyttämällä IPCC:n määrittämiä GWP<sub>100</sub>-kertoimia.

Suomen kasvihuonekaasuinventaariossa metsämaan kasvihuonekaasutase koostuu elävän biomassan ja maaperän kasvihuonekaasutaseista, jotka raportoidaan erikseen sekä kivennäismaille että turvemaille (Tilastokeskus 2022). Metsämaan nielu tarkoittaa sitä, että metsien elävään biomassaan ja maaperään on yhteensä sitoutunut tarkasteltavana ajanjaksona enemmän hiilidioksidiekvivalenteina ilmaistuna kasvihuonekaasuja kuin sieltä on vapautunut ilmakehään tai biomassan korjuun myötä poistunut. Kyse on siis hiilidioksidiekvivalenteina ilmaistavasta nettonielusta, joka ilmaistaan negatiivisena päästönä. Jos tase on positiivinen, kyseessä on nettopäästö. Vastaavasti puutuotteiden nielu tarkoittaa sitä, että puutuotteiden hiilivarasto on tarkasteltavana ajanjaksona kasvanut, eli puutuotteisiin on siirtynyt enemmän hiiltä kuin sieltä on vapautunut ilmakehään. Suomi raportoi puutuotteiden kasvihuonekaasutaseen käyttämällä niin sanottua tuotantomenetelmää (*Production approach*), jossa huomioidaan raportoivan maan puutuotteisiin liittyvät hiilivarastonmuutokset siltä osin kuin puutuote on tuotettu raportoivassa maassa kotimaisesta puusta (IPCC 2019b).

Seuraavissa alaluvuissa tarkastellaan metsien ja puutuotteiden kasvihuonekaasutaseiden kehitystä Suomessa kasvihuonekaasujen tilastohistorian (1990–2021) aikana, kehityksen taustalla vaikuttavia tekijöitä sekä arvioidaan kehitystä EU:n LULUCF-asetuksen ensimmäisen sitoumuskauden loppuun, vuoteen 2025 saakka.

### 2.2 Historiallinen kehitys vuosina 1990–2021

#### 2.2.1 Elävän biomassan kasvihuonekaasutase

Suomen kasvihuonekaasuinventaarioissa elävän biomassan kasvihuonekaasutase lasketaan elävän biomassan kasvun ja poistuman erotuksena. Elävän biomassan kasvu ja poistuma johdetaan runkopuun tilavuuskasvusta ja -poistumasta, jotka muunnetaan maanpäälliseksi ja maanalaiseksi biomassaksi

muuntokertoimien avulla, jotka on määritelty erikseen kivennäis- ja turvemaille, Etelä- ja Pohjois-Suomelle ja kolmelle puulajiryhmälle (mänty, kuusi, lehtipuut) (Tilastokeskus 2022).

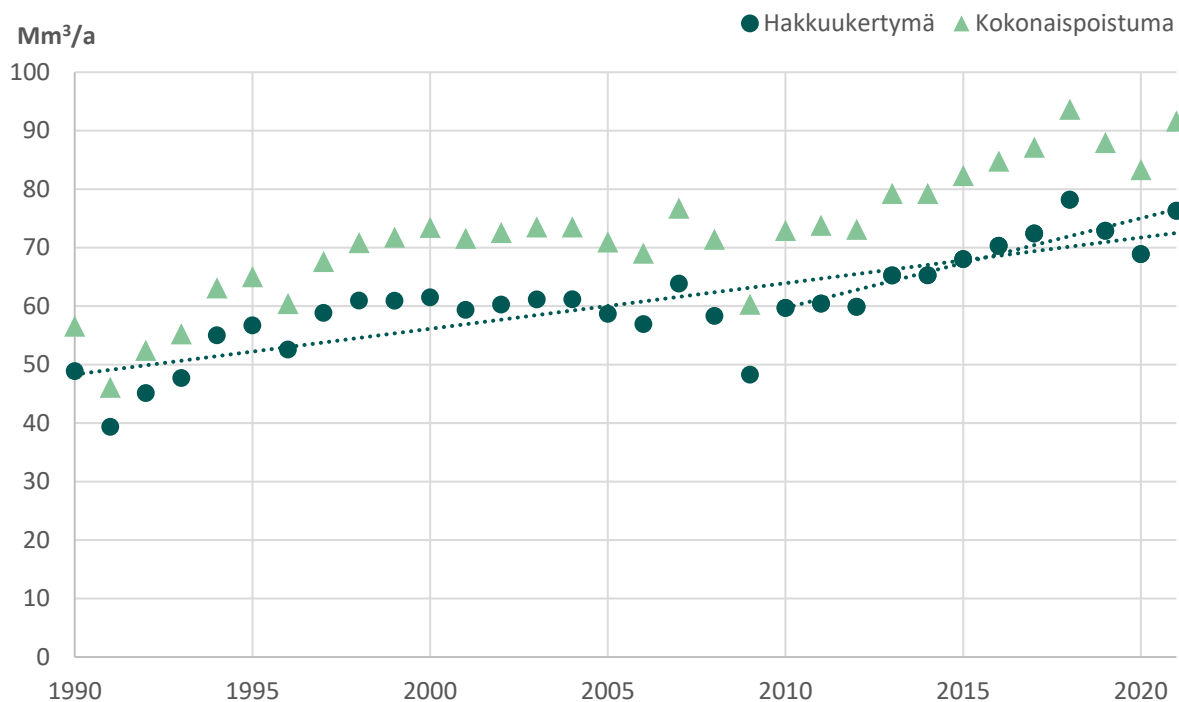
Suomessa puuston tilavuuskasvu on lähes kaksinkertaistunut 1950–1970-luvulta 2010-luvulle (Luke 2023b). Tänä ajanjaksona puuston mitattu tilavuuskasvu lisääntyi aina valtakunnan metsien 12. inventointiin (VMI12) saakka, kunnes kääntyi laskuun VMI13:n ensimmäisten mittausvuosien tietojen perusteella (taulukko 1). Kasvihuonekaasuinventaariorissa VMI-aineistoissa mitattu puuston keskimääräinen kasvu on asetettu aina kulloisenkin mittausjakson keskivuoteen ja välivuodet on interpoloitu lineaarisesti VMI-aineistojen keskimääräisistä kasvuista. Aiemmissa kasvihuonekaasuinventaariorissa puuston tilavuuskasvu ekstrapoloitiin (esim. Tilastokeskus 2022) viimeisimmän VMI-aineiston puuston kasvun keskivuoden jälkeisille tilastovuosille, mutta vuoden 2023 kasvihuonekaasuinventaariorissa ekstrapoloinnista on luovuttu ja puuston tilavuuskasvun on oletettu pysyvän vakiona viimeisimmän mitatun kasvun tasolla. Näin ollen vuoden 2023 kasvihuonekaasuinventaariorissa puuston vuotuisen tilavuuskasvun on oletettu olevan 103,23 Mm<sup>3</sup> vuosina 2017–2021 (Luke 2022b).

**Taulukko 1. Puuston vuotuinen keskimääräinen kasvu metsä- ja kitumaalla Suomessa viimeisimpien valtakunnan metsien inventointien (VMI8-VMI13/12) mukaan (Luke 2023b) ja mitattua keskimääräistä puuston kasvua kuvaava keskivuosi (Tilastokeskus 2022)**

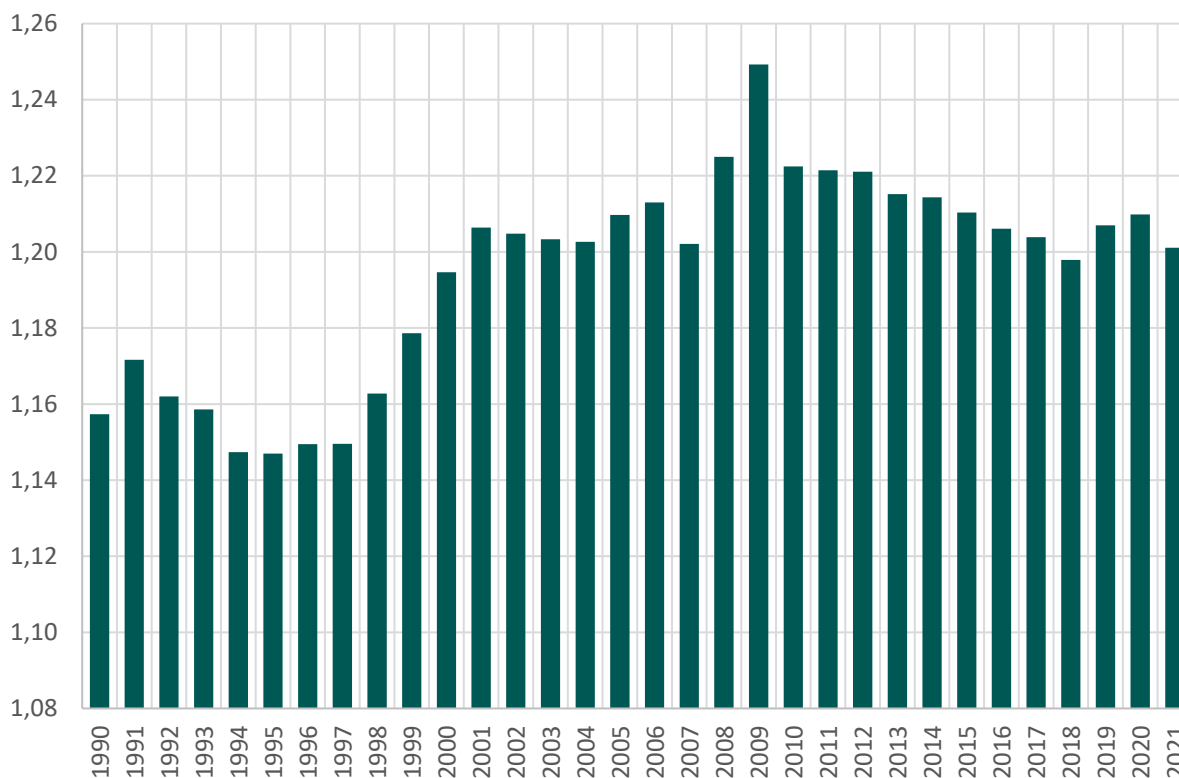
Inventointi	Kasvu, Mm <sup>3</sup> /a	Keskivuosi
VMI 8 (1986–1994)	77,70	1987
VMI 9 (1996–2003)	86,70	1997
VMI 10 (2004–2008)	99,50	2003
VMI 11 (2009–2013)	105,50	2008
VMI 12 (2014–2018)	107,82	2013
VMI 13 (2019–2021)	103,23	2017

Suomessa vuotuisen hakkuukertymä on ollut keskimäärin noin 53 Mm<sup>3</sup> 1990-luvulla, noin 59 Mm<sup>3</sup> 2000-luvulla ja noin 67 Mm<sup>3</sup> 2010-luvulla. Keskimäärin hakkuukertymä on noussut noin 0,8 Mm<sup>3</sup> vuodessa vuosina 1990–2021 (kuva 1). Lineaarisen trendin mukaan hakkuukertymän nousu on ollut tilastollisesti merkitsevää vuosina 1990–2021 ja 2010–2021, jolloin hakkuukertymä on noussut enemmän kuin vuosina 1990–2021 (kuva 1). Puuston kokonaispoistuma koostuu hakkuukertymästä, metsään jäävästä hukkarunkopuusta ja luonnonpoistumasta, ja kokonaispoistumassa tapahtuvat muutokset seuraavat melko tarkasti hakkuukertymän muutoksia (kuva 1). Puuston kokonaispoistuman ja hakkuukertymän suhde on kasvihuonekaasujen tilastointijakson (1990–2021) aikana vaihdellut noin 1,15–1,25 välillä, ollen keskimäärin noin 1,19 (kuva 2).

Luonnonvarakeskuksen arvion mukaan metsien ikärakenne selittää noin viidenneksen VMI12:n ja VMI13:n välillä havaitusta 4,5 Mm<sup>3</sup>:n vuotuisen kasvun alenemasta (Luke 2022a). Näin ollen noin neljä viidesosaa selittyy ympäristötekijöillä. Tästä ei voida kuitenkaan päätellä hakkuiden lisäyksen vaikutusta puuston kasvuun, mikä voitaisiin saada selville vain simuloimalla tilanne, jossa hakkuut eivät olisi tietystä vuodesta eteenpäin (esimerkiksi 1990 tai 2010) kasvaneet. Luonnonvarakeskuksen (Luke 2022a) vuosille 2018–2047 laatimissa simulaatioissa ”*hakkuutason lisäys tai vähennys vertailutasosta viidellä miljoonalla kuutiometrillä vähensi tai lisäsi metsien vuotuista kasvua keskimäärin 0,7 miljoonalla kuutiometrillä*”. Keskimäärin hakkuutason vuotuinen lisäys 1 Mm<sup>3</sup>:llä vertailutasosta alensi siis puuston vuotuista kasvua 0,14 Mm<sup>3</sup>. Mikäli vastaava vaikutus on aiheutunut myös hakkuiden keskimääräisestä lisäyksestä vuosina 1990–2021 (n. 0,8 Mm<sup>3</sup>/a), on hakkuiden lisäys pienentänyt puuston vuotuista kasvua noin 3,5 Mm<sup>3</sup> siitä, mitä puuston kasvu olisi ilman hakkuissa tapahtunutta lisäystä. Osa tästä vaikutuksesta saattaa kuitenkin realisoitua vasta tulevina vuosina.

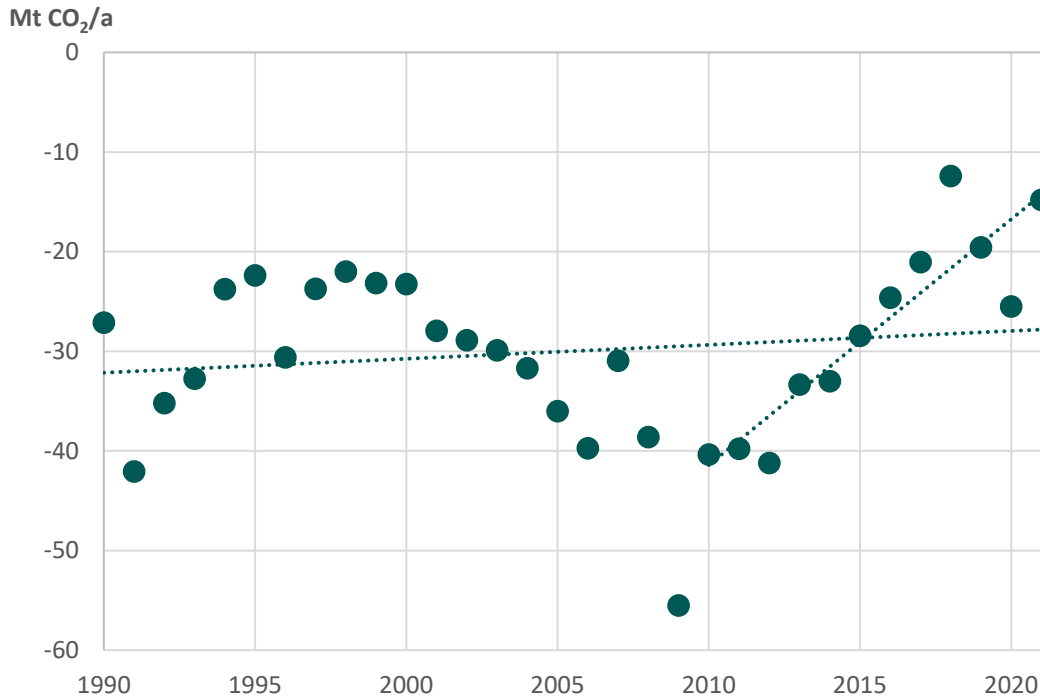


Kuva 1. Runkopuun hakkuukertymä ja kokonaispoistuma Suomessa 1990–2021 (Luke 2023b) sekä hakkuukertymään sovitetut lineaariset trendit vuosille 1990–2010 ( $p=3,8 \cdot 10^{-9}$ ) ja 2010–2021 ( $p=1,0 \cdot 10^{-4}$ ).

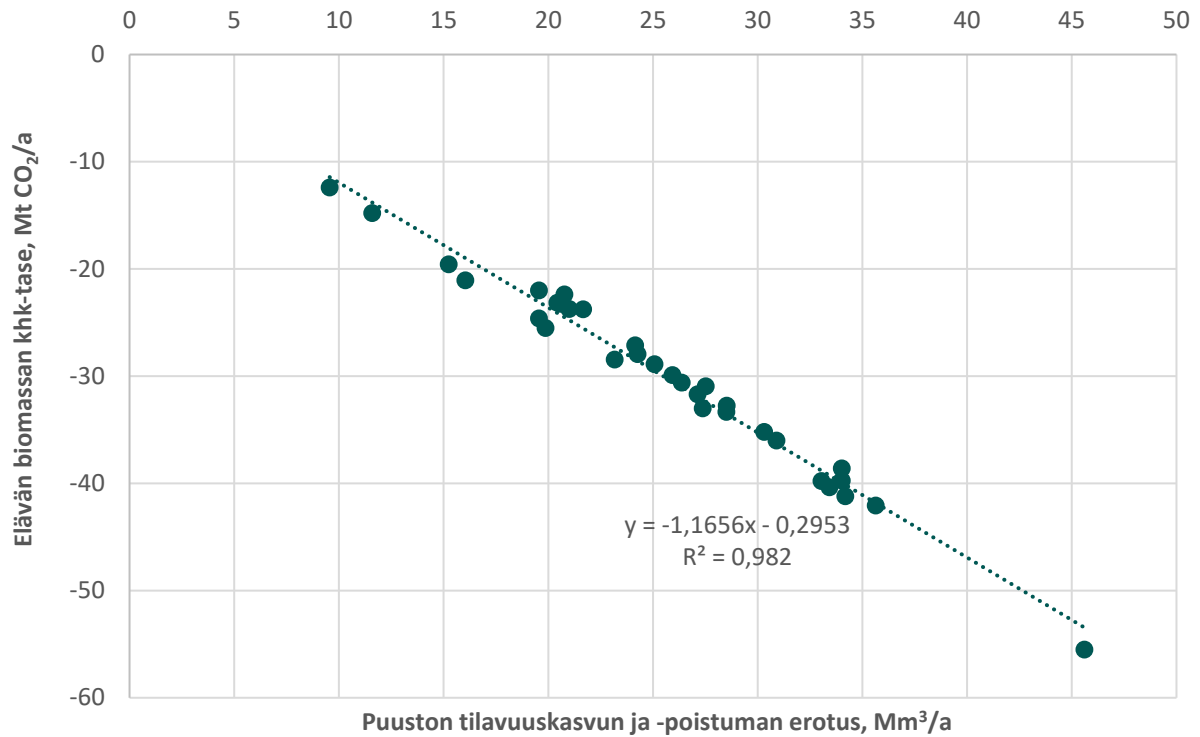


Kuva 2. Puuston kokonaispoistuman ( $Mm^3/a$ ) (Luke 2023b) suhde hakkuukertymään ( $Mm^3/a$ ) (Luke 2023b) Suomessa vuosina 1990–2021.

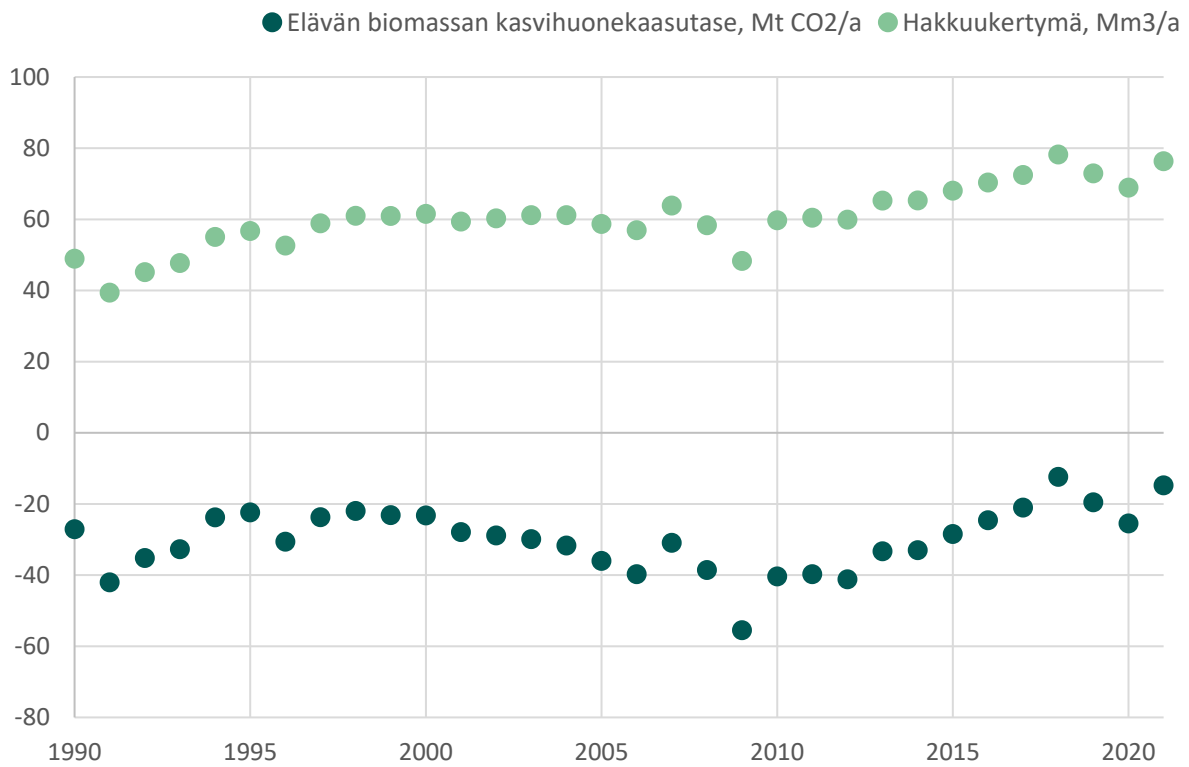
Metsien elävä biomassa kivennäis- ja turvemaidella on koko kasvihuonekaasujen tilastointijakson ajan ollut nielu (kuva 3). Elävän biomassan nielun lineaarinen trendi on ollut aleneva vuosina 2010–2021. Vuosille 1990–2021 sovitettu lineaarinen trendi ei ole tilastollisesti merkitsevä. Elävän biomassan kasvihuonekaasutaseen ja puuston tilavuuskasvun ja -poistuman erotuksen välillä on hyvin voimakas lineaarinen yhteys ( $R^2=0,982$ ) (kuva 4), ja elävän biomassan kasvihuonekaasutase selittyikin lähes kokonaan puuston tilavuuskasvun ja -poistuman erotuksella. Elävän biomassan nielussa tapahtunut vuotuinen vaihtelu on seurausta lähinnä hakkuukertymässä tapahtuneista muutoksista, mikä näkyy kuvassa 5 puuston nielun ja hakkuukertymän kehityksen samankaltaisuutena.



Kuva 3. Elävän biomassan kasvihuonekaasutase Suomessa 1990–2021 (Luke 2023a) ja siihen sovitetut lineaariset trendit vuosille 1990–2021 ( $p = 0,42$ ) ja 2010–2021 ( $p = 6,5 \cdot 10^{-5}$ ). Negatiivinen luku tarkoittaa nielua.



Kuva 4. Elävän biomassan kasvihuonekaasutase (negatiivinen luku tarkoittaa nielua) (Luke 2023a) runkopuun tilavuuskasvun ja poistuman (Luke 2023b) erotuksen funktiona Suomessa vuosina 1990–2021. Regression korrelaatiokerroin ( $R^2$ ) on 0,982, keskivirhe 1,035 ja p-arvo  $9,54 \cdot 10^{-28}$ .



Kuva 5. Elävän biomassan kasvihuonekaasutase (negatiivinen luku tarkoittaa nielua) (Luke 2023a) ja vuotuinen hakuukertymä (Luke 2023b) Suomessa vuosina 1990–2021.

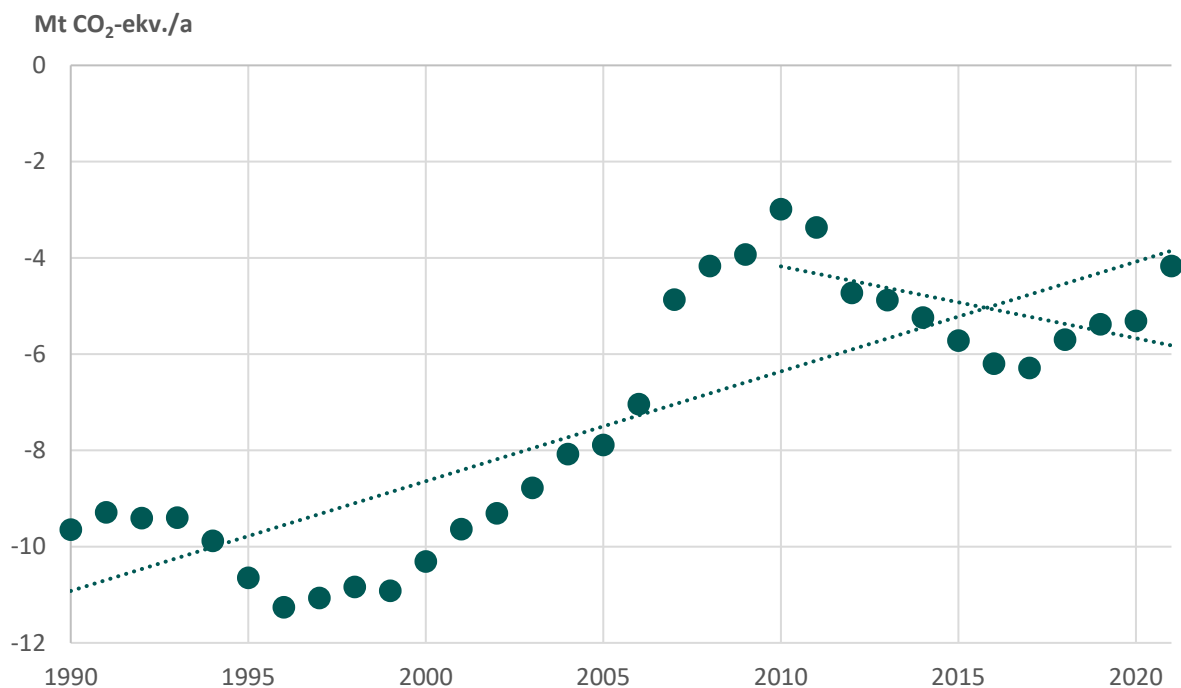


## 2.2.2 Maaperän kasvihuonekaasutaseet

Metsien maaperän kasvihuonekaasutaseet raportoidaan erikseen kivennäis- ja orgaanisille maille ja ne koostuvat kuolleesta puusta (runkopuu), puiden ja aluskasvillisuuden karikesyöttestä sekä maaperän orgaanisesta hiilestä. Maaperän kasvihuonekaasutaseet ovat epävarmoja, ja inventoinnissa käytettävien menetelmien päivitykset saattavat muuttaa taseita koko aikasarjan osalta suhteellisen paljon. Näin tapahtui muun muassa uusimmassa vuoden 2023 kasvihuonekaasuinventaariossa verrattuna aiempaan vuoden 2022 kasvihuonekaasuinventaarioon (Luke 2022b).

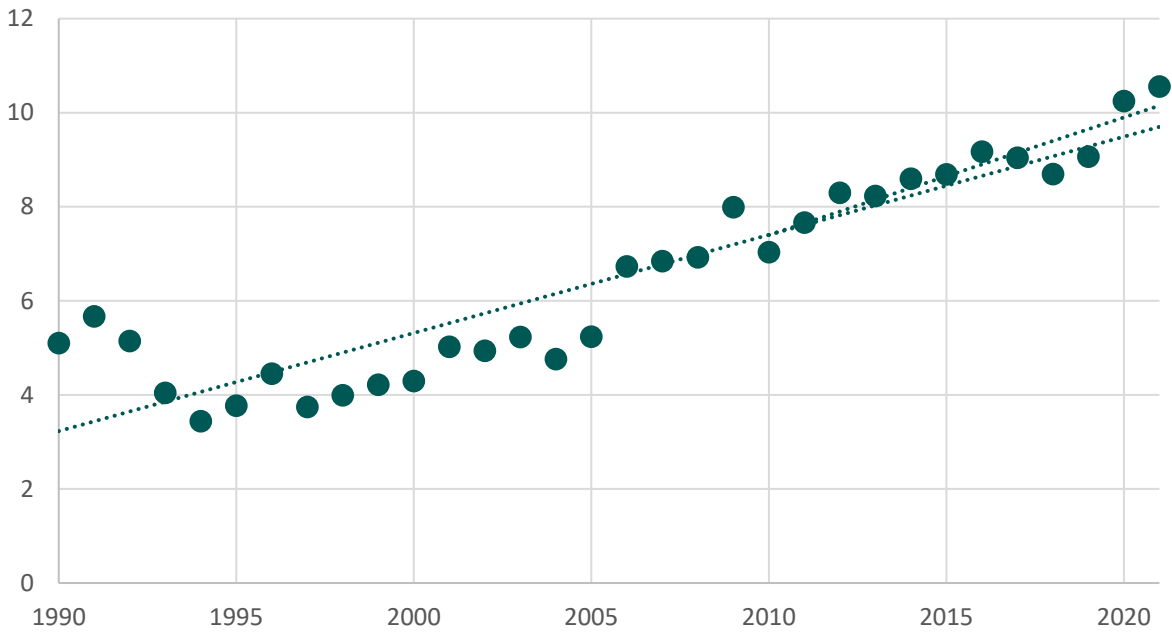
Vuoden 2023 kasvihuonekaasuinventaariorista (Luke 2023a) laskettuna kivennäismaiden maaperän nielu on lineaarisen trendin mukaan pienentynyt (kuva 6) ja orgaanisten maiden päästö on kasvanut (kuva 7) kasvihuonekaasujen tilastointijakson aikana. Vuosien 2010–2021 kivennäismaiden maaperän nielun lineaarinen trendi ei ole tilastollisesti merkitsevä. Orgaanisten maiden päästöjen lineaarinen trendi 2010–2021 on voimakkaammin kasvava kuin vuosien 1990–2021 lineaarinen trendi. Kivennäismaiden maaperän vuotuinen nielu on vaihdellut noin 3–11 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. välillä, mutta pienentynyt 1990-luvun keskimääräisestä tasosta (n. 10 Mt CO<sub>2</sub>-ekv./a) noin 30 prosenttia 2000-luvulla (n. 7 Mt CO<sub>2</sub>-ekv./a) ja noin 50 prosenttia 2010-luvulla (n. 5 Mt CO<sub>2</sub>-ekv./a). Orgaanisten maiden maaperän päästöt ovat puolestaan kasvaneet 1990-luvun tasosta (n. 4 Mt CO<sub>2</sub>-ekv./a) noin 30 prosenttia 2000-luvulla (n. 6 Mt CO<sub>2</sub>-ekv./a) ja noin 90 prosenttia 2010-luvulla (n. 8 Mt CO<sub>2</sub>-ekv./a). Yhteensä metsien kivennäismaiden ja orgaanisten maiden maaperä on muuttunut tilastointijakson aikana nettonielusta nettopäästöjen lähteeksi (kuvat 6 ja 7).

Elävän biomassan ja maaperän kasvihuonekaasutaseiden välillä ei ole tilastollisesti merkitsevää lineaarista yhteyttä (kuva 8). Maaperän nielua kasvattaa maaperään tuleva karikesyöte ja pienentää puolestaan hakkuutähteiden korjuu, kuolleen puuaineksen lahoaminen ja maahengitys. Orgaanisilla maille hiiltä vapautuu turpeesta myös metaanina. Metsämaasta poistuu hiiltä myös eroosion ja huuhtoutumisen kautta. Lisäksi lämpötila vaikuttaa kuolleen puuaineksen lahoamis- ja maahengitysnopeuteen (Tilastokeskus 2022).

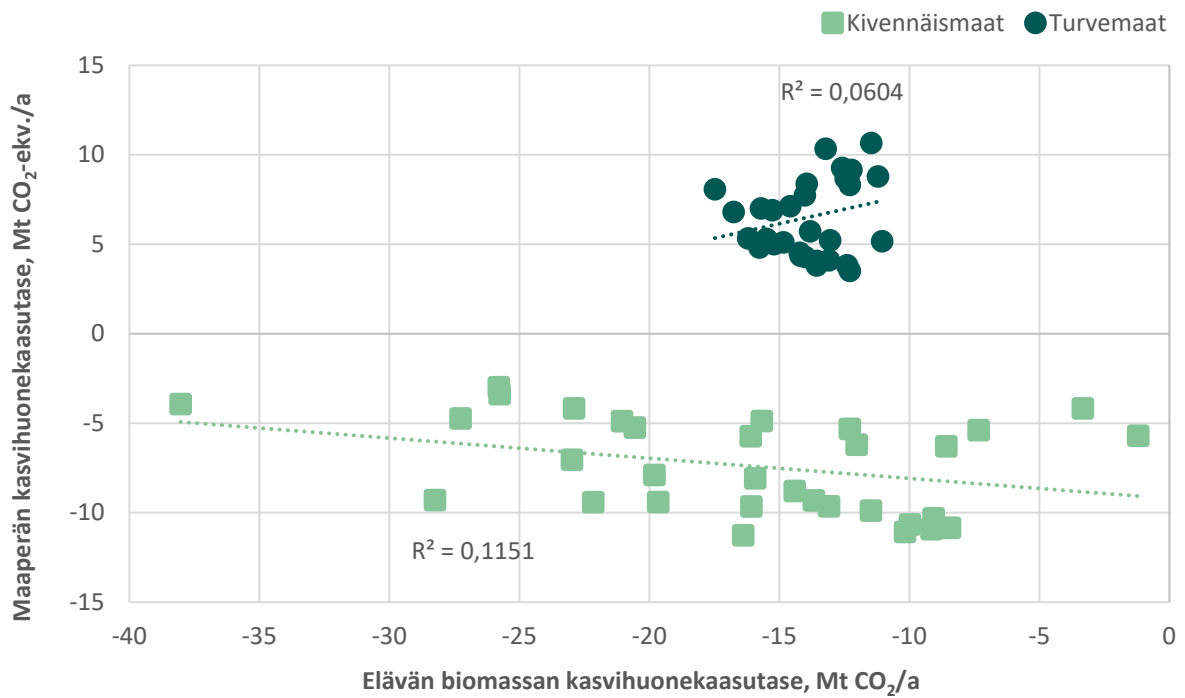


Kuva 6. Metsien kivennäismaiden maaperän kasvihuonekaasutase Suomessa 1990–2021 (Luke 2023a) ja siihen sovitetut lineaariset trendit vuosille 1990–2021 (p-arvo  $1,85 \cdot 10^{-8}$ ) ja 2010–2021 (p-arvo 0,08). Negatiivinen luku tarkoittaa nielua, positiivinen luku päästöä.

Mt CO<sub>2</sub>-ekv./a



Kuva 7. Orgaanisten metsämaiden maaperän kasvihuonekaasutase (Luke 2023a) ja siihen sovitetut lineaariset trendit vuosille 1990–2021 (p-arvo  $1,78 \cdot 10^{-13}$ ) ja 2010–2021 (p-arvo  $1,82 \cdot 10^{-5}$ ) Suomessa. Negatiivinen luku tarkoittaa nielua, positiivinen luku päästöä.

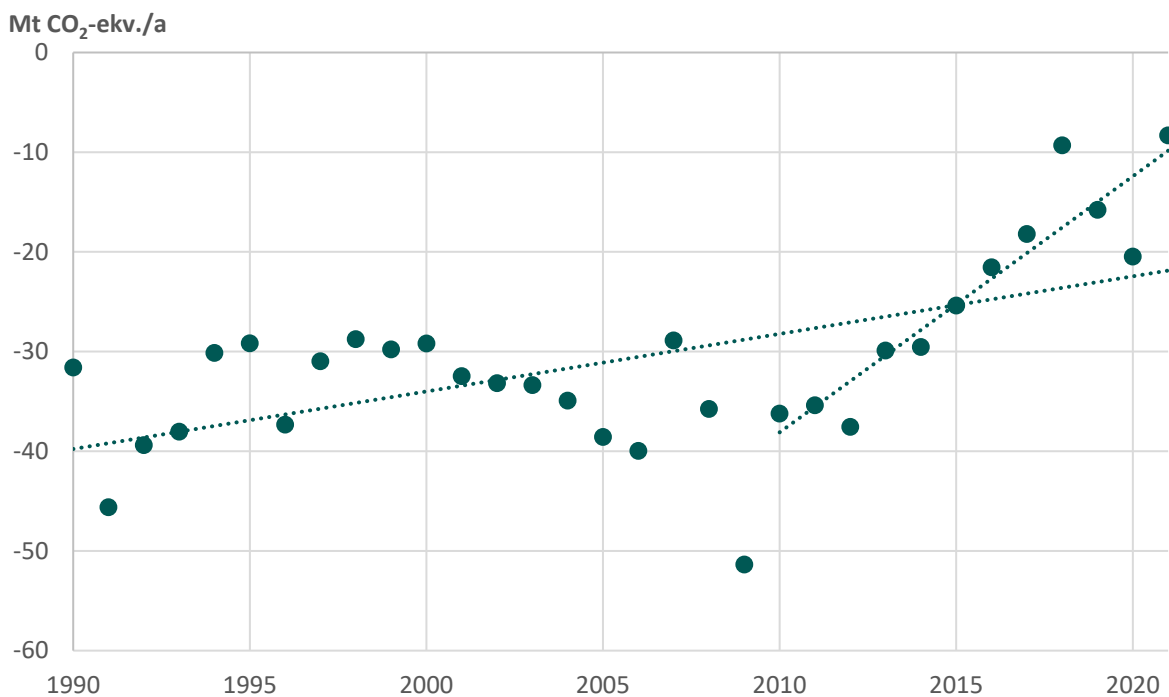


Kuva 8. Maaperän kasvihuonekaasutase (y-akseli) (Luke 2023a) elävän biomassan vuotuisen kasvihuonekaasutaseen (x-akseli) (Luke 2023a) funktiona orgaanisilla mailla ja kivennäismailla Suomessa. Lineaarisen trendin p-arvo kivennäismailla 0,06 ja orgaanisille mailla 0,17.

## 2.2.3 Metsien ja puutuotteiden kasvihuonekaasutaseet

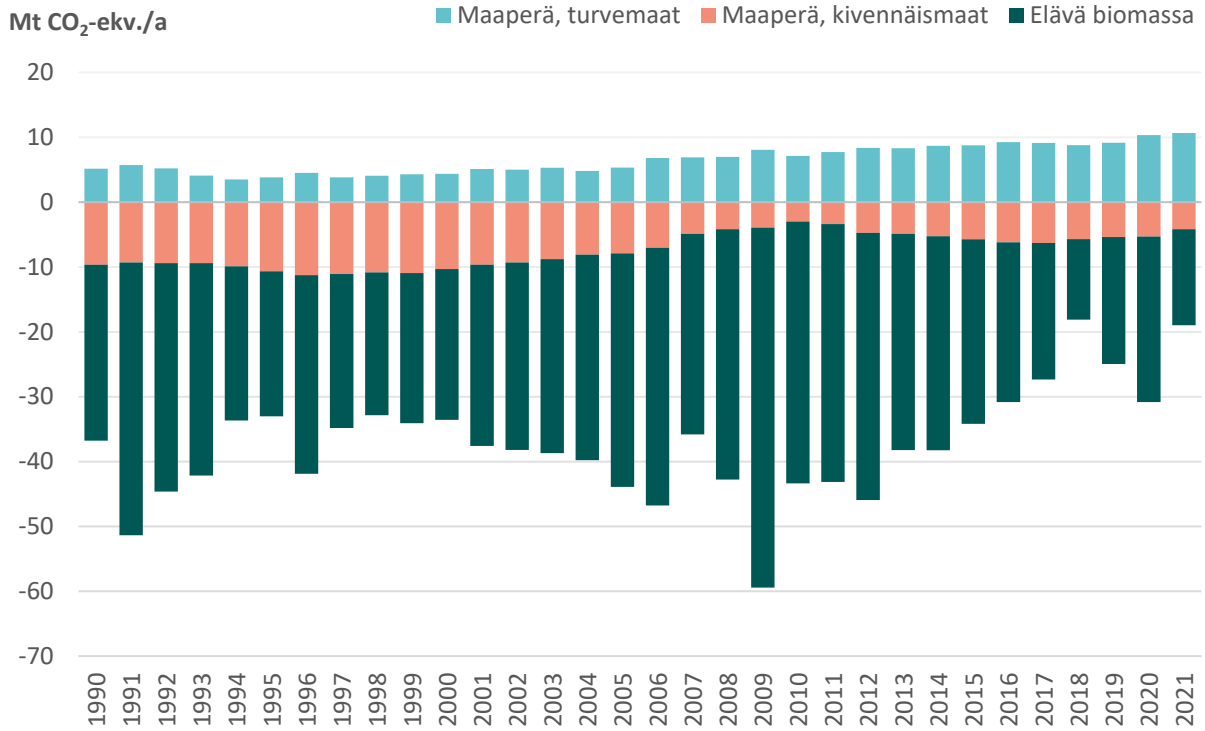
Metsät ovat Suomessa olleet nettohiilinielu koko kasvihuonekaasujen tilastohistorian (1990–2021) ajan (kuvat 9 ja 10). Keskimäärin vuosina 1990–2021 metsien hiilinielu on ollut vuoden 2023 kasvihuonekaasuinventaarion mukaan noin -31 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. vuodessa. Metsien vuotuinen hiilinielu on kuitenkin alentunut 1990-luvun tasosta (n. -34 Mt CO<sub>2</sub>-ekv./a) ja 2000-luvun tasosta (noin -35 Mt CO<sub>2</sub>-ekv./a) 2010-luvulla lähes 10 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. (n. -26 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. /a). (Luke 2023a) Metsien hiilinielu on pienentynyt lineaaristen trendien mukaan 1990–2021 ja pienentyminen on voimistunut vuosina 2010–2021 (kuva 9). Mikäli vuosien 2010–2021 kehitys jatkuu, muuttuvat metsät Suomessa päästölähteeksi vuonna 2025.

Puutuotteet ovat Suomessa olleet hiilinielu yhtä vuotta lukuun ottamatta (kuva 11). Keskimäärin puutuotteiden vuotuinen hiilinielu on ollut vuosina 1990–2021 noin -4 Mt CO<sub>2</sub>. 2010-luvulla puutuotteiden vuotuinen hiilinielu oli keskimäärin noin -3 Mt CO<sub>2</sub>. Puutuotteiden hiilinielun lineaarinen kehitys vuosina 1990–2021 ja 2010–2021 ei ole tilastollisesti merkitsevä (kuva 12). Vuonna 2009 puutuotteet olivat noin +2 Mt CO<sub>2</sub> päästölähde, mikä johtui erityisesti siitä, että puutuotteiden tuotantovolyymit alentuivat selvästi vuosina 2007–2009. Vuosittaiset muutokset puutuotteiden kasvihuonekaasutaseessa seuraavat muutoksia sahatavaran ja puulevyjen tuotannossa, mikä pitkälti selittää puutuotteiden hiilinielua (kuva 12). Lisäksi puutuotteiden kasvihuonekaasutaseeseen vaikuttaa raportoinnissa vuodesta 1900 alkaen oletetusti kerääntynyt puutuotteiden hiilivarasto, josta vuosittain vapautuu hiiltä laskennassa käytettyjen oletusten perusteella<sup>1</sup> (Tilastokeskus 2022).

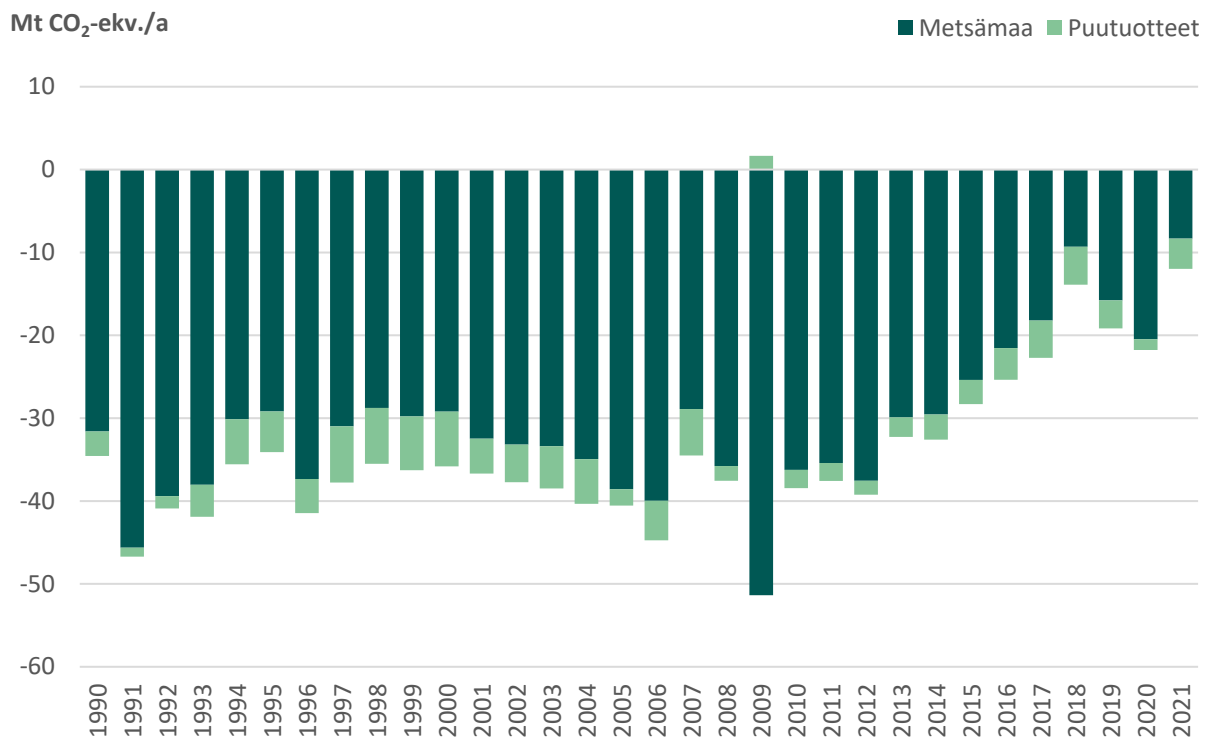


Kuva 9. Metsien kasvihuonekaasutase (Luke 2023a) Suomessa 1990–2021 ja siihen sovitetut lineaariset trendit 1990–2021 ( $p = 5 \cdot 10^{-4}$ ) ja 2010–2021 ( $p = 2,1 \cdot 10^{-5}$ ). Negatiivinen luku tarkoittaa nielua, positiivinen luku päästöä.

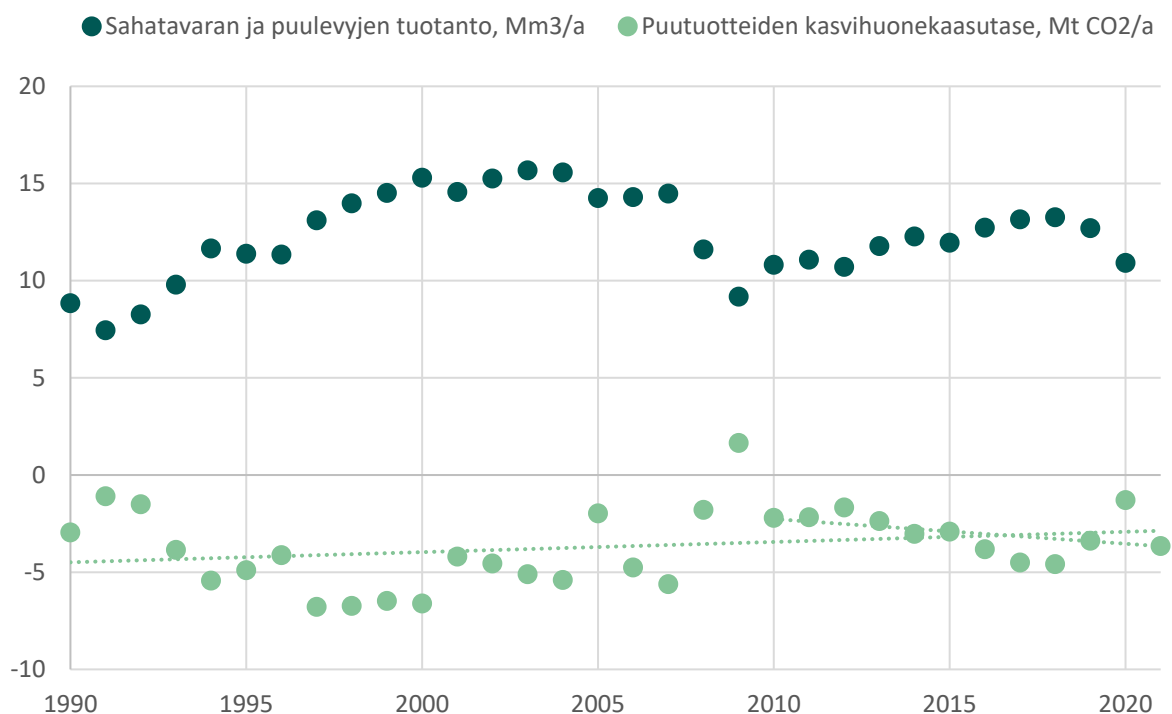
<sup>1</sup> Suomen kasvihuonekaasuraportoinnissa (Tilastokeskus 2022) vuosittain tuotettuihin puutuotteisiin sitoutuneen hiilimäärän oletetaan puoliintuvan tietyn ajan kuluessa. Puoliintumisaikoina käytetään sahatavarakkeelle 35 vuotta, puulevyille 25 vuotta ja sellu- ja paperituotteille 2 vuotta IPCC:n oletuskertoimien mukaisesti (IPCC 2006).



Kuva 10. Metsämaan elävän biomassan sekä kivennäismaiden ja orgaanisten maiden maaperän kasvihuonekaasutaseet Suomessa 1990–2021 (Luke 2023a). Negatiivinen luku tarkoittaa nielua, positiivinen luku päästöä.



Kuva 11. Metsämaan ja puutuotteiden kasvihuonekaasutaseet Suomessa vuosina 1990–2021 (Luke 2023a). Negatiivinen luku tarkoittaa nielua, positiivinen luku päästöä.



Kuva 12. Sahatavaran ja puulevyjen tuotanto (1990–2020) kotimaisesta puusta Suomessa (Tilastokeskus 2022) ja puutuotteiden raportoitu vuotuinen kasvihuonekaasutase (1990–2021) (negatiivinen luku tarkoittaa nielua, positiivinen päästöä) (Luke 2023a). Puutuotteiden kasvihuonekaasutaseen lineaaristen trendien p-arvo on 0,14 (1990–2021) ja 0,23 (2010–2021).

## 2.3 Arvioitu kehitys vuosina 2021–2025

### 2.3.1 Elävän biomassan kasvihuonekaasutase

Elävän biomassan kasvihuonekaasutaseen kehityksen arvioimiseksi tarvitaan arviot puuston tilavuuskasvun ja -poistuman kehityksestä. Tilastoina puuston kasvu on toistaiseksi saatavissa vuoteen 2017 saakka ja puuston poistuma vuoteen 2021 saakka. Vaikka vuoden 2023 kasvihuonekaasuinventaariossa on esitetty tiedot puuston kasvihuonekaasutaseelle vuoteen 2021 saakka, muuttuvat vuosien 2014–2021 arviot, mikäli puuston tilavuuskasvu arvio muuttuu VMI13:n ensimmäisten mittausvuosien mukaisesta arviosta (103,23 Mm<sup>3</sup>/a). Puuston kasvu tulee siis arvioida vuosille 2021–2025 ja puuston poistuma vuosille 2022–2025.

Tässä raportissa puuston kasvu vuosina 2021–2025 on arvioitu kolmella vaihtoehdoisella oletuksella, jotka kuvaavat vakiona pysyvää, lisääntyvää ja alentuvaa puuston kasvua (taulukko 2). Vaihtoehdossa 1 on oletettu, että puuston kasvu jatkaa alentumistaan myös tulevaisuudessa. Tässä vaihtoehdossa puuston kasvun on oletettu noudattavan VMI12 ja VMI13 kahden ensimmäisen mittausvuoden puuston tilavuuskasvuista johdettua lineaarista trendiä, jonka avulla on ekstrapoloitu vuoden 2017 tilavuuskasvusta vuosien 2021–2025 puuston tilavuuskasvut (keskimäärin 96,3 Mm<sup>3</sup>/a). Vaihtoehdossa 2 on oletettu puuston tilavuuskasvun pysyvän vakiona tasolla 103,23 Mm<sup>3</sup> vuodessa, kuten vuoden 2023 kasvihuonekaasuinventaariossa on oletettu vuosille 2017–2021. Vaihtoehdossa 3 on oletettu, että,



VMI13 ensimmäisten mittausvuosien osalta havaittu puuston kasvun alenema on lyhytaikainen poikkeus ja puuston kasvu palautuu kasvavan kehityksen uralle. Tässä vaihtoehdossa puuston kasvun on oletettu noudattavan VMI11 ja VMI12 puuston tilavuuskasvuista johdettua lineaarista trendiä, jonka avulla on ekstrapoloitu vuoden 2017 puuston tilavuuskasvusta vuosien 2021–2025 puuston tilavuuskasvut (keskimäärin 105,6 Mm<sup>3</sup>/a).

### Taulukko 2. Puuston vuotuinen kasvu (Mm<sup>3</sup>/a) Suomessa kolmessa tarkastellussa vaihtoehdossa vuosille 2021–2025

Puuston kasvuarvio, Mm <sup>3</sup> /a	2021	2022	2023	2024	2025	ka. 2021–2025
Vaihtoehto 1 (aleneminen)	98,6	97,5	96,3	95,2	94,1	96
Vaihtoehto 2 (vakio)	103,2	103,2	103,2	103,2	103,2	103
Vaihtoehto 3 (lisääntyminen)	104,8	105,2	105,6	105,9	106,3	106

Luonnonvarakeskuksen ennakkotietojen mukaan vuonna 2022 hakkuukertymä oli 74,7 Mm<sup>3</sup> ja puuston poistuma 88,9 Mm<sup>3</sup> (Luke 2023b). Metsäsektorin suhdannekatsaus 2022–2023-raportissa (Viitanen ym. 2022) hakkuukertymän arvioitiin olevan vuonna 2022 noin 72 Mm<sup>3</sup> ja vuonna 2023 noin 77 Mm<sup>3</sup>. Tässä raportissa vuosien 2023–2025 hakkuukertymää arvioitiin kolmella erilaisella oletuksella, jotka kuvaavat vakiona pysyvää, lisääntyvää ja alentuvaa hakkuukertymää (taulukko 3). Vaihtoehdossa 1 vuosien 2023–2025 hakkuukertymän oletettiin kasvavan vuosien 2021–2022 tasosta ja noudattavan vuosien 2010–2021 hakkuukertymästä johdettua lineaarista trendiä. Vaihtoehdossa 2 vuosien 2023–2025 hakkuukertymän oletettiin pysyvän vuosien 2021 ja 2022 keskimääräisellä tasolla (75,5 Mm<sup>3</sup>/a). Vaihtoehdossa 3 vuosien 2023–2025 hakkuukertymän oletettiin vähentyvän vuosien 2021–2022 keskimääräisestä tasosta vaihtoehtojen 2 ja 1 välisen erotuksen verran. Puuston poistuman (taulukko 4) on arvioitu kaikissa vaihtoehdoissa olevan vuosien 1990–2021 keskimääräisen tiedon mukaisesti 1,2-kertainen hakkuukertymään nähden (ks. kuva 2).

### Taulukko 3. Hakkuukertymä (Mm<sup>3</sup>/a) Suomessa kolmessa tarkastellussa vaihtoehdossa vuosille 2021–2025. Vuoden 2021 luvut ovat tilastoja (Luke 2023a) ja vuosien 2022–2025 luvut ovat arvioita

Hakkuukertymä, Mm <sup>3</sup> /a	2021	2022	2023	2024	2025	ka. 2021–2025
Vaihtoehto 1 (kasvu 2021–2022 tasosta)	76,3	74,7	79,5	81,1	82,6	79
Vaihtoehto 2 (vakiotaso 2021–2022)	76,3	74,7	75,5	75,5	75,5	76
Vaihtoehto 3 (vähentäminen 2021–2022 tasosta)	76,3	74,7	71,5	69,9	68,4	72

### Taulukko 4. Puuston poistuma (Mm<sup>3</sup>/a) Suomessa kolmessa tarkastellussa vaihtoehdossa vuosille 2021–2025. Vuoden 2021 luvut ovat tilastoja (Luke 2023a) ja vuosien 2022–2025 luvut ovat arvioita

Puuston poistuma, Mm <sup>3</sup> /a	2021	2022	2023	2024	2025	ka. 2021–2025
Vaihtoehto1 (kasvu 2021–2022 tasosta)	91,6	88,9	95,4	97,3	99,1	95
Vaihtoehto 2 (vakiotaso 2021–2022)	91,6	88,9	90,6	90,6	90,6	91
Vaihtoehto 3 (vähentäminen 2021–2022 tasosta)	91,6	88,9	85,8	83,9	82,1	86

Elävän biomassan kasvihuonekaasutase (taulukko 5) laskettiin vuosille 2022–2025 käyttämällä taulukossa 2 esitettyjä puuston kasvuarvioita, taulukossa 4 esitettyjä puuston poistuma-arvioita ja kuvassa 4

esitettyä regressioyhtälöä. Elävän biomassan keskimääräinen vuotuinen kasvihuonekaasutase vuosina 2021–2025 vaihteli tarkastelluissa vaihtoehdoissa -24 (±1) ja -1 (±1) Mt CO<sub>2</sub> välillä puuston kasvusta ja poistumasta riippuen.

**Taulukko 5. Elävän biomassan kasvihuonekaasutase (negatiivinen luku on nielu) Suomessa kolmella vaihtoehdoisella puuston kasvun ja poistuman arvioilla keskimäärin vuosina 2021–2025 (Mt CO<sub>2</sub>/a).** Puuston kasvihuonekaasutase on laskettu käyttämällä kuvassa 4 esitettyä regressioyhtälöä. Suluissa oleva epävarmuus perustuu arvioinnissa käytetyn regressioyhtälön keskivirheeseen

Puuston poistuma, Mm <sup>3</sup> /a	puuston kasvu, Mm <sup>3</sup> /a		
	96	103	106
	Elävän biomassan kasvihuonekaasutase 2021–2025 (Mt CO <sub>2</sub> /a)		
95	-1 (±1)	-10 (±1)	-13 (±1)
91	-6 (±1)	-14 (±1)	-18 (±1)
86	-12 (±1)	-21 (±1)	-24 (±1)

## 2.3.2 Maaperän kasvihuonekaasutase

Maaperän kasvihuonekaasutaseiden kehitys vuosina 2022–2025 on arvioitu käyttämällä kolmea erilaista oletusta (taulukko 6). Vaihtoehdossa 1 kivennäismaiden maaperän nielun on oletettu jatkavan pienentymistä ja turvemaiden maaperän päästöjen jatkavan kasvamista 1990–2021 tilastoaineistoon sovitettuna lineaarisen trendin mukaisesti (kuvat 6 ja 7). Vaihtoehdossa 2 maaperän kasvihuonekaasutaseen on oletettu pysyvän vuosien 2017–2021 keskimääräisellä tasolla. Vaihtoehdossa 3 kivennäismaiden maaperän nielun on oletettu kasvavan ja turvemaiden maaperän päästöjen pienentyvän vaihtoehtojen 2 ja 1 välisen erotuksen itseisarvon verran.

**Taulukko 6. Kivennäismaiden ja turvemaiden maaperän kasvihuonekaasutaseet Suomessa vuonna 2021 ja kolme vaihtoehdoista kehitysarviota vuosille 2022–2025.** Vuoden 2021 luvut ovat vuoden 2023 kasvihuonekaasuinventaarion mukaiset, vuosien 2022–2025 luvut ovat tämän raportin arvioita

Vuosi	2021	2022	2023	2024	2025	ka 2021–2025
<b>Kivennäismaat, maaperä Mt CO<sub>2</sub>-ekv./a</b>						
Vaihtoehto 1	-4,2	-3,5	-3,3	-3,1	-2,8	-3
Vaihtoehto 2	-4,2	-5,4	-5,4	-5,4	-5,4	-5
Vaihtoehto 3	-4,2	-7,2	-7,4	-7,7	-7,9	-7
<b>Turvemaat, maaperä Mt CO<sub>2</sub>-ekv./a</b>						
Vaihtoehto 1	10,6	9,9	10,1	10,3	10,5	10
Vaihtoehto 2	10,6	9,5	9,5	9,5	9,5	10
Vaihtoehto 3	10,6	9,2	8,9	8,7	8,5	9
<b>Kivennäismaat ja turvemaat, maaperä, yhteensä, Mt CO<sub>2</sub>-ekv./a</b>						
Vaihtoehto 1	6,4	6,4	6,8	7,2	7,7	7
Vaihtoehto 2	6,4	4,2	4,2	4,2	4,2	5
Vaihtoehto 3	6,4	1,9	1,5	1,1	0,6	2

## 2.3.3 Metsien ja puutuotteiden kasvihuonekaasutaseet

Metsien kasvihuonekaasutase vuosille 2021–2025 arvioitiin laskemalla yhteen arvioidut puuston ja maaperän kasvihuonekaasutaseet. Keskimäärin vuosille 2021–2025 arvioitu puuston kasvihuonekaasutase vaihteli keskivirheen huomioiden välillä -2 ja -23 Mt CO<sub>2</sub> vuodessa ja maaperän kasvihuonekaasutase puolestaan välillä +2 ja +7 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. vuodessa. Näin ollen vuosille 2021–2025 arvioitu keskimääräinen metsien kasvihuonekaasutase vaihteli välillä +5 ja -21 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. vuodessa.

Puutuotteiden vuotuinen kasvihuonekaasutase on ollut vuosina 1990–2021 keskimäärin noin -3,7 Mt CO<sub>2</sub>, 2010–2021 noin -2,9 Mt CO<sub>2</sub> ja 2017–2021 noin -3,4 Mt CO<sub>2</sub>. Suurimmat puutuotteiden nielut yksittäisinä vuosina 2010-luvulla ovat olleet vuosina 2017 (n. -4,5 Mt CO<sub>2</sub>) ja 2018 (n. -4,6 Mt CO<sub>2</sub>). Puutuotteiden nielu muodostuu sitä suuremmaksi, mitä enemmän sahatavaraa ja puulevyjä tuotetaan kotimaisesta puusta. Tässä raportissa arvioiduilla keskimääräisillä vuotuisilla hakkuukertymillä vuosille 2021–2025 vaihtelee puutuotteiden vuotuinen nielu kyseisenä ajanjaksona todennäköisesti noin -3 ja -5 Mt CO<sub>2</sub> välillä, jos mekaanisen metsäteollisuuden ja massateollisuuden tuotantosuhteet pysyvät samankaltaisina kuin 2010-luvulla. Tässä raportissa on oletettu yksinkertaisesti, että puutuotteiden vuotuinen nielu on 73 Mm<sup>3</sup>:n vuotuisella hakkuukertymällä -3 Mt CO<sub>2</sub>, 76 Mm<sup>3</sup>:n vuotuisella hakkuukertymällä -4 Mt CO<sub>2</sub> ja 79 Mm<sup>3</sup>:n vuotuisella hakkuukertymällä -5 Mt CO<sub>2</sub>.

Metsien ja puutuotteiden kasvihuonekaasutaseiden vuotuiset keskiarvot vuosille 2021–2025 vaihtelevat keskimäärin välillä -2 ja -21 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. puuston kasvusta ja poistumasta riippuen. Tietyllä puuston kasvulla ja poistumalla epävarmuutta arvioitiin olevan ±3,5 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. vuodessa, missä maaperän kasvihuonekaasutaseen epävarmuus oli ±2,5 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. vuodessa ja elävän biomassan kasvihuonekaasutaseen epävarmuus oli ±1 Mt CO<sub>2</sub> vuodessa. Tarkastelluissa vaihtoehdoissa herkkyyttä metsien ja puutuotteiden yhteenlaskettuun kasvihuonekaasutaseeseen aiheutuu siis erityisesti puuston kasvun ja poistuman epävarmuudesta. (taulukko 7)

**Taulukko 7. Metsien ja puutuotteiden yhteenlaskettu kasvihuonekaasutase (negatiivinen luku on nielu, positiivinen luku on päästö) Suomessa kolmella vaihtoehdoisella puuston kasvun ja poistuman arvioilla keskimäärin vuosina 2021–2025 (Mt CO<sub>2</sub>-ekv./a).**

Puuston poistuma (hakkuukertymä), Mm <sup>3</sup> /a	puuston kasvu, Mm <sup>3</sup> /a		
	96	103	106
	Metsien ja puutuotteiden kasvihuonekaasutase 2021–2025 (Mt CO <sub>2</sub> -ekv./a)		
<b>95 (79)</b>	-2 (+2...-5)	-11 (-7...-14)	-14 (-10...-17)
<b>91 (76)</b>	-6 (-2...-9)	-14 (-10...-17)	-18 (-14...-21)
<b>87 (73)</b>	-10 (-6...-13)	-18 (-14...-21)	-21 (-17...-24)

### 3 Suomen metsien vertailutaso 2021–2025 ja sen vastaavuus uusimpien kasvihuonekaasuarvioiden kanssa

#### 3.1 Suomen metsien vertailutaso ja sen tekniset korjaukset

Suomen metsien vertailutaso kaudelle 2021–2025 on Euroopan komission asettaman delegoidun säädöksen mukaan -29,4 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. vuodessa (Euroopan komissio 2020). Hoidetun metsämaan (*forest land remaining forest land*) ja puutuotteiden toteutuvaa kasvihuonekaasutasetta kaudelta 2021–2025 tullaan asetuksen mukaan vertaamaan vertailutasoon, joka on määritetty komission ohjeistuksen mukaisesti LULUCF-asetuksen mukaisessa prosessissa vuosina 2018–2020.

Jäsenmaiden on raportoitava 15.3.2027 mennessä Euroopan komissiolle vaaditut tiedot kasvihuonekaasutaseista. Vertailutasoon tullaan tarvittaessa tekemään niin sanottuja teknisiä korjauksia, jotta voidaan varmistaa johdonmukaisuus kasvihuonekaasujen raportoinnissa käytettävien menetelmien kanssa. Tekninen korjaus on tarkoitettu vertailutason teknisen johdonmukaisuuden varmistamiseen, eikä siinä voida huomioida esimerkiksi muutoksia puun kysyntä- tai tuotantorakenteissa, puuston kasvuoletuksissa tai poliittisessa ohjauksessa (Luke 2022a).

Metsien vertailutaso on laadittu käyttämällä vuoden 2019 kasvihuonekaasujen raportoinnin (Tilastokeskus 2019) menetelmiä. Suomen vertailutaso määritettiin Luonnonvarakeskuksen MELA-mallilla (MMM/Luke 2019). Vertailutasoa määritettäessä saatiin välituloksena arvio puuston kasvusta, hakkuukertymästä ja kokonaispoistumasta. Nämä välitulokset on laskettu noudattamalla LULUCF-asetuksen määritelmiä siitä, miten hoidetun metsämaan käytännöt ja kehitys projisoidaan vertailukaudelta 2000–2009 sitoumuskaudelle 2021–2025. Tekniset korjaukset eivät siten vaikuta näihin välituloksiin (Luke 2022a).

Vertailutason asettamisprosessin aikana vertailutason tarkkuus arvioitiin tuottamalla samalla menetelmällä myös historiallinen kasvihuonekaasutase hoidetulle metsämaalle ja puutuotteille. Tätä tasetta verrattiin vuoden 2019 kasvihuonekaasuinventaarion (Tilastokeskus 2019) tuloksiin vastaavalle historialliselle kaudelle, joksi Suomen osalta valikoitui vuodet 2006–2013. Mikäli tase poikkesi kasvihuonekaasuinventaarion taseesta, muodostettiin suhteellisesta erosta kalibrointikerroin, jolla skaalattiin vertailutasomallinnuksen kasvihuonekaasutasetta samassa suhteessa kuin mallinnus poikkesi kasvihuonekaasuinventaarioon verrattuna tuloksesta. Komission Suomelle soveltama kalibrointikerroin oli 1,19, jolla skaalattiin Suomen esittämä, korjattu mutta kalibroimaton vertailutaso (-24,73 Mt CO<sub>2</sub>-ekv./a).

Tekniset korjaukset voivat muuttaa sekä kalibrointikerrointa että vertailutasomallinnusta (Luke 2022a). Lopullisesti tekniset korjaukset ja vertailutaso ovat tiedossa vasta vuonna 2027. Kasvihuonekaasuinventaarioon on tehty muutoksia vuoden 2019 jälkeen ja lisäksi tietyt poikkeamat jätettiin myöhemmin tehtäväksi teknisinä korjauksina vertailutasoa asetettaessa (MMM/Luke 2019, Luke 2022a). Näin ollen jo nyt on tiedossa, että teknisiä korjauksia tullaan tekemään Suomen vertailutasoon. Luonnonvarakeskus (Luke 2022a) listasi tekniseen korjaukseen vaikuttavia tekijöitä, muttei esittänyt kvantitatiivista arviota siitä, miten vertailutaso niiden seurauksena muuttuu. Luonnonvarakeskuksen (Luke 2002a) mukaan inventaariossa käyttöön otettujen uusien menetelmien mukaan ottaminen vertailutasolaskentaan vaatii kehitystyötä mallien rajapinnoissa, jotta sääntöjen mukainen yhdenmukaisuus kasvihuonekaasuinventaarion kanssa säilytetään.

## 3.2 Vertailutason vastaavuus uusimpien kasvihuonekaasuinventointimenetelmien kanssa

Tässä raportissa arvioidaan julkisesti käytössä olevien tietojen perusteella Suomen metsien vertailutason mahdollista muuttumista vuoden 2023 kasvihuonekaasuinventaarion, vuoden 2019 kasvihuonekaasuinventaarion ja Suomen vertailutason laskennasta ja asettamisesta saatavissa olevien tietojen perusteella. Vertailutason muuttumista arvioidaan sekä kalibrointikertoimen että vertailutasomallinnuksen mahdollisten muutosten osalta.

Suomen vertailutason mallintamisessa keskimääräinen hakkuukertymä ja hakkuupinta-alojen suhteellinen osuus asetettiin historialliselle tasolle (MMM/Luke 2019). Näin ollen vertailutasolaskennassa käytetty MELA-malli on saattanut kohdentaa historialliset hakkuut esimerkiksi kivennäis- ja turvemaiden sekä puulajien osalta eri tavoin kuin ne ovat todellisuudessa toteutuneet. Tämä saattaa selittää MELA-mallin antaman kasvihuonekaasutaseen poikkeaman kasvihuonekaasuinventaarion antamasta vastaavasta historiallisesta tuloksesta (taulukko 8). Julkista tietoa siitä, miksi MELA-mallin historiallinen kasvihuonekaasutase poikkeaa kasvihuonekaasuinventaarion tuloksista, ei kuitenkaan ole saatavilla.

Kalibroinnissa käytettyjen vuosien 2006–2013 kasvihuonekaasutaseen summa hoidetulle metsämaalle ja puutuotteille on -311,8 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. vuoden 2023 kasvihuonekaasuinventaarion perusteella, kun se vuoden 2019 kasvihuonekaasuinventaarion mukaan oli -291,2 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. (taulukko 8). Mikäli MELA-mallin tuottama historiallinen kasvihuonekaasutase vuosille 2006–2013 ei muuttuisi vuoden 2023 kasvihuonekaasuinventaarion tietojen perusteella, kasvaisi kalibrointikerroin tasolle 1,27. Voidaan kuitenkin olettaa, että uusien tietojen käyttöönotto muuttaisi myös MELA-mallin tuottamaa tulosta, minkä seurauksena kalibrointikerroin nousisi edellä mainittua vähemmän. Ilman parempaa tietoa on tässä raportissa yksinkertaisesti oletettu, että kalibrointikerroin pysyy muuttumattomana tai nousee tasolle 1,27.

**Taulukko 8. Metsämaan ja puutuotteiden kasvihuonekaasutaseiden summa vuosilta 2006–2013 Suomessa vuoden 2019 kasvihuonekaasuinventaarion, vertailutasomallinnuksessa ja -kalibroinnissa käytettyjen MELA-mallinnustietojen (metsämaa) ja vuoden 2023 kasvihuonekaasuinventaarion mukaan**

	Hoidettu metsämaa	Puutuotteet	Metsämaa + puutuotteet
Kasvihuonekaasuinventaarion 2019	-272,2 <sup>*)</sup>	-18,9	-291,2
MELA (VMI9 ja VMI 11)	-226,0	-18,9 <sup>**)</sup>	-244,9
Kasvihuonekaasuinventaarion 2023	-292,9 <sup>***)</sup>	-18,9	-311,8

<sup>\*)</sup> Vertailutasolaskennassa vuoden 2019 kasvihuonekaasuinventaarion mukaiseksi luvuksi hoidetulle metsämaalle on ilmoitettu -272,2 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. Vuoden 2019 kasvihuonekaasuinventaarion luku metsämaalle on -274,0 Mt CO<sub>2</sub>-ekv.

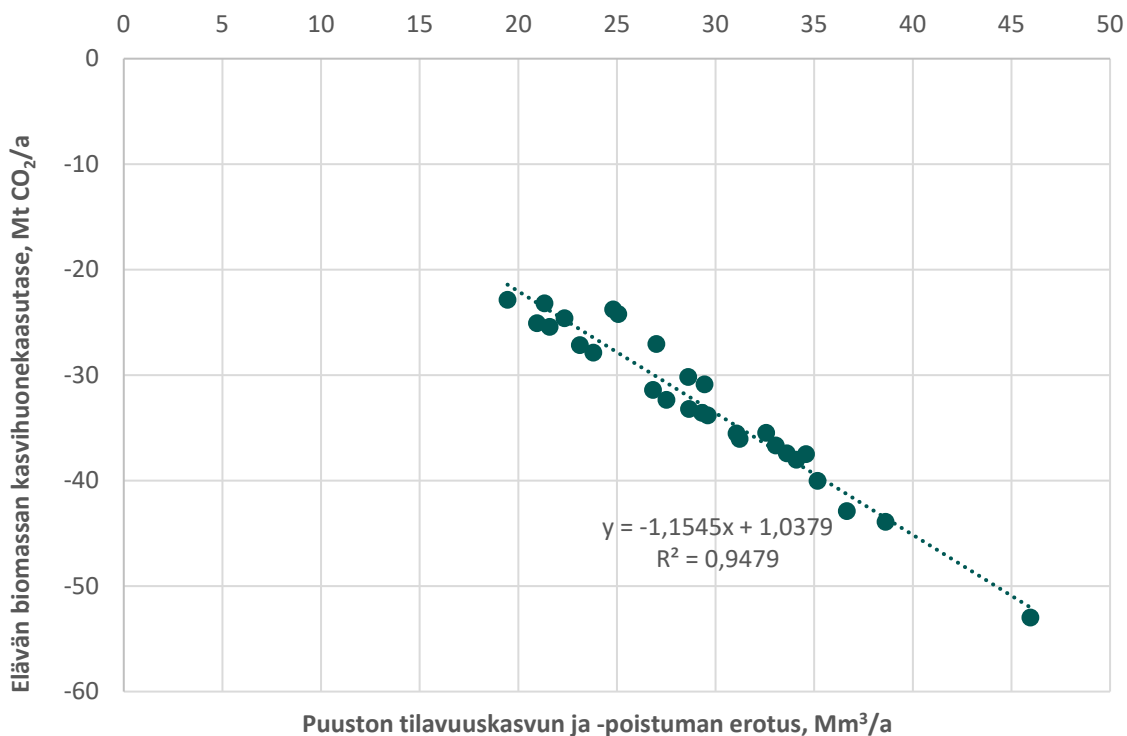
<sup>\*\*)</sup> Puutuotteiden kasvihuonekaasutase vuoden 2019 kasvihuonekaasuinventaarion mukaan

<sup>\*\*\*)</sup> Hoidetun metsämaan kasvihuonekaasutase on arvioitu vuoden 2023 kasvihuonekaasuinventaarion osalta käyttämällä vuoden 2019 kasvihuonekaasuinventaarion suhdetta hoidetun metsämaan (-272,2 Mt CO<sub>2</sub>-ekv.) ja metsämaan (-274,0 Mt CO<sub>2</sub>-ekv.) kasvihuonekaasutaseista ja kertomalla sillä vuoden 2023 kasvihuonekaasuinventaarion mukainen metsämaan kasvihuonekaasutase (-295,1 Mt CO<sub>2</sub>-ekv.).

Sitoumuskauden 2021–2025 vertailutasomallinnuksessa mahdollisesti tapahtuvaa muutosta on tässä raportissa arvioitu laskemalla kauden 2021–2025 keskimääräinen kasvihuonekaasutase vuonna 2022

julkaistujen ennakkotietojen ja vuoden 2019 kasviuonekaasuinventaarion tietojen perusteella hyödyntämällä vertailutasomallinnuksen välituloksia puuston kasvulle ja kokonaispoistumalle. Vertailutasomallinnuksen tulosta hoidetulle metsämaalle (-18,88 Mt CO<sub>2</sub>-ekv./a) korjataan suhteella, joka on saatu jakamalla vuoden 2023 ja vuoden 2019 kasviuonekaasuinventarioiden tietojen perusteella lasketut kauden 2021–2025 keskimääräiset kasviuonekaasutaseet.

Vertailutasomallinnuksessa vuosien 2021–2025 puuston vuotuinen tilavuuskasvu oli 109,8 Mm<sup>3</sup> ja puuston vuotuinen kokonaispoistuma 88,4 Mm<sup>3</sup> (MMM/Luke 2019) ja näiden erotus 21,4 Mm<sup>3</sup>. Elävän biomassan kasviuonekaasutase voidaan arvioida puuston tilavuuskasvun ja poistuman erotukseen sovitetusta lineaarisesta regressioyhtälöstä, joka on muodostettu vuoden 2019 kasviuonekaasuinventaarion tiedoista vuosille 1990–2017 (kuva 13) ja vuoden 2023 kasviuonekaasuinventaarion tiedoista vuosille 1990–2021 (kuva 4). Huomioimalla regressioyhtälöiden keskivirheet, saadaan elävän biomassan vuotuiseksi kasviuonekaasutaseeksi -25...-22 Mt CO<sub>2</sub> vuoden 2019 kasviuonekaasuinventaarion tietojen perusteella ja -26...-24 Mt CO<sub>2</sub> vuoden 2023 kasviuonekaasuinventaarion tietojen perusteella (taulukko 9).



Kuva 13. Elävän biomassan kasviuonekaasutase (Tilastokeskus 2019) runkopuun tilavuuskasvun ja poistuman (Luke 2023b) erotuksen funktiona Suomessa vuosille 1990–2017 vuoden 2019 kasviuonekaasuinventaarion mukaan. Regressioyhtälön keskivirhe on 1,7 ja p-arvo  $3,35 \cdot 10^{-18}$ .

Maaperän kasviuonekaasutaseet vuosina 2021–2025 on arvioitu vuoden 2019 kasviuonekaasuinventaarion tiedoista sovitamalla kivennäismaiden maaperän ja orgaanisten maiden maaperän kasviuonekaasutaseiden kehitykseen lineaarinen trendi vuosille 1990–2017. Tällä perusteella kivennäismaiden maaperän keskimääräiseksi vuotuiseksi taseeksi vuosina 2021–2025 saadaan -11 Mt CO<sub>2</sub> ja turvemaiden vuotuiseksi taseeksi puolestaan +5 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. Nämä arvot on valittu alaraja-arvoiksi. Yläraja-arvot on johdettu käyttämällä vuosien 2013–2017 keskiarvoa, joka on kivennäismaiden maaperän taseelle -9 Mt CO<sub>2</sub> vuodessa ja turvemaiden maaperän taseelle +8 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. vuodessa. Vuoden

2023 kasvihuonekaasuinventaarion perusteella laaditut maaperän kasvihuonekaasutaseiden alaraja- ja yläraja-arviot on otettu luvussa 2.2.2 esitetyistä arvioista ja esitetty taulukossa 9.

**Taulukko 9. Metsien elävän biomassan, kivennäismaiden maaperän ja orgaanisten maiden maaperän sekä hoidetun metsämaan yhteenlaskettu kasvihuonekaasutase Suomessa keskimäärin 2021–2025 (Mt CO<sub>2</sub>-ekv./a) vertailutasomallinnuksen mukaan (MMM/Luke 2019) sekä vuoden 2019 ja 2023 kasvihuonekaasuinventarioiden perusteella arvioituna vertailutasomallinnuksen mukaiselle puuston tilavuuskasvulle (109,8 Mm<sup>3</sup>/a) ja kokonaispoistumalle (88,4 Mm<sup>3</sup>/a)**

	Vertailutasomallinnus (MELA)	Arvio, khk-inventaario (2019)	Arvio, khk-inventaario (2023)
Elävä biomassa (Mt CO <sub>2</sub> /a)	-17,7	-25...-22	-26...-24
Maaperä, kivennäismaat (Mt CO <sub>2</sub> -ekv. /a)	-4,9	-11...-9	-7...-3
Maaperä, turvemaat (Mt CO <sub>2</sub> -ekv. /a)	+3,7	+5...+8	+9...+10
Hoidettu metsämaa (Mt CO <sub>2</sub> -ekv. /a)	-18,9	-31...-23	-24...-17

Arvio hoidetun metsämaan kasvihuonekaasutaseesta vuosina 2021–2025 on vuoden 2019 kasvihuonekaasuinventaarion tietojen perusteella keskiarvoltaan -27 (±4) Mt CO<sub>2</sub>-ekv. vuodessa ja vuoden 2023 kasvihuonekaasuinventaarion tietojen perusteella keskiarvoltaan -20,5 (±3,5) Mt CO<sub>2</sub>-ekv. vuodessa. Epävarmuusvälit huomioiden, vuosien 2021–2025 kasvihuonekaasutase on siten vuoden 2023 kasvihuonekaasuinventaarion perusteella arvioituna 0,54- (alaraja), 0,76- (keskiarvo) tai 1,04-kertainen (yläraja) vuoden 2019 kasvihuonekaasuinventariosta arvioituna verrattuna. Korjaamalla vertailutasomallinnuksen tulosta vastaavasti, saadaan korjatuksi, kalibroimattomaksi, vertailutasoksi -10,4...-19,7 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. vuodessa. Lisäämällä näihin lukuihin puutuotteille mallinnetun vertailutason (5,9 Mt CO<sub>2</sub>/a), saadaan korjatuksi, kalibroimattomaksi vertailutasoksi puutuotteiden kanssa -16...-26 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. vuodessa. Olettamalla kalibroitikertoimen pysyvän muuttumattomana, saadaan korjatuksi, kalibroiduksi, vertailutasoksi noin -19...-31 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. vuodessa. Mikäli kalibroitikertoimen oletetaan nousevan tasolle 1,27, saadaan korjatuksi, kalibroiduksi, vertailutasoksi noin -21...-33 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. vuodessa. Kokonaisuudessaan vertailutason arvioitiin muuttuvan teknisten korjausten seurauksena arvioinnissa käytettyjen keskiarvojen perusteella välille -24...-26 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. vuodessa ja arvioinnissa käytetyt alaraja- ja yläraja-arviot huomioiden välille -19...-33 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. vuodessa. (taulukko 10)



**Taulukko 10. Suomen vertailutasomallinnuksen tuottama kasvihuonekaasutase hoidetulle metsämaalle keskimäärin vuosina 2021–2025 (Mt CO<sub>2</sub>-ekv./a) ja arvio vuoden 2023 kasvihuonekaasuinventaarissa käytettyjen menetelmien mahdollisesta vaikutuksesta vertailutasoon (ml. puutuotteet)**

Vertailutasomallinnus, hoidettu metsämaa (Mt CO <sub>2</sub> -ekv./a)	Vertailutason korjauskerroin (NIR2023/NIR2019)	Korjattu kalibroimaton vertailutaso, hoidettu metsämaa (Mt CO <sub>2</sub> -ekv./a)	Puutuotteiden vertailutaso (Mt CO <sub>2</sub> /a)	Korjattu kalibroimaton vertailutaso, hoidettu metsämaa + puutuotteet (Mt CO <sub>2</sub> -ekv./a)	Kalibrointi-kerroin	Korjattu kalibroitu vertailutaso (kalibroinikerroin 1,19) (Mt CO <sub>2</sub> -ekv./a)	Kalibrointi-kerroin	Korjattu kalibroitu vertailutaso (kalibroinikerroin 1,28) (Mt CO <sub>2</sub> -ekv./a)
-18,9	-17/-31=0,54	-10,4	-5,9	-16,3	1,19	-19,4	1,27	-20,7
-18,9	-20,5/-27,0=0,76	-14,4	-5,9	-20,3	1,19	-24,2	1,27	-25,8
-18,9	-24/-23=1,04	-19,7	-5,9	-25,6	1,19	-30,5	1,27	-32,6

## 3.3 Arvio Suomen metsien vertailutason ja LULUCF-velvoitteen saavuttamisesta

### 3.3.1 Hoidetun metsämaan laskennalliset päästöt

Luvussa 2.3.3 arviottiin metsien ja puutuotteiden kehitystä Suomessa kolmessa erilaisessa vaihtoehdossa vuosille 2021–2025. Luvussa 3.2 puolestaan arviottiin käytössä olevien julkisen tietojen perusteella millaiseksi Suomen vertailutaso voisi muuttua niiden teknisten korjausten seurauksena, joilla varmistetaan vastaavuus vuoden 2023 kasvihuonekaasuinventaarion menetelmien kanssa.

Mikäli vertailutasoksi muodostuu teknisten korjausten seurauksena tässä raportissa arvioitujen keskiarvojen mukaisesti -24...-26 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. vuodessa (taulukko 10), ei Suomi saavuta vertailutasoa millään tarkastelluilla vaihtoehdoilla (taulukko 7). Mikäli vertailutasoksi muodostuu tässä arvioidun alaraja-arvion mukaisesti -19 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. vuodessa, Suomi voi saavuttaa vertailutason, jos puuston vuotuinen kasvu nousee tasolle 106 Mm<sup>3</sup> ja puuston vuotuinen poistuma ei ylitä 91 Mm<sup>3</sup>. Arvioinnin epävarmuudet huomioiden on mahdollista, että vertailutaso saavutettaisiin tällöin myös puuston vuotuisen kasvun ollessa tasolla 103 Mm<sup>3</sup> ja puuston vuotuisen poistuman tasolla 87 Mm<sup>3</sup>. Huomioiden epävarmuudet sekä metsien ja puutuotteiden kasvihuonekaasutaseissa vuosina 2021–2025 että metsien vertailutasossa, vaihtelee vertailutasoon suhteutettu laskennallinen tase -2,5 Mt CO<sub>2</sub>-ekv.<sup>2</sup> keskimääräisestä vuotuisesta (-12,5 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. kauden 2021–2025 aikana) poistumasta (kasvihuonekaasutase pienempi kuin vertailutaso ts. nielu suurempi kuin vertailutaso) +35 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. keskimääräiseen vuotuisen (+175 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. kauden 2021–2025 aikana) päästöön (kasvihuonekaasutase suurempi kuin vertailutaso ts. nielu pienempi kuin vertailutaso). Suurin osa tarkastelluista tapausvaihtoehdoista tuotti laskennallista päästöä (vertailutasoa ei saavutettu).

### 3.3.2 LULUCF-tilinpitoluokkien laskennalliset päästöt

Mikäli muiden LULUCF-tilinpitoluokkien kuin hoidetun metsämaan, eli hoidetun viljelysmaan, hoidetun ruohikkoalueen, metsitetyn maan ja metsäkatoalueen päästöjen ja poistumien oletetaan pysyvän viime vuosien keskimääräisellä tasolla, aiheutuu niistä Luonnonvarakeskuksen (Luke 2022a) arvion mukaan yhteensä 10,0 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. vuotuinen päästö. Näiden tilinpitoluokkien vertailuarvo on vuoden 2023 kasvihuonekaasuinventaarion mukaan yhteensä keskimäärin noin 6,6 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. vuodessa (Luke 2022a), joten vertailutasoon suhteutettu päästö muista tilinpitoluokista kuin hoidetusta metsämaasta on arviolta 3,4 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. vuodessa.

Yhdistämällä tässä raportissa arvioidut metsämaan laskennalliset kasvihuonekaasutaseet Luonnonvarakeskuksen (Luke 2022a) arvioimiin muiden tilinpitoluokkien laskennallisiin kasvihuonekaasutaseisiin, saadaan arvioksi, että Suomen laskennalliset päästöt LULUCF-tilinpitoluokissa ovat yhteensä noin

---

<sup>2</sup> Pienimmillään kasvihuonekaasutaseen arviottiin olevan n. 5 Mt CO<sub>2</sub>-ekv./a pienempi kuin vertailutaso. Laskennallisen nielun hyödyntämistä rajoitetaan hoidetun metsämaan tilinpitoluokassa kuitenkin enimmäismäärällä, joka on Suomen osalta noin 2,5 Mt CO<sub>2</sub>-ekv./a.

1–38 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. vuodessa. Huomioiden LULUCF-asetuksessa määritetyn Suomen erillisjouston (ks. Luke 2022a), saadaan LULUCF-sektorin alijäämäksi noin 0–37 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. vuodessa<sup>3</sup>.

Luonnonvarakeskus (Luke 2022a) arvioi alijäämää suhteessa nykyiseen vertailutasoon neljällä eri vaihtoehdolla, jossa hoidetun metsämaan nieluarviona käytettiin lukua 0 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. vuodessa, vuoden 2021 mukaista lukua (-11,4 Mt CO<sub>2</sub>-ekv./a), vuosien 2017–2021 keskiarvon mukaista lukua (-17,8 Mt CO<sub>2</sub>-ekv./a) ja maksimaalisen nieluhyödyn tuovaa lukua (-32 Mt CO<sub>2</sub>-ekv./a). Näissä vaihtoehdoissa arvioitu alijäämä oli keskimäärin 0–32 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. vuodessa. Luonnonvarakeskuksen arvioima vaihteluväli on hyvin samansuuruinen kuin tässä arvioitu, vaikka arviointiperusteet ovat hoidetun metsämaan kasvihuonekaasutaseiden osalta hyvin erilaiset ja tässä raportissa arvioitiin myös vertailutason muuttumista teknisten korjausten seurauksena.

### 3.3.3 Vertailutason saavuttamisen kannalta suurin hakkuukertymä

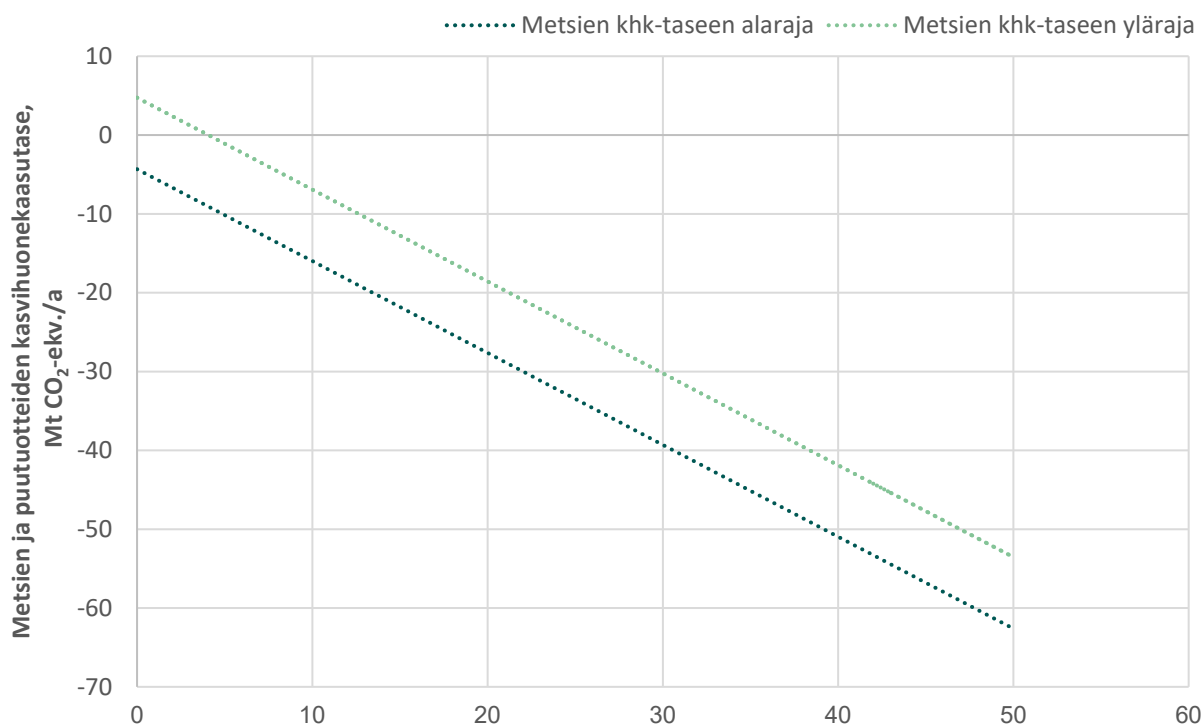
Käyttämällä vuosille 2021–2025 arvioitua maaperän kasvihuonekaasutaseiden epävarmuusväliä (+2...+7 Mt CO<sub>2</sub>-ekv/a), puutuotteiden kasvihuonekaasutaseiden epävarmuusväliä (-3...-5 Mt CO<sub>2</sub>-ekv./a) ja elävän biomassan kasvihuonekaasutaseen riippuvuutta puuston tilavuuskasvun ja -poistuman erotuksesta (kuva 4), arvioitiin metsämaan ja puutuotteiden kasvihuonekaasutaseen riippuvuus puuston tilavuuskasvun ja -poistuman erotuksesta (kuva 14). Tällä perusteella arvioitiin puuston poistuma, jolla vertailutaso saavutetaan tietyllä puuston kasvulla. Puuston poistumasta johdettiin hakkuukertymä käyttämällä näiden suhteen kerrointa 1,2 (ks. luku 2.2.1).

Taulukossa 11 on esitetty arvio hakkuukertymästä, jolla vertailutaso saavutetaan neljällä eri vertailutasovaihtoehdolla ja kolmella eri puuston kasvuoletuksella. Tarkastelluissa vaihtoehdoissa vertailutason saavuttava vuotuinen hakkuukertymä vaihtelee välillä 56–78 Mm<sup>3</sup> vertailutasosta, puuston kasvusta ja maaperän kasvihuonekaasutaseista riippuen. Voimassa oleva vertailutaso (-29,4 Mt CO<sub>2</sub>-ekv./a) saavutetaan nykyisellä puuston kasvulla 65–68 Mm<sup>3</sup>:n vuotuisella hakkuukertymällä ja kaikissa tarkastelluissa vaihtoehdoissa 59–71 Mm<sup>3</sup>:n vuotuisella hakkuukertymällä.

---

<sup>3</sup> Metsäjousto ei voi käyttää tilanteessa, jossa hoidettu metsämaa ei ole nielu, eikä tilanteessa, jossa metsien vertailutaso on saavutettu tai ylitetty (ks. Luke 2022a). Näin ollen vaihteluvälin ala- ja ylärajaan vaikuttaa vain Suomen erillisjousto.

### Puuston tilavuuskasvun ja -poistuman erotus, Mm<sup>3</sup>/a



Kuva 14. Vuosille 2021–2025 arvioitu keskimääräinen metsien ja puutuotteiden kasvihuonekaasutase Suomessa keskimääräisen puuston tilavuuskasvun ja -poistuman erotuksen funktiona. Alaraja-arviossa on oletettu maaperän ja puutuotteiden kasvihuonekaasutaseen olevan yhteensä -3 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. vuodessa ja elävän biomassan kasvihuonekaasutaseen olevan kuvan 4 regressioyhtälön keskimääräisen verran kyseisen regressioyhtälön tulosta pienempi. Yläraja-arviossa on oletettu maaperän ja puutuotteiden kasvihuonekaasutaseen olevan yhteensä +4 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. vuodessa ja elävän biomassan kasvihuonekaasutaseen olevan kuvan 4 regressioyhtälön keskimääräisen verran kyseisen regressioyhtälön tulosta suurempi.

**Taulukko 11. Arvioitu hakkuukertymä, jolla saavutetaan Suomen metsien vertailutaso kolmella erilaisella puuston kasvuarviolla ja neljällä erilaisella metsien vertailutasoarviolla.** Valitut metsien vertailutasot edustavat tässä raportissa arvioitujen teknisten korjausten mukaista ylärajaa (-19 Mt CO<sub>2</sub>-ekv./a), keskiarvoa (-25 Mt CO<sub>2</sub>-ekv./a) ja alarajaa (-33 Mt CO<sub>2</sub>-ekv./a) sekä nykyistä vertailutasoa (-29 Mt CO<sub>2</sub>-ekv./a)

Metsien vertailutaso, Mt CO <sub>2</sub> -ekv./a	Puuston kasvu, Mm <sup>3</sup> /a		
	96	103	106
	Hakkuukertymä, Mm <sup>3</sup> /a		
-19	66...70	72...75	74...78
-25	62...65	67...71	70...74
-29	59...62	65...68	67...71
-33	56...60	62...65	64...68

## 4 Ohjauskeinot metsien ja puutuotteiden hiilinielun kasvattamiseksi

### 4.1 Ohjauskeinojen teoriaa

#### 4.1.1 Ohjauskeinovaihtoehdot

##### 4.1.1.1 Normiohjaus

Ihmisten toimintaa voidaan säädellä lainsäädännön kautta. Ympäristöhallinnossa tyypilliset toimenpiteet ovat oikeudellis-hallinnollisia, eli asetetaan esimerkiksi jokin raja-arvo jollekin päästölle jostain toiminnasta ja sitten valvotaan tämän rajoituksen noudattamista. Tällaista ohjausta on esimerkiksi teollisuudessa ja liikenteessä. Toisena esimerkkinä mainittakoon ympäristölupavaatimukset jollekin teolliselle toiminnalle.

##### 4.1.1.2 Taloudelliset ohjauskeinot

Taloudellisia ohjauskeinoja on pääpiirteissään kolme: verot, tuet ja kaupattavat oikeudet. Verot ja tuet pohjaavat pigoulaiseen ajatukseen ulkoisvaikutusten sisäistämisestä (Pigou 1920). Negatiiviset ulkoisvaikutukset sisäistetään toiminnanharjoittajien päätöksentekoon haittaverolla, jonka suuruus tulee olla toiminnasta aiheutuneen (marginaali)haitan rahallisen arvon suuruinen. Vastaavasti positiiviset ulkoisvaikutukset tulee sisäistää toiminnanharjoittajien päätöksentekoon tukiaisella, jonka suuruus tulee olla toiminnasta aiheutuneen (marginaali)hyödyn rahallisen arvon suuruinen. Teorian mukaan ulkoisvaikutusten sisäistäminen päätöksentekoon oikean kokoisilla veroilla ja tukiaisilla ratkaisee tämän markkinaepäonnistumisen ja johtaa yhteiskunnallisesti optimaaliseen ratkaisuun, jossa päästöt (tai esimerkiksi nielut) ovat yhteiskunnallisesti optimaalisella tasolla. Kaupattavat oikeudet taloudellisena ohjauskeinona pohjaavat puolestaan coaselaiseen ajatukseen omistusoikeuksien luomisesta (tyypillisesti) päästöille (Coase 1960). Tässä ohjauskeinossa lasketaan liikkeelle tietty määrä oikeuksia tuottaa esimerkiksi päästöjä. Päästöjä saa kukin toimija tuottaa vain sen verran kuin hän omistaa päästöoikeuksia. Jos jollakin toimijalla on liikaa tai liian vähän päästöoikeuksia omaan tarpeeseen nähden, hän voi käydä päästöoikeuskauppaa muiden toimijoiden kanssa.

##### 4.1.1.3 Informaatio-ohjaus

Informaatio-ohjaus tarkoittaa nimensä mukaisesti yhteiskunnan kannalta toivottavaan suuntaan ohjaavan informaation antamista toimijoille. Esimerkkejä tällaisista toimista ovat kansalaisten valistuskampanjat sekä maa- ja metsätaloustuottajien neuvonta.

## 4.1.2 Ohjauskeinojen arviointi

### 4.1.2.1 Kustannustehokkuus

Kustannustehokkuudella tarkoitetaan sitä, että jokin ohjauskeino toteuttaa asetetun tavoitteen mahdollisimman pienin kustannuksin. Asetettu tavoite voi olla periaatteessa mikä vain päätöksentekijöiden tavoittelema tila. Tämän raportin kannalta erityisen tärkeitä tavoitteita ovat Suomen EU-nieluvelvoitteisiin pääseminen, sekä toisaalta päästöjen ja nielujen yhteiskunnallinen optimitaso. Talousteorian mukaan yhteiskunnallisessa optimissa viimeisen päästövähennys- tai nielunlisäystoimen rajakustannus on päästöistä aiheutuvan rajahaitan suuruinen.

Jos tavoitteena on Suomen EU-nieluvelvoitteisiin täysimääräisesti pääseminen, kustannustehokkuus tarkoittaa toimien tekemistä halpuusjärjestyksessä tavoitteeseen pääsyyn asti. Jos taas tavoitteena on päästöjen ja nielujen yhteiskunnallinen optimitaso, toimia tehdään halpuusjärjestyksessä siihen asti, kunnes lisätoimet olisivat kalliimpia kuin niillä vältetty haitta. Taloudelliset ohjauskeinot ovat kustannustehokkaita, sillä ne ohjaavat toimijoita rahallisin kannustimin vähentämään päästöjään yllä mainitulla tavalla (tavoitteesta riippumatta). Kaikille toimijoille samat määrärajoitteet laein ja asetuksin eivät tyypillisesti ole kustannustehokkaita ohjauskeinoja, koska toimijoiden päästövähennys- tai nielunlisäyskustannukset ovat erilaisia. Ollakseen kustannustehokkaita, määrärajoitteet tulisi räätälöidä jokaiselle toimijalle erikseen ottaen heidän erilaiset kustannusrakenteensa huomioon.

### 4.1.2.2 Hyväksyttävyyys

Ohjauskeinojen koettua hyväksyttävyyttä kartoitetaan tyypillisesti kyselyin ja haastatteluin, sillä yleis-pätevää indikaattoria (kustannustehokkuuden tapaan) ei hyväksyttävyydelle voida antaa. Kustannustehokkaita toimia ei aina koeta hyväksyttäväksi, sillä kustannustehokkaissa ratkaisuissa eri toimijoiden päästövähennykset ovat tyypillisesti erisuuruisia. Tämä johtuu siitä, että päästövähennykset tehdään siellä, missä ne ovat halvimpia. Tästä johtuen toimijat, joiden päästövähennyskustannukset ovat matalat, vähentävät enemmän päästöjään verrattuna toimijoihin, joiden kustannukset ovat korkeat.

### 4.1.2.3 Luotettavuus

Luotettavuudella tässä yhteydessä tarkoitetaan varmuutta siitä, että asetettuihin tavoitteisiin päästään. Määrärajoitteet ovat tyypillisesti olleet varma tapa päästä tavoitteisiin tapauksissa, joissa määrästysten noudattamisen valvonta on ollut tehokasta. Kaupattavien oikeuksien malli *cap-and-trade* on myös teoriassa varma tapa päästä tavoitteisiin, sillä siinä asetetaan tietty kokonaismäärä (*cap*) oikeuksia liikkeelle ja kauppa (*trade*) tapahtuu tämän kokonaismäärän puitteissa. Jos kokonaismäärä on asetettu tavoitteen mukaisesti, tavoitteeseen päästään. Veron ja tukiaisen tapauksessa ennalta määrättyyn määrälliseen tavoitteeseen pääsemistä esimerkiksi päästöjen osalta on vaikeampi arvioida. Täydellisen informaation maailmassa tämä olisi mahdollista, sillä tietäen täysin toimijoiden päästövähennyskustannukset vero tai tukiaisen osattaisiin asettaa juuri oikealle tasolle tavoitteeseen pääsemiseksi. Käytännössä tällaisia täydellisiä tietoja on harvoin käytettävissä, joten veron ja tukiaisen tasoa saatetaan joutua iteroimaan. Informaatio-ohjauksen merkittävimpana puutteena pidetään usein sitä, että on hyvin vaikea etukäteen arvioida informaatio-ohjauksen vaikutusta ja sen mahdollisuuksia tuottaa tavoitteen vaatimaa muutosta toimijoiden käytöksessä.

#### 4.1.2.4 Tulonsiirtovaikutukset

Taloudelliset ohjaukeinot (verot, tukiaiset, kaupattavat oikeudet) ovat kaikki kustannustehokkaita, mutta niiden tulonsiirrolliset vaikutukset ovat hyvin erilaisia. Verojen ja tukiaisten tapauksessa perustelu tähän tulee pigoulaisesta teoriasta, jossa ulkoishaittojen aiheuttajalta tulee periä maksu ja ulkoishyötyjen aikaansaajalle on perusteltua maksaa korvaus. Valtion toimiessa maksujen maksajana tai perijänä sille luonnollisesti koituu vastakkaiset tulonsiirtorasitteet veron ja tukiaisen tapauksessa. Kaupattavien oikeuksien tapauksessa tulonsiirtovaikutukset riippuvat oikeuksien alkuaon toteutuksesta. Mikäli suoritetaan ilmainen alkujako esimerkiksi *grandfathering*-periaatteella (alkujaon suuruus määrittyy toimijan päästöhistorian perusteella), kyseessä on merkittävä tulonsiirto valtiolta toimijoille. Jos alkujako puolestaan suoritetaan esimerkiksi oikeuksien huutokaupalla, tulonsiirto tapahtuu toimijoilta valtiolle. Coaselaisen teorian mukaan molemmat tavat ovat perusteltuja ja pohjaavat erilaisiin käsityksiin siitä, kenelle oikeuksien omistusoikeus alun perin kuuluu. Alkuaon toteutustapa ei myöskään vaikuta päästökaupan kustannustehokkuuteen, mikäli kaupantekoon liittyvät transaktiokustannukset ovat pienet suhteessa liikuteltaviin pääomiin.

## 4.2 Tämänhetkiset ohjaukeinot Suomessa metsien hiilinielujen kasvattamiseksi

Tässä luvussa esitellään ja analysoidaan merkittävimmät olemassa olevat kansalliset politiikkatoimet metsien hiilinielujen kasvattamiseksi: maankäyttösektorin ilmastosuunnitelma (MISU), metsätalouden määräaikainen kannustejärjestelmä (METKA) ja Kansallinen metsästrategia 2035 (KMS2035). Yhteen vetona voidaan todeta, että Suomessa ei nykytilanteessa ole riittäviä ohjaukeinoja kannustamassa metsien nielun riittävään kasvattamiseen Suomen hiilineutraalisuustavoitteen ja EU:n asettaman maankäyttösektorin nettonielutavoitteen saavuttamisen varmistamiseksi.

### 4.2.1 Maankäyttösektorin ilmastosuunnitelma (MISU)

Maankäyttösektorin ilmastosuunnitelmassa (MISU) määritetään toimenpiteet, joilla tavoitellaan maankäyttösektorilla yhteensä vähintään 3 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. vuosittaista nettonielun lisäysvaikutusta vuoteen 2035 mennessä (MMM 2022a). MISU:n toimenpiteiden pääkategoriat arvioituine ilmastovaikutuksineen (miljoonaa hiilidioksidiekvivalenttitonnia vuonna 2035) ovat:

- Metsähallituksen ilmastotoimet (0,7–0,9 Mt CO<sub>2</sub>-ekv.).
- Metsäkadon ehkäisy (0,5 Mt CO<sub>2</sub>-ekv.).
- Joutoalueiden ja heikkotuottoisten peltojen metsitys (0,21 Mt CO<sub>2</sub>-ekv.).
- Turvepeltojen ilmastokestävä käyttö (0,79 Mt CO<sub>2</sub>-ekv.).
- Suometsien ilmastokestävä hoito ja käyttö (0,61 Mt CO<sub>2</sub>-ekv.).
- Valuma-aluesuunnittelu.
- Hiilen sidonnan ja varastoinnin sekä päästöjen vähentämisen markkinoiden ja kannustimien edistäminen.
- Hiilestä kiinni -tutkimus- ja innovaatio-ohjelma.



- Kokeilut ja jalkauttaminen (Hiilestä kiinni -kehittämishankkeet).
- Muut hiilensidontaa ja -varastointia edistävät toimenpiteet, mm. kivennäismaametsien lannoituksen edistäminen (0,28 Mt CO<sub>2</sub>-ekv.), metsien nopean ja tehokkaan uudistamisen edistäminen, lahopuun määrän lisääminen talousmetsiin sekä pitkäikäisten puutuotteiden ja -rakenteiden hiilivarastojen edistäminen.

MISU:n toimenpiteisiin sisältyvät ohjauskeinot painottuvat informaatio-ohjaukseen, koulutukseen ja neuvontaan. Näiden ohjauskeinojen osalta on ennalta vaikea arvioida niiden ohjaavaa vaikutusta. Muista ohjauskeinoista merkittävimmät kansalliset metsiin liittyvät keinot ovat: Metsähallituksen omistajaohjaus, maankäytön muutosmaksu, joutoalueiden määräaikainen metsitystuki, kansallinen metsittämistuki heikkotuottoisille ja ohutturpeisille pelloille, sekä METKA.

## 4.2.2 Kansallinen metsästrategia 2035 (KMS2035)

Kansallinen metsästrategia 2035 (KMS2035) on lakisääteinen metsäohjelma, jonka maa- ja metsätalousministeriö laatii yhteistyössä muiden ministeriöiden, metsäalaa edustavien ja muiden tahojen kanssa (MMM 2022b). Strategiaa toteutetaan vuosina 2023–2035, ja sen toimenpanoa varten on laadittu hankesalkku. Salkku koostuu kolmesta kärkihankkeesta: *metsien kasvu, elonkirjoja talousmetsissä* sekä *metsäalan uudistuminen ja kilpailukyky*. Toimenpiteiden kuvauksissa korostuu informaatio-ohjaus, neuvonta ja koulutus. Näiden ohjauskeinojen vaikutusta on vaikea arvioida ennalta. Muita ohjauskeinoja metsien hiilinielujen kasvattamiseksi ei ole mainittu, lukuun ottamatta viittausta METKA:aan. Salkku sisältää toimenpiteen ”*Kehitetään hiilen varastoinnin keinoja: Toteutetaan ja edistetään tutkimus- ja kehittämistoimia metsien ja metsämaan sekä puutuotteiden hiilivaraston lisäämiseksi*”.

## 4.2.3 Metsätalouden määräaikainen kannustejärjestelmä (METKA)

Metsätalouden määräaikaiseen kannustejärjestelmään (METKA) kuuluvat seuraavat tuet: taimikon ja nuoren metsän hoito, terveyslannoitus, suometsän hoitosuunnitelma, suometsän vesiensuojelutoimenpiteiden ja piennarteiden tekeminen, metsätalouden tieverkosto, ympäristötuki, metsäluonnon hoito sekä kulutus (MmVM 18/2022 vp). Uuden metsätalouden kannustejärjestelmän tuottamat ilmastohyödyt ovat vähintäänkin epävarmoja (Viitala ym. 2022). METKA:n tuet kohdistuvat pääsääntöisesti puuntuotannon tukemiseen myöntämällä valtionavustusta toimiin, jotka ovat yleensä yksityistaloudellisesti kannattavia ilman tukeakin (Viitala ym. 2022). Sen sijaan metsätalouden positiivisten ulkoisvaikutusten ja julkishyödyketyppisten hyötyjen tukeminen (ja negatiivisten ulkoisvaikutusten haittojen välttäminen) jää vähemmälle huomiolle. Viitala ym. (2022) myös huomauttavat, että kannustinvaikutukseen kuuluisi oleellisena osana kustannusten kattamisen lisäksi palkkio ympäristöhyötyjen tuottamisesta, jota ilman kannustimen voidaan katsoa olevan riittämätön. METKA:ssa ilmastohyötynäkökohdat painottuvat metsien kasvun ja terveyden parantamiseen. Kuten Viitala ym. (2022) seikkaperäisesti arvioivat, nämä hyödyt saattavat jäädä negatiivisten vaikutusten jalkoihin. He tuovat lisäksi esiin, että METKA:n ehdot epäsuorasti kannustavat jaksollisen metsänkäsittelyn harjoittamiseen jatkuvapeitteisen metsänkäsittelyn sijaan.

## 4.3 Julkisuudessa ja kirjallisuudessa esitetyt ohjauskeinot metsien hiilinielun kasvattamiseksi

Tässä luvussa käsitellään julkisuudessa ja kirjallisuudessa esitettyjä uusia ohjauskeinoja metsien hiilinielujen kasvattamiseksi. Nämä metsien ilmasto-ohjauskeinot on koottu taulukkoon 12, jossa on myös tiivistetty tässä luvussa esitetty kunkin ohjauskeinon analyysi.

### 4.3.1 Hiilituki- ja hiilivuokrajärjestelmät

Tässä raportissa esitellyistä ohjauskeinoista hiilituki- ja hiilivuokrajärjestelmät ovat olleet selvästi eniten tutkimuksen kohteena jo vuosikymmenten ajan. Kansainvälisen tutkimuskirjallisuuden varhaisimpiin tutkimuksiin kuuluvat Englin ja Callaway (1993), Plantinga ja Birdsey (1994) sekä van Kooten ym. (1995). Suomessa aihetta on tutkittu viimeistään Tahvosen (1995) tutkimuksesta lähtien. Tutkimuskirjallisuutta on siis kertynyt jo 30 vuoden ajalta ja uutta tutkimusta tulee jatkuvasti. Eräänä uusimmista kontribuutioista mainittakoon metsien puuntuotannon ja hiilensidonnan yhteistoteutuksen taloustieteellistä teoriakehikkoa kehittävä Korhonen ja Tahvonen (2023).

Hiilituki- ja hiilivuokrajärjestelmät voidaan rakentaa monella eri tavalla. Tukien myöntöperusteen osalta on kaksi vaihtoehtoista perustapaa muodostaa kyseinen järjestelmä: korvaukset voivat perustua hiilivirtojen suuruuteen (*hiilitukijärjestelmä*) tai hiilivaraston suuruuteen (*hiilivuokrajärjestelmä*). Molemmilla järjestelmätavoilla saadaan sama ohjaustulos aikaan, kunhan järjestelmät ovat tarkoituksenmukaisesti ja teoreettisesti perustellusti laadittuja (Lintunen ym. 2016a). Taloustieteellisesti perustelluissa järjestelmissä on hiilellä hinta sen sitoutuessa metsään ja toisaalta sen vapautuessa ilmakehään. Tällöin järjestelmä kannustaa sekä sitomaan hiiltä metsään että hillitsemään hiilen vapautumista.

Hiilivuokrajärjestelmissä metsänomistajan saaman tuen suuruus riippuu hänen metsänsä hiilivaraston suuruudesta (Uusivuori ja Laturi 2007, Lintunen ym. 2016b, Lintunen ja Uusivuori, 2016). Metsänomistajalla on siis kannuste kasvattaa metsänsä hiilivarastoa, sillä tämä lisää hänen saamiaan tukia. Kääntäen, metsänomistajalla on kannuste välttää tai lykätä hakkuita, sillä ne pienentäisivät hänen metsänsä hiilivarastoa ja täten tukia. Metsänomistaja ei tässä mallissa joudu koskaan palauttamaan tukia. Raha liikkuu metsänomistajan ja valtion välillä täten vain yhteen suuntaan. Oikeudenmukaisuusmielessä hiilivuokrajärjestelmää on kannatettu, sillä voimaantullessaan se palkitsisi jo aiemmin hakkuista pidättäytyneitä metsänomistajia heidän metsänsä suuren hiilivaraston vuoksi.

Hiilitukijärjestelmissä metsänomistaja saa tukea aina hiilen sitoutuessa hänen metsäänsä eli aina metsän hiilivaraston kasvaessa. Tällaisen järjestelmän vaikutuksia metsänomistajille kannattavimpaan (avohakkuisiin perustuvaan) metsänkäsittelyyn ovat tutkineet Pohjola ja Valsta (2007), Niinimäki ym. (2012) ja Pihlainen ym. (2014). Lisäksi Assmuth ja Tahvonen (2018), Assmuth ym. (2018), Assmuth ym. (2021), Parkatti ja Tahvonen (2021) sekä Parkatti ym. (2023) ovat tutkineet hiilitukijärjestelmän vaikutuksia metsänomistajalle kannattavimman metsänkäsittelymuodon (jatkuva kasvatus vai avohakkuu-metsätalous) valintaan ja toteutukseen.

Hiilitukijärjestelmissä on tyypillisesti mukana myös verotyypisiä maksuja valtiolle. Maksun suorittaja voi olla metsänomistaja, puun polttaja tai sen jatkojalostaja. Maksun suorittajan ollessa metsänomistaja, hän palauttaa saamansa tuen hiilen poistuessa metsästä hakkuiden yhteydessä. Maksu voi olla sama kaikesta metsästä poistuvan puun hiilestä tai porrastua hakkuukertymän puutavaralajien mukaan. Tällöin maksu olisi alempi tukkipuun osalta verrattuna kuitupuuhun, joka taas olisi alempi energiapuuhun verrattuna. Täten metsänomistaja maksaa hakkuissa tuotettavasta puutavarasta veroa sitä vähemmän, mitä

**Taulukko 12. Julkisuudessa ja kirjallisuudessa esitettyjä metsien ilmasto-ohjauskeinoja ja niihin liittyviä arvioituja hyötyjä ja haittoja**

Ohjauskeino	Kuvaus	Plussat	Miinukset
Hiilitukijärjestelmä	Metsänomistaja saa tuen hiilensidonnasta. Metsänomistaja tai puun jalostaja/polttaja maksaa veron hiilen vapautumisesta	+ Hiilellä hinta sekä sitoutuessa että vapautuessa --> Kannustaa kasvattamaan hiilensidontaa ja välttämään hiilen vapautumista + Pysyvyyttä ei tarvitse miettiä erikseen, koska vero hiilen vapautumisesta + Kustannustehokas + Kasvattaa puun tarjontaa pitkällä aikavälillä + Voidaan rakentaa valtiolle kustannusneutraaliksi alusta pitäen tukia ja maksuja säätämällä + Tukien tulosperustaisuus	- Maksujen tasosta riippuen voi olla kallis valtiolle - Hakkuuvuoto (jos järjestelmä vapaaehtoinen) - Vaikea ennalta tietää, millä tukien ja maksujen tasoilla päästään nielutavoitteisiin - Pientää puun tarjontaa lyhyellä aikavälillä - Järjestelmän hallinnointikustannuksilla riski tulla suuriksi
Hiilivuokrajärjestelmä	Metsänomistaja saa tuen metsän hiilivaraston suuruuden mukaan	+ Kannustaa metsänomistajaa ylläpitämään ja kasvattamaan hiilivarastoa + Palkitsee myös metsänomistajien jo ennen järjestelmää kerryttämästä hiilivarastosta + Kustannustehokas	- Kallis valtiolle - Hakkuuvuoto (jos järjestelmä vapaaehtoinen) - Vaikea ennalta tietää, millä tuen tasolla päästään nielutavoitteisiin
HiiliMetso	Metsänomistajalle korvataan hänen metsänsä seuraavan päätehakkuun lykkäämisestä aiheutuvat kustannukset	+ Edullinen valtiolle, koska korvataan vain kustannukset + Yksinkertainen ja selkeä toteutus + Laaja hyväksyttävyyys	- Hakkuuvuotoriski - Vaikea ennalta tietää, kuinka suuri kiinnostus metsänomistajilla olisi liittyä ohjelmaan
Hakkuuoikeusjärjestelmä	Kansallisesti tai alueellisesti rajattu määrä huutokaupattuja hakkuo-oikeuksia	+ Päästään varmuudella kansalliseen hakkuu- ja nielutavoitteeseen (jos valvonta toimii) + Valtiolle tuloja	- Erittäin alhainen hyväksyttävyyys
Puutuotteiden ja puupolttoaineiden päästöoikeusjärjestelmä	Puun jalostajat ja polttajat veloitetaan hankkimaan valtiolta päästöyksiköitä päästöjänsä mukaan	+ Päästään varmuudella päästötavoitteisiin, jos päästöyksiköiden määrä rajautuu päästötavoitteeseen	- Ei kannusta nielunlisäystoimiin
Metsäsektorin sisäinen päästökauppa	Puun jalostajat ja polttajat veloitetaan hankkimaan metsänomistajilta nieluyksiköitä päästöjänsä mukaan	+ Ei kustannuksia valtiolle (paitsi valvonnasta)	- Vaikea tietää etukäteen onko nieluyksiköitä tarpeeksi myynnissä

Ohjauskeino	Kuvaus	Plussat	Miinukset
Hakkuuhaittaverot	Hakkuun yhteydessä vero, jos maakunnassa liikaa hakkuita	+ Sisäistää hakkuiden aiheuttaman ilmasto- ja luontohaitan metsänkäyttöpäätökseen	- Kestävän hakkuutason ja haittaveron suuruuden määrittelyminen vaikeaa
Hakkuuvero	Vero hakkuun yhteydessä	+ Vaikuttaa suoraan hakkuita vähentäen + Vero voidaan porrastaa puutavaraluokkien mukaan --> kannuste tukin tuotantoon	- Ei kannusta nielunlisäystoimiin - Vaikea ennalta tietää, millä veron tasolla päästään nielutavoitteisiin
Puupolttoaineiden verotuen poisto	Energiavero puun polttoainekäytöstä, voi rajautua esim. ainespuun, metsähakkeen tai kiinteiden puupolttoaineiden polttoon	+ Ohjaisi puuta korkeamman jalostusasteen käyttöön ja materiaalikierrätykseen + Vero mahdollista asettaa eri jakeille eri suuruiseksi, jolloin niille saadaan erilainen ohjausvaikutus + Yhdenmukaistaisi polttoaineiden verokohtelua + Pieni vaikutus metsäteollisuuden toimintaan (jos sivuvirtojen poltto jää verottomaksi)	- Potentiaali vaikuttaa metsien hiilinieluun rajallinen - Vaikea ennalta tietää, mikä vaikutus syntyy milläkin veron tasolla
Puutuotteiden hiilivero	Vero puutuotteista vapautuvan hiilen mukaan	+ Ohjaisi puuta korkeamman jalostusasteen käyttöön ja materiaalikierrätykseen	- Potentiaali vaikuttaa metsien hiilinieluun rajallinen
Vapaaehtoiset hiilimarkkinat	Metsänomistajat myyvät ilmasto-yksiköitä tekemistään toimenpiteistä	+ Kannustaa metsänomistajia kasvattamaan hiilensidontaa metsissään	- Vaikeaa varmistaa lisäisyys ja pysyvyys - Hakkuuvuoto - Vaikea arvioida markkinan volyyymiä ennalta
METKA-tukien uudistus	METKA-järjestelmän tukia muutetaan esimerkiksi kohdistamaan hiilivaraston kasvatustoimenpiteisiin	+ Olemassa olevaa lainsäädäntöä tarvitsee vain muokata	- Potentiaali vaikuttaa metsien hiilinieluun kansallisesti rajallinen
Hiilikorvaus METSO-ohjelmaan	Metsänomistajalle maksettua suojelukorvausta korotetaan metsän hiilivaraston tai -nielun suuruuden perusteella	+ Olemassa olevaa järjestelmää tarvitsee vain muokata + Korkea hyväksyttävyyys	- Potentiaali vaikuttaa metsien hiilinieluun kansallisesti rajallinen
Informaatio-ohjaus	Metsänomistajia neuvotaan esim. Tapion ilmastokestävän metsänhoidon suositusten noudattamiseen	+ Edullinen valtiolle + Korkea hyväksyttävyyys	- Pelkkä neuvonta ei usein vielä riittävä kannuste toimii --> Ohjauksen teho voi jäädä alhaiseksi - Nielutavoitteiden saavuttaminen huomattavan epävarmaa

Ohjauskeino	Kuvaus	Plussat	Miinukset
Metsähallituksen omistajapoliittisten linjausten päivitys	Metsähallituksen tulostavoitteen alentaminen	+ Vaikuttaa suoraan hakkuita vähentäen	- Potentiaali vaikuttaa metsien hiilinieluun rajallinen - Hakkuuvuoto yksityismetsiin
Metsien suojelupinta-alan lisäys	Valtionmetsien siirto suojeluun ja yksityismetsien suojelu METSO:n kautta	+ Suurempi osa metsiä hakkuiden ulkopuolella + Valtionmetsien hakkuiden väheneminen nopeasti vaikuttava toimi nieluun + Synergiaetu biodiversiteettiin	- Yksityismetsien suojeluun saaminen pitkä ja kallis prosessi - Hakkuuvuodon riski - Potentiaali vaikuttaa metsien hiilinieluun rajallinen
Metsälain muutokset	Metsälakia muutetaan esimerkiksi tiukentamalla päätehakkuiden järeyskriteerejä sekä harvennusehtoja.	+ Ei kustannuksia valtiolle (paitsi valvonnasta) + Automaattisesti kaikki metsät regulaation piirissä	- Nielutavoitteiden saavuttaminen epävarmaa
Valtion ja metsäteollisuuden väliset vapaaehtoiset sopimusjärjestelyt	Valtio ja hakkuita suorittavat metsäyritykset sopivat hakkuutasot	+ Päästään varmuudella kansalliseen hakkuu- ja nielutavoitteeseen (jos sopimus pitää)	- Yritysten motivaatio tehdä sopimus voi olla vähäinen

pitkäikäisempiä tuotteita hänen metsästään hakatusta puutavarasta tehdään. Porrastus perustuisi tilastollisiin keskiarvoihin puutavaralajeista tehtävien tuotteiden pitkäikäisyydestä. Tällöin ei luonnollisesti pystytä ottamaan huomioon esimerkiksi tilannetta, jossa ainespuuta ohjautuukin polttoon.

Jos maksu puolestaan lankeaa puun jatkokäyttäjälle, hän suorittaa päästömaksun hiilen vapautuessa ilmakehään (Tahvonen 1995, Rautiainen ym. 2017). Puuta poltettaessa tämä on selkeää, sillä päästö on välitön. Jalostettaessa puuta tuotteiksi on turvauduttava laskennallisiin keskiarvoihin tuotteiden eliniästä ja otettava tämä huomioon päästömaksua asetettaessa. Tämän johdosta päästömaksu olisi sitä pienempi mitä pitkäikäisemmästä tuotteesta on kyse. Tässä vaihtoehdossa päästöveron saa kohdentumaan paremmin päästölähteeseen, eli esimerkiksi ainespuun polttaminen näkyy veron asetanassa. Toisaalta veronkanto uhkaa muodostua valtiolle raskaaksi erilaisten verotustilanteiden määrän noustessa suureksi.

Järjestelmän pitää olla myös sisäisesti koherentti hinnoittelunsa suhteen. Jos hiilestä on peritty hinta hakkuiden yhteydessä, siitä ei tulisi periä hintaa uudestaan tuotteiden käytön yhteydessä. Vaihtoehtoisesti voidaan puutuotevarasto ottaa tällaisessa järjestelmävaihtoehdossa uudeksi hiilisykliksi järjestelmään mukaan, eli tuetaan hiilen sitoutumista puutuotteisiin ja verotetaan hiilen vapautumista puutuotevarastosta. Tämä efektiivisesti tarkoittaisi sitä suurempaa tukea mitä pitkäikäisempi tuote olisi. Puun ensisijaiselle poltolle ei tässä vaihtoehdossa tulisi tukea eikä veroa.

Uuden hiilenhinnoittelujärjestelmän käyttöönotto voi aiheuttaa merkittäviä muutoksia metsätalouden toimintaympäristössä ja huonosti harkittu implementointi johtaa epätoivottuihin vaikutuksiin. Uudessa Seelannissa metsien liittäminen päästökauppaan aiheutti valtavan metsäkadon ennen järjestelmän implementointia (Nurmi ja Ollikainen 2019). Pohjola ym. (2018) havaitsivat, että jos järjestelmä otettaisiin käyttöön yhtäkkiä ja yllättäen, jo kohtuullisen kokoisilla hiilivuokran tasoilla vaikutukset metsäteollisuuteen olisivat varsin mittavat.

Hiilituki- ja hiilivuokrajärjestelmien implementoinnissa on päätettävä, miten suhtautua hiileen, mikä oli sitoutunut metsiin ennen järjestelmän käyttöönottoa. Lintunen ym. (2016b) ehdottivat, että valtio hankkii tämän olemassa olevan hiilivaraston itselleen järjestelmän käyttöönoton aluksi ja hakatessaan metsänomistaja ikään kuin ostaa sen takaisin. Tämä tarkoittaisi valtavaa alkuinvestointia valtiolta. Toinen ratkaisu esitellään tapaustarkastelulaatikossa 1: vain järjestelmän aikana metsiin sitoutunut hiili on järjestelmän piirissä. Tämä aiheuttaisi pienemmän alkuinvestoinnin valtiolle. Tämä ratkaisu tosin on tarpeellinen vain, jos metsänomistajat ovat hiilen vapautumisen maksun maksajia. Jos malli toteutetaan niin, että hiilen sitoutumisen tuki on metsänomistajalle ja hiilen vapautumisen maksu puun käyttäjälle tai polttajalle, tällaista siirtymäajan ratkaisua ei tarvita. Teorian sisäisen koherenssin kannalta tässä on kuitenkin ongelma: puun käyttäjät tai polttajat maksavat kaikesta puusta minkä polttavat, eivät vain siitä osiosta, mistä metsänomistaja oli saanut järjestelmään liittymisen jälkeen tukea. Tällöin hiilellä on eri hinta sitoutuessaan metsään ja vapautuessaan ilmakehään. Tämä pätee toki vain siirtymävaiheessa, sillä lopultahan kaikki hiili metsissä on järjestelmän piirissä (avohakkuumetsätaloudessa), kun avohakkuiden myötä ennen järjestelmän implementointia metsään sitoutunut hiili poistuu metsistä. Tämän sisäisen koherenssin ongelman käytännön merkitys lienee pieni. Sen voi pragmaattisesti korjata laittamalla isomman tuen hiilitonnia kohden metsänomistajille ja pienemmän maksun puun käyttäjille tai polttajille.

Kansallisiin vapaaehtoisuuteen perustuviin ohjaukeinoihin liittyy maansisäisen hakkuuvuodon riski. Lisäksi kaikkiin velvoittaviinkin instrumentteihin liittyy kansainvälisen hakkuuvuodon riski, mikä tosin ei suoraan liity Suomen EU-velvoitteiden täyttymiseen, vaikka onkin globaalien ilmastokysymyksen kannalta olennainen. Hakkuuvuoto johtuu siitä, että kun hakkuut jossain vähenevät, puun hinta nousee ja hakkuiden piiriin tulee metsiä, joita ei olisi muuten hakattu. Kalifornian päästökauppajärjestelmässä hiilivuodoksi on arvioitu jopa 80 prosenttia (Nurmi ja Ollikainen 2019, Haya 2019).

## Tapaustarkastelulaatikko 1: Esimerkki erästä sisäisesti koherentista hiilitukijärjestelmästä

### Tuki metsänomistajalle hiilensidonnasta

Valtio maksaa metsänomistajalle metsään sitoutuneesta hiilimäärästä tuen. Tuen suuruus (euroa) hiilidioksiditonnia kohden voi olla ajassa vakio, vuosittain indeksikorjattava tai muuten määrittyvä (esimerkiksi EU:n päästökaupan päästöyksikön hintaan jollain tavalla sidottu). Tukien perustana olevat hiilivaraston muutostiedot tuotetaan kansallisesti keskitetysti pohjautuen kahden vuoden välein päivittyvään MVMI-aineistoon (koostettu maastotiedoista ja satelliittikuvista), ja hiilivarastoon voidaan laskea ainespuun hiilen lisäksi muitakin ositteita.

### Maksu hiilen poistumisesta metsästä

Metsänomistaja maksaa valtiolle maksun metsästään poistuvasta hiilestä. Jotta järjestelmä olisi oikeudenmukainen ja vältettäisiin aavistushakkuut, on asetettava metsäkohtainen referenssivarasto. Kunkin metsän hiilivarasto järjestelmän voimaantulohetkellä toimii sen metsän referenssivarastona. Metsänomistajan tarvitsee maksaa vapautuvasta hiilestä vain referenssivaraston ylittävältä osalta. Esimerkki: metsänomistajalla on ohjelman alkaessa metsässään yhteensä 1000 t CO<sub>2</sub> ja 15 vuoden päästä siellä on yhteensä 1100 t CO<sub>2</sub>. Metsänomistaja on saanut vuosittain tukea sitoutuneesta hiilestä, yhteensä siis 100 t CO<sub>2</sub> osalta. Jos metsänomistaja tällöin (15 vuotta ohjelman alusta) hakkaa koko kyseisen metsän, hän joutuu maksamaan 100 t CO<sub>2</sub> hinnan verran takaisin, ei siis koko 1100 t CO<sub>2</sub> osalta. Referenssivarasto päivittyy, jos varasto menee aiemman referenssivaraston alle. Esimerkiksi päätehakkuun myötä uudeksi referenssitasoksi tulee nolla. Täten metsänomistajalla säilyy intressi pysyä järjestelmässä. Luonnontuhojen (metsäpalot, lumi-, tuohyönteis- tai myrskytuhot) vuoksi vapautuvasta hiilestä ei peritä maksua, mutta referenssitaso päivittyy tuhonjälkeiselle tasolle.

### Yleistä

Järjestelmä voi olla pakollinen tai vapaaehtoinen. Vapaaehtoisuuteen liittyy merkittävä maansisäisen hakkuuvuodon riski. Jos järjestelmä on vapaaehtoinen, metsänomistaja sitoutuu järjestelmään esimerkiksi aina viideksi tai kymmeneksi vuodeksi eteenpäin. Metsänomistajan halutessa poistua järjestelmästä, häneltä peritään maksu hänen referenssivarastonsa ylittävältä osalta (eli efektiivisesti oletetaan hänen tekevän hakkuun). Maksulla estetään järjestelmän väärinkäytökset. Maksun taso on silti sellainen, ettei se mitätöi taloudellista hyötyä järjestelmässä olost, sillä tuet ovat tulleet etupainotteisesti ja maksu tulee takapainotteisesti. Järjestelmään ei kuulu maksua puun polttajille tai jalostajille, mutta siihen on mahdollista tuoda mukaan kannustinvaikutus pitkäikäisten puutuotteiden (tai niiden materiaalin) tuottamiselle.

Kustannukset valtiolle hiilituki- tai hiilivuokrajärjestelmästä riippuvat luonnollisesti tuen suuruudesta ja siitä, olisiko järjestelmä vapaaehtoinen vai kaikille pakollinen. On mahdollista rakentaa järjestelmästä alun pitäenkin kustannusneutraali valtiolle. Seuraavassa pieni ja karkea esimerkkilasku, joka antaa osviittaa mittakaavasta. Laskelma erityisesti verokertymän osalta on staattinen arvio nykytilanteeseen pohjautuen, eikä ota huomioon mahdollisen veron aiheuttamia muutoksia toimijoiden käytöksessä ja



päästöissä. Suomen ainespuun kasvu on vuodessa karkeasti ottaen noin 100 Mm<sup>3</sup> (vastaa n. 70 Mt CO<sub>2</sub>, olettaen yksinkertaistaen kaiken puuaineksen kuivatuoretiheydeksi 400 kg/m<sup>3</sup> ja kuiva-aineen hiilisisälöksi 50 %). Jos kaikki metsänomistajat olisivat tuen piirissä, ja tuen suuruus olisi 5 € per t CO<sub>2</sub>, niin valtion kustannukset tukiin olisivat 350 miljoonaa euroa. Tähän on yhdistettävissä (esimerkiksi) kaikille puupolttoaineille (ml. mustalipeä, puru ja kuori, mutta pl. puun pienkäyttö) lankeava päästövero, 10 € per t CO<sub>2</sub>, jonka verokertymä olisi 350M€ (ks. luku 4.3.7). Tukikustannukset ja verotulot olisivat siis yhtä suuret, joten järjestelmä olisi valtiolle kustannusneutraali (pl. hallinnointikulut). Järjestelmän käyttöönotto voisi jatkua ensivaiheen jälkeen korottamalla summia. Kaskadiperiaatteen mukaisesti ensimmäiseksi olisi perusteltua korottaa ensisijaisen polton (metsähakkeen) veroa. Lisäksi olisi mahdollista ottaa veron piiriin myös lyhytikäiset puutuotteet pienellä verolla. Lisäverokertymän myötä voisi hiilituen määrää metsänomistajille korottaa.

Hiilituki- ja hiilivuokrajärjestelmien kustannustehokkuus pohjaa siihen, että tuet toimivat metsänomistajille kannustimena muokata metsänkäsittelyään hiilensidontaa lisäävään suuntaan, mutta he tekevät muutoksia vain niin paljon kuin kokevat ne itselleen (rahallisesti) kannattaviksi. Tällöin hiilensidontaa lisäävät toimenpiteet tehdään siellä missä ne ovat halvimmat.

Verrattaessa hiilitukijärjestelmää esimerkiksi MISU:ssa esitettyihin toimiin (kuten lannoituksen tukeminen METKA:n kautta), on huomionarvoista, että hiilitukijärjestelmä ei ohjaa käyttämään mitään tiettyä menetelmää. Sen sijaan tukea maksetaan aikaansaadun hiilensidonnan perusteella, riippumatta siitä, kuinka se on saatu aikaan. Tämä avaa mahdollisuuden uudenslaisille innovaatioille tuottaa hiilensidonnan lisäystä entistä pienemmin kustannuksin.

Edellä esitetyissä hiilitukijärjestelmissä maksetaan kaikesta sitoutuvasta hiilestä, myös siitä, mikä olisi sitoutunut ilman tukia. Tämän vuoksi kustannukset valtiolle ovat suuremmat kuin tapauksessa, jossa maksettaisiin vain lisäisestä hiilestä. Jos halutaan rajata tuet vain lisäiseen hiileen, se on mahdollista toteuttaa asettamalla metsäkohtainen perusura metsänhoidolle, joka tapahtuisi ilman tukia. Tällainen on teoreettisesti mahdollista määrittää muun muassa metsänhoidon suosituksiin perustuen. Tämä perustuu voimakkaaseen yksinkertaistamiseen, ja on viime kädessä hyvin vaikea tietää, miten metsiä olisi käsitelty ilman tukijärjestelmää. Toinen ehdotettu tapa toteuttaa lisäisyys on asettaa kaikelle metsämaalle kasvupaikaluokittainen kiinteistövero, jolla efektiivisesti verotetaan ei-lisäisestä hiilensidonnasta saatu tuki takaisin (Tahvonen ja Rautiainen 2017).

## 4.3.2 HiiliMetso

Professori Olli Tahvosen ja tutkijatohtori Vesa-Pekka Parkatin ehdottamassa järjestelmässä korvattaisiin metsänomistajalle hänen metsänsä seuraavan päätehakuun lykkäämisestä aiheutuvat kustannukset (Tahvonen ja Parkatti 2023). Järjestelmän nimi viittaa Etelä-Suomen metsien suojeleohjelma Metsoon, jossa korvataan mukaan liittyville metsänomistajille aiheutuvat puunmyyntitulojen menetykset heidän suojellessaan metsänsä määräaikaisesti tai pysyvästi.

Verrattuna hiilitukijärjestelmään HiiliMetso-järjestelmässä valtiolle koitua kustannusrasite metsänomistajille maksettavista korvauksista on teorian mukaan samasta kannustinvaikutuksesta pienempi. Tämä johtuu siitä, että siinä missä hiilitukijärjestelmässä maksetaan palkkio sitoutuvasta hiilestä, HiiliMetsoissa korvataan vain puunmyyntitulojen viivästyisestä metsänomistajalle koituvat kustannukset. HiiliMetsoissa ei toisaalta ole tukien palautuksia metsänomistajilta valtiolle useiden hiilitukijärjestelmien tapaan.

Järjestelmään liittyminen olisi metsänomistajille vapaaehtoista ja he voisivat ilmoittaa siihen vain päätehakkuukäisiä tai sitä vanhempia metsiä. Päätehakkuuian määräitys tapahtuisi Tapion metsänhoidon suositusten perusteella (Tapio 2023a).

Siinä missä Metso-ohjelmaa on pidetty laajasti hyväksyttävänä niin metsänomistajien kuin eturyhmienkin puolelta, myös samankaltaisesti toimivalle HiiliMetsolle olisi odotettavissa korkea hyväksyttävyyttä. Ohjelmaan liittyvien metsänomistajien määrää on ennalta vaikea arvioida. Kiinnostukseen vaikuttaa se, kokevatko metsänomistajat pelkästään puunmyynnin lykkäämisen kustannukset korvaavan mallin houkuttelevaksi. Tässä voi olla avuksi mallin implementointi tarjouskilpailuna, jossa metsänomistajat tekisivät itse tarjouksia tuen määrästä, jolla he suostuisivat lykkäämään metsänsä päätehakkuuta.

### 4.3.3 Hakkuuoikeusjärjestelmä

Tutkimusprofessori emeritus Ilkka Savolaisen ehdottamassa hakkuuoikeusjärjestelmässä (Savolainen 2022) huutokaupattaisiin valtakunnallisesti rajattu määrä hakkuuoikeuksia. Ehdotuksen mukaan hakkuuoikeuksia myytäisiin teollisille toimijoille ja pienimmät hakkuut jätettäisiin järjestelmän ulkopuolelle. Ehdotuksessa rinnastetaan järjestelmä fossiilisista polttoaineista tulevien päästöjen kaupan kanssa. Ehdotuksessa ei kuitenkaan mainita EU:n päästökaupan kaltaista markkinaa, jossa oikeuksilla voisi käydä kauppaa muiden toimijoiden kanssa.

Kuten muissakin kaupattavien oikeuksien järjestelmissä, hakkuuoikeusjärjestelmässäkin päästään varmasti tavoitteeseen, jos vain valvonta toimii. Tässä tavoitteella tarkoitetaan hakkuutavoitetta ja tarkemmin sanottuna vuosittaisessa hakkuukiintiössä pysymistä. Ehdotuksessa valtio asettaisi vuosittaisen (tai viisivuositaisen) hakkuukiintiön. Jos hakkuukiintiön asettamisella pyritään tiettyyn hiilinielutavoitteeseen joinakin tiettyinä vuosina, on erikseen mallinnettava tavoitteeseen pääsyn kannalta oikea hakkuukiintiön taso.

Hakkuuoikeusjärjestelmä on teoriassa kustannustehokas, sillä hakkuuoikeuksia huutokaupatessa kukin toimija maksaa oikeuksista (korkeintaan) oman maksuhalukkuutensa verran. Tällöin hakkuuoikeudet allokoituvat toimijoille, jotka niitä eniten arvostavat. Kääntäen, hakkuuiden vähenemästä aiheutuu mahdollisimman vähän kustannuksia, sillä kaikkein vähiten arvoa tuottavat hakkuut jäävät toteuttamatta.

Hakkuuoikeusjärjestelmä muuttaisi merkittävästi toimintaympäristöä ja toisi hakkuut luvanvaraisiksi. Täten voidaan ennakoida hakkuuoikeusjärjestelmällä olevan erittäin alhainen hyväksyttävyyttä metsänomistajien ja puun ostajien keskuudessa. Valtiolla järjestelmästä kertyisi tuloja hakkuuoikeuksien myynnistä ja kuluja järjestelmän hallinnoinnista. Hakkuuoikeuksien hinnasta riippuen valtio voisi kokonaisuudessaan hyötyä järjestelmästä rahallisesti.

### 4.3.4 Puutuotteiden ja puupolttoaineiden päästöoikeusjärjestelmä

Puutuotteiden hiilen vapautumiseen on ajateltavissa samankaltainen päästökauppajärjestelmä kuin EU:n päästökauppajärjestelmä (ETS) teollisuudelle ja energiantuotannolle. Samoin kuin EU-ETS-järjestelmässä, puutuotteiden päästökaupassa tarvittaisiin päästöoikeus jokaisen päästöyksikön vapauttamiselle ilmakehään. Järjestelmässä laskettaisiin liikkeelle haluttu määrä päästöoikeuksia, ja toimijat voisivat käydä kauppaa päästöoikeuksilla toisten toimijoiden kanssa. Päästötavoitteeseen päästään varmasti, jos päästöoikeuksien alkujako on tavoitteen mukainen. Toimi on myös kustannustehokas tapa päästä tavoitteisiin, sillä päästöoikeuksien kaupan johdosta päästövähennykset tehdään siellä,

missä ne on halvinta tehdä. Päästöoikeudet allokoituisivat kaupan seurauksena niille toimijoille, joille päästövähennykset olisivat kalleimpia.

Puupolttoaineiden osalta päästöoikeuksia tarvittaisiin heti koko poltetulta määrältä, sillä hiili vapautuu poltettaessa välittömästi. Puutuotteiden osalta toimija tarvitsee päästöoikeuksia sitä mukaa kun puutuotteet poistuvat käytöstä ja vapauttavat hiilen ilmakehään. Tässä piilee myös järjestelmän haaste, sillä on haastavaa seurata jokaisen yksittäisen tuotteen elinkaarta ympäri maailmaa. Onkin oletettavaa, että tällaisessa järjestelmässä turvauduttaisiin laskennallisiin keskiarvoihin tietyn tuoteryhmän eliniästä ja tuotteiden sisältämän hiilen puoliintumisajoista. Vastaavaa tapaa käyttävät monet maat, mukaan lukien Suomi, raportoidessaan puutuotteiden hiilivarastojen muutokset YK:n ilmastositoumukselle. On myös mahdollista, että yksinkertaisuussyistä laskettaisiin päästöoikeuksien nykyarvo diskonttaamalla yli tuotteen (oletetun) elinkaaren. Tämä tarkoittaisi efektiivisesti sitä, että tuotteet tarvitsevat sitä vähemmän päästöoikeuksia, mitä pitkäikäisempiä tuotteet ovat. Järjestelmä ohjaisi täten puunkäyttöä kohti (keskimääräisesti) pitkäikäisempiä tuotteita.

On myös mahdollista rakentaa järjestelmä arvioimalla vapautuvan hiilen määrä yritysten suorittamien hakkuiden perusteella. Tällöin tarvittavien päästöoikeuksien määrä arvioitaisiin tilastollisten keskiarvojen avulla, hakkuissa tuotetuista puutavaralajeista tehtävien tuotteiden pitkäikäisyyden perusteella.

### 4.3.5 Metsäsektorin sisäinen päästökauppa

Edellä esiteltyyn puutuotteiden päästöoikeusjärjestelmään on teoriassa mahdollista sisällyttää myös metsien hiilitaseet. Tällöin valtiota ei välittäjänä tarvittaisi välttämättä ollenkaan. Puunkäyttäjät ja -polttajat veloitettaisiin hankkimaan metsähiiliyksiköitä suoraan metsänomistajilta, jotka voisivat myydä niitä sitä mukaa kun hiiltä on todennetusti heidän metsiinsä sitoutunut. Tässä haasteeksi tulisi tarjontapuolen toimijoiden valtava määrä, sillä Suomessa on lähes 600 000 metsänomistajaa (Metsäkeskus 2023). Tällaisen järjestelmän hallinnoinnin kuluilla on täten vaarana nousta suuriksi. On myöskin ennakkolta vaikea arvioida, olisiko metsähiiliyksiköitä riittävästi tarjolla markkinoilla.

### 4.3.6 Hakkuuhaittaverot

Professori Mikko Mönkkösen esittämässä hakkuuhaittaverojärjestelmässä (Mönkkönen 2022) määritetään alueellisesti kestävä hakkuutaso, jonka ylittävistä hakkuista tulisi maksaa haittaveroa. Ehdotus toisi järjestelmän piiriin täten myös määritettävän hakkuutason ylittävien hakkuiden aiheuttaman luontohaitan. Kestävän alueellisen hakkuutason määrittäminen luotettavasti ja tarkoituksenmukaisesti voi kuitenkin olla hankalaa. Hakkuuveron ollessa suuri, voi metsänomistuksen kannattavuus heiketä niin, että vaihtoehtoiset maankäytöt tulevat metsää kannattavammiksi, johtaen metsäkatoon. Valtiolle instrumentista kertyisi verotuloja, tosin myös kustannuksia veronkannosta.

### 4.3.7 Hakkuuvero

Hakkuuvero olisi hakkuun yhteydessä suoritettava vero. Veron maksajana voisi ainakin periaatteessa olla joko hakkuun suorittaja (eli yleensä puun ostaja) tai puun myyjä. Veron suuruus voisi olla kuutioperustainen ja mahdollisesti puutavaralajikohtainen. Jos esimerkiksi tukkipuusta (josta voidaan tehdä pitkäikäisiä tuotteita) maksettava vero olisi pienempi kuin kuitupuusta (josta tyypillisesti tehdään lyhytikäisiä tuotteita) maksettava vero, ohjauskeino kannustaisi tukkipuiden kasvattamiseen,

koska ostajien maksuhalukkuus niistä olisi suhteellisesti kasvanut. Veron suuruus voisi olla kaikkein suurin energiapuussa, josta hiili vapautuu saman tien poltossa.

Hakkuuvero olisi varsin ripeä tapa vaikuttaa hiilinieluihin, sillä sen hakkuuta vähentävä vaikutus olisi nopea, riippuen toki veron suuruudesta. On kuitenkin vaikea etukäteen arvioida tavoitteisiin pääsemisen kannalta tarvittavan veron suuruus, koska metsänomistajien ja yritysten käyttäytymistä etukäteen ei pystytä täydellisesti arvioimaan. Hakkuuveron ollessa suuri, voi puusta maksettavan hinnan laskiessa metsänomistuksen kannattavuus heiketä niin, että vaihtoehdot maankäytöt saattavat tulla jossakin määrin metsää kannattavammiksi. Tämä voi johtaa metsäkatoon erityisesti, jos käytössä ei ole maankäytön muutosmaksua. Valtiolle instrumentista kertyisi verotuloja, tosin myös kustannuksia veronkannosta.

### 4.3.8 Puupolttoaineiden verotuen poisto

Puupolttoaineiden saattamista veron piiriin tukee ensinnäkin yleinen teoria ilmastopäästöjen hinnoittelusta: hiilellä on oltava hinta kaikilla sektoreilla. Puupolttoaineiden verottomuus juontaa juurensa IPCC:n kirjanpitojärjestelmään, jossa puupolttoaineiden päästöt lasketaan maankäyttösektorilla hiilivarausten muutoksina energiasektorilla tapahtuvien hiilidioksidivirtojen sijaan. Fossiilisista polttoaineista aiheutuvien hiilidioksidipäästöjen hinnoittelu yhdessä maankäyttösektorin puutteellisen päästösääntelyn kanssa on parantanut puupolttoaineiden kilpailukykyä fossiilisiin polttoaineisiin nähden.

EU-komissio on puuttumassa puupolttoaineiden päästöverottomuuteen uudessa energiaverodirektiiviehdotuksessaan (EU 2021), jossa polttoaineet jaetaan ympäristövaikutusten mukaisesti luokkiin, joissa polttoaineiden verokohtelu on yhtenäinen. Direktiiviehdotuksen mukaan jäsenmaalla ei olisi oikeutta jättää veron ulkopuolelle kiinteitä puupolttoaineita niiltä osin kuin niitä käytetään yli 5 MW:n laitoksissa. Kehittyneille puupolttoaineille voisi kuitenkin olla nollaverotaso, mikäli niille saadaan EU:n valtiontukihyväksyntä (Forsström ym. 2022).

Forsström ym. (2022) tutkivat metsähakeveron vaikutuksia energiamarkkinoihin. Tämän veron ulkopuolelle jäisivät kaikki metsäteollisuuden sivuvirrat (puru, kuori, mustalipeä). Samankaltaista veroa on ehdottanut myös Suomen ilmastopaneeli (2023): *”Puupohjaisen biomassan ensisijaista polttoa rajoitetaan ja ohjataan puu nykyistä tarkemmin metsäteollisuuden käyttöön sekä pieniin polttolaitoksiin asettamalla vero puun ensisijaisesta poltosta vapautuvalle hiilidioksidille polttolaitoksille, joiden teho on 20 MW tai sitä suurempi.”* Rautiainen ym. (2018) puolestaan tutkivat hakkuutähteiden polton päästökerrotoimien asettamista huomioimaan, että hakkuutähteet päästäisivät hajotessaan hiilen ilmakehään metsään jätettyinäkin, mutta tämä päästö tapahtuisi hitaammin kuin poltettaessa.

Teorian mukaan perustelluin ratkaisu olisi kaiken teollisen puupohjaisen energiakäytön verottaminen (ml. mustalipeä, puru, kuori). Sinänsä puun pienkäytönkin verottaminen olisi teorian mukaan perusteltua, mutta siinä tulee vastaan veronkannon hankaluus. Sivuvirtojen polttaminen on puun pienkäyttöön verrattuna helposti monitoroitavaa, isoissa laitoksissa tapahtuvaa toimintaa.

Kiinteiden puupolttoaineiden verokertymän suuruus luonnollisesti riippuisi asetettavan veron tasosta ja määräytymisperusteista. Vuonna 2021 lämpö- ja voimalaitoksissa käytettiin kiinteitä puupolttoaineita yhteensä 24,0 miljoonaa kiintokuutiometriä (46,8 terawattituntia) (Luke 2022c). Jos verotaso olisi esimerkiksi 5–10 € kiintokuutiometriltä, toisi tämä suoralla kertolaskulla verokertymäksi 120–240 miljoonaa euroa kiinteiden puupolttoaineiden verottamisesta. Vaihtoehtoisesti voi hahmotella veron tasoa kiinteiden puupolttoaineiden poltosta aiheutuvien CO<sub>2</sub>-päästöjen mukaan (noin 19 Mt vuonna 2021). Jos tälle määrälle laittaisi CO<sub>2</sub>-tonnihinnaksi 5–10 €, niin verokertymäksi tulisi 95–190 miljoonaa euroa. Päästökaupan hiilitonnin hinnalla maaliskuun 2023 alussa (90 euroa) (EEX 2023) verokertymäksi tulisi 1,7 miljardia euroa. Mustalipeän polton verotusperusteena voisi olla (esimerkiksi) energiamäärä (46 TWh vuonna

2021) tai CO<sub>2</sub>-päästömäärä (noin 16 Mt CO<sub>2</sub> vuonna 2021). CO<sub>2</sub>-tonnihinnalla 5–10 €, verokertymäksi tulisi 80–160 miljoonaa euroa, ja hinnalla 90 €/tonni verokertymäksi tulisi 1,4 miljardia euroa. Nämä verokertymälaskelmat ovat luonnollisesti vain karkeita ja staattisia arvioita nykytilanteeseen pohjautuen, eivätkä ota huomioon mahdollisen veron aiheuttamia muutoksia toimijoiden käytöksessä ja päästöissä.

Valtion talousarvioesityksessä 2023 puupohjaisten polttoaineiden verottomuudesta muodostuvan verotuen määräksi esitetään 418 miljoonaa euroa (VM 2023). Tämä perustuu menetettyjen verotuotosten menetelmään, jossa verotasoa verrataan normiverotasoon. Kyseinen menetelmä on kuitenkin vain yksi tapa laskea verotuen määrä ja todennäköisesti huomattavasti suurempi lukema saataisiin käyttämällä efektiivisten CO<sub>2</sub>-verotasojen menetelmää (OECD 2021).

### 4.3.9 Puutuotteiden hiilivero

On mahdollista saattaa veron piiriin kaikki puista tehdyt tuotteet ja kaikki puupolttoaineet, tai rajatumpi joukko. Tämä luonnollisesti vaikuttaisi tuotteiden hintoihin, vähentäen niiden kysyntää. Tämä puolestaan laskisi puun kysyntää. Onkin oletettavaa, että tällaisella verolla olisi alhainen hyväksyttävyyys puun myyjien ja ostajien piirissä.

### 4.3.10 Vapaaehtoiset hiilimarkkinat

Hiilimarkkinoiden avulla valtiot, yritykset, kunnat ja yksityiset ihmiset voivat tasapainottaa aiheuttamiinsa päästöjä ostamalla ilmastoyksiköitä. Kansainvälisesti säännöspohja hiilikompensatioille tulee Pariisin ilmastopimuksen Artikla 6:sta, joka säätelee, miten ulkomailla toteutettuja päästövähennyksiä voi käyttää kansallisiin tavoitteisiin pääsystä. Sääntöjen toimeenpanon kaikista yksityiskohdista ei ole vielä kansainvälisesti päästy sopuun. Peruslähdekohtana on mahdollistaa Pariisin sopimuksen allekirjoittajamaille ilmastotoimien tekeminen oman maan rajojen ulkopuolella. Näitä toimia maa voi käyttää omien päästövähennystavoitteidensa täyttämisen apuna. Taloustieteellinen perusta tällaiselle markkinalle on samanlainen kuin päästökaupassa: on kustannustehokasta toteuttaa päästövähennystoimet siellä missä ne ovat halvimpia. Mahdollistamalla oman maan ulkopuolella tehtävät toimet päästövähennysvalikoimaan löydetään todennäköisesti halvempia toimia.

Hiilimarkkinoita on jo olemassa kansainvälisesti ja kansallisesti. PTT:n kyselyn mukaan Suomessa tuotettiin hiilikompensatioyksiköitä (t<sub>CO<sub>2</sub>-ekv</sub>) vuoden 2022 alkupuoliskolla noin 40 000 kappaletta ja ostettiin noin 25 000 kappaletta (PTT 2022). Myytyjen yksiköiden keskihinta oli noin 10 euroa (€/t<sub>CO<sub>2</sub>-ekv</sub>).

Markkinoiden sääntely on kuitenkin vaativaa. Järjestelmässä korvataan päästövähennyksiä esimerkiksi metsiin sitoutuneen hiilidioksidin perusteella myönnettävillä yksiköillä. Täten lisäisyyden ja pysyvyyden kysymykset nousevat erityisen tärkeiksi. Lisäisyydellä viitataan siihen, olisiko kyseinen hiilensidonta tapahtunut myös ilman toimenpiteitä, joista yksikkö myönnetään. Pysyvyydellä viitataan sitoutuneen hiilidioksidin pysymiseen sidottuna. Sekä lisäisyyden että pysyvyyden osoittaminen ja todentaminen ovat huomattavasti haastavampia verrattuna päästövähennyksiin, varsinkin jos on kyseessä teollisten laitosten päästöt. On täten haastavaa luoda yleispäteviä sääntöjä siihen, millaisilla nielujen lisäystoimilla saavutetut yksiköt olisivat täysin verrannollisia päästövähennysyksiköiden kanssa, ja millä suhdeluvulla niitä tulisi verrata päästövähennysyksiköihin, jos ne eivät ole täysin verrannollisia.

Hiilimarkkinoiden sääntely on raportin kirjoitushetkellä intensiivisen kehityksen kohteena. Valtioneuvosto julkaisi 1.2.2023 oppaan vapaaehtoisten hiilimarkkinoiden hyviin käytäntöihin (Laine ym. 2023). Sen mukaan organisaation on mahdollista tehdä kahdenlaisia väittämiä ilmastoyksiköiden käyttöön liittyen: kumoutumisväittämiä ja kansallisia ilmastotukiväittämiä. Kumoutumisväittämissä ilmastoyksiköillä

kumotaan organisaation päästöjä esimerkiksi sen oman hiilineutraalisuuden tavoittelussa. Tällaisen väittämän voi kuitenkin tehdä vain silloin, jos kyseiset ilmastoyksiköt on tuotettu toimilla, joiden pohjana olevia ilmastotoimia ei lasketa minkään maan ilmastotavoitteeseen pääsyn seurannassa. Tämä rajaa kumoutumisväittämän kannalta mahdollisten ilmastotoimien joukon suhteellisen pieneksi ja sellaisiin toimiin, jotka eivät tule huomioiduksi kasvihuonekaasuinventaariossa. On kuitenkin todennäköistä, että esimerkiksi sellaiset hiilensidontakeinot, joiden todetaan tuottavan pysyviä poistumia, otetaan mukaan päästöjen raportointiin, kun riittävän luotettavaa tietoa toimien vaikutuksista on käytettävissä. Toinen mahdollisuus on se, että maat poistavat kumoutumisväittämiin käytetyt yksiköt pois oman ilmastotavoitteidensa toteutumiseen liittyvästä kirjanpidosta. Tämä edellyttäisi muutoksia lainsäädäntöön kansainvälisesti, EU-tasolla ja kansallisesti. Ellei voi tehdä kumoutumisväittämää, voi tehdä kansallisen ilmastotuki-väittämän, jossa nimensä mukaisesti ilmoitetaan organisaation edistävän Suomen ilmastotavoitteita. Organisaatio ei voi kuitenkaan väittää näillä yksiköillä kumoavansa omia päästöjään.

Vapaaehtoiset hiilimarkkinat ovat voimakkaasti perustuneet ajatukseen, että organisaatiot ovat pyrkineet ilmastoyksiköillä pääsemään omaan hiilineutraalisuustavoitteeseensa. Yllä mainitun oppaan ohjeistus muuttaa pelikenttää kuitenkin huomattavasti. Organisaation omaan hiilineutraalisuuteen pääseminen kumoutumisväittämällä on erittäin vaikeaa, koska kumoutumisväittämiin kelpaavia ilmastotoimia on hyvin rajallinen määrä. Kansallisiin ilmastotuki-ilmoituksiin kelpaavia ilmastotoimia on huomattavasti enemmän, mutta on epäselvää, kuinka paljon kysyntää on odotettavissa kyseisille ilmoituksille. Vapaaehtoisilla hiilimarkkinoilla kansallisesti saatavan ilmastohyödyn suuruus onkin siis hyvin vaikea arvioida.

### 4.3.11 METKA-tukien uudistus

Metsätalouden määräaikaisen kannustejärjestelmän (METKA) tuet kohdistuvat tällä hetkellä pääsääntöisesti puuntuotannon tukemiseen myöntämällä valtionavustusta toimiin, jotka ovat yleensä yksityistaloudellisesti kannattavia ilman tukeakin (Viitala ym. 2022). Viitala ym. (2022) ehdottivat, että metsätalouden tukijärjestelmä tulisi jatkossa kohdentaa markkinattomien ympäristövaikutusten ja julkishyödykkeiden tuottamisen kannustamiseen. Ekologista kestävyyttä edistäviä ja ilmastonmuutosta hillitseviä toimenpiteitä metsätalouden tukien ja ohjauksen painopisteenä ovat tuoneet esille myös Hänninen ym. (2017), Heiskanen ym. (2020), Laturi ym. (2021). Viitala ym. (2022) ehdottivat, että tukea suunnattaisiin esimerkiksi jatkuvapeitteiseen metsänkäsittelyyn siirtymisen kustannuksiin. Tämä voisi kohdentua heidän mukaansa sellaisiin kohteisiin, joissa siirtyminen jatkuvapeitteiseen metsänkäsittelyyn tuottaa tutkimustiedon perusteella selviä ilmasto- ja muita ympäristöhyötyjä ja joissa siirtymä aiheuttaa metsänomistajalle tulonmenetyksiä tai ylimääräisiä kustannuksia.

### 4.3.12 Hiilikorvaus METSO-ohjelmaan

Etelä-Suomen metsien monimuotoisuuden toimintaohjelma 2014–2025, eli METSO, on yksityisille maanomistajille suunnattu vapaaehtoinen ohjelma, jonka avulla maanomistaja voi suojella metsänsä korvausta vastaan pysyvästi tai määräaikaisesti. Korvaus kattaa metsänomistajalle suojelukustannuksen. Tämä vastaa puuston taloudellista arvoa, joka menetetään suojeluhetkellä. IBC-Carbon-hankkeen tutkijat Helsingin yliopistosta ja Suomen ympäristökeskuksesta ehdottivat politiikkasuosituksessaan huhtikuussa 2022 hiilikorvauksen lisäämistä METSO:on (Kangas ym. 2022). Hiilikorvaus perustuisi joko puuston hiilivarastoon tai tulevaan hiilensidontaan (Kangas ja Ollikainen 2023). Hiilikorvauksen myötä

metsänomistajalle maksettava korvaus kasvaisi, mikä voisi kannustaa tarjoamaan suojeluun esimerkiksi enemmän varttuneita runsaspuustoisia kohteita. Tällaiset kohteet uhkaavat jäädä nykyisillä korvaussummilla suojelematta (Kangas ym. 2022). Hiilikorvauksen käyttöönotto edellyttäisi METSO-ohjelman suojelubudjetin kasvattamista ensivaiheessa 180 miljoonalla eurolla, jos ohjelman pinta-alatavoite 2021–2030 saavutetaan korvaamalla myös hiilivarastosta. Tällä olisi arviolta saavutettavissa 0,6 miljoonan hiilidioksiditonniin hiilivaraston kasvu kymmenen vuoden aikana (eli keskimäärin 0,06 miljoonaa tonnia vuodessa) verrattuna siihen, että ohjelman pinta-alatavoite saavutettaisiin ilman hiilikorvausta. Tämä johtuu siitä, että pinta-alatavoite saavutettaisiin hiilen kannalta laadullisesti paremilla kohteilla. Suojeltavien metsien monimuotoisuusarvot pysyisivät tutkijoiden mukaan kuitenkin ennallaan tai parantuisivat.

Ehdotettu hiilikorvauksen lisääminen METSO-ohjelmaan korostaisi ilmastonsuojelun ja luontokadon ehkäisyn synergiaetuja. Hiilivarasto määräaikaisesti tai pysyvästi suojelluissa metsissä on pitkäaikaisesti hakkuiden ulkopuolella, mikä lisää hiilivaraston kasvun pysyvyyttä. Vapaaehtoisena toimenpiteenä ohjelmalla on korkea hyväksyttävyyttä. Toisaalta vapaaehtoisuuteen liittyy hakkuuvuodon riski. Ohjelma ei myöskään vaikuta talousmetsinä jatkossakin pidettäviin metsiin, joten ohjelman kontribuutio kansallisiin nielutavoitteisiin pääsemiseksi ei nouse suureksi.

### 4.3.13 Informaatio-ohjaus

Informaatio-ohjaus on yleisimpiä ohjauskeinoja nykyisissä metsien käyttöä ohjaavissa suunnitelmissa ja strategioissa (ks. luku 4.5). Tapion koordinoima Metsänhoidon suositukset (Tapio 2023a) on julkisessa keskustelussa usein mainittu metsänomistajien neuvonnan väline. Vuonna 2022 valmistui sen osaksi ilmastokestävän metsänhoidon suositukset (Tapio 2023b). Meneillään on ilmastokestävän metsänhoidon koulutus ja jatkokehitys -hanke (vuosina 2023–2024). Koulutushankkeessa tuodaan ilmastokestävän metsänhoidon suosituksia metsäammattilaisten ja metsänomistajien tietoisuuteen. Jatkokehityshankkeessa tarkennetaan suosituksia muun muassa sekametsien perustamisen ja hoidon sekä energiapuun korjuun osalta.

Informaatio-ohjauksen hyväksyttävyyttä on korkea vapaaehtoisuutensa ja valtiolle hallittavien kustannusten vuoksi. On kuitenkin vaikea ennalta tietää ohjauksen tehoa ja täten yksinomaan sen varaan ei ole suositeltavaa laskea kansallisiin metsien hiilinielutavoitteisiin pääsemistä.

### 4.3.14 Metsähallituksen omistajapoliittisten linjausten päivitys

Marinin hallituksen talouspoliittinen ministerivaliokunta hyväksyi huhtikuussa 2020 Metsähallituksen vuosia 2020–2024 koskevat omistajapoliittiset linjaukset. Linjauksissa korostetaan aiempaa enemmän hiilensidonta- ja monimuotoisuustavoitteita sekä tavoitteiden parempaa yhteensovittamista. Metsähallituksen tulostavoitetta ja sitä myöten tuloutusvelvoitetta valtiolle laskettiin. Vuotuisen tuloutustason arvioidaan olevan suunnittelukauden lopussa noin 5 prosenttia pienempi verrattuna aiempaan suunnittelukauteen 2016–2020. Yhteensä suunnittelukauden aikaisten tuloutusten määrän arvioidaan vähenevän noin 48 miljoonalla eurolla (MMM 2021). Metsähallituksen tavoitteena on kasvattaa monikäyttömetsiensä hiilinielua vuoteen 2034 mennessä 10 prosentilla. Ensisijaisena toimenpiteenä mainitaan metsien lannoitusmäärien kaksinkertaistaminen ja erityisesti turvemaiden tuhkalannoitus. Lisäksi suunnitellaan jalostetun metsänviljelymateriaalin käytön lisäämistä sekä kiertoaikojen pidentämistä



mahdollisuuksien mukaan. Jatkuvapeitteisen kasvatuksen osuutta suunnitellaan kasvatettavaksi uudistusluontoisissa hakkuissa 15:sta 25 prosenttiin.

Metsähallituksen omistajapoliittisilla (lisä)linjauksilla on mahdollisuus tehdä nopeasti vaikuttavia toimia valtio-omisteisten metsien hiilinieluihin. On kuitenkin huomionarvoista, että hakkuiden vähentäminen valtion mailla voi johtaa hakkuiden vuotamiseen yksityisille maille. Täten on kansallisiin hiilinielutavoitteisiin pääsyn kannalta tärkeää löytää ohjauskeinoja hiilinielujen kasvatustoimiin yksityisomisteisissäkin metsissä.

### 4.3.15 Metsien suojelupinta-alan lisäys

Eräs julkisuudessa usein esitetty toimenpide metsien hiilinielun lisäämiseksi on ollut metsien suojelupinta-alan lisäys. Valtion mailla tapahtuva suojelun lisäys voi ainakin teoriassa tapahtua nopeastikin, jolloin vaikutus hakkuiden vähenemiseen olisi ripeä. On kuitenkin epäselvää, miten suuri nielunlisäys tällä toimenpiteellä on maksimissaan mahdollista saavuttaa. Toimenpiteeseen liittyy myös merkittävä riski hakkuuvuodosta, mikä voi aiheutua hakkuiden siirtyessä valtion mailta yksityisiin metsiin, jotka eivät muutoin olisi olleet hakkuiden piirissä. Yksityisessä omistuksessa olevien metsien suojelun lisääminen on valtion maita huomattavasti haastavampaa ja hitaampaa. Yksityismetsiä saadaan suojelun piiriin ostamalla niitä valtion haltuun tai kannustamalla metsänomistajia suojelemaan itse metsänsä. Tässä toimivaksi keinoksi on osoittautunut METSO-ohjelma, jossa metsänomistajalle annetaan korvaus metsänsä suojelusta määrääjäksi tai pysyvästi. Osa METSO:n rahoituksesta tulee METKA-järjestelmästä. Yksityismaiden suojelulla saatavat nielunlisäykset tapahtuvat vähittäin, sillä suojeluohjelmat eivät tyypillisesti etene nopeasti. Tällä tavalla Suomen nielutavoitteisiin pääsy olisi todennäköisesti myös valtiolle kallis tapa. Synergiaetua biodiversiteettitavoitteisiin pääsyyn on toki merkittävä.

### 4.3.16 Metsälain muutokset

Metsälain ilmastovaikutusten arviointi valmistui huhtikuussa 2023 (Hynynen ym. 2023). Tutkimuksessa arvioitiin, miten metsälaki on toiminut sille asetettuihin (Suomen ilmastotavoitteisiin liittyviin) tavoitteisiin nähden, ja ovatko tavoitteet ajan tasalla. Lisäksi arvioitiin nykyisen metsälain ja metsänhoidon suositusten ohjaaman metsien käsittelyn optimaalisuutta, suojelualueiden vaikutusta metsien hiilinieluihin, jatkuvan kasvatuksen monimuotoisuus- ja ilmastohyötyjä, metsälain mahdollisia muutostarpeita sekä metsälain valvonnan mahdollisuuksia.

Tutkimuksessa havaittiin, että metsälain vuoden 2013 uudistuksen tavoite metsien käytön aktivoinnista on jossain määrin toteutunut, sillä hakkuumäärät ovat viime vuosina kasvaneet (Hynynen ym. 2023). Lakimuutos ei tutkimuksen mukaan näyttäisi vaikuttaneen metsien uudistushakkuiden aikaistamiseen. Sen sijaan aiemmin tehdyt muutokset metsäasetukseen ja metsänhoidon suosituksiin lienevät vaikuttaneen puuston keskiläpimitan laskuun uudistamishetkellä 2000-luvulla. Lisäksi liian voimakkaat harvennukset ovat yleistyneet 2000-luvulla ennen ja jälkeen vuoden 2013 lakimuutoksen.

Hynynen ym. (2023) toteavat, että päätehakkuujäreyden maltillinen nostaminen ja voimakkaiden harvennusten välttäminen lisääisivät talousmetsien puuston hiilensidontaa merkittävästi. Samalla ainespuun tuotos kasvaisi, eikä metsänkasvatuksen kannattavuus yksittäisen metsänomistajan näkökulmasta heikkenisi. Tutkimuksen mukaan metsien suojelun lisääminen 2000-luvulla ei ole merkittävästi laskenut metsien kasvua. Lisäksi todetaan jatkuvalla kasvatuksella saavutettavan merkittäviä ilmastohyötyjä rehevillä turvemailla, kun taas kangasmailla tulokset ovat ristiriitaisia. Metsälain valvontaan



liittyen mainitaan, että metsänkäyttöilmoitukseen olisi lisättävissä uusia tietosisältöjä, joiden avulla suunnitellun toimenpiteen lainmukaisuutta voitaisiin arvioida.

### 4.3.17 Valtion ja metsäteollisuuden väliset vapaaehtoiset sopimusjärjestelyt

Valtiolla on mahdollisuus tehdä metsäteollisuuden kanssa hakkuutasojen osalta vapaaehtoisia sopimusjärjestelyjä (Suomen ilmastopaneeli, 2023). Tällainen sopiminen olisi perusteltua siitä näkökulmasta, että EU-nieluvelvoitteisiin pääsemättömyyden kustannukset lankeavat valtiolle. Sopimusmenetely voisi olla ensivaiheen käytäntö, josta siirryttäisiin taloudellisiin ohjauskeinoihin, jos yritykset eivät pitäydy sopimuksessa. On kuitenkin vaikea arvioida, miten kiinnostuneita yritykset tällaisen sopimuksen tekoon olisivat.

## 5 Johtopäätökset

### 5.1 Yleistä

Tässä raportissa tarkasteltiin metsien ja puutuotteiden kasvihuonekaasutaseiden kehitystä Suomessa uusiempien kasvihuonekaasuinventaariotietojen mukaan tilastohistorian aikana vuosina 1990–2021 sekä arvioitiin miten taseet kehittyvät kaudella 2021–2025, miten Suomen metsien vertailutaso voi muuttua teknisten korjausten seurauksena ja millaiset ovat Suomen laskennalliset hoidetun metsämaan tilinpitoluokan kasvihuonekaasutaseet kaudella 2021–2025. Lisäksi raportissa koostettiin tietoa siitä, millaisilla ohjauskeinoilla metsien hiilinielua voitaisiin Suomessa vahvistaa ja analysoitiin minkälaisia hyötyjä ja haittoja keinoihin liittyy.

### 5.2 Metsien hiilinielun kehitys ja Suomen metsien vertailutason saavuttaminen

Metsät ovat Suomessa olleet nettohiilinielu koko kasvihuonekaasujen tilastohistorian (1990–2021) ajan. Metsien hiilinielu on kuitenkin alentunut 1990- ja 2000-lukujen tasosta (n. -35 Mt CO<sub>2</sub>-ekv./a) selvästi 2010-luvulla (n. -26 Mt CO<sub>2</sub>-ekv./a). Hiilinielun pienentyminen 2010-luvulla on seurausta etenkin puuston vuotuisen tilavuuskasvun alentumisesta tasolle 103 Mm<sup>3</sup> ja hakkuiden lisääntymisen voimistumisesta 2010-luvulla. Mikäli vuosien 2010–2021 lineaarinen trendi metsien kasvihuonekaasutaseessa jatkuu, muuttuvat metsät Suomessa päästölähteeksi vuonna 2025. Puutuotteet ovat olleet Suomessa keskimäärin noin -4 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. vuotuinen nettohiilinielu vuosina 1990–2021.

Metsien ja puutuotteiden kasvihuonekaasutaseiden kehitystä Suomessa tarkasteltiin raportissa kolmella erilaisella puuston kasvuarviolla (96, 103 ja 106 Mm<sup>3</sup>/a) ja kolmella erilaisella hakkuukertymääräviolla (79, 76 ja 72 Mm<sup>3</sup>/a) kaudella 2021–2025. Arvioidut metsien ja puutuotteiden kasvihuonekaasutaseiden keskiarvot vuosille 2021–2025 vaihtelivat keskimäärin välillä -2 ja -21 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. vuodessa puuston kasvusta ja poistumasta riippuen.

LULUCF-asetuksen mukaan Suomen metsien (hoidettu metsämaa ml. puutuotteet) vertailutaso kaudella 2021–2025 on -29,4 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. vuodessa. Vertailutaso tulee kuitenkin muuttumaan kasvihuonekaasuinventoinnissa vuoden 2019 jälkeen käyttöön otettavien uusien ajantasaisten menetelmien vuoksi niin sanottujen teknisten korjausten seurauksena. Lopullinen vertailutaso on selvillä vuonna 2027, kun arvio vuoden 2025 kasvihuonekaasutaseista valmistuu. Tässä raportissa arvioitiin käytössä olevien julkisten tietojen perusteella vertailutason muuttuvan tiedossa olevien teknisten korjausten seurauksena arvioinnissa käytettyjen keskiarvojen perusteella välille -24...-26 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. vuodessa ja arvioinnissa käytetyt alaraja- ja yläaraja-arviot huomioiden välille -19...-33 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. vuodessa. Teknisten korjausten vaikutusta vertailutasoon oli kuitenkin vaikea arvioida.

Metsien vertailutason ja LULUCF-velvoitteiden saavuttaminen tulee olemaan Suomelle haastavaa. Tällä hetkellä ei ole käytössä ohjauskeinoja, joilla voitaisiin varmistaa, että hoidetun metsämaan nielu tulee olemaan riittävän suuri velvoitteiden saavuttamiseksi. Voimassa oleva vertailutaso saavutettaisiin nykyisellä puuston kasvulla 65–68 Mm<sup>3</sup>:n vuotuisella hakkuukertymällä ja arvioidulla puuston kasvun epävarmuusvälillä 59–71 Mm<sup>3</sup>:n vuotuisella hakkuukertymällä. Arvioidujen teknisten korjausten seurauksena muuttuva vertailutaso arvioitiin saavutettavan puuston kasvun epävarmuusväli huomioiden 56–78 Mm<sup>3</sup>:n vuotuisella hakkuukertymällä. Tässä raportissa arvioidulla puuston kasvun

ja hakkuukertymän kehityksellä on olemassa merkittävä riski, että Suomi jää vertailutasosta ja LU-LUCF-velvoitteista jopa useilla kymmenillä miljoonilla hiilidioksidiekvivalenttitonneilla kaudella 2021–2025. Tämän alijäämän kompensoiminen lisäpäästövähennyksillä taakanjakosektorilla tai ostamalla nieluysiköitä muilta jäsenmailta voi tulla huomattavan kalliiksi.

Keskeinen haaste on se, että nielua pitäisi pystyä kasvattamaan merkittävästi käytännössä heti, mutta tehokkaiden ja riittävän vaikuttavien ohjauskeinojen käyttöönotto ei ole yksinkertaista ja saattaa viedä aikaa. On epäselvää, missä määrin ohjauskeinoilla ehdittäisiin vaikuttaa kauden 2021–2025 metsien ja puutuotteiden hiilinielua kasvattavasti. Mitä pikaisemmin ohjauskeinojen suunnittelu aloitettaisiin, sitä nopeammin ne olisi valmius ottaa käyttöön.

## 5.3 Ohjauskeinot metsien hiilinielun kasvattamiseksi

Julkisuudessa ja kirjallisuudessa on esitetty lukuisia ohjauskeinoja metsien hiilinielujen kasvatukseen. Ohjauskeinokategorioita ovat normiohjaus, taloudelliset ohjauskeinot sekä informaatio-ohjaus. Ohjauskeinoehdotuksia voidaan arvioida usealla kriteerillä, ja tässä raportissa on kiinnitetty huomiota ohjauskeinojen kustannustehokkuuteen, hyväksyttävyyteen, luotettavuuteen sekä tulonsiirtovaikutuksiin.

Normiohjauksen vahvuuksia ovat laaja kattavuus, edullisuus valtiolle ja toteutuksen suoraviivaisuus. Normien tiukkuus on yhteydessä niiden vaikuttavuuteen ja hyväksyttävyyteen. Taloudellisten ohjauskeinojen vahvuutena voidaan pitää niiden kustannustehokkuutta, eli niillä päästään teorian mukaan asetettuun tavoitteeseen mahdollisimman pienin kustannuksin. Taloudellisiin ohjauskeinoihin liittyy kysymys järjestelmien toteutettavuudesta. Yksityiskohtaiset järjestelmät voivat olla teoreettisesti perusteltuja, mutta tietovaatimuksiltaan epäkäytännöllisiä ja kalliita. Informaatio-ohjauksen puutteena taas pidetään usein sitä, että sen vaikuttavuus voi jäädä tavoitteiden kannalta hyvin alhaiseksi ja on hyvin vaikea etukäteen arvioida sen aikaansaamaa muutosta toimijoiden käytöksessä.

Ohjauskeinovalinnasta riippumatta on ensiarvoisen tärkeää kiinnittää huomiota ohjauskeinojen käyttöönottopaani ja käytännön toteutukseen. Kansainväliset ja kansalliset esimerkit osoittavat merkittävän riskin ennakoivaan käyttäytymiseen (esim. aavistushakkuut) erityisesti ennen velvoittavan ohjauskeinojen käyttöönottoa. Lisäksi on perusteltua ottaa ohjauskeino porrastaen käyttöön, sillä tällä annetaan toimijoille mahdollisuus sopeutua toimintaympäristön muutokseen. Toisaalta tällöin ohjauskeinojen mahdollisuudet vaikuttaa nielun kasvuun lyhyellä aikavälillä voivat jäädä vähäisiksi. Ohjauskeinojen käytännön toteutuksen pohdinnassa on tärkeää varmistaa, etteivät järjestelmän hallinnointikulut kasva liian suuriksi.

Kansallisiin vapaaehtoisuuteen perustuviin ohjauskeinoihin liittyy maansisäisen hakkuuvuodon riski. Lisäksi kaikkiin velvoittaviinkin instrumentteihin liittyy kansainvälisen hakkuuvuodon riski, mikä tosin ei suoraan liity Suomen EU-velvoitteiden täyttymiseen, vaikka onkin globaalin ilmastokysymyksen kannalta olennainen. Hakkuuvuodon tutkimukseen on syytä panostaa lähivuosina lisää, jotta tämän ongelman ratkaisuun löydettäisiin keinoja.

Tässä raportissa tarkasteltujen näkökulmien lisäksi ohjauskeinoja suunniteltaessa on tärkeää huomioida ohjauskeinojen toteutettavuus, mihin liittyy muun muassa erilaisia tietotarpeita ja juridisia kysymyksiä. Lisäksi olisi tärkeää arvioida mahdollisimman monipuolisesti ohjauskeinoilla tuotettavia ja välitettäviä ympäristöllisiä, taloudellisia ja sosiaalisia vaikutuksia, jotta kokonaisuuden kannalta paras ratkaisu olisi löydettävissä.

## Lähteet

- Assmuth, A. ja Tahvonen, O. 2018. Optimal carbon storage in even- and uneven-aged forestry. *Forest Policy and Economics*, 93–100.
- Assmuth, A., Rämö, J. ja Tahvonen, O. 2018. Economics of size-structured forestry with carbon storage. *Canadian Journal of Forest Sciences*, 48: 11–22.
- Assmuth, A., Rämö, J. ja Tahvonen, O. 2021. Optimal carbon storage in mixed-species size- structured forests. *Environmental and Resource Economics*, 79.2: 249–275.
- Coase R. H. 1960. The Problem of Social Cost. *The Journal of Law & Economics* 3: 1–44.
- EEX. 2023. EEX EUA SPOT. <https://www.eex.com/en/market-data/environmentals/spot> [Viitattu: 23.3.2023]
- Englin, J. ja Callaway, J.M. 1993. Global climate change and optimal forest management. *Natural Resource Modelling*. 7 (3), 191–202.
- EU. 2018. Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus 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. EU 2018/841. Euroopan unionin virallinen lehti 19.6.2018.
- EU. 2021. Energiaverodirektiiviehdotus: COM(2021) 563 final. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/TXT/?uri=CELEX:52021PC0563>
- Euroopan neuvosto. 2022. 55-valmiuspaketti: alustava sopimus kunnianhimoisista hiilipoistumatavoitteista maankäyttöön, maankäytön muutokseen ja metsätalouteen. Lehistötiedote 11. marraskuuta 2022. <https://www.consilium.europa.eu/fi/press/press-releases/2022/11/11/fit-for-55-provisional-agreement-sets-ambitious-carbon-removal-targets-in-the-land-use-land-use-change-and-forestry-sector/>
- Euroopan komissio. 2020. ANNEX to Commission Delegated Regulation amending Annex IV to Regulation (EU) 2018/841 of the European Parliament and of the Council as regards the forest reference levels to be applied by the Member States for the period 2021–2025. C(2020) 7316 final. Brussels, 28.10.2020.
- Euroopan komissio. 2021. Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus asetuksen (EU) 2018/841 muuttamisesta siltä osin kuin on kyse soveltamisalasta, vaatimusten noudattamista koskevien sääntöjen yksinkertaistamisesta, jäsenvaltioiden tavoitteiden asettamisesta vuodelle 2030 ja sitoutumisesta ilmastoneutraaliuden saavuttamiseen yhteisesti vuoteen 2035 mennessä maankäytön, metsätalouden ja maatalouden sektorilla sekä asetuksen (EU) 2018/1999 muuttamisesta seurannan, raportoinnin, edistymisen seurannan ja uudelleentarkastelun osalta. Ehdotus. COM(2021) 554 final. Brysseli 14.7.2021.
- Forsström, J., Koreneff, G., Koljonen, T. ja Lehtilä, A. 2022. Taustaselvitys Suomen energiaverotuksen kehitystyölle. VTT Asiakasraportti VTT-CR-00144-22. <https://vm.fi/documents/10623/101263033/Energiaveroraportti.pdf/c1de27ac-ef3e-7219-da11-f1c62ad2d2e3/Energiaveroraportti.pdf?t=1649826668135>
- Haya, B. 2019. ARB's U.S. Forest projects offset protocol underestimates leakage – preliminary results. Policy Brief, University of California, Berkeley.
- Heiskanen, M., Bergström, I., Kosenius, A.-K., Laakso, T., Lindholm, T., Mattsson, T., Mäkipää, R., Nieminen, M., Ojanen, P., Rankinen, K., Tolvanen, A., Viitala, E.-J. ja Peltoniemi, M. 2020. Suometsien hoidon tuet ja niiden ilmasto-, vesistö- ja biodiversiteettivaikutukset. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 27/2020. Luonnonvarakeskus. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-953-8>
- Hynynen J., Korhonen K.T., Kärkkäinen L., Mehtätalo, L., Mutanen, A., Rautio, P. & Viitala, E.-J. (toim.) 2023. Metsälain ilmastovaikutusten arviointi. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 49/2023. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 88 s.
- Hänninen, H., Leppänen, J., Ovaskainen, V., Uusivuori, J. ja Viitala, E.-J. 2017. Metsätalouden uusi kannustinjärjestelmä – teoriaa, käytäntöjä ja ehdotukset. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 5/2017. Luonnonvarakeskus. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-355-0>
- IPCC. 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Cambridge University Press, 2006. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>

- IPCC. 2019a. 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use. Authors: Sebastian Rüter (Germany), Robert William Matthews (UK), Mattias Lundblad (Sweden), Atsushi Sato (Japan), Rehab Ahmed Hassan (Sudan).
- IPCC. 2019b. Chapter 12: Harvested Wood Products. Authors: Rüter, S., Matthews, R.W., Lundblad, M., Sato, A., Hassan, R. A. In 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use. Available: [https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/pdf/4\\_Volume4/19R\\_V4\\_Ch12\\_HarvestedWoodProducts.pdf](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/pdf/4_Volume4/19R_V4_Ch12_HarvestedWoodProducts.pdf)
- Kangas, J., Ollikainen, M., Pekkonen, M., Kuusela, S., Kosenius, A.-K. ja Forsius, M. 2022. Hiilikorvaus osaksi METSO-ohjelmaa tehostamaan vanhojen metsien ja hiilivarastojen suojelua. IBC-Carbon-hankkeen politiikkasuositus. [https://issuu.com/suomenymparistokeskus/docs/ibc-carbon\\_politiikkasuositus](https://issuu.com/suomenymparistokeskus/docs/ibc-carbon_politiikkasuositus) [Viitattu: 31.3.2023]
- Kangas, J. ja Ollikainen, M. 2023. Reforming a pre-existing biodiversity conservation scheme: Promoting climate co-benefits by a carbon payment. *Ambio*. <https://doi.org/10.1007/s13280-023-01833-4>
- Korhonen, S. ja Tahvonen, O. 2023. Simple optimization of wood production and carbon sinks. Available at SSRN 4369252.
- Laine A., Ahonen, H.-M., Pakkala, A., Laininen, J., Kulovesi, K. ja Mäntylä, I. 2023. Opas vapaaehtoisen hiilimarkkinoiden hyviin käytäntöihin, Vapaaehtoisten ilmastotekojen edistäminen ilmastoyksiköillä. Valtioneuvoston julkaisu 2023:3. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-815-4>
- Laturi, J., Maidell, M., Haltia, E., Horne, P., Määttä, K. ja Uusivuori, J. 2021. Metsätalouden kannustinjärjestelmän evaluointi. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 15/2021. Luonnonvarakeskus. Helsinki. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-168-4>
- Lintunen, J., Uusivuori, J. 2016. On the economics of forests and climate change: Deriving optimal policies. *Journal of Forest Economics* 24: 130–156. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfe.2016.05.001>
- Lintunen, J., Uusivuori, J., Laturi, J., Pohjola, J. ja Rautiainen, A. 2016a. Metsät ja hiilivirtoja ohjaava ilmastopoliittikka. *Metsätieteen aikakauskirja* 3–4/2016: 157–164. <https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/537678/Lintunen.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Lintunen, J., Laturi, J. ja Uusivuori, J. 2016b. How should a forest carbon rent policy be implemented? *Forest Policy and Economics* 69:31–39. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2016.04.005>
- Luke. 2022a. Suomen LULUCF-sektorin 2021–2025 velvoitteen toteutuminen. <https://www.luke.fi/fi/documents/suomen-lulucf-sektorin-20212025-velvoitteen-toteutuminen>
- Luke. 2022b. Maankäyttö, maankäytön muutokset ja metsätalous – sektorin nielukehitys 1990–2021. Kasvihuonekaasuinventaario 14.12.2022. [https://www.luke.fi/sites/default/files/2022-12/LULUCF-sektorin%20nielukehitys%201990%E2%80%932021\\_14122022.pdf](https://www.luke.fi/sites/default/files/2022-12/LULUCF-sektorin%20nielukehitys%201990%E2%80%932021_14122022.pdf)
- Luke. 2022c. Puun energiakäyttö 2021. <https://www.luke.fi/fi/tilastot/puun-energiakaytto/puun-energiakaytto-2021> [Viitattu: 12.3.2023]
- Luke. 2023a. Kasvihuonekaasuinventaario 2021: Maataloussektorin ja maankäyttösektorin nettopäästöihin ei merkittäviä muutoksia verrattuna joulukuussa 2022 julkaistuihin ennakkotietoihin. Luonnonvarakeskus, Seurantajulkistus 15.3.2023. <https://www.luke.fi/fi/seurannat/maatalous-ja-lulucf-sektorin-kasvihuonekaasuinventaario/kasvihuonekaasuinventaario-2021-maataloussektorin-ja-maankayttosektorin-nettopaastoihin-ei-merkittavia-muutoksia-verrattuna-joulukuussa-2022-julkaistuihin-ennakkotietoihin>
- Luke. 2023b. Puuston vuotuinen kasvu, poistuma ja hakkuukertymä 1918-. Luonnonvarakeskus. Metsätilastot. Päivitetty 8.2.2023. [Viitattu: 15.3.2023]
- Metsäkeskus. 2023. Yksityiset metsänomistajat asuinpaikan mukaan. <https://www.metsakeskus.fi/fi/avoin-metsa-ja-luontotieto/tietoa-metsien-omistuksesta/yksityiset-metsanomistajat-asuinpaikan-mukaan> [Viitattu: 23.3.2023]
- MMM. 2021. Uudet omistajapoliittiset linjaukset laskevat Metsähallituksen liiketoiminnan tulostavoitetta. Tiedote, Maa- ja metsätalousministeriö. <https://valtioneuvosto.fi/-/1410837/uudet-omistajapoliittiset-linjaukset-laskevat-metsahallituksen-liiketoiminnan-tulostavoitetta> [Viitattu: 24.3.2023]

- MMM. 2022a. Valtioneuvoston selonteko maankäyttösektorin ilmastosuunnitelmasta. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja: 2022:15. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/164301>
- MMM. 2022b. Kansallinen metsästrategia 2035. Kansallisen metsäneuvoston 14.12.2022 hyväksymä. Maa- ja metsätalousministeriö, Helsinki. <https://mmm.fi/documents/1410837/110695773/Kansallinen+mets%C3%A4strategia+2035+MN+hyv%C3%A4ksym%C3%A4+14122022.pdf/0d1c4f6a-8ab2-8f03-0bca-8c66e131be86/Kansallinen+mets%C3%A4strate-gia+2035+MN+hyv%C3%A4ksym%C3%A4+14122022.pdf?t=1674481018440>
- MMM/Luke. 2019. National Forestry Accounting Plan for Finland. Submission of updated National Forestry Accounting Plan including forest reference level (2021 – 2025) for Finland (20 December 2019). Ministry of Agriculture and Forestry, Natural Resources Institute Finland.
- MmVM. 18/2022 vp. 2022. Maa- ja metsätalousvaliokunnan mietintö hallituksen esityksestä eduskunnalle laeiksi metsätalouden määräaikaisesta kannustejärjestelmästä ja kestävä metsätalouden määräaikaisen rahoituslain 29 a ja 48 §:n muuttamisesta. [https://www.eduskunta.fi/FI/vaski/Mietinto/Sivut/MmVM\\_18+2022.aspx](https://www.eduskunta.fi/FI/vaski/Mietinto/Sivut/MmVM_18+2022.aspx)
- Mönkkönen, M. 2022. Metsien hakkuita olisi syytä vähentää – mutta miten? Kestävyyspaneeelin blogi. [https://www.kestavyyspaneeli.fi/blog\\_post/metsien-hakkuita-olisi-syyta-vahentaa-mutta-miten/](https://www.kestavyyspaneeli.fi/blog_post/metsien-hakkuita-olisi-syyta-vahentaa-mutta-miten/) [Viitattu: 12.3.2023]
- Niinimäki, S., Tahvonen, O., Mäkelä, A. ja Linkosalo, T. 2012. On the economics of Norway spruce stands and carbon storages. *Canadian Journal of Forest Research* 43: 637–648.
- Nurmi, V. ja Ollikainen, M. 2019. Kohti hiilipörssiä? Suomessa esitetyt hiilipörssiin liittyvät aloitteet tutkimuskirjallisuuden ja kansainvälisen kokemusten valossa. Ympäristöministeriön julkaisuja 2019:17. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-361-023-1>
- OECD. 2021. Effective Carbon Rates 2021: Pricing Carbon Emissions through Taxes and Emissions Trading, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/0e8e24f5-en>
- Parkatti, V.P. ja Tahvonen, O. 2021. Economics of multifunctional forestry in the Sámi people homeland region. *Journal of Environmental Economics and Management*, 110.
- Parkatti, V.P., Tahvonen, O. Viskari, T. ja Liski, J. 2023. Including soil alters the optimization of forestry with carbon sinks. *Canadian Journal of Forest Research*, in print.
- Pigou, A. C. 1920. *The Economics of Welfare*. Macmillan, London.
- Pihlainen, S., Tahvonen, O. ja Niinimäki, S. 2014. Economics of timber and bioenergy production and carbon storage in Scots pine stands. *Canadian Journal of Forest Research*, 44(9), 1091–1102.
- Plantinga, A. J. ja Birdsey R. A. 1994. Optimal forest management when benefits are derived from carbon. *Nat. Resour. Model*, 8(4), 373–387.
- Pohjola, J. ja Valsta, L. 2007. Carbon credits and management of Scots pine and Norway spruce stands in Finland. *Forest Policy and Economics* 9: 789–798. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2006.03.012>
- Pohjola, J., Laturi, J., Lintunen, J. ja Uusivuori, J. 2018. Immediate and long-run impacts of a forest carbon policy—A market-level assessment with heterogeneous forest owners, *Journal of Forest Economics* 32:94–105, <https://doi.org/10.1016/j.jfe.2018.03.001>
- PTT. 2022. PTT ja Hiilensidonta ry julkistivat ensimmäisen tilaston hiilikompensaatioista – tavoitteena lisätä tietoa ja avoimuutta markkinoilla. <https://www.ptt.fi/ptt-ja-hiilensidonta-ry-julkistivat-ensimmaisen-tilaston-hiilikompensaatioista-tavoitteena-lisata-tietoa-ja-avoimuutta-markkinoilla/> [Viitattu: 12.3.2023]
- Rautiainen, A., Lintunen, J. ja Uusivuori, J. 2017. Carbon taxation of the land use sector—the economics of soil carbon. *Natural Resource Modeling* 30(2): e12126. <https://doi.org/10.1111/nrm.12126>
- Rautiainen, A., Lintunen, J. ja Uusivuori, J. 2018. How harmful is burning logging residues? Adding economics to the emission factors for Nordic tree species. *Biomass and Bioenergy* 108: 167–177. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2017.11.010>
- Savolainen, I. 2022. Metsänhakkuiden määrää voitaisiin säädellä huutokaupattavilla hakkuuoikeuksilla. *Helsingin Sanomat Mieli* 20.12.2022.

- Suomen ilmastopaneeli. 2023. Suuntaviivoja Suomen ilmastotoimien tehostamiseen. Suomen ilmastopaneelin julkaisu 1/2023. <https://www.ilmastopaneeli.fi/wp-content/uploads/2023/02/ilmastopaneelin-julkaisu-1-2023-suuntaviivoja-ilmastotoimien-tehostamiseen.pdf>
- Tahvonen O. 1995. Net national emissions, CO2 taxation and the role of forestry. *Resource and Energy Economics* 17: 307–315.
- Tahvonen, O. ja Rautiainen, A. 2017. Economics of forest carbon storage and the additionality principle. *Resource and Energy Economics* 50: 124–134.
- Tahvonen, O. ja Parkatti, V.-P. 2023. ”HiiliMetso” -malli Suomen metsien hiilensidonnan vahvistamiseksi. Muistio, Helsingin yliopisto. <https://www.helsinki.fi/assets/drupal/2023-03/HiiliMetso%202-0%20Tahvonen%20ja%20Parkatti.pdf> [Viitattu: 23.3.2023]
- Tapio. 2023a. Metsänhoidon suositukset. <https://metsanhoidonsuositukset.fi/fi> [Viitattu: 12.3.2023]
- Tapio. 2023b. Ilmastokestävä metsänhoito. <https://metsanhoidonsuositukset.fi/fi/ilmastokestava-metsanhoito> [Viitattu: 12.3.2023]
- Tilastokeskus. 2019. Greenhouse gas emissions in Finland 1990 to 2017. National Inventory Report under the UNFCCC and the Kyoto Protocol, 15 April 2019.
- Tilastokeskus. 2022. Greenhouse gas emissions in Finland 1990 to 2020. National Inventory Report under the UNFCCC and the Kyoto Protocol, 15 April 2022.
- UNFCCC. 2023. National Reports. <https://unfccc.int/es/topics/mitigation/workstreams/nationally-appropriate-mitigation-actions/national-reports> [viitattu: 15.1.2023]
- Uusivuori, J. ja Laturi, J. 2007. Carbon rentals and silvicultural subsidies for private forests as climate policy instruments. *Canadian Journal of Forest Research* 37: 2541–2551. <https://doi.org/10.1139/X07-071>
- Valtioneuvosto. 2019. Pääministeri Sanna Marinin hallituksen ohjelma 10.12.2019. Osallistava ja osaava Suomi – sosiaalisesti, taloudellisesti ja ekologisesti kestävä yhteiskunta. Valtioneuvoston julkaisu 2019:31. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/161931>
- van Kooten, G.C., Binkley, C.S. ja Delcourt, G. 1995. Effect of carbon taxes and subsidies on optimal forest rotation age and supply of carbon services. *Am. J. Agric. Econ.*, 77, 365–374.
- Viitala, E.-J., Assmuth, A., Koikkalainen, K., Miettinen, A., Mutanen, A., Wall, A., Wejberg, H. ja Lehtonen, H. 2022. Maa- ja metsätalouden kannustinjärjestelmien ilmastovaikutukset. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 21/2022. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 97 s. [https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/551735/luke-luobio\\_21\\_2022.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/551735/luke-luobio_21_2022.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Viitanen, J., Mutanen, A. ja Karvinen, S. (toim.) 2022. Metsäsektorin suhdannekatsaus 2022–2023. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 86/2022.
- VM. 2023. Energiaverot. Talousarvioesitys 2023, Valtion talousarvioesitykset. <https://budjetti.vm.fi/indox/sialto.jsp?year=2023&lang=fi&maindoc=/2023/aky/aky.xml&id=/2023/aky/YksityiskohtaisetPerustelut/11/08/07/07.html> [Viitattu: 24.3.2023]





**Metsänielujen kehityssuunnat  
vuosina 2021–2025  
ja suhde EU-velvoitteisiin sekä  
ohjauskeinot nielujen vahvistamiseksi**



Suomen ympäristökeskus  
Finlands miljöcentral  
Finnish Environment Institute

ISBN 978-952-11-5570-3 (PDF)  
ISSN 1796-1726 (verkkokj.)

**Teemme tiedolla toivoa.**