SUOMEN ILMASTOPANEELIN RAPORTTI 1/2026

Metsien hakkuiden, ilmastotavoitteiden ja luonnon monimuotoisuuden suojelun yhteensovittaminen

Skenaariotarkastelu eri hakkuutasoilla ja suojelupinta-aloilla

JYRI SEPPÄLÄ, TIMO PUKKALA, JANNE KOTIAHO, JUHA AALTO, JAANA BÄCK, KIRSI PAULIINA KALLIO, MARIA KARTTUNEN, MATTI KOIVULA, ANNA-KAISA KOSENIUS, ILONA LAINE, ELINA OKSANEN, MARKKU OLLIKAINEN, OUTI SILFVERBERG, MARJA SALO, SAMPO SOIMAKALLIO, SALLY WEAVER, TIMO VESALA

SUOMEN ILMASTOPANEELI

SUOMEN LUONTO PANEELI

© Suomen ilmastopaneeli

Julkaistu CC BY 4.0 -lisenssillä.

Suomen ilmastopaneelin raportti 1/2026

Metsien hakkuiden, ilmastotavoitteiden ja luonnon monimuotoisuuden suojelun yhteensovittaminen – Skenaariotarkastelu eri hakkuutasoilla

Tekijät: Jyri Seppälä, Timo Pukkala, Janne Kotiaho, Juha Aalto, Jaana Bäck, Kirsi Pauliina Kallio, Maria Karttunen, Matti Koivula, Anna-Kaisa Kosenius, Ilona Laine, Elina Oksanen, Markku Ollikainen, Outi Silfverberg, Marja Salo, Sampo Soimakallio, Sally Weaver, Timo Vesala

Julkaistu: 14.1.2026

ISSN: 2737-0666
ISBN: 978-952-7457-36-8
DOI: [lisätään myöhemmin]

Viittausohje:
Seppälä, J., Pukkala, T., Kotiaho, J., Aalto, J., Bäck, J., Kallio, K.P., Karttunen, M., Koivula, M., Laine, I., Oksanen, E., Ollikainen, M., Silfverberg, O., Salo, M., Soimakallio, S., Weaver, S., Vesala. T. 2026. Metsien hakkuiden, ilmastotavoitteiden ja luonnon monimuotoisuuden suojelun yhteensovittaminen – Skenaariotarkastelu eri hakkuutasoilla. Suomen ilmastopaneelin raportti 1/2026.

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

Raportti on laadittu yhteistyössä Suomen Luontopaneelin kanssa.

Ilmastopaneeli.fi
LinkedIn | Bluesky
info@ilmastopaneeli.fi

SISÄLLYS

KESKEISET VIESTIT IV

TIIVISTELMÄ V

SAMMANDRAG VI

SUMMARY VII

SANASTOA VIII

1 JOHDANTO 1

2 METSIEN HAKKUIDEN VAIKUTUKSET ILMASTOON JA LUONNON MONIMUOTOISUUTEEN SEKÄ NIIDEN ROOLI ILMASTO- JA LUONTOTAVOITTEIDEN SAAVUTTAMISESSA 3

2.1 METSIEN HAKKUIDEN ILMASTOVAIKUTUKSET 3

2.2 MAANKÄYTTÖSEKTORIN JA METSIEN ROOLI EU:N JA SUOMEN ILMASTOTAVOITTEIDEN SAAVUTTAMISESSA 4

2.3 METSIEN ROOLI LUONNON MONIMUOTOISUUDEN SUOJELUSSA 6

2.4 METSÄLUONNON MONIMUOTOISUUDEN SUOJELUN TARPEET JA TOTEUTTAMINEN SUOMESSA 7

3 AINEISTO JA MENETELMÄT 10

3.1 TARKASTELTAVAT SKENAARIOT 10

3.2 SKENAARIOMALLINNUKSEN AINEISTO JA OLETUKSET 12

3.2.1 PUUSTO, PUUSTON KASVU JA LAHOPUU 12

3.2.2 METSIEN KOKONAISHIILITASEEN DYNAMIIKKA 12

3.2.3 PUUTUOTTEIDEN HIILIDYNAMIIKKA 14

3.2.4 LUONNON MONIMUOTOISUUDEN KEHITYS 14

3.3 VALITTUJEN SKENAARIOIDEN TOTEUTTAMINEN 15

3.3.1 HAKKUUVAIHTOEHTOJEN SIMULOINTI VMI-KOEALOILLE 15

3.3.2 HAKKUU- JA SUOJELUSKENAARIOIDEN TUOTTAMINEN 17

3.3.3 KESKEISIÄ OLETUKSIA 18

3.4 ILMASTOTAVOITTEIDEN SAAVUTTAMISEN ARVIOINTI ERI SKENAARIOISSA 18

4 TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU 21

4.1 TOTEUTUVAT HAKKUUMÄÄRÄT JA PUUNTUOTANTO 21
4.2 VAIKUTUKSET SKENAARIOTARKASTELUIHIN SISÄLTYVIEN METSIEN KÄYTÖN KOKONAISHIILITASEESEEN 23
4.2.1 LISÄSUOJELUALUEIDEN KOKONAISHIILITASEEN KEHITYS 23
4.2.2 TALOUSKÄYTTÖÖN JÄÄVIEN METSIEN KÄYTÖN KOKONAISHIILITASEEN KEHITYS 25
4.2.3 LISÄSUOJELUALUEIDEN JA TALOUSKÄYTTÖÖN JÄÄVIEN METSIEN KÄYTÖN KOKONAISHIILITASEEN KEHITYS 27
4.2.4 ARVIO ILMASTOTAVOITTEIDEN SAAVUTTAMISESTA 30
4.3 LUONNON MONIMUOTOISUUDEN KEHITYS 36
4.3.1 LAHOPUUN KEHITYS VALTAKUNNALLISELLA TASOLLA 36
4.3.2 JÄREÄN PUUN KEHITYS VALTAKUNNALLISELLA TASOLLA 38
4.3.3 LEHTIPUUN KEHITYS VALTAKUNNALLISELLA TASOLLA 41
4.3.4 LUONNON MONIMUOTOISUUDEN KEHITYS ALUEELLISELLA TASOLLA 44
4.4 NÄKÖKULMIA TULOSTEN TULKINTAAN JA JATKOSELVITYSTARPEITA 46

5 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET 48

6 LÄHTEET 52

7 LIITTEET 65

LIITE 1: RUNKOPUUN HAKKUUKERTYMÄN JA METSIEN HIILITASEEN RIIPPUVUUDET KEITO-HANKEYHTEISTYÖN SKENAARIOISSA 65

KESKEISET VIESTIT

- Suomen ilmasto- ja luontotavoitteiden samanaikainen saavuttaminen edellyttää hakkuiden maltillistumista ja suojelupinta-alan laajentamista metsämaan metsissä. Tavoitteiden saavuttaminen ei ole mahdollista, jos hakkuita jatketaan viimeisen viiden vuoden noin 73 Mm^3:n vuotuisella tasolla, eikä tiukasti suojeltujen metsämaan metsien määrää lisätä.

- Tarkastelluilla hakkuutasoilla (60, 70 ja 80 Mm^3 vuodessa) metsien kokonaishiilitase säilyy ilmaston kannalta sitä suotuisampana, mitä alhaisempana hakkuutaso pidetään. Tämä toteutuu koko 50 vuoden tarkastelujakson ajan. Myös luonnon monimuotoisuudelle tärkeiden rakennepiirteiden – lahopuun, järeiden puiden ja lehtipuun – määrän lisääminen talousmetsissä on sitä helpompaa, mitä alhaisempana hakkuutaso pidetään.

- Nykyiset metsäalan yhteiset metsänhoidon suositukset eivät riitä turvaamaan luonnon monimuotoisuudelle tärkeitä rakennepiirteitä talousmetsissä. Suositusten mukaisilla toimenpiteillä rakennepiirteiden kehitys metsämaan talousmetsissä jää vaatimattomaksi koko 50 vuoden tarkastelujaksolla kaikilla tarkastelluilla hakkuutasoilla. Sen sijaan suojeluun siirrettävillä alueilla rakennepiirteiden kehitys on huomattavan myönteistä. Jos hakkuutasoja ei maltillisteta suojelupinta-alan kasvaessa, hakkuupaine talouskäyttöön jäävissä metsissä kasvaa ja johtaa luonnon monimuotoisuudelle tärkeiden rakennepiirteiden kielteiseen kehitykseen talousmetsissä koko maan tasolla.

- Hakkuutaso 60 Mm^3 vuodessa mahdollistaa samanaikaisesti Suomen ilmastotavoitteiden saavuttamisen ja suojelupinta-alojen laajentamisen talousmetsien metsämaalla. Se vastaa suuruusluokaltaan kotimaista hakkuutasoa vuosina 1997–2012. Tätä jonkin verran korkeampi hakkuutaso saattaa mahdollistaa Suomen maankäyttösektorin vuoden 2030 EU-velvoitteen täyttämisen ja kansallisen ilmastolain mukaisen vuoden 2035 hiilineutraaliustavoitteen saavuttamisen, mikäli muilla sektoreilla ilmastotoimissa edetään hyvin. Hakkuutaso mahdollistaa myös talousmetsien metsämaan tiukasti suojellun pinta-alan kasvattamisen jopa 20 prosenttiin ja tukee merkittävästi EU:n biodiversiteettistrategian tavoitteiden sekä ennallistamisasetuksen velvoitteiden saavuttamista. Hakkuiden maltillistamisen vaikutus teollisuuden ainespuun saatavuuteen pienenee, jos energiapuun käyttöä samanaikaisesti merkittävästi vähennetään.

- Hakkuutaso 70 Mm^3 vuodessa mahdollistaa metsien kokonaishiilitaseen säilyttämisen selvänä nieluna. Suomen hiilineutraaliustavoitteesta 2035 jäädään kuitenkin kauas ja myös maankäyttösektorin vuoden 2030 EU-velvoite jää täyttämättä. Suojelupinta-alan laajentaminen talousmetsien metsämaalla ei juurikaan muuta metsien kokonaishiilitasetta 20 vuoden aikavälillä. 70 Mm^3:n hakkuutason ylläpitäminen suojelun lisääntyessä nostaa hakkuupainetta talouskäyttöön jäävissä metsissä ja heikentää pitkän aikavälin nielukehitystä. Samaan aikaan mallinnustulokset osoittavat metsänielun vahvistuvan 70 Mm^3 hakkuilla mentäessä ajassa eteenpäin. Suojelupinta-alan lisääminen ja 70 Mm^3:n vuotuiset hakkuut johtaisivat siihen, että talouskäytössä olevien metsien luonnon monimuotoisuudelle tärkeiden rakennepiirteiden suotuisa kehitys estyy tai muuttuu heikkeneväksi.

- Hakkuiden kasvattaminen 80 Mm^3:iin vuodessa olisi ristiriidassa ilmasto- ja luontotavoitteiden saavuttamisen kanssa. Suomi jäisi todella kauas lähitulevaisuuden ilmastotavoitteistaan, eikä hakkuutaso ole yhteensovitettavissa suojelun lisäämisen ja talousmetsien monimuotoisuuden vahvistamisen kanssa. Näin korkea hakkuutaso on Suomen 2050-luvulle ulottuvien pidemmän aikavälin ilmastotoimien ja luontotavoitteiden saavuttamisen kannalta haitallinen.

TIIVISTELMÄ

Metsien käyttöön kohdistuu monia odotuksia. Metsillä on tärkeä rooli ilmastonmuutoksen hillinnässä, koska sitomalla hiilidioksidia ilmakehästä ne voivat toimia luonnon hiilinieluna ja hiilivarastona. Lisäksi metsät ovat keskeinen elinympäristö Suomen eliölajistolle. Ekologisten arvojen ohella metsillä on huomattavia taloudellisia ja sosiaalisia merkityksiä. Ne tarjoavat puunmyyntituloja, työllisyyttä, virkistysmahdollisuuksia ja terveyshyötyjä.

Tässä raportissa keskitytään metsiin ilmasto- ja luontonäkökulmasta. Raportin tavoitteena on arvioida, miten metsien käytön kokonaishiilitase ja luonnon monimuotoisuudelle tärkeät ominaispiirteet kehittyvät tulevien 50 vuoden aikana, kun tarkastellaan suojelupinta-alan muutosten ja talousmetsien eri hakkuumäärien yhdistelmiä. Skenaarioissa tarkastellut talousmetsien hakkuumäärät ovat 60, 70 tai 80 miljoonaa kuutiometriä (Mm^3) vuodessa. Metsämaan metsien tiukasti suojeltua pinta-alaa vaihdeltiin skenaarioissa seuraavasti: 1) suojelupinta-alaa ei lisätty alkutilanteesta, 2) suojelupinta-alaa kasvatettiin Etelä- ja Keski-Suomessa 10 prosenttiin (Pohjois-Suomessa pinta-ala oli jo yli 10 prosenttia alkutilanteessa), tai 3) suojelupinta-alaa kasvatettiin 20 prosenttiin kaikilla kolmella alueella. Raportissa analysoidaan myös Suomea sitovien ilmastovelvoitteiden ja -tavoitteiden toteutumista.

Skenaariotarkastelu perustui Monsu-nimiseen simulointi- ja optimointimalliin. Mallissa ilmastovaikutuksia tarkasteltiin koko Suomen talousmetsien metsämaalla. Vaikutuksia luonnon monimuotoisuudelle tärkeiden rakennepiirteiden – lahopuun, järeiden puiden ja lehtipuun – määrään tarkasteltiin lisäksi alueellisesti Etelä-, Keski- ja Pohjois-Suomessa. Mallilaskelmat rajattiin talousmetsien metsämaihin, eli kitumaat ja joutomaat tai jo aiemmin suojellut alueet eivät sisältyneet tarkasteluun. Raportissa esitetyt tulokset eivät kuvaa metsien todellista kehitystä tarkasti, vaan ne luonnehtivat metsien hiilitaseiden ja luonnon monimuotoisuuden kehittymistä valituissa tarkastelutilanteissa. Skenaariotarkasteluihin sisältyy aina epävarmuuksia liittyen rajauksiin, muuttujien valintaan ja oletuksiin.

Skenaariotarkastelun hakkuutasoista matalin eli 60 Mm^3 vuodessa ja mahdollisesti sitä jonkin verran korkeampi hakkuutaso mahdollistaa samanaikaisesti sekä ilmastotavoitteiden saavuttamisen että luonnon monimuotoisuudelle tärkeiden rakennepiirteiden määrän lisäämisen talousmetsien metsämaalla. Hakkuutaso 70 Mm^3 vuodessa mahdollistaa metsien kokonaishiilitaseen säilyttämisen selvänä nieluna, mutta se ei riitä maankäyttösektorin vuoden 2030 EU-velvoitteen täyttämiseen. Samalla myös kansallisen ilmastolain mukaisesta vuoden 2035 hiilineutraaliustavoitteesta jäädään kauas**.** Jos hakkuutasoa ei lasketa tilanteessa, jossa suojelualueita laajennetaan, 70 Mm^3:n vuotuiset hakkuut kasvattavat hakkuupainetta talouskäyttöön jäävissä metsissä, mikä heikentää pitkän aikavälin nielukehitystä. Samalla reilun 60 Mm^3 vuotuisten hakkuiden mahdollistama luonnon monimuotoisuudelle tärkeiden rakennepiirteiden suotuisa kehitys talouskäytössä olevissa metsissä pysähtyy tai alkaa heiketä. Hakkuiden kasvattaminen 80 Mm^3:iin vuodessa olisi ristiriidassa lyhyellä aikavälillä ilmasto- ja luontotavoitteiden saavuttamisen kanssa sekä olisi pidemmällä aikavälillä ilmastotoimien ja luontotavoitteiden saavuttamisen kannalta haitallinen.

Suomen ilmastotavoitteiden saavuttaminen ja metsäluonnon elinvoimaisuuden turvaaminen samanaikaisesti edellyttää sekä hakkuiden vähentämistä että metsien suojelupinta-alan laajentamista selvästi nykyisestä tasosta talousmetsien metsämaalla. Hakkuiden vähentämisen vaikutus teollisuuden ainespuun käyttöön riippuu myös muista tekijöistä, muun muassa siitä, kyetäänkö puun energiakäyttöä vähentämään. Talousmetsien luonnon monimuotoisuuden tilan vahvistaminen edellyttää luonnonhoitotoimien lisäämistä, sillä nykyiset metsäalan yhteiset metsänhoidon suositukset, vaikka niitä noudatettaisiin täsmällisesti, eivät riitä turvaamaan monimuotoisuudelle tärkeitä rakennepiirteitä talousmetsissä.

SAMMANDRAG

Det finns många förväntningar på användningen av skogarna. Skogarna har en viktig roll i stävjandet av klimatförändringarna, eftersom de genom att binda koldioxid från atmosfären kan fungera som naturens kolsänka och kolförråd. Skogarna är dessutom en central livsmiljö för arterna i Finland. Vid sidan av de ekologiska värdena har skogarna betydande ekonomisk och social betydelse. De erbjuder inkomster från virkesförsäljning, sysselsättning, rekreationsmöjligheter och hälsofördelar.

Rapporten fokuserar på skogarna ur ett klimat- och naturperspektiv. Målet med rapporten är att bedöma hur den totala kolbalansen vid användningen av skogarna och de särdrag som är viktiga för den biologiska mångfalden utvecklas under de kommande 50 åren när man granskar kombinationerna av förändringar i den skyddade arealen och olika avverkningsmängder i ekonomiskogarna. De avverkningsvolymer för ekonomiskogar som granskas i scenarierna är 60, 70 eller 80 Mm^3 per år. Den strikt skyddade skogsarealen på skogsmark varierades i scenarierna enligt följande: 1) den skyddade arealen utökades inte jämfört med utgångsläget, 2) den skyddade arealen i södra och mellersta Finland utökades till 10 procent (i norra Finland var arealen större än 10 procent redan i utgångsläget), eller 3) den skyddade arealen utökades till 20 procent i alla tre områden. I rapporten analyseras också hur de klimatförpliktelser och klimatmål som är bindande för Finland har uppfyllts.

Scenariogranskningen grundade sig på simulerings- och optimeringsmodellen Monsu. I modellen granskades klimatkonsekvenserna för skogsmarken i ekonomiskogarna i hela Finland. Konsekvenserna för mängden strukturella drag som är viktiga för den biologiska mångfalden – död ved, grova träd och lövträd – granskades dessutom regionalt i södra, mellersta och norra Finland. Modellkalkylerna begränsades till skogsmark i ekonomiskogar. Tvinmarker och impediment eller redan tidigare skyddade områden ingick alltså inte i granskningen. De resultat som presenteras i rapporten beskriver inte skogarnas verkliga utveckling exakt, utan de karakteriserar utvecklingen av skogarnas kolbalans och den biologiska mångfalden i valda granskningssituationer. Scenariogranskningarna innehåller alltid osäkerhetsfaktorer i anslutning till avgränsningar, val av variabler och antaganden.

Den lägsta avverkningsnivån i scenariogranskningen, dvs. 60 Mm^3 per år, och eventuellt en något högre avverkningsnivå gör det samtidigt möjligt både att uppnå klimatmålen och att öka mängden strukturella drag som är viktiga för den biologiska mångfalden på skogsmark i ekonomiskogarna. Avverkningsnivån 70 Mm^3 per år gör det möjligt att bevara skogarnas totala kolbalans som en tydlig kolsänka, men räcker inte till för att uppfylla EU-förpliktelsen för markanvändningssektorn 2030. Samtidigt stannar man också långt ifrån målet om klimatneutralitet 2035 enligt den nationella klimatlagen. Om avverkningsnivån inte sänks i en situation där skyddsområdena utvidgas leder årliga avverkningar på 70 Mm^3 till ett ökat avverkningstryck i skogar som förblir i ekonomibruk, vilket försämrar utvecklingen av kolsänkan på lång sikt. Den gynnsamma utvecklingen av de strukturella drag som är viktiga för den biologiska mångfalden i skogar i ekonomibruk som möjliggörs av drygt 60 Mm^3 årlig avverkning stannar samtidigt av eller börjar försämras. En ökning av avverkningarna till 80 Mm^3 per år strider på kort sikt mot uppnåendet av klimat- och naturmålen samt är på längre sikt skadlig med tanke på uppnåendet av klimatåtgärderna och naturmålen.

För att Finlands klimatmål ska uppnås samtidigt som skogsnaturens livskraft tryggas krävs både att avverkningen minskas och att den skyddade skogsarealen utvidgas avsevärt jämför med den nuvarande nivån på skogsmarken i ekonomiskogarna. Hur minskningen av avverkningen påverkar industrins användning av gagnvirke beror också på andra faktorer, bl.a. om man kan minska energianvändningen av trä. För att stärka den biologiska mångfalden i ekonomiskogarna krävs fler naturvårdsåtgärder, eftersom de nuvarande gemensamma rekommendationerna för skogsvård, även om de följs noggrant, inte räcker till för att trygga de strukturella drag som är viktiga för mångfalden i ekonomiskogarna.

SUMMARY

There are many expectations concerning the use of forests. Forests play an important role in climate change mitigation, as by sequestering carbon dioxide from the atmosphere, they can act as natural carbon sinks and carbon reservoirs. In addition, forests are a key habitat for Finnish species. As well as ecological values, forests have significant economic and social importance. They provide income from timber sales, employment, recreational opportunities and health benefits.

This report focuses on forests from a climate and nature perspective. The aim of the report is to assess how the total carbon balance of forest use and the characteristics important for biodiversity will develop over the next 50 years, when examining the combinations of changes in protected areas and different harvest volumes in commercial forests. The harvest volumes of commercial forests examined in the scenarios are 60, 70 or 80 million cubic metres (Mm^3) per year. In the scenarios, the area of strictly protected forests was varied as follows: 1) the protected area was not increased from the baseline, 2) the protected area was increased to 10 per cent in Southern and Central Finland (in Northern Finland, the baseline area already exceeded 10 per cent), and 3) the protected area was increased to 20 per cent in all three areas. The report also analyses the achievement of Finnish climate commitments and objectives.

The scenario analysis was based on a simulation and optimisation model called Monsu. The model examined the overall climate impacts on forest land in Finnish commercial forests. In addition, the impacts on the number of features important for biodiversity – decaying wood, sturdy trees and deciduous trees – were studied by region for Southern, Central and Northern Finland. The model calculations were limited to forest lands in commercial forests, i.e. forest land of low productivity, barren land and previously protected areas were not included in the study. The results presented in the report do not accurately describe the actual development of forests. Instead, they represent the development of forest carbon balance and biodiversity in selected scenarios. Scenario studies always include uncertainties due to limitations, selection of variables and assumptions.

The lowest harvest level in the scenario study, 60 Mm^3, and possibly somewhat higher levels, enable the simultaneous achievement of climate targets and increase the number of structural features that are critical for biodiversity on commercial forest lands. The harvest level of 70 Mm^3 per year enables the total carbon balance of forests to remain a net sink, but it is insufficient to meet the 2030 EU obligation for the land use sector. At the same time, the 2035 carbon neutrality target, laid down in the national Climate Change Act, is far from being met**.** If the harvest level is maintained as protected areas are expanded, annual harvest of 70 Mm^3 will lead to increased harvesting pressure in forests left for commercial use, which would weaken the long-term carbon sink development. At the same time, the favourable development of structural features that are critical for biodiversity, enabled by an annual harvest of approximately 60 Mm^3, would halt or begin to deteriorate in commercial forests. Increasing the annual harvest level to 80 Mm^3 would be inconsistent with short-term climate and nature objectives and detrimental to long-term climate action and nature objectives.

Achieving Finland's climate objectives and simultaneously safeguarding the vitality of forest nature requires both reducing harvesting and expanding the protected area of forests significantly from the current level, on forest land in commercial forests. The impact of the reduction of harvesting on the use of industrial roundwood also depends on other factors, such as whether the energy use of wood can be reduced. Strengthening biodiversity in commercial forests requires increased ecological management measures, as the current common forest management recommendations for the forestry sector, even if rigorously followed, are insufficient for safeguarding structural features that are important for biodiversity in commercial forests.

SANASTOA

Ainespuu tarkoittaa metsäteollisuuden käyttöön tarkoitetun kuitupuun ja tukkipuun yhteismäärää. Kuitupuu menee pääsääntöistesti selluteollisuuden ja tukkipuu sahateollisuuden käyttöön.

Energiapuu on metsänhoidossa syntyvää puuta (esim. latvusmassaa, oksia, kantoja, pienpuuta), joka ei sovellu ainespuuksi, mutta jota käytetään lämmön ja sähkön tuotantoon, ja sen korjuu sisällytetään hakkuukertymätilastoihin.

Hiilidioksidiekvivalentti (CO_2-ekv.) on mittayksikkö, jolla eri kasvihuonekaasujen ilmastoa lämmittävä vaikutus muunnetaan keskenään vertailukelpoisiksi suhteuttamalla ne hiilidioksidin lämmitysvaikutukseen, tässä raportissa yleisen käytännön mukaan 100 vuoden aikajänteellä.

Hiilinielu tarkoittaa metsien kokonaishiilitaseen tilaa, jossa metsämaan yhteenlasketut ja hiilidioksidiekvivalenteiksi muunnetut hiilidioksidi-, metaani- ja typpioksiduulipäästöt (CO_2, CH_4 ja N_2O) ovat pienemmät kuin puuston ja maaperän sitoma hiilidioksidimäärä tiettynä aikana (yleensä vuodessa).

Hiilivarasto sisältää kaiken elävässä ja kuolleessa kasvillisuudessa sekä maaperässä olevan hiilen. Varastoa kasvattaa kasvillisuuden kasvu ja pienentää maaperästä hajotustoiminnan seurauksena vapautunut hiilidioksidi (CO_2).

Jatkuva kasvatus (jatkuvapeitteinen metsänkasvatus) on puunkorjuutapa, jossa metsän puusto säilytetään jatkuvasti peitteisenä. Metsää ei siis uudisteta avohakkuilla, vaan puuta korjataan pienaukko- tai poimintahakkuilla.

Kokonaishiilitase sisältää tarkastelualueen hiilivaraston muutokset, mukaan lukien hakkuissa poistettu puuaines sekä metaani- ja dityppioksidipäästöt (CH_4 ja N_2O).

Lahopuun määrä tarkoittaa tässä työssä niiden kuolleiden runkojen tilavuutta, joiden rinnankorkeusläpimitta on yli 10 cm. Kuollut puu on synonyymi lahopuulle. Maapuulla tarkoitetaan metsässä makaavaa lahopuuta.

LULUCF on maankäyttösektorin lyhenne englanninkielisestä nimestä (**L**and **U**se, **L**and **U**se **C**hange and **F**orestry). Katso maankäyttösektori.

Maankäyttösektori on ilmastopolitiikassa ja kasvihuonekaasuinventaariossa määritelty ihmistoimintojen käytön kohteena oleva kokonaisuus, joka kattaa maankäytön, maankäytön muutokset ja metsätalouden.

Metsien kokonaishiilitase sisältää kivennäismaiden ja metsäojitettujen turvemaiden (orgaaniset maat) puuston ja maaperän hiilivaraston muutokset sekä metsäojitettujen turvemaiden maaperän metaani- ja dityppioksidipäästöt (CH_4 ja N_2O). Hakkuissa poistetun puuaineksen hiilimäärä poistetaan kokonaishiilitaseesta eli se lasketaan päästönä.

Metsien käytön kokonaishiilitase kattaa metsien kokonaishiilitaseen lisäksi puutuotteiden hiilitasemuutokset kasvihuonekaasuinventaariossa käytettävän arviointimenetelmän mukaisesti.

Metsämaa on maankäyttöluokituksessa maata, joka soveltuu puun tuotantoon, ja sen vuotuinen kasvukapasiteetti on vähintään 1 m^3/ha kuorineen.

Nettopäästöperiaate tarkoittaa sitä, että ihmistoiminnalla aiheutetut kasvihuonekaasupäästöt ja aikaansaadut poistumat eri sektoreilta lasketaan yhteen.

Nettonielu tarkoittaa tilannetta, jossa kasvihuonekaasujen poistuma ilmakehästä on päästöjä suurempi. Se on synonyymi tässä yhteydessä hiilinielulle. Käytetään, kun halutaan korostaa päästöjen mukanaoloa hiilitaseessa. Päästöissä huomioidaan metsästä hakkuissa poistettu puuaines.

Puutuotenielu kuvaa tilannetta, jossa puutuotteiden hiilivarasto kasvaa eli niissä vapautuu hiiltä vähemmän hajoamisen tai polton seurauksena kuin mitä niihin kertyy uusien tuotteiden myötä.

Runkopuu kertoo metsästä korjatun aines- ja energiatuotantoon käytetyn runkopuun kokonaismäärän.

Tasaikäinen metsänkasvatus on menetelmä, jossa hakkuissa poistetaan lähes kaikki puut, ja metsä uudistetaan ja kasvatetaan yhtenä, samanikäisenä puusukupolvena.

Tiukka suojelu on määritelty EU:n biodiversiteettistrategiassa. Strategian mukaan tiukan suojelun alueet ovat oikeudellisesti täysin suojeltuja alueita, joiden tarkoitus on säilyttää ja/tai palauttaa luonnon monimuotoisuudeltaan rikkaiden alueiden eheys sekä ekologinen rakenne ja toiminta. Tiukasti suojelluilla alueilla ihmistoiminta ei saa häiritä alueiden luonnollisia ekologisia prosesseja. Suomen suojelualuetilastoinnissa tiukaksi suojeluksi on laskettu lakisääteinen suojelu, jonka alaiset alueet ovat täysin metsätaloudellisten hakkuiden ulkopuolella. Tällaiseen tiukkaan suojeluun kuuluvat lakisääteiset luonnonsuojelualueet ja luonnonsuojelualueeksi varatut alueet sekä muut lakisääteiset suojelualueet, joissa ei tehdä hakkuita.

1 JOHDANTO

Metsillä on keskeinen merkitys koko yhteiskunnan kannalta. Niiden käyttöön kohdistuu monenlaisia ja osin ristiriitaisia odotuksia. Metsillä on tärkeä rooli ilmastonmuutoksen hillinnässä, koska sitomalla hiilidioksidia ilmakehästä ne voivat toimia luonnon hiilinieluna. Ne tukevat myös ilmastonmuutokseen sopeutumista esimerkiksi estämällä eroosiota ja suojaamalla maaperää kuivuudelta. Lisäksi metsät ovat keskeinen elinympäristö Suomen eliölajistolle: vajaa puolet Suomen noin 48 000 lajista elää metsissä, ja metsätalous vaikuttaa tähän lajistoon huomattavasti (Hyvärinen ym. 2019, Keto-Tokoi 2018). Ekologisten arvojen ohella metsillä on huomattavia taloudellisia ja sosiaalisia merkityksiä. Ne tarjoavat puunmyyntituloja, työllisyyttä ja virkistysmahdollisuuksia. Metsissä oleminen tarjoaa myös terveysvaikutuksia ihmiselle (Morita ym. 2007, Lee ym. 2011).

Maankäyttösektorin (maankäyttö, maankäytön muutos ja metsätalous eli LULUCF-sektori) ilmastopolitiikka ja luonnon monimuotoisuuden suojelun tehostaminen muokkaavat metsien kaupallisen hyödyntämisen edellytyksiä ja vaikuttavat siten koko metsäsektorin toimintaympäristöön. Ala työllistää suoraan sekä välillisesti suuren määrän ihmisiä ja muodostaa edelleen merkittävän osan Suomen vientituloista ja kansantaloudesta, vaikka sen suhteellinen taloudellinen painoarvo on pitkällä aikavälillä pienentynyt. Metsäsektorin osuus bruttokansantuotteen arvonlisäyksestä on laskenut viimeisten noin 50 vuoden aikana noin yhdeksästä prosentista neljään prosenttiin (Vaahtera ym. 2023, Hetemäki ja Hänninen 2013). Myös sen osuus tavaraviennin arvosta on ollut laskeva: 1960-luvun yli puolesta vuoden 2024 alle viidennekseen. Ala on silti edelleen kansantaloudellisesti merkittävä. Vuonna 2024 metsäteollisuustuotteiden vienti oli arvoltaan noin 12 miljardia euroa, mikä vastaa suunnilleen runsaan vuosikymmenen takaista tasoa (Hetemäki ja Hänninen 2013, Luonnonvarakeskus 2025a). Puunhankinnan kautta metsänomistajille maksetut kantorahatulot ovat olleet viime vuosina keskimäärin noin 2,4 miljardia euroa vuodessa. Summa on kasvanut vuoden 2022 jälkeen Venäjän puuntuonnin päättymisen myötä, kun tuontipuu on korvautunut pääosin kotimaisella puulla (3,6 miljardia euroa vuonna 2024; Luonnonvarakeskus 2025c).

Euroopan unionin (EU) jäsenenä Suomen ilmasto- ja luontopolitiikkaa määrittävät paitsi omat kansalliset tavoitteet, myös EU:ssa jäsenvaltioille yhteisesti sovitut velvoitteet ja tavoitteet. EU:n yhteinen politiikka pyrkii turvaamaan EU:n antamat kansainväliset lupaukset YK:n ilmastosopimukseen ja luonnon monimuotoisuutta koskevaan sopimukseen, ja niillä vaikutetaan myös kansainvälisen ilmasto- ja luontopolitiikan edistämiseen. Kun jäsenvaltioita velvoittavat ilmasto- ja luontotavoitteet on sovittu, kansallisena tehtävänä on löytää parhaat tavat toteuttaa ne.

Ilmastotavoitteet ja luonnon monimuotoisuuden suojelutarve kasvattavat painetta talousmetsien hyödyntämisen määrän ja voimakkuuden rajoittamiselle. Toisaalta kysyntä luo paineita puun hyödyntämiselle, mikä vaikeuttaa puolestaan ilmasto- ja luontotavoitteiden saavuttamista. Erilaisten tarpeiden ja toimien kokonaisvaikutus on vielä epäselvä, mutta vaikutusten määrällinen arviointi on tärkeää Suomen talousmetsä-, ilmasto- ja luonnon monimuotoisuussuunnitelmien tarkentamiseksi, metsien hiilinielun vahvistamiseksi ja metsäluonnon turvaamiseksi.

Tässä työssä tarkastellaan 50 vuoden aikajänteellä hakkuiden merkitystä metsien käytön kokonaishiilitaseeseen ja metsäluonnon monimuotoisuuteen, kun metsämaan metsien suojelupinta-alaa samalla kasvatetaan. Työn tavoitteena on arvioida, miten metsien käytön kokonaishiilitase ja luonnon monimuotoisuus kehittyvät eri skenaarioissa, joissa metsämaan tiukasti suojeltua pinta-alaa ei kasvateta, sitä kasvatetaan talousmetsien metsämaalla 10 prosenttiin Etelä- ja Keski-Suomessa, tai sitä kasvatetaan 20 prosenttiin niin Etelä- ja Keski- kuin Pohjois-Suomessakin. Skenaarioissa talousmetsien hakkuumäärät ovat 60, 70 tai 80 miljoonaa kuutiometriä (Mm^3) vuodessa. Työssä analysoidaan myös jo päätettyjen ilmastovelvoitteiden ja -tavoitteiden toteuttamista.

Tämän työn skenaariotarkastelu perustuu Monsu-nimiseen simulointi- ja optimointimalliin (Pukkala 2011). Mallissa ilmastovaikutuksia tarkastellaan koko Suomen talousmetsien metsämaalla, ja luonnon monimuotoisuuden suojelua tarkastellaan lisäksi alueellisesti Etelä-, Keski- ja Pohjois-Suomessa (aluejako on esitetty tarkemmin luvussa 3.1). Mallilaskelmat on rajattu metsätalouden piirissä oleviin suojelun ulkopuolisiin metsämaan metsiin, eli kitumaat ja joutomaat on rajattu tarkastelun ulkopuolelle (Luonnonvarakeskus 2024).

Raportin luku 2 on taustoittava ja esittää tutkittuun tietoon perustuvan kokonaiskuvan metsien hakkuiden vaikutuksista ilmastoon ja luontoon sekä niihin liittyvien tavoitteiden saavuttamiseen. Luvussa 3 kuvataan työssä käytetyt menetelmät ja aineistot, ja luvussa 4 esitetään työn tulokset sekä niihin liittyvät tarkastelut. Raportin lopuksi luvussa 5 esitetään yhteenveto ja johtopäätökset. Raportti on laadittu Ilmastopaneelin ja Luontopaneelin[1] välisenä yhteistyönä.

[1] Suomen Luontopaneeli on riippumaton, tieteellinen asiantuntijapaneeli, joka tukee luontopolitiikan suunnittelua ja päätöksentekoa ja kokoaa luonnon monimuotoisuutta koskevaa tutkimustietoa päättäjien, asiantuntijoiden ja kansalaisten hyödynnettäväksi. Lisätietoa: https://luontopaneeli.fi/

2 METSIEN HAKKUIDEN VAIKUTUKSET ILMASTOON JA LUONNON MONIMUOTOISUUTEEN SEKÄ NIIDEN ROOLI ILMASTO- JA LUONTOTAVOITTEIDEN SAAVUTTAMISESSA

2.1 METSIEN HAKKUIDEN ILMASTOVAIKUTUKSET

Metsien biologisessa kierrossa olevien hiilidioksidipäästöjen etuna fossiilisiin päästöihin verrattuna on se, että hakkuualueiden säilyessä metsämaana hiili sitoutuu ilmakehästä takaisin puustoon, muuhun kasvillisuuteen ja maaperään puiden kasvaessa. Keskeinen kysymys on, kuinka nopeasti metsistä vapautuva hiili sitoutuu takaisin, sillä ilmastonmuutoksen hillinnällä on kiire. Jotta ilmaston lämpeneminen voidaan esiteolliseen aikaan (1850–1900) verrattuna rajoittaa 1,5 asteeseen, päästöjä tulisi globaalisti vähentää 55 prosenttia vuoden 2019 tasosta vuoteen 2035 mennessä (UNEP 2025). Lämpenemisen rajoittaminen 2 asteeseen edellyttäisi 35 prosentin vähennystä (UNEP 2025).

Metsien kokonaishiilitase sisältää kivennäismaiden ja metsäojitettujen turvemaiden (orgaaniset maat) puuston ja maaperän hiilivaraston muutokset sekä metsäojitettujen turvemaiden maaperän metaani- ja dityppioksidipäästöt (CH_4 ja N_2O). Kokonaishiilitaseessa metsien kasvun myötä puustoon ja maaperään kertyvästä hiilestä vähennetään hakkuissa poistuvan puuston sitoma hiili ja maaperästä vapautuvat päästöt. Tässä työssä käytetään myös termiä metsien *käytön* kokonaishiilitase, jossa on edellä mainittujen lisäksi mukana myös puutuotteiden vaikutus hiilitaseeseen.

Jos metsien kokonaishiilitaseessa nielut ovat päästöjä suuremmat, metsät ovat hiilinielu. Jos päästöt ovat nieluja suuremmat, metsät ovat päästölähde. Kokonaishiilitaseeseen vaikuttavat hakkuiden muutoksen lisäksi monet tekijät, kuten puuston kasvuun (jalostus, lannoitus, hakkuutavat, ilmastonmuutos) ja metsämaan maaperäpäästöihin vaikuttavat tekijät (hakkuutapa, maan muokkaus, ojitus). Ojitettujen suometsien maaperäpäästöt ovat kasvaneet ilmaston lämpenemisen seurauksena. Maankäyttösektorin inventaarion joulukuussa 2025 julkaistujen ennakkotietojen mukaan vuonna 2024 ne olivat noin 11,6 miljoonaa hiilidioksidiekvivalenttitonnia (Mt CO_2-ekv., jäljempänä tekstissä lyhyemmin Mt), kun ne vuonna 2010 olivat noin 6 Mt. Kokonaisuudessaan metsät olivat uusimman arvion mukaan pieni nielu (−0,15 Mt) vuonna 2024 (Tilastokeskus 2025a).

Lyhyellä ja keskipitkällä aikavälillä pysyvä hakkuutason nosto heikentää metsien kokonaishiilitasetta verrattuna lähtötasoon (Seppälä ym. 2022). Kasvihuonekaasuinventaarion tulosten perusteella hakkuiden vähentäminen vuoteen 2030 mennessä vahvistaa metsänielua keskimäärin −1,86 Mt jokaista hakkaamatta jätettyä miljoonaa runkopuukuutiometriä kohden (Suomen ilmastopaneeli 2025a). Samansuuruisen arvion (−1,8 Mt/Mm^3) ovat esittäneet myös Koljonen ja Silfver (2025), kun vuotuiset hakkuut kasvavat noin 70–71 Mm^3:sta tasoon 80–82 Mm^3. Kerroin ei kuitenkaan ole vakio, vaan se riippuu muun muassa tarkasteltavista hakkuutasoista ja hakkuiden kohdennuksista.

Ilmastopaneelin aiempi metsäsimulointimallien vertailu osoitti, että yhtä hiilitonnia vastaava pysyvä runkopuun hakkuulisäys pienentää metsän hiilinielua 45 vuoden aikajaksolla keskimäärin −1,7 t C/t C (mallien tulosten vaihdellessa −1,2–−2,3 t C/ t C) (Kalliokoski ym. 2019). Monsu-mallilla tehty simulointi puolestaan osoitti, että Suomessa 9 Mm^3 alempi runkopuun hakkuutaso verrattuna tasoon 72 Mm^3/vuosi johtaisi sadan vuoden tarkastelujaksolla keskimäärin noin −14 Mt suurempaan vuosittaiseen hiilinieluun, eli nielua kasvattava vaikutus on −1,56 tonnia jokaista hakkaamatta jätettyä runkopuukuutiometriä kohden (Seppälä ym. 2022).

Puuta käytetään energianlähteenä lämmöntuotannossa sekä raaka-aineena tuotteille, jotka voivat korvata fossiilisia polttoaineita ja muita fossiilisista raaka-aineista valmistettuja tuotteita (ns. korvaushyödyt). Puun tuottamat korvaushyödyt ovat suhteellisen pieniä. Hurmekoski ym. (2023) arvioivat, että nykyisellä tuotejakaumalla puun hiilitonni korvaa keskimäärin 0,5 tonnia fossiilista hiiltä (0,5 t C/t C). Korvaushyödyt jakautuvat osin Suomen ja osin vientimaiden hyödyksi niiden omissa kasvihuonekaasuinventaarioissaan.

Puutuotteisiin sitoutunut hiili huomioidaan kasvihuonekaasuinventaariossa osana maankäyttösektoria, mikä omalta osaltaan lisää puun käytön ilmastohyötyjä, jos tuotevalikoima sisältää pitkäikäisiä puutuotteita. Eri puutuotteilla on erilainen hajoamisaika, ja niihin sitoutunut hiili vapautuu ilmakehään eri nopeuksilla. Inventaariossa sovellettavan laskentasäännön mukaan kaikkien Suomessa valmistettujen puutuotteiden ilmastohyödyt tulevat Suomen hyödyksi, mutta hakkuiden pysyessä samalla tasolla ja puutuotteiden valmistusmäärien säilyessä samana puutuotteiden nieluhyödyt vähenevät aikaa myöden. Kunkin vuoden puutuotteiden hiilitaseen lopputulos riippuu aikaisemmin tuotettujen puutuotteiden hajoamistilanteesta sekä kyseisen vuoden eri puutuotteiden valmistumismäärästä. Jos vuodessa Suomessa valmistettuihin puutuotteisiin sitoutuneen hiilen määrä ylittää käytössä olleiden puutuotteiden hajoamisesta vapautuvan hiilen määrän, puutuotteet toimivat hiilinieluina. Näin laskettuna puutuotteet ovat olleet nettonielu vuodesta 1990 alkaen, yhtä vuotta lukuun ottamatta: vuonna 2009 ne olivat 1,6 Mt päästölähde (Tilastokeskus 2025a). Tällä hetkellä Suomessa alle 20 prosenttia puutuotteista luetaan pitkäikäisiin tuotteisiin, joiden puoliintumisaika on yli 30 vuotta (Luonnonvarakeskus 2025b).

Yhteenvetona voi todeta, että noin yhtä miljoonaa hiilitonnia vastaava runkopuun hakkuulisäys (noin 4,5 Mm^3) aiheuttaa noin 1,7 Mt C pysyvän vuosittaisen hiilinielumenetyksen metsässä vähintään keskipitkällä aikavälillä (30–50 vuotta), mikäli hakkuutason muutos jää pysyväksi. Samalla sen aiheuttama vuosittainen puutuotenielu- ja korvaushyöty jää alle 0,6 Mt C. Näin ollen metsien lisähakkuita ei voida perustella ilmastosyillä, sillä nykyisten puutuotteiden korvaus- ja nieluvaikutukset eivät kompensoi metsän hiilinielun menetyksiä edes keskipitkällä aikavälillä, jos hakkuutaso kasvaa (esim. Seppälä ym. 2022).

2.2 MAANKÄYTTÖSEKTORIN JA METSIEN ROOLI EU:N JA SUOMEN ILMASTOTAVOITTEIDEN SAAVUTTAMISESSA

Ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi kasvihuonekaasujen nettopäästöjä tulisi vähentää kaikkialla. EU ja Suomi sen jäsenenä nojaavat ilmastopolitiikassaan niin sanottuun nettopäästöperiaatteeseen (Euroopan komissio 2025), jonka mukaisesti vuotuiset fossiiliset ja prosessiperäiset päästöt lasketaan yhteen maankäyttösektorin nielu- tai päästötuloksen kanssa. EU asettaa nettopäästöperiaatteen mukaisesti tavoitteita sekä päästöjen vähentämiselle että maankäyttösektorin nettonielun vahvistamiselle. EU:n yhteisen ilmastopolitiikan mukaisesti maankäyttösektorille asetetaan maakohtaiset velvoitteet, joiden kautta yhteinen nielutavoite pyritään saavuttamaan. Maankäyttösektorin tulee olla nettonielu, jolloin sen päästöt (+) ovat pienemmät kuin nielut (−)[2]. Nettotulokseen, eli kokonaishiilitaseeseen, vaikuttavat metsien vuosittain sitoman hiilidioksidin määrä, puutuotteiden nettohiilitase, hakkuissa puun mukana poistuva hiili, maaperästä vapautuva hiilidioksidi ja muut kasvihuonekaasupäästöt sekä maankäytön muutoksesta aiheutuvat päästöt. Nettopäästöperiaate noudattaa hallitustenvälisen ilmastonmuutospaneelin (IPCC) inventaariolaskentaa (Eggleston ym. 2006), ja esimerkiksi eurooppalainen ilmastopaneeli (European Scientific Advisory Board on Climate Change, ESABCC 2023) soveltaa sitä EU:n vuoden 2040 ilmastotavoitteita koskevissa suosituksissaan.

[2] Yleisen käytännön mukaisesti nielut ilmaistaan tässä raportissa negatiivisina arvoina.

EU:ssa maankäyttösektori on koko kasvihuonekaasuraportointikäytännön ajan, vuodesta 1990 lähtien, ollut nettonielu eli sitonut hiilidioksidia enemmän kuin on päästänyt. Maankäyttösektorin nettonielun ylläpito ja vahvistaminen tarjoavat kustannustehokkaan keinon vähentää nettopäästöjä ilmastonmuutoksen hillinnän kannalta tarkoituksenmukaisella aikataululla (ESABCC 2025). Fossiiliperäisten päästöjen vähentäminen on ensisijaista ja sitä tulee edelleen tehostaa, mutta luonnonnielujen vahvistaminen on välttämätöntä, jotta ilmastotavoitteet saavutetaan kustannustehokkaasti. ESABCC (2023) suosittaa luonnon nielujen vahvistamista ja teknologisten nielujen tuottamista EU:n vuoden 2040 tavoitteisiin pääsemiseksi. Euroopan komission (2024a) ehdotuksen mukaan nielutavoite maankäyttösektorille on −310 Mt ja teknologisille nieluille −75 Mt vuodelle 2040.

Nykyinen EU:n maankäyttösektorin politiikka on jaettu kahteen viisivuotiskauteen: 2021–2025 ja 2026–2030. Ensimmäisellä velvoitekaudella Suomen maankäyttösektorin tulisi olla laskennallisesti nettonolla, eli eri maankäyttöluokkien päästöjen ja nielujen tulisi olla tasapainossa. Nykykehityksellä Suomi ei kuitenkaan saavuta tätä tavoitetta. Hiilinielujen laskentatapaan on tehty muutoksia, ja Luonnonvarakeskuksen teknisen korjauksen mukaan Suomen metsänielun vertailutaso olisi −13,45 Mt aiemman −23,49 Mt sijaan (Luonnonvarakeskus 2023c). Mikäli tämä on lopullinen vertailutaso, Suomi jää ensimmäisen velvoitekauden tavoitteestaan arviolta 110 Mt (Seppälä ym. 2025).[3]

Maankäyttösektorin toisella velvoitekaudella (2026–2030) Suomen alustava tavoite on, joulukuussa 2025 julkistetun maankäyttösektorin ennakkotietojen mukaan, −11,3 Mt nettonielu vuonna 2030 (Tilastokeskus 2025a). EU:n maankäyttösektorin asetus ((EU) 2023/839) edellyttää Suomelta −2,9 Mt suurempaa nielua kuin vuosien 2016–2018 keskiarvo, joka on −8,4 Mt. Tavoite ja sen toteuma lasketaan suoraan maankäyttösektorin kasvihuonekaasuinventaarion perusteella. Vuonna 2023 metsämaa ja puutuotteet olivat −5,2 Mt nielu noin 73 Mm^3 hakkuutasolla, mutta koko maankäyttösektori oli 6,9 Mt päästölähde. Joulukuussa 2025 julkaistujen ennakkotietojen mukaan vuonna 2024 maankäyttösektorin nettopäästöt olivat 9,8 Mt runkopuuhakkuiden ollessa noin 74 Mm^3 (Luonnonvarakeskus 2025b ja 2025e).

Maankäyttösektorin vuoden 2030 EU-velvoitteen saavuttaminen edellyttää ennen kaikkea metsien palauttamista merkittäväksi nettonieluksi (noin −23 Mt) ja maaperäpäästöjen vähentämistä muissa maankäyttöluokissa (Suomen ilmastopaneeli 2025a). Teknis-taloudelliset mahdollisuudet maaperäpäästöjen vähentämiseksi Suomessa ovat noin 6–8 Mt (Lång ym. 2022). Tähän pääseminen edellyttää turvemaiden päästöjen vähentämistä laajasti ja metsäkadon pysäyttämistä. Metsäkadolla tarkoitetaan metsämaan pysyvää muuttamista muuhun käyttöön kuten viljelysmaaksi tai rakennetuksi ympäristöksi.

Kansallinen ilmastolaki (423/2022) velvoittaa, että Suomi on hiilineutraali vuoteen 2035 mennessä ja että päästöt kääntyvät negatiivisiksi pian sen jälkeen. Suomen ilmastopaneelin (2025a) arvion mukaan päästöt ilman maankäyttösektoria voitaisiin pienentää noin −15 Mt:iin vuoteen 2035 mennessä, mikäli päästövähennystoimien rinnalla vahvistetaan teknologisia hiilinieluja. Maankäyttösektorilla, metsiä ja puutuotteita lukuun ottamatta, päästöt olisivat tällöin noin 8 Mt. Tämä tarkoittaa sitä, että metsien tulisi olla noin −23 Mt nettonielu, jotta hiilineutraalius saavutettaisiin (Suomen ilmastopaneeli 2025a). Tilanne on haastava, ja siksi EU:n vuoden 2030 kansallisen velvoitteen saavuttaminen, eli maankäyttösektorin nielun vahvistaminen −11,3 Mt nettonieluksi, on tärkeä välivaihe kohti hiilineutraalia Suomea vuonna 2035.

[3] Lopullinen arvio Suomen metsämaan ja puutuotteiden vertailutason 2021–2025 teknisestä korjauksesta lasketaan ja julkaistaan vasta vuonna 2027, kun vuoden 2025 päästölaskenta valmistuu.

Suomen metsien kokonaishiilitase, eli metsämaan puuston ja maaperän kasvihuonekaasupäästöjen summa, oli keskimäärin −29,2 Mt nettonielu vuosina 2000–2024. Vuodesta 2012 lähtien metsänielu on kuitenkin pienentynyt huomattavasti, ja vuosien 2010–2024 keskiarvo oli −20,1 Mt nettonielu. Joulukuussa 2025 julkaistujen tietojen mukaan metsät ovat säilyneet hiilinieluina, mutta vuosina 2021–2024 nielu oli keskimäärin vain −1,8 Mt (Tilastokeskus 2025a). Tärkein yksittäinen syy kokonaishiilitaseen heikkenemiseen on runkopuun hakkuumäärien kasvu: hakkuut ovat lisääntyneet vuoden 2012 noin 60 Mm^3:sta vuoden 2024 noin 74 Mm^3:iin vuodessa (Luonnonvarakeskus 2025b). Lisäksi kokonaishiilitaseeseen vaikuttavat puuston hidastunut kasvu, kivennäismaiden maaperän päästökehitys ja ojitettujen turvemaiden kasvaneet maaperäpäästöt. Myös maatalouden maaperäpäästöt, lähinnä eloperäisiltä eli turvemailta, ovat hienokseltaan kasvaneet, eikä Suomi ole onnistunut vähentämään maatalous- ja turpeenottoalueiden maaperäpäästöjä.

Suomessa maankäyttösektorin ilmastotoimia ohjataan ilmastolain mukaisesti maankäyttösektorin ilmastosuunnitelmalla (MISU), jonka tavoitteena on vahvistaa hiilinielua vähintään −3 Mt vuoteen 2035 mennessä. Ilmastopaneeli on kuitenkin arvioinut, että MISU ei tarjoa Suomelle riittäviä keinoja vastata maankäyttösektorin heikentyneeseen tilanteeseen ja on siksi ehdottanut suunnitelman päivitystä, uusien toimien käyttöönottoa sekä niiden rahoituksen vahvistamista (Suomen ilmastopaneeli 2025b).

2.3 METSIEN ROOLI LUONNON MONIMUOTOISUUDEN SUOJELUSSA

Metsillä on keskeinen rooli luonnon monimuotoisuuden suojelussa. Suomen pinta-alasta on metsää yli 75 prosenttia, ja uhanalaisista lajeista 31 prosenttia (833 lajia) elää ensisijaisesti metsissä (Hyvärinen ym. 2019). Uhanalaisia ja siten erityistoimia (kuten lisäsuojelua) kaipaavia lajeja on erityisen runsaasti metsämaan rehevimmissä kasvupaikkatyypeissä (Hyvärinen ym. 2019).

Noin 76 prosenttia metsäluontotyypeistä on uhanalaisia (Kouki ym. 2018). Niin luontotyyppien kuin metsälajistonkin uhanalaistumista aiheuttavat ensisijaisesti vanhojen metsien ja tiettyjen metsän rakennepiirteiden, kuten vanhojen puiden ja järeän lahopuun, määrien väheneminen ja laadun yksipuolistuminen metsien käytön seurauksena (Kouki ym. 2018, Hyvärinen ym. 2019). Suomen metsälajistosta neljännes on riippuvaista eri-ikäisestä lahopuusta (Siitonen 2001). Lahopuun määrä ja vaihtelevuus ovat metsien rakennepiirteitä, jotka eroavat kaikkein eniten talousmetsien ja luonnontilaisten metsien välillä (Koivula ym. 2025a). Ero selittyy osin metsien vuosisataisella käyttöhistorialla, mutta metsätalouden käytännöt, kuten laho- ja lehtipuiden systemaattinen korjaaminen metsistä, ovat etenkin 1900-luvun jälkipuoliskolla kasvattaneet tätä eroa. Kuolleet puut suositellaan nykyään jätettäviksi käsittelykohteille, joskin niitä tästä huolimatta edelleen korjataan energiapuuksi ja kotitarvepolttoon (Saaristo ja Vanhatalo 2019, Saaristo ym. 2020). Vaikka kuolleen puun määrän kehitys on viime vuosina ollut osassa Suomea myönteistä, Etelä-Suomen talousmetsissä runkolahopuuta on edelleen keskimäärin vain 4 m^3/ha ja Pohjois-Suomessa 5 m^3/ha (Korhonen ym. 2020). Suojelualueilla lahopuun määrä on sekä Etelä- että Pohjois-Suomessa keskimäärin noin 20 m^3/ha (Korhonen ym. 2020). Luonnontilaisissa ja luonnontilaisen kaltaisissa metsissä Suomen alueella lahopuun määrä vaihtelee kasvupaikkatyypin, maantieteellisen sijainnin sekä häiriödynamiikan luonteen mukaan noin 20 ja 120 m^3/ha välillä, mutta välittömästi voimakkaan luonnonhäiriön jälkeen koko puustokin voi olla kuollutta, jolloin lahopuuta on satoja kuutiometrejä hehtaarilla (Stokland ym. 2012). Nykyinen lahopuun määrä on siis keskimäärin verraten alhainen myös suojelualueilla, kun sitä vertaa olosuhteisiin, joihin lahopuuta vaativat lajit ovat evolutiivisesti sopeutuneet (esim. Mönkkönen ym. 2022). Kotimainen lajistotutkimus viittaa siihen, että metsässä esiintyy säännöllisesti vähintään muutamia uhanalaisia lahopuuta vaativia eliölajeja, kun lahopuun määrä ylittää 20 m^3/ha (Koivula ym. 2022), joskaan mitään yksittäistä, kaikkien lajien esiintyvyyttä takaavaa minimimäärää tai kynnysarvoa ei ole. Lahopuulla elävien lajien määrän ja lahopuun tilavuuden välinen suhde on logaritminen: kun lahopuun määrä kymmenkertaistuu, sillä elävien lajien määrä suurin piirtein kaksinkertaistuu, ja samalla todennäköisyys tavata yhä useampia harvinaisia ja uhanalaisia lajeja kasvaa (Martikainen ym. 2000, Hottola ym. 2009,

Siitonen ym. 2012, Ylisirniö ym. 2016, Jokela ym. 2019). Lisäksi ekologiset teoriat ennustavat, että resurssin määrän kasvaessa siitä riippuvaisten lajien populaatiokoot kasvavat (esim. Bowman ja Hacker 2023). Tämä riippuvuus on osoitettu myös lahopuumäärän ja lahopuusta riippuvaisten lajien yksilömäärän välillä (esim. Gossner ym. 2013, Elo ym. 2019, Komonen ym. 2024, Zumr ym. 2024). Lahopuulla elävien lajien kantojen voidaan näin ollen olettaa kasvavan lahopuumäärän kasvun myötä, jolloin niiden häviämisriski pienenee.

Luontokadon hillinnässä keskeistä on arvokkaiden elinympäristöjen suojelu ja heikennettyjen elinympäristöjen ennallistaminen. Metsämaan metsistä on Suomessa suojeltu 6 prosenttia, ja metsä- ja kitumaasta yhteensä 10 prosenttia (Kuusela ym. 2022). Kun rajoitetun käytön piirissä olevat alueet otetaan huomioon, pinta-alaosuus nousee 13 prosenttiin (Kuusela ym. 2022). Kattavan suojelualueverkoston luominen ja ylläpito on tärkeää, sillä osaan uhanalaistumiskehityksen taustalla olevista tekijöistä voidaan vaikuttaa vain suojelulla. Suojelualueilla pyritään turvaamaan lajistolle tärkeitä rakennepiirteitä, kuten lahopuujatkumoa. Suojelulla on myös tärkeä merkitys elinympäristöjen kytkeytyneisyydelle (Peura ym. 2024). Elinympäristöjen ennallistaminen ja talousmetsien luonnonhoito ovat suojelun ohella keskeisiä keinoja hillitä luontokatoa metsissä (Toivanen ja Kotiaho 2010, Elo ym. 2019, Komonen ym. 2024). Metsien ennallistamisen tavoitteena on palauttaa luontaiset puulajisuhteet, puuston rakenne ja kehityskulut (Similä ja Junninen 2011, Halme ym. 2013). Talousmetsien luonnonhoidossa keskeistä on tunnistaa luonnon monimuotoisuudelle arvokkaat elinympäristöt, turvata niiden ominaisuudet ja kytkeytyneisyys sekä säilyttää ja lisätä luonnon monimuotoisuudelle tärkeitä rakennepiirteitä (Saaristo ja Vanhatalo 2019).

2.4 METSÄLUONNON MONIMUOTOISUUDEN SUOJELUN TARPEET JA TOTEUTTAMINEN SUOMESSA

Huomattava osa Suomessa esiintyvistä lajeista on sopeutunut elämään metsissä. Metsiä elinympäristökseen vaativista lajeista uhanalaisia on runsaat yhdeksän prosenttia. Kansallisen lajien uhanalaisuusarvion mukaan 27 metsissä elävää lajia on suuremmassa riskissä kadota Suomesta kuin kymmenen vuotta aiemmin (Hyvärinen ym. 2019). Metsäluontotyypit ovat metsätaloustoimien seurauksena menettäneet viime vuosikymmeninä merkittävästi luontaisia rakennepiirteitään ja eritoten rehevimpien metsäluontotyyppien pinta-ala on pitkällä aikavälillä pienentynyt luonnon monimuotoisuuden kannalta haitallisesti (Kouki ym. 2018, ks. myös Kotiaho ym. 2023). Merkittävimpiä tekijöitä sekä metsälajien että metsäluontotyyppien uhanalaistumiskehityksessä ovat suojelualueiden vähäisyys ja pirstoutuneisuus, suuret hakkuumäärät ja luontokatoa aiheuttavat metsänkäsittelymenetelmät (Hyvärinen ym. 2019, Kontula ja Raunio 2018). Turvemaiden metsätaloudelliset ojitukset ja avohakkuut maanmuokkauksineen ovat lisäksi aiheuttaneet merkittäviä haittoja vesiekosysteemeille (Ketola ym. 2021, Kotiaho ym. 2022, Peura ym. 2022).

Tavallisimmat metsälajien uhanalaisuuden syyt ovat vanhojen metsien vähyys ja pirstoutuneisuus, kookkaiden ja samalla vanhojen puiden sekä lahopuun niukkuus, metsien uudistamis- ja hoitotoimet sekä puulajisuhteiden yksipuolistuminen (Hyvärinen ym. 2019). Metsäluonnon monimuotoisuutta edistää eniten suojelupinta-alan huomattava kasvattaminen ja alueiden kytkeytyneisyydestä huolehtiminen. Koska talouskäytössä olevien metsien pinta-ala on hyvin suuri, myös niissä tehtävillä toimilla on merkittävä vaikutus luonnon monimuotoisuuteen (esim. Koivula ym. 2022). Luontoa paremmin huomioivista metsänkäsittelytavoista esimerkkejä ovat kuolleen puun säästäminen ja maassa makaavien lahopuiden eli maapuiden murskautumisen estäminen metsän käsittelyssä. Lahopuujatkumon ylläpitäminen taas edellyttää kasvupaikan luontaista lajikirjoa edustavien säästöpuiden jättämistä kaiken puunkorjuun yhteydessä, niin jaksollisesti kuin jatkuvapeitteisesti käsitellyissä metsiköissä. Jatkuvapeitteisessä kasvatuksessa metsä säilytetään jatkuvasti puustoisena eikä sitä uudisteta avohakkuilla. Purojen ja muiden vesistöjen sekä rannikkoalueiden luonnolle aiheutuvia haittoja voidaan lieventää jättämällä vesistöä vasten suojavyöhyke, josta ei korjata puuta

eikä raivata alikasvosta. Suojavyöhykkeitä tarkastelevan tutkimuksen perusteella kymmenisen metriä leveä suojavyöhyke estää jo pääosan ravinne- ja kiintoaineshuuhtoumasta, mutta haitallisten lajistovaikutuksien estämiseksi vyöhykkeen leveyden olisi oltava vähintään 30 metrin luokkaa (Selonen ja Kotiaho 2013, Oldén ym. 2019a, Oldén, 2019b, Koivula ym. 2022, 2024). Reunavaikutuksiin, eli naapuriympäristöstä tarkasteltavaan kohteeseen kohdistuviin pienilmasto- ja lajistovaikutuksiin, ei metsätaloudessa ole kiinnitetty riittävästi huomiota, vaikka on tiedossa, että esimerkiksi avohakkuun vaikutus ulottuu vähintään useita kymmeniä metrejä hakkuualan reunasta käsittelemättömän varttuneen tai vanhan metsän sisälle (Kotiaho ym. 2022, Peura ym. 2022, Banbury Morgan ja Jucker 2025, Murcia 1995). Luonnon monimuotoisuushyötyjen ohella leveämpien suojavyöhykkeiden voi olettaa olevan vähemmän alttiita myös tuulenkaadoille (Mäenpää ym. 2020, Koivula ym. 2024).

Metsien erilaisten käyttötavoitteiden yhteensovittaminen on haastavaa, mutta metsänkäsittelymenetelmiä muuttamalla ja monipuolistamalla eri tavoitteet on mahdollista yhteensovittaa aiempaa paremmin (Pang ym. 2017, Eyvindson ym. 2018, Eggers ym. 2020, Pukkala 2021, Pukkala 2022a, Parkatti ja Tahvonen 2021). Tämä tukee metsien käsittelyn yhteiskunnallista hyväksyttävyyttä (Peura ym. 2022). Jatkuvapeitteisen metsänkasvatuksen lisäämistä suositellaan nykyään monissa strategioissa yhtenä keinona luonnon monimuotoisuuden turvaamiseksi (Euroopan komissio 2020, 2021). Puuston peitteisyys ylläpitää metsänpohjan varjostusta ja tasaisia pienilmastollisia olosuhteita (Starck ym. 2025), mistä hyötyvät muun muassa mustikka seuralaislajeineen, sekä jotkin uhanalaiset lajit, kuten liito-orava ja eräät epifyyttijäkälät (Koivula ym. 2025b). Jatkuvapeitteisen metsänkasvatuksen osuus on Suomessa kasvanut vuoden 2014 metsälain uudistamisen jälkeen varsin nopeasti, mutta on edelleen vain viitisen prosenttia kaikista hakkuista (Metsäkeskus 2022, Koivula ym. 2025a). Sekä jaksollisessa että jatkuvapeitteisessä metsänkasvatuksessa on kuitenkin erikseen huolehdittava metsäluonnolle tärkeiden luonnon monimuotoisuuspiirteiden säilymisestä. Tällaisia ovat erityisesti kuolleet ja lahoavat puut, lahopuujatkumo, isokokoiset ja vanhat puuyksilöt, lehtipuut ja vesistöjen suojavyöhykkeet (Koivula ym. 2025b).

Suometsät, lähinnä ojitetut turvemaat, aiheuttavat merkittäviä ja pitkäaikaisia vesistöhaittoja (Nieminen ym. 2017, 2018). Mallilaskelmien valossa jatkuvapeitteisellä metsänkasvatuksella voidaan ylläpitää pysyvästi sellaista puuston määrää, joka pitää pohjaveden korkeuden puuston kasvun kannalta sopivalla tasolla (Miettinen ym. 2025). Tällöin kunnostusojituksiin ei ole tarvetta, vältetään vesistöhaittoja ja samalla myös turpeen hajoaminen hidastuu. Ojitetuilla turvemailla tulisikin mahdollisuuksien mukaan siirtyä jatkuvapeitteiseen metsänkasvatukseen juuri vesistöhaittojen minimoimiseksi (Kotiaho ym. 2022). Myös Pohjois-Suomessa on suositeltavaa siirtyä soveltuvilla kohteilla jatkuvapeitteiseen metsänkasvatukseen, jotta voidaan minimoida metsätalouden porotaloudelle aiheuttamat haitat.

Suomen lähiajan toimia luonnon monimuotoisuuden vahvistamisessa ohjaa EU:n biodiversiteettistrategia ja sen valtuuttamana laadittu EU:n ennallistamisasetus. EU:n biodiversiteettistrategian tavoitteena on pysäyttää luontokato ja saada luonnon monimuotoisuus elpymisuralle vuoteen 2030 mennessä (Euroopan komissio 2020). Strategiassa todetaan, että nykyinen suojelualueverkosto ei ole riittävän laaja ja yhtenäinen luonnon monimuotoisuuden turvaamiseksi. Tavoitteeksi asetetaan suojelualueiden lisääminen niin, että vuoteen 2030 mennessä suojelun piirissä on vähintään 30 prosenttia EU:n maa-alueista ja 30 prosenttia EU:n merialueista. Suojelualueita valittaessa erityistä huomiota on kiinnitettävä alueisiin, joilla on erityisen suuri luonnon monimuotoisuusarvo tai -potentiaali. Lisäksi linjataan, että tiukan suojelun piirissä on oltava vähintään kolmannes suojelualueiden pinta-alasta eli 10 prosenttia EU:n pinta-alasta. Pinta-alatavoitteista riippumatta kaikki jäljellä olevat vanhat metsät ja luonnontilaiset metsät on suojeltava tiukasti.

EU:n ennallistamisasetus edellyttää elinympäristöjen tilan parantamista suojelualueiden lisäksi myös talousmetsissä (Euroopan komissio 2024b). Ennallistamisasetukseen sisältyvät ennallistamisvelvoite ja hyvässä tilassa olevien direktiiviluontotyyppien heikennyskielto tarkoittavat sitä, että elinympäristöjen ennallistamista ja tehostettuja luonnonhoidon toimenpiteitä on lisättävä merkittävästi myös talousmetsissä.

Eliölajisto ja kasvupaikkojen ominaispiirteet vaihtelevat maantieteellisen sijainnin mukaan (Tonteri ym. 1990), pääsääntöisesti niin, että mitä etäämmällä toisistaan vertailtavat paikat sijaitsevat, sitä erilaisempia niiden lajistot ja luontotyypit ovat (Harrison ym. 1992). Tästä syystä luonnon monimuotoisuutta ei voi turvata suojelemalla kohteita vain tietyllä maantieteellisellä alueella. Suomen suojeltu ala keskittyy Pohjois-Suomeen, kun Etelä-Suomen metsämaan metsistä on tiukasti suojeltu alle 3 prosenttia (Luonnonvarakeskus 2019, Kotiaho ym. 2021). Tilanteesta tekee erityisen ongelmallisen se, että valtaosa maamme uhanalaisesta lajistosta ja luontotyypeistä on keskittynyt eteläiseen Suomeen (Hyvärinen ym. 2019). Luontopaneeli onkin esittänyt, että luonnon monimuotoisuuden kannalta käytännöllinen tarkastelumittakaava, jolla EU:n biodiversiteettistrategian suojelutavoitteisiin tulisi pyrkiä, on maakunta (Kotiaho ym. 2021). Metsäluonnon suojelun turvaamat ekosysteemipalvelut, kuten hyvinvointi- ja virkistyspalvelut, ovat mitä suurimmissa määrin sidoksissa suojelun maantieteelliseen sijaintiin ja kohdentumiseen (Bell ym. 2007, Burkhard ym. 2012). Suojelun tasainen jakautuminen maakunnittain on siten perusteltua myös kansalaisten alueellisen oikeudenmukaisuuskokemuksen kannalta.

Luontopaneeli on myös ehdottanut, että osa 30 prosentin kokonaissuojelutavoitteesta, esimerkiksi 5–10 prosenttiyksikköä, voitaisiin kattaa jatkuvapeitteisen metsänkasvatuksen kohteilla edellyttäen, että jatkuvapeitteiseen metsänkasvatukseen sitoudutaan pysyvästi niin, että kohteilta korjataan puuta rajoitetusti ja huomioimalla luontoarvot tavanomaista merkittävästi paremmin (Kotiaho ym. 2022). Nykyisiin suojelualueisiin ja tuleviin tiukasti suojeltaviin alueisiin ei tule kohdistaa metsätaloustoimia, ei edes jatkuvapeitteistä metsänkasvatusta.

3 AINEISTO JA MENETELMÄT

3.1 TARKASTELTAVAT SKENAARIOT

Skenaariotarkastelun tavoitteena oli löytää metsien hakkuutaso, joka on yhteensopiva Suomen maankäyttösektorin vuoden 2030 EU-velvoitteen täyttämisen ja kansallisen ilmastolain mukaisen hiilineutraaliustavoitteen saavuttamisen kanssa tilanteessa, jossa tiukan suojelun pinta-alaa kasvatetaan kansallisten ja EU:n luonnon monimuotoisuuden turvaamistavoitteiden mukaisesti. Tässä työssä tiukka suojelu kohdistetaan talousmetsien metsämaan metsiin, sillä uhanalaisuus on yleisesti suurinta eteläisillä rehevimmillä kasvupaikoilla, joilla myös maankäyttö- ja hakkuupaineet ovat voimakkaimmat. Tarkastelussa käytettiin kolmea vaihtoehtoista vuosittaista hakkuutasoa: 60, 70 ja 80 Mm^3. Korkein hakkuutaso vastaa Luonnonvarakeskuksen määrittämää puuntuotannollisesti suurinta ylläpidettävissä olevaa hakkuukertymää (Luonnonvarakeskus 2023a), kun taas alin taso vastaa kotimaista hakkuutasoa vuosina 1997–2012 (pois lukien vuosi 2009).

Luonnon monimuotoisuutta arvioidaan sitä kuvaavien rakennepiirteiden kehittymisen avulla. Tarkastelussa huomioitiin lahopuu, järeä puusto ja lehtipuusto. Monimuotoisuuden arviointi kattaviin lajistoinventointeihin perustuen ei ole useista syistä mahdollista tarkasteltavassa mittakaavassa, mutta nämä kolme rakennepiirrettä kuvaavat yleisellä tasolla metsän kapasiteettia ylläpitää tyypillistä, vaateliasta ja uhanalaista metsälajistoa (Kotiaho ym. 2015, Jalkanen ym. 2025, Jalkanen 2025). Talousmetsien metsämaan kokonaishiilitaseen kehityksen, luonnon monimuotoisuutta kuvaavien rakennepiirteiden muutosten ja hakkuiden simulointi tehtiin Monsu-mallilla (Pukkala 2011). Monsu-mallin skenaariot kuvaavat 60, 70 ja 80 Mm^3 vuosittaisia markkinakelpoisen runkopuun (tukki, kuitu ja energiapuu) hakkuita. Pientaloissa poltettu runkopuu sisältyy näihin hakkuumääriin. Työssä on oletettu, että simuloinnissa käytetyt hakkuut vastaavat vaikutuksiltaan samansuuruisia runkopuuhakkuita. Skenaariotarkastelu rajattiin talousmetsien metsämaan metsiin, eikä alkutilanteessa tarkasteltuun alueeseen sisällytetty suojelualueita. Kullekin hakkuutasolle (60, 70 ja 80 Mm^3 vuodessa) laadittiin kolme suojeluskenaariota (taulukko 1). Ensimmäisessä suojeluskenaariossa talousmetsien metsämaan metsien tiukasti suojeltua pinta-alaa ei kasvatettu lainkaan alkutilanteesta. Toisessa skenaariossa tiukasti suojeltu pinta-ala kasvatettiin 10 prosenttiin ja kolmannessa 20 prosenttiin. Pinta-alatavoite tuli saavuttaa kaikilla kolmella maantieteellisellä alueella: Etelä-, Keski- ja Pohjois-Suomessa. Aluejako noudattaa vuoden 2014 Metsäkeskuksien aluejakoa (Metsäntutkimuslaitos, 2014) joka on esitetty kuvassa 1. Kymmenen prosentin suojeluskenaariossa Etelä- ja Keski-Suomessa tiukasti suojeltua pinta-alaa lisättiin 6 prosenttiyksikköä. Koska Pohjois-Suomessa talousmetsien metsämaan suojelun alkutilanne oli jo yli 10 prosenttia, ei Pohjois-Suomen tiukasti suojeltu pinta-ala suurentunut 10 prosentin suojeluskenaariossa, ja skenaariossa tiukasti suojeltu pinta-ala oli koko Suomessa yhteensä yli 10 prosenttia. Lisäksi 80 Mm^3 hakkuutaso ja 20 prosentin suojelutaso osoittautui mahdottomaksi saavuttaa nykyisillä tarkastelussa käytetyillä hakkuutavoilla, eikä tälle yhdistelmälle voida esittää tuloksia.

Skenaarioissa noudatettiin metsäalan yhteisiä metsänhoidon suosituksia[4], jotka riippuvat metsän sijainnista. Skenaarioissa metsien käsittely vaihteli siis sen mukaan, oliko kyseessä Etelä-Suomi, Keski-Suomi vai Pohjois-Suomi.

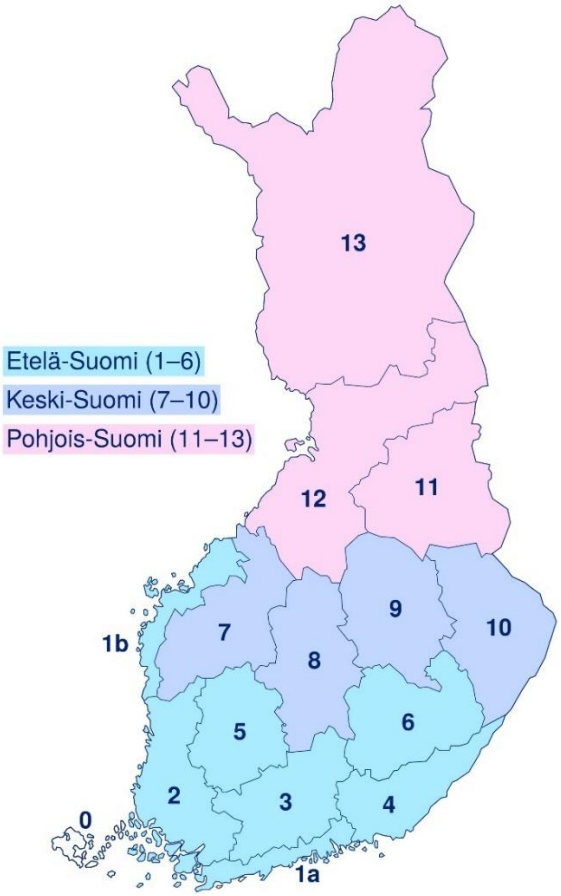
Tarkastelujakso skenaarioissa on 50 vuotta, sillä pidemmälle ulottuvien metsämallien skenaarioiden tarkkuus heikkenee merkittävästi. Skenaariotarkastelu soveltuu eri hakkuutasojen suhteellisten vaikutuserojen tarkasteluun, ei niinkään kasvihuonekaasuinventaarion mukaisten metsämaan

[4] Tapio Oy koordinoi metsäalan yhteisiä metsänhoidon suosituksia maa- ja metsätalousministeriön tilauksesta.

päästöjen ja nielujen arviointiin kulloisellakin hakkuutasolla. Tätä varten hakkuuskenaarioiden tulosten ja ilmastotavoitteiden saavuttamisen arvioimiseksi käytetään myös julkaistua aineistoa hakkuiden ja metsämaan päästöjen sekä nielujen välisistä riippuvuuksista ja kehityksestä.

Taulukko 1: Mallinnuksen skenaariot eri suojelupinta-aloilla ja vuosittaisilla hakkuutasoilla. Suojelupinta-alat tarkoittavat, että kaikilla kolmella tarkastellulla alueella Etelä-, Keski- ja Pohjois-Suomessa (ks. kuva 1) saavutetaan 10 tai 20 prosentin tiukasti suojeltu osuus metsämaan pinta-alasta.

Hakkuutaso/Suojelun laajuus		
Hakataan 60 Mm^3 / ei lisäsuojelua	Hakataan 70 Mm^3 / ei lisäsuojelua	Hakataan 80 Mm^3 / ei lisäsuojelua
Hakataan 60 Mm^3 / suojelupinta-ala 10 %	Hakataan 70 Mm^3 / suojelupinta-ala 10 %	Hakataan 80 Mm^3 / suojelupinta-ala 10 %
Hakataan 60 Mm^3 / suojelupinta-ala 20 %	Hakataan 70 Mm^3 / suojelupinta-ala 20 %	Hakataan 80 Mm^3 / suojelupinta-ala 20 % EI MAHDOLLINEN



Kuva 1: Skenaariossa käytetty metsäkeskusten aluejakoon (Metsäntutkimuslaitos 2014) perustuva aluejako: Etelä-Suomi alueet 1–6, Keski-Suomi alueet 7–10 ja Pohjois-Suomi alueet 11–13.

3.2 SKENAARIOMALLINNUKSEN AINEISTO JA OLETUKSET

3.2.1 Puusto, puuston kasvu ja lahopuu

Skenaariolaskelmien aineistona käytettiin samoja talousmetsissä sijaitsevia VMI11 (Valtakunnan metsien 11. inventointi) -koealoja kuin Heinosen ym. (2018a) tutkimuksessa. Aineisto koostui 4 685 systemaattisesti määritellystä VMI11-koealasta, joista 1 890 sijaitsee Etelä-Suomessa, 1 393 Keski-Suomessa ja 1 402 Pohjois-Suomessa. Koealoista 1 070 oli mitattu suometsissä ja 3 615 kivennäismaametsissä. Jokainen VMI-koealalta mitattu puu oli laskennassa ns. kuvauspuu, jolla on tietty hehtaarikohtainen runkoluku. Runkoluku määritettiin kuvauspuun läpimitan ja VMI:ssä käytetyn relaskooppikertoimen avulla. Jokainen koeala taas edusti tiettyä talousmetsän pinta-alaa.

Koealoille simuloitiin vaihtoehtoisia käsittelyohjelmia viideksikymmeneksi vuodeksi käyttäen Pukkalan ym. (2021) malleja puun läpimitan kasvulle, elossa säilymisen todennäköisyydelle ja kynnyskasvulle. Puiden kokonaisbiomassa ja eri osiitteiden (runko, oksat, lehdet, kanto, juuret) biomassat laskettiin Repolan ym. (2007) malleilla. Rungon ja eri puutavaralajien tilavuudet laskettiin Laasasenahon (1982) runkokäyräyhtälöillä. Tukkiosan tilavuuteen tehtiin laatuvioista johtuva ”tukkivähennys”, joka laskettiin Mehtätalon (2002) malleilla. Koska mallit yliarvioivat tukkivähennystä havupuilla ja aliarvioivat sitä lehtipuilla (Malinen ym. 2007), tukkivähennysmallien ennusteet kerrottiin seuraavilla korjauskertoimilla: mänty 0,7, kuusi 0,7 ja lehtipuut 1,2 (Malinen ym. 2007).

Puuston kehitystä simuloitiin viiden vuoden aika-askelin. Kuvauspuun edustamasta runkoluvusta säilyi elossa mallin ilmoittama osuus. Loppuosa kuvauspuun edustamasta runkoluvusta siirtyi kuolleeseen puustoon. Luonnon monimuotoisuuslaskelmissa kuolleiden puiden runkojen lahoamista simuloitiin vuotuisen lahoamisnopeuden avulla (Pukkala 2006), joka ennustettiin jokaiselle kuolleelle puulle erikseen. Hiilitaselaskelmissa kuolleen puuston biomassa siirtyi kuolleen orgaanisen aineksen varastoon, jonka lahoamista simuloitiin Yasso-mallilla (katso luku 3.2.2). Lahopuun määrä eri VMI-koealoilla ei ollut tiedossa. Sen vuoksi runkolahopuun määrä alkutilanteessa ennustettiin malleilla, jotka perustuvat samoihin simuloinneilla tuotettuihin aineistoihin kuin Pukkalan (2020) julkaisemat mallit kuolleen orgaanisen aineksen määrälle. Mallinnuksessa oletettiin, että kuolleet puut jätetään metsään. Näin saatu arvo, noin 8 m^3 lahopuuta hehtaaria kohden, on keskivertotalousmetsälle verraten korkea, mutta istuu paremmin periaatteeseen, että suojeluun siirrettäisiin ensisijaisesti vanhoja tai varttuneita metsiä, joihin järeähköä lahopuuta on jo alkanut kertyä.

3.2.2 Metsien kokonaishiilitaseen dynamiikka

Metsien kokonaishiilitaseen kehitystä analysoitiin Monsu-mallilla (Pukkala 2011) valtakunnallisella tasolla. Metsien kokonaishiilitaseen nettotulos riippuu talousmetsiin sitoutuvan ja sieltä poistuvan hiilen erotuksesta (jota säätelee erityisesti hakkuumäärä), pysyvän suojelun pinta-alasta ja suojelualueilla toteutuvasta hiilensidonnasta. Kokonaisvaikutusta tarkasteltiin määrittämällä metsämaan kuolleen orgaanisen aineksen hiilivarasto ilman turvetta sekä hiilivaraston muutos, joka on summa puustoon sidotun hiilivaraston sekä kuolleen orgaanisen aineksen (dead organic material, DOM) varastojen muutoksesta. Latvahukkapuun oletettiin Monsu-laskelmissa jäävän metsään hakkuutähteenä. Latvahukkapuun hiili lisättiin kuolleen orgaanisen aineksen hiilivarastoon. Latvahukkapuun lahoamista simuloitiin Yasso15-mallilla (Tuomi ym. 2011, Viskari ym. 2020) samalla tavalla kuin oksien lahoamista. Laskennassa oletettiin hukkapuun olevan latvahukkapuuta. Todettakoon, että metsien käytön kokonaishiilitaseessa on lisäksi mukana puutuotevaraston muutokset (ks. luku 3.2.3), joita ei siis tarkastella metsien kokonaishiilitaseessa.

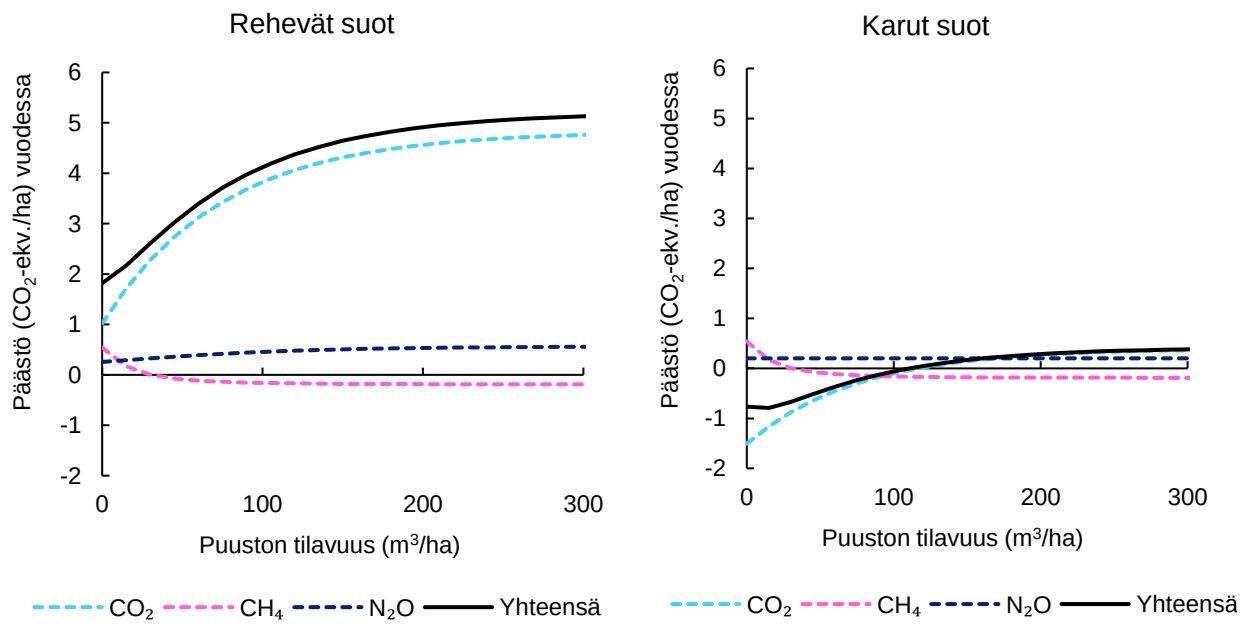
Kuolleen orgaanisen aineksen hajoamista simuloitiin Yasso15-mallilla (Viskari ym. 2020). Hajoamisen ohella Yasso-malli laskee kuolleen orgaanisen aineksen siirtymiset liukoisuusluokista toiseen. Liukoisuusluokkia on viisi: happo-, vesi- ja etanoliliukoinen, ei-liukoinen ja humus.

Kuolleen orgaanisen aineksen hiilivaraston syöte koostuu kuolleista puista, hakkuutähteistä ja vuotuisesta lehti-, oksa- ja juurikarikkeesta. Vuotuinen karikemäärä laskettiin eri biomassakomponenttien biomassoista käyttäen kullekin komponentille ominaista turnover-parametria (esim. Erb ym. 2016). Turnover-parametri ilmoittaa, mikä osuus elävästä biomassasta siirtyy vuosittain kuolleen aineksen biomassaan. Turnover-luvut määriteltiin puulajeittain seuraaville biomassakomponenteille: oksat, lehdet, juuret (muut kuin hienojuuret) ja hienojuuret.

Kaikille biomassakomponenteille, joiden oletettiin siirtyneen kuolleeseen orgaaniseen ainekseen, laskettiin liukoisuusluokkien (happo-, vesi- ja etanoliliukoinen, ei-liukoinen, humus) määrät Yasso-manuaalissa ilmoitettujen osuuksien avulla. Liukoisuusluokkien lisäksi kuolleiden puiden rungot ja kannot sekä hakattujen puiden kannot jaettiin kolmeen eri järeysluokkaan, koska Yasso-mallissa hajoamisnopeus riippuu kuolleen puukappaleen koosta. Tämä mallin oletus on myös biologisesti perusteltu (esim. Mäkinen ym. 2006, Zell ym. 2009).

Kuolleen orgaanisen aineksen VMI-koealakohtainen varasto jaettiin osavarastoihin liukoisuuden ja rungon järeyden perusteella. Varastojen koko simuloinnin alussa laskettiin malleilla, jotka perustuvat suureen määrään Monsu-simulointeja (Pukkala 2020).

Turvemaiden kasvihuonekaasujen päästöt laskettiin Minkkisen ja Ojasen malleilla (kuva 2). Käytössä olivat metaanin osalta Ojasen ym. (2010), hiilidioksidin osalta Ojasen ja Minkkisen (2019) ja dityppioksidin osalta Minkkisen ym. (2020) mallit. Päästöt muutettiin CO_2-ekvivalenteiksi Ojasen ym. (2020) mukaan kertomalla CH_4-päästö luvulla 54 ja N_2O-päästö luvulla 270 ja laskemalla osapäästöt yhteen.



Kuva 2: Monsu-mallissa käytetyt kasvihuonekaasupäästöjen ja puuston tilavuuden väliset riippuvuudet ojitetulla suolla, kun leveysaste on 65°.

Edellä mainituissa ojitettujen soiden päästömalleissa kasvihuonekaasupäästöt riippuvat vedenpinnan syvyydestä. Vedenpinnan syvyys laskettiin Sarkkolan ym. (2010) malleilla. Vedenpinnan syvyys riippuu sadannan, ojasyvyyden ja leveysasteen lisäksi puuston tilavuudesta (puuston haihdunnasta) (Sarkkola ym. 2010). Kun yhdistetään vedenpinnan syvyyden ja kasvihuonekaasujen mallit, saadaan kuvassa 2 esitetyt riippuvuudet, kun leveysaste on 65°. Ojasyvyydeksi oletettiin 60 cm, mikä on tyypillinen ojasyvyys alueilla, joiden ojituksesta on kulunut yli kymmenen vuotta (Hökkä ym. 2020).

Edellä kuvatulla tavalla laskettuna Monsu-malli antoi ojitettujen soiden kasvihuonekaasupäästöiksi noin 7,1 Mt vuodessa, mikä on selvästi vähemmän kuin kasvihuonekaasuinventaarion arvio, joka oli 11,7 Mt vuonna 2024 (Tilastokeskus 2025a). Hiilinielujen tulkinnassa tuleekin ottaa huomioon suometsien päästöjen laskentaan liittyvä epävarmuus. Yleisestikin simulointimallien kyky tuottaa kasvihuonekaasuinventaarion mukaisia tuloksia on vajavaista, koska inventaarion aikaisemmat tulokset ovat usein muuttuneet menetelmä- ja tietoperustamuutoksien myötä. Tämän takia tässä työssä esitetään talousmetsien metsämaan Monsu-mallin simulointituloksia pääasiassa suhteellisina muutoksina 60 ja 70 Mm^3 hakkuutuloksiin nähden, ja tulokset esitetään vain 50 vuoden aikajänteelle.

3.2.3 Puutuotteiden hiilidynamiikka

Hakatut rungot jaettiin kolmeen puutavaralajiin: tukki-, kuitu- ja energiapuu. Kukin puutavaralaji jaettiin edelleen lopputuotteiksi, joita olivat (1) sahatavara ja vaneri, (2) kemiallinen massa, (3) mekaaninen massa, (4) liukosellu ja (5) energiabiomassa (Hurmekoski ym. 2020, Pukkala 2020). Avohakkuissa oletettiin, että kaksi kolmasosaa oksien ja latvusten biomassasta kerätään energiaksi. Talteen kerättyä energiabiomassaa ei siirretty kuolleen orgaanisen aineksen vaan puutuotteiden varastoon.

Hiilen viipymistä eri puutuoteryhmien varastoissa simuloitiin vuotuisen hajoamisnopeuden avulla (osuus, joka poistuu puutuotteen hiilivarastosta vuodessa). Hajoamisnopeus laskettiin tuoteryhmän biomassan puoliintumisajasta. Puoliintumisaika oletettiin 35 vuodeksi sahatavaralle ja vanerille, muille tuoteryhmille 1–3 vuodeksi (Rüter ym. 2019). Kullekin puutuoteryhmälle määritettiin lisäksi osuus, joka käytetään energiaksi, kun ensisijainen käyttö loppuu (Pukkala 2014). Tässä työssä ei huomioitu puutuotteiden korvausvaikutuksia, vaan ainoastaan puutuotteiden hiilivaraston muutokset.

3.2.4 Luonnon monimuotoisuuden kehitys

Tärkein luonnon monimuotoisuuden tilaa kuvaava muuttuja tässä raportissa on tiukasti suojeltujen metsämaan metsien pinta-ala. EU:n biodiversiteettistrategiassa todetaan nykyisen suojelualueverkoston olevan riittämätön luonnon monimuotoisuuden turvaamiseksi ja asetetaan tavoitteeksi suojelualueiden lisääminen niin, että vuoteen 2030 mennessä oikeudellisen suojelun piirissä on vähintään 30 prosenttia sekä EU:n maa- että merialueista. Lisäksi strategiassa linjataan, että tiukan suojelun piirissä on oltava vähintään kolmannes EU:n suojelualueista, eli 10 prosenttia EU:n pinta-alasta. Koska ei ole vielä selvää, mitä muu kuin tiukka oikeudellinen suojelu tarkoittaa, on tässä raportissa arvioitu pelkästään tiukan suojelun 10 ja 20 prosentin pinta-alojen vaikutusta hakkuumääriin ja ilmastotavoitteisiin. Jos metsämaan metsien tiukasti suojeltua pinta-alaa kasvatetaan 20 prosenttiin, sillä yksinään on merkittävä positiivinen vaikutus luonnon monimuotoisuuteen. Talousmetsien monimuotoisuuden tila on riippuvainen myös hakkuiden määrästä ja toteutettavista luonnonhoitotoimenpiteistä, koska nämä tekijät vaikuttavat suoraan metsälajien vaatimiin puuston rakennepiirteisiin. Luonnon monimuotoisuudelle ei vielä ole operatiiviseen käyttöön soveltuvaa samanlaista yksikäsitteistä mittaria kuin kasvihuonekaasupäästöjä kuvaava hiilidioksidiekvivalentti (ks. kuitenkin kehitteillä oleva luontoekvivalentti; El Geneidy ym. 2025). Tämän vuoksi luonnon monimuotoisuutta tarkasteltiin kolmen puustorakennetta kuvaavan metsäluonnon monimuotoisuudelle tärkeän rakennepiirteen kehityksen avulla. Rakennepiirteet olivat lahopuun, järeän puun ja lehtipuun määrä. Näiden rakennepiirteiden voi yleisellä tasolla olettaa kuvaavan metsän laatua useimpien

uhanalaisten metsälajien kannalta, koska merkittävimpiä metsälajien uhanalaisuutta aiheuttavia tekijöitä Suomessa ovat muun muassa vanhojen metsien ja suurten vanhojen puiden sekä järeän kuolleen puun vähyys ja puulajisuhteiden yksipuolistuminen, varsinkin vanhojen lehtipuiden vähyys (Hyvärinen ym. 2019).

Järeällä puustolla tarkoitetaan tässä työssä puita, jotka ovat kasvupaikka ja leveysaste huomioon ottaen järeämpiä kuin se läpimitta, jossa metsikkö yleensä uudistetaan. Järeän puun minimiläpimitta riippuu kasvupaikan viljavuudesta ja lämpösummasta (Pukkala 2022a).

Monsu-mallilla pystytään laskemaan metsien lisäsuojelualueiden ja jäljelle jääneiden talousmetsien metsämaan metsien luonnon monimuotoisuuden rakennepiirteiden, lahopuun, järeän puun ja lehtipuun, määrät simuloinnin alkutilanteessa ja aina 10-vuotisjaksojen lopussa. Tältä osin tilanne poikkeaa metsien kokonaishiilitaseen arvioinnista, jossa tulokset edustavat kunkin 10-vuotisjakson keskiarvoa.

3.3 VALITTUJEN SKENAARIOIDEN TOTEUTTAMINEN

3.3.1 Hakkuuvaihtoehtojen simulointi VMI-koealoille

Suomen metsämaan talousmetsille tuotettiin kahdeksan eri skenaariota 50 vuodeksi eteenpäin (katso luku 3.1 taulukko 1). VMI-koealoille simuloitiin aluksi joukko käsittelyohjelmia, joista valittiin optimaalinen hakkuukertymä- ja suojelutavoitteet täyttävä yhdistelmä. Optimoinnissa maksimoitiin metsänomistajalle koituva nettotulon nykyarvo käyttäen kolmen prosentin korkoa. Kivennäismaille simuloitiin ainoastaan jaksollisen metsätalouden vaihtoehtoja, koska jaksollinen kasvatus on vallitseva metsänkäsittelytapa kivennäismailla. Suometsille simuloitiin ainoastaan jatkuvapeitteisen metsänkasvatuksen vaihtoehtoja, joita niille on suositeltu ilmasto- ja vesiensuojelusyistä (esim. Routa ja Huuskonen 2022). Jatkuva kasvatus minimoi tarpeen kunnostusojitukseen suometsissä, mikä vähentää sekä kasvihuonekaasupäästöjä että ravinnehuuhtoumaa.

Jatkuvassa kasvatuksessa taimikon hoito ja nuorten metsien harvennus (“ensiharvennus”) simuloitiin tasaikäismetsätalouden ohjeiden mukaisesti. Myöhemmissä hakkuissa sovellettiin optimointeihin perustuvia jatkuvan kasvatuksen harvennusmalleja (Pukkala 2022b). Ne määrittävät pohjapinta-alan, jossa metsikköä harvennetaan sekä sen, kuinka voimakkaasti eri läpimittaluokkia harvennetaan. Jatkuvan kasvatuksen harvennusmalleissa korkokanta vaikuttaa hakkuun ajankohtaan ja puuston tiheyteen. VMI-koealoille tuotettiin vaihtoehtoisia hakkuuohjelmia varioimalla korkokantaa (yksi ja viisi prosenttia), jolla harvennusmallia sovellettiin. Alhainen korkokanta, yksi prosentti, johtaa myöhäisiin hakkuisiin ja suureen puuston määrään, kun taas viisi prosenttia johtaa aikaisiin hakkuisiin ja melko harvoihin metsiköihin. Optimoinnissa maksimoitiin kolmen prosentin korolla laskettua nettonykyarvoa. Hakkuurajoitusten vuoksi metsiköille ei automaattisesti valikoidu se hakkuuohjelma, joka saatiin soveltamalla hakkuuohjetta kolmen prosentin korolla. Rajoitukset voivat johtaa siihen, että osalla metsäkuvioita hakkuita pitää aikaistaa tai lykätä siihen verrattuna, mikä olisi optimaalista kolmen prosentin korolla.

Lisäksi koealoille simuloitiin käsittelyketjuja, joissa hakkuuta viivästettiin yhdellä tai useammalla kymmenvuotiskaudella, vaikka hakkuu olisi harvennusmallin mukaan ollut ajankohtainen. Jatkuvan kasvatuksen hakkuissa sovellettiin jäävän puuston minimipohjapinta-aloja, jotka olivat kasvupaikkaluokittain seuraavat: lehto 14, lehtomainen kangas 13, tuore kangas 12, kuivahko kangas 10, kuiva kangas 9 ja karukkokangas 8 m^2/ha. Jos harvennusohje olisi johtanut näitä pienempään puuston pohjapinta-alaan, simuloinnin ohjetta kalibroitiin niin, ettei minimipohjapinta-ala alittunut. Keskimäärin yhdelle VMI-koealalle simulointiin 16 erilaista käsittelyohjelmaa. Kulloinenkin VMI-koealalle valittu jatkuvan kasvatuksen käsittelyohjelma määräytyi koko maan kattavassa optimoinnissa ja riippui valtakunnallisesta hakkuutavoitteesta.

Tasaikäismetsätaloudessa sovellettiin Tapio Oy:n koordinoimana kehitettyjä suosituksia uudistamisläpimitalle, sille pohjapinta-alalle, jossa metsikkö harvennetaan, sekä sille pohjapinta-alalle, joka jätetään toimenpidehetkellä kasvamaan (Äijälä ym. 2014). Suositusten vaihteluvälien alarajat osoittivat aikaisimman ajankohdan, jolloin metsikkö voitiin uudistaa tai harventaa. Koska alarajat eivät ole sitovia, koealoille simuloitiin myös vaihtoehtoja, joissa uudistamisläpimitan alaraja kerrottiin luvulla 0,8. Näin saatiin tuotetuksi skenaarioita, joissa voitiin lisäsuojelusta huolimatta hakata 70 tai 80 Mm^3 vuodessa. Metsiköille simuloitiin myös käsittelyvaihtoehtoja, joissa hakkuita viivästettiin yhdellä tai useammalla kymmenvuotiskaudella. Metsiköille ei simuloitu käsittelyjä, joissa puusto hakattiin suosituksia harvemmaksi. Sekä jatkuvassa että jaksollisessa, eli tasaikäiskasvatuksessa, jokaiselle metsikölle simuloitiin myös vaihtoehto, jossa metsikköä ei hakattu lainkaan 50 vuoden simulointijakson aikana.

Jaksollisessa metsänkasvatuksessa harvennushakkuu simuloitiin ala-, tasa- tai yläharvennuksena. Alaharvennuksessa poistettiin pienimpiä puita ja yläharvennuksessa suurimpia. Tasaharvennuksessa kaikkia läpimittaluokkia harvennettiin yhtä voimakkaasti. Kaikkien harvennustapojen todennäköisyydeksi määriteltiin 33,3 prosenttia. Tietyn VMI-koealan kaikissa harvennushakkuissa käytettiin samaa harvennustapaa, eli VMI-koeala määrättiin esimerkiksi yläharvennuskoealaksi 33,3 prosentin todennäköisyydellä. Yläharvennus tarkoittaa varsinkin eri-ikäisrakenteisessa metsikössä sitä, että päätehakkuu voi siirtyä jopa useilla vuosikymmenillä, jolloin metsikköä ei päätehakata lainkaan 50 vuoden simulointijakson aikana. Yläharvennus tarkoitti käytännössä hakkuutavan muutosta jatkuvan kasvatuksen suuntaan, vaikka päätehakkuu ei ollutkaan poissuljettu hakkuutapa.

Sekä jaksollisessa että jatkuvassa metsänkasvatuksessa simuloitiin ylispuiden poistoja, jos metsikkö oli kaksijaksoinen ja alemmassa jaksossa oli riittävästi kasvupaikalle sopivia puulajeja. Osittaishakkuissa simuloitiin pienpuuston tuhoutumista. Pienpuustosta oletettiin tuhoutuvan sitä suurempi osa, mitä suurempi oli hakkuukertymä. Hakkuutulo laskettiin puutavaralajien tienvarsihintojen ja korjuukustannusten erotuksena. Jokaisessa hakkuussa laskettiin hakkuuseen (hakkuukoneen työ) ja lähikuljetukseen (ajokoneen työ) kuluva aika Rummukaisen ym. (1995) malleilla. Mallit ottavat huomioon hakattujen puiden järeyden (pienten puiden korjuu on hitaampaa kuutiometriä kohti laskettuna), lähikuljetusmatkan (oletettiin 200 metriksi), hehtaarikohtaisen kertymän sekä hakkuutavan (korjuu on nopeampaa avo- kuin harvennushakkuussa). Rummukaisen ym. (1995) malleilla laskettu konekohtainen ajanmenekki kerrottiin hakkuu- ja ajokoneen tuntikustannuksella.

Taimikoille, jotka metsäalan yhteisten metsänhoidon suositusten mukaan tulisi harventaa, oletettiin simuloinnissa 80 prosentin todennäköisyys taimikonhoidolle ja vastaavasti 20 prosentin todennäköisyys hoitamatta jättämiselle. Satunnaistuksella jäljiteltiin tämänhetkistä metsien käsittelyä, jossa osa metsänomistajista jättää taimikkonsa hoitamatta.

Kasvatusmetsien typpilannoituksia, suometsien peruslannoituksia ja kunnostusojituksia simuloitiin tietyillä ehdoilla. Kasvatuslannoituksille ja kunnostusojituksille oletettiin kasvuvaste eli puiden kasvun kohentuminen käsittelyiden myötä (Heinonen ym. 2018a). Soiden peruslannoituksen ei oletettu parantavan kasvua, vaan käsittelyn oletettiin ylläpitävän kasvumallin ilmoittaman kasvun tasoa.

Sekä jaksollisessa että jatkuvapeitteisessä kasvatuksessa jätettiin säästöpuita. Jaksollisen kasvatuksen päätehakkuissa pohjapinta-alasta oletettiin jäävän hakkaamatta pysyvinä säästöpuina 0,5 m^2/ha (noin 5 m^3/ha). Simulointiohjelma merkitsi jätetyt puut säästöpuiksi, jolloin niitä ei simuloitu hakattavaksi myöhemmissäkään hakkuissa. Jatkuvassa kasvatuksessa mistään läpimittaluokasta ei poistettu enempää kuin 90 prosenttia puista, minkä seurauksena metsikön suurimpia puita jäi kasvamaan kaikissa hakkuissa, mikä suunnilleen vastaa edellä kuvattua avohakkuun säästöpuiden jättämistä.

Simulointikauden aikana istutettujen puiden jalostushyödyksi oletettiin viisi prosenttia läpimitan ja pituuden kasvussa, mikä vastaa noin 15 prosentin parannusta tilavuuskasvussa. Oletettu jalostushyöty on maltillinen, koska siitä ei ole näyttöä koko kiertoajalta, ja sen voidaan olettaa näkyvän osittain jo kasvumalleissa. On myös huomattava, että jalostushyöty ei osoita luontaisesti syntyneen taimikon ja istutusmetsikön kasvueroa, koska se ei ota huomioon luontaisesti syntyneen taimikon itseharvenemisen vaikutusta.

Kaikkien yläharvennusten (jatkuva kasvatus ja jaksollisen kasvatuksen yläharvennus) jälkeen kasvuennustetta pienennettiin ensimmäisenä viisivuotiskautena 20 prosenttia ja toisena kautena kymmenen prosenttia kasvumallin ennusteesta (ns. harvennusstressi; Hynynen ym. 2019). Päinvastoin kuin joissakin viimeaikaisissa tutkimuksissa (esim. Díaz-Yáñez ym. 2021), tämän työn laskelmissa ei oletettu, että ilmastonmuutos parantaisi metsien kasvua. Ilmastonmuutoksen vaikutus Suomen metsien kasvuun ei kenties olekaan yhtä suotuisa kuin aiemmin on oletettu, vaan se saattaa jopa pienentää kasvua (esim. Henttonen ym. 2017, Huhta ja Melin 2023, Hynynen ym. 2024). Lämpenevä ilmasto ja sen myötä oletetusti yleistyvät kuivuusjaksot ja talvimyrskyjen tuulenkaadot ovat sellaisenaan metsien kasvua ja kuntoa heikentäviä tekijöitä, mutta samalla myös sienitauti- ja hyönteistuhot voivat yleistyä ja nostaa kuolleisuutta, ja kohoava alailmakehän otsonipitoisuus voi heikentää puiden yhteyttämistä ja kasvua.

3.3.2 Hakkuu- ja suojeluskenaarioiden tuottaminen

Skenaariot tuotettiin hakemalla koealoille simuloiduista käsittelyketjuista optimaalinen yhdistelmä ja toteutettiin asettamalla hakkuumääräksi 60, 70 tai 80 Mm^3 vuodessa. Simuloinneissa energiabiomassaa kertyi markkinahakkuihin lukeutuvan energiapuun lisäksi myös avohakkuiden oksista ja latvoista. Oletuksena oli, että kaksi kolmasosaa oksa- ja latvusmassasta korjataan energiaksi. Muissa hakkuutavoissa kuin avohakkuussa oksia ja latvuksia ei oletettu korjattavan energiaksi.

Hakkuutavoitteet olivat valtakunnallisia eli useimmista aiemmista skenaariolaskelmista poiketen (Heinonen ym. 2018a, Heinonen ym. 2018b, Seppälä ym. 2022) niitä ei asetettu erikseen Etelä-, Keski- ja Pohjois-Suomelle. Optimointi siis määräsi, kuinka paljon puuta hakattiin Suomen eri osista eri vuosina. Laskelmassa ei ollut myöskään puutavaralajeittaisia (tukki-, kuitu- ja energiapuu) hakkuutavoitteita. Kukin hakkuuskenaario tuotettiin kolmella suojelun tasolla. Skenaarioissa metsämaan talousmetsien

1. suojelua ei lisätty.
2. suojelupinta-alaa kasvatettiin Keski-Suomessa ja Etelä-Suomessa 10 prosenttiin.
3. suojelupinta-alaa kasvatettiin 20 prosenttiin kaikilla kolmella alueella eli Etelä-Suomessa, Keski-Suomessa ja Pohjois-Suomessa.

Taulukko 2 esittää alueellisen lisäsuojelutarpeen ja suojelupinta-alat metsämaan metsissä. Etelä- ja Keski-Suomen metsämaan metsien tiukasti suojelluksi pinta-alaksi arvioitiin skenaarioiden lähtötilanteessa noin 4 prosenttia ja Pohjois-Suomelle 11,6 prosenttia. Tämä tarkoitti, että 10 prosentin suojeluskenaariossa Etelä- ja Keski-Suomen talouskäytössä olevista metsämaan metsistä suojeltiin 6 prosenttiyksikköä lisää ja Pohjois-Suomessa suojelualaa ei lisätty lainkaan. Suojelutaso 20 prosenttia tarkoitti, että Etelä- ja Keski-Suomen metsämaan talousmetsistä suojeltiin lisää 16 prosenttiyksikköä ja Pohjois-Suomessa 8,4 prosenttiyksikköä. Tiukasti suojellun pinta-alan lähtötilan arvion pohjana on käytetty Luonnonvarakeskuksen suojelutilastoja (Luonnonvarakeskus 2022) sekä Luontopaneelin selvityksen määritelmää tiukasta suojelusta (Kotiaho ym. 2021).

Taulukko 2: Tiukasti suojeltu metsämaan metsien osuus skenaarioiden alussa kullakin alueella sekä suojelupinta-alan lisäystarve 10 ja 20 prosentin suojeluosuuden saavuttamiseksi. Lisäystarve on ilmoitettu prosenttiyksikköinä talouskäytössä olevista metsämaan metsistä sekä hehtaareina.

Alue	Tiukasti suojeltu metsämaan metsien osuus skenaarioiden alussa	Lisäystarve 10 prosentin suojeluosuuden saavuttamiseksi	Lisäystarve 20 prosentin suojeluosuuden saavuttamiseksi
Pohjois-Suomi	11,6 %	0 %	8,4 %-yks., 781 800 ha
Keski-Suomi	4,0 %	6 %-yks., 323 518 ha	16 %-yks., 862 718 ha
Etelä-Suomi	4,0 %	6 %-yks., 337 600 ha	16 %-yks., 900 200 ha

Myös suojeltavat metsät valittiin optimoimalla ja oletuksena oli, että suojelu toteutetaan kokonaisuudessaan tarkastelun alkuhetkellä. Luontopaneelin suosituksiin (Kotiaho ym. 2021) nojaten rajoituksena oli pinta-alan lisäksi, että suojeltujen metsien keskipuuston oli oltava suojeluhetkellä (eli simuloinnin alussa) Etelä-Suomessa vähintään 200 m^3/ha, Keski-Suomessa vähintään 150 m^3/ha ja Pohjois-Suomessa vähintään 100 m^3/ha.

3.3.3 Keskeisiä oletuksia

Skenaariopohjainen simulointeihin perustuva analyysi sisältää aina rajauksia, mallinnuksia ja muuttujien valintaa koskevia epävarmuuksia. Tämän työn simulointien olennainen rajaus oli, että puutavaralajien hinnat oletettiin samaksi kaikissa skenaarioissa. Käytännössä voisi olettaa, että puun käyttö kasvaa vain paremmalla puun hinnalla, joka kannustaa metsänomistajia tarjoamaan puuta markkinoille.

Puun hintaan liittyvän oletuksen lisäksi on huomattava, että myöskään muita metsäsektorin kannustimia tai ohjauskeinojen vaikutuksia ei tarkasteltu. Säästöpuiden määrää koskevia oletuksia lukuun ottamatta tarkasteluun ei myöskään sisällytetty aktiivisia uusia talousmetsien luonnonhoito- tai hiilinielutoimia.

Simuloinneissa oletettiin, että metsänomistajat käsittelevät metsiä skenaarioon sisällytettyjen sääntöjen mukaisesti ja toimivat johdonmukaisesti, jolloin ei synny metsänhoito- tai hakkuurästejä. Lisäksi oletettiin, että kaatuneita säästöpuita eikä muutakaan kuollutta puustoa korjata energiapuuksi. Kuitenkin esimerkiksi uudistushakkuissa suurin osa järeistä vanhoista lehtipuista sekä kuolleista puista on ainakin vielä hyvin hiljattain korjattu energiapuuksi (Saaristo ym. 2020).

Mallinnuksen kannalta suuri epävarmuus koskee maaperäpäästöjen kehitystä. Ojitettujen suometsien hiilidioksidipäästöt lisääntyvät ilmastonmuutoksen edetessä, joskin käsittelytapojen valinnalla on suuri vaikutus siihen, kuinka nämä päästöt lopulta toteutuvat (Lehtonen ym. 2023). Kunnostusojituksista luopuminen auttaisi rajoittamaan näitä päästöjä (Lehtonen ym. 2021). Kasvuolosuhteiden muutosten tai kuivuuden, tuulisuuden ja metsätuholaisten yleistymisen vaikutuksia ei analyysissa otettu huomioon.

3.4 ILMASTOTAVOITTEIDEN SAAVUTTAMISEN ARVIOINTI ERI SKENAARIOISSA

Tämän työn skenaariomallinnusten perusteella voidaan 50 vuoden aikajänteellä tarkastella eri hakkuutasojen vaikutuksia metsien käytön kokonaishiilitaseeseen. Tarkastelu kattaa puuston, maaperän ja puutuotteiden kasvihuonekaasutaseiden muutokset. Tässä työssä Monsu-mallilla toteutettujen skenaarioiden absoluuttiset kasvihuonekaasutaseet poikkeavat kasvihuonekaasuinventaariossa raportoitavista taseista, joten niiden perusteella ei voida arvioida Suomen ilmastotavoitteiden saavuttamista tarkasti. Vertailukelpoisuuden saavuttaminen on yleinen

haaste metsien simulointimalleissa (Kalliokoski ym. 2019, Mosley ym. 2025). Tämä koskee myös Luonnonvarakeskuksen Mela-mallia, jonka vertailukelpoisuutta kevään 2025 kasvihuonekaasuinventaarion tulosten (Tilastokeskus 2025b) kanssa on kuitenkin paranneltu vuoden 2025 energia- ja ilmastostrategian (Koljonen ym. 2025a) ja pitkän aikavälin ilmastosuunnitelman skenaarioiden valmistelutyössä (Koljonen ym. 2025b). Eri simulointimallien on kuitenkin havaittu tuottavan keskenään saman suuntaisia tuloksia eri skenaarioiden välille, minkä vuoksi hakkuutasojen muutoksen vaikutus metsien ja puutuotteiden kasvihuonekaasutaseisiin tunnetaan paremmin kuin absoluuttisten kasvihuonekaasutaseiden kehitys (Kalliokoski ym. 2019).

Pääministeri Petteri Orpon hallituksen energia- ja ilmastostrategian ja pitkän aikavälin ilmastosuunnitelman taustaselvityksen skenaarioissa (Koljonen ym. 2025a, 2025b) on huomioitu puuntuotannossa, rajoitetussa puuntuotannossa ja puuntuotannon ulkopuolella olevat metsä- ja kitumaan metsät Suomessa. Lisäksi niissä on huomioitu ojitettujen metsien hiilidioksidipäästöjen kasvava trendi käyttämällä lämpötilana 30 vuoden liukuvaa keskiarvoa, mikä nostaa skenaariovuosien lämpötilaa ja hiilidioksidipäästöjä, sekä MISUn mukaiset tehostetut ilmastotoimet (Maa- ja metsätalousministeriö 2022). Metsänhoidolliset ilmastotoimet sisältyvät myös Monsu-mallin skenaarioihin, mutta niiden vastaavuutta KEITO (Kansallisen energia- ja ilmastopolitiikan uudet toimet ja keinot) -hankeyhteistyön Mela-mallin kanssa (Koljonen ym. 2025a, 2025b) ei ole tässä yhteydessä pystytty tarkemmin arvioimaan.

Monsu-malli simuloi talousmetsien käytön kokonaishiilitasetta, kun taas kasvihuonekaasuinventaario kattaa talousmetsien lisäksi myös metsien olemassa olevat suojelualueet. Suojelualueiden kokonaishiilitaseesta ei kuitenkaan ole ajantasaista arviota (Mikola 2025). Arvio on olemassa ainoastaan Metsähallituksen hallinnoimista suojelualueista, joiden kokonaishiilitaseen arvioitiin vuonna 2024 olevan noin −2,8 Mt nettonielu (Metsähallitus 2025).

Tässä työssä esitettyjen hakkuumäärien vaikutukset metsien kokonaishiilitaseeseen perustuvat osin KEITO-hankeyhteistyön tuloksista (Koljonen ym. 2025a, 2025b) johdettuihin arvioihin, jotka on esitetty liitteessä 1. Sekä Monsu- että Mela-mallien simulointitulokset koskevat kymmenvuotisjaksoja, joiden perusteella on ekstrapoloitu Suomen vuoden 2030 maankäyttösektorin EU-velvoitteen täyttämistä ja vuoden 2035 hiilineutraaliustavoitteen saavuttamista. Tämä tuo mukanaan epävarmuuksia, minkä vuoksi tulosten tarkastelussa on huomioitu myös Suomen ilmastopaneelin yksinkertaiseen malliin perustuva arvio (Seppälä ym. 2025). Se perustuu toteutuneiden runkopuun hakkuiden ja kasvihuonekaasuinventaarion tulosten väliseen suhteeseen. Arvion mukaan hakkuiden vähentäminen vuoteen 2030 mennessä vahvistaa metsänielua eli metsien kokonaishiilitasetta keskimäärin −1,86 Mt CO_2-ekv. jokaista runkopuun hakkuissa vähennettyä miljoonaa kuutiometriä kohden (Suomen ilmastopaneeli 2025a). KEITO-hankeyhteistyön tulosten perusteella hakkuiden nielun heikkenemisvaikutus on samaa suuruusluokkaa, noin 1,8 Mt jokaista miljoonaa runkopuun hakkuukuutiometriä kohden vuoteen 2035 mennessä (Koljonen ja Silfver 2025).

Kuten edellä todettiin, KEITO-hankeyhteistyön skenaariotarkastelut on pyritty tekemään siten, että niiden laskentamenetelmä on yhtenäinen keväällä 2025 julkistetun kasvihuonekaasuinventaarion kanssa (Tilastokeskus 2025b). Joulukuussa 2025 julkaistut maankäyttösektorin tiedot poikkeavat kuitenkin kevään 2025 inventaariotiedoista. Laskentamenetelmiä on päivitetty ja laskennassa on hyödynnetty aiempaa parempia lähtöaineistoja (Luonnonvarakeskus 2025e). Uudessa arviossa vuoden 2023 metsien kokonaishiilitase noin 73 Mm^3 vuosihakkuilla (nimenomaan elävän biomassan osalta) on noin −4,5 Mt parempi verrattuna keväällä 2025 julkaistuihin tietoihin. Vuosina 2010–2012, jolloin hakkuut olivat keskimäärin noin 60 Mm^3 vuodessa, metsämaan keskimääräinen nielu vuodessa on joulukuussa 2025 julkaistujen tietojen mukaan noin −10 Mt suurempi verrattuna edellisen inventaarion tietoihin. Tämän takia tässä työssä tehdään KEITO-laskelmien tuloksiin vastaavat tasokorjaukset eri hakkuutasoilla eli −10 Mt (60 Mm^3/v), −5 Mt (70 Mm^3/v) ja −4 Mt (80 Mm^3/v).

Puutuotteiden hiilitaseen simulointi eri vuosina Monsu- ja Mela-malleissa perustuu samanlaiseen laskentaan, mutta mallien väliset erot puutuotevaraston koossa ja tuotejakaumassa laskennan lähtötilanteessa vaikuttavat tuloksiin. Lähtötilanteiden erolla ei ole kuitenkaan vaikutusta tulosten tulkintaan, silloin kun verrataan Monsu-mallin suhteellisia eroja eri hakkuuskenaarioiden kesken. Absoluuttisen puutuotenielun arvioinnissa KEITO-hankeyhteistyön tulokset ovat kuitenkin paremmin vertailukelpoisia kasvihuonekaasuinventaarion tulosten kanssa. Koska KEITO-hankeyhteistyön pitkän aikavälin ilmastosuunnitelman taustaselvityksen skenaarioissa (Koljonen ym. 2025b) on kuitenkin käytetty jo vuodesta 2025 lähtien nykytilanteesta poikkeavia oletuksia pitkäkestoisten tuotteiden määrästä, työssä on tukeuduttu eri hakkuutason puutuotteiden hiilitasearvioissa vuonna 2030 ja 2035 Suomen ilmastopaneelin selvityksen arvioihin (Seppälä ym. 2025, Suomen ilmastopaneeli 2025a).

Arvioinnissa otetaan huomioon lisätoimien mahdolliset vaikutukset Suomen ilmastopaneelin (2025a) arvioiden mukaisesti. Kun tarkastellaan metsänielujen nettotuloksen riittävyyttä Suomen maankäyttösektorin vuoden 2030 EU-velvoitteen täyttämiseksi ja kansallisen vuoden 2035 hiilineutraaliustavoitteen saavuttamiseksi, muiden sektorien ilmastotoimien kehitystä on tarkasteltu KEITO-hankeyhteistyön politiikkaskenaarion (Koljonen ym. 2025a) ja Suomen ilmastopaneelin (2025a) selvityksen perusteella.

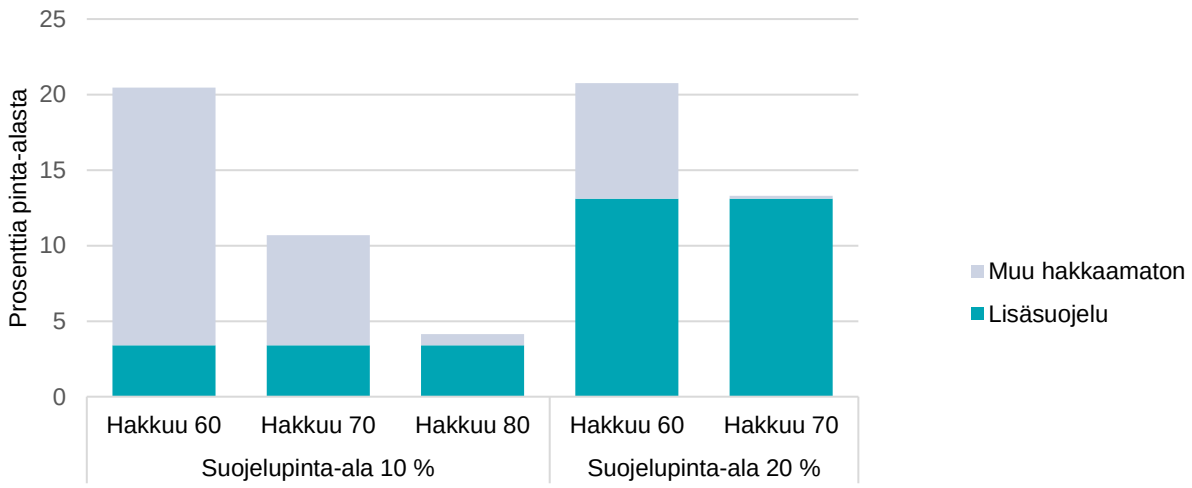
4 TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU

4.1 TOTEUTUVAT HAKKUUMÄÄRÄT JA PUUNTUOTANTO

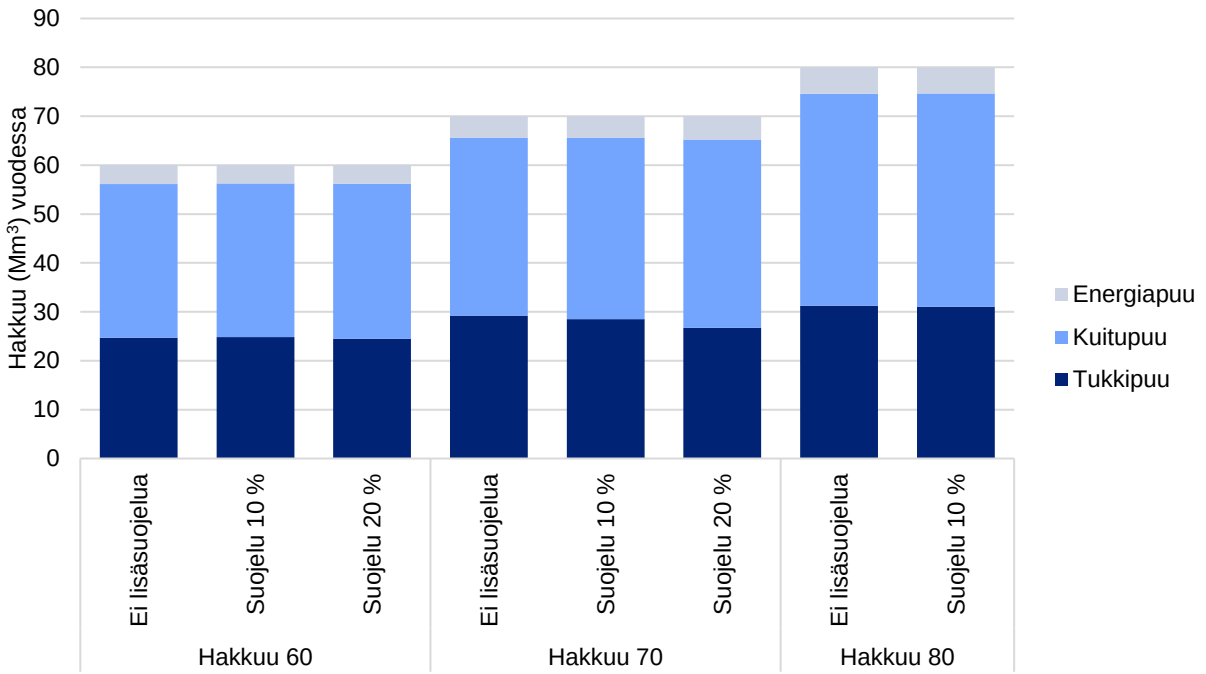
Luonnonvarakeskuksen mukaan suurin puuntuotannollisesti ylläpidettävissä oleva runkopuun hakkuutaso on 79,8 Mm^3/vuosi meneillään olevalla kymmenvuotiskaudella eli vuosina 2019–2028 (Luonnonvarakeskus 2023b). Monsu-mallilla 80 Mm^3 vuotuinen hakkuutaso saavutettiin tilanteissa, joissa ei ollut lisäsuojelua tai joissa suojeltavan metsämaan ala laajennettiin Etelä- ja Keski-Suomen talousmetsissä 10 prosenttiin. Tällöin hakkuut eivät mallissa johtaneet puuston määrän vähenemiseen. Kun tiukasti suojellun metsämaan metsien pinta-ala kasvatettiin 20 prosenttiin, vuosittaista 80 Mm^3:n hakkuutasoa ei voitu ylläpitää.

Skenaarioiden mukaisia hakattavia ja hakkaamattomia pinta-aloja havainnollistetaan kuvassa 3. On syytä korostaa, että laskelmassa hakkuut valittiin optimaalisesti simuloitujen käsittelyvaihtoehtojen joukosta. Reaalimaailman metsätaloudessa hakkuiden ajoitus ja voimakkuus kuitenkin voivat poiketa paljonkin siitä, mikä olisi valtakunnallisten hakkuutavoitteiden kannalta optimaalista (Heinonen ym. 2020).

Kuvan 3 tulokset osoittavat, että 60 Mm^3 vuotuisilla hakkuumäärillä hakkuiden ulkopuolelle jäi runsaasti muutakin metsää kuin uudet suojelumetsät. Samoin kävi skenaariossa, jossa hakattiin 70 Mm^3 ja suojeltua pinta-alaa kasvatettiin 10 prosenttiin.



Kuva 3: Hakkaamattomien metsien osuus metsämaan talousmetsissä 60, 70 ja 80 Mm^3/v -hakkuuskenaarioissa, kun suojeltu pinta-ala laajennetaan joko 10 tai 20 prosenttiin kaikkien kolmen alueen talousmetsien metsämaan metsissä (ks. tarkemmin luku 3.3.2). Hakkuiden ollessa 80 Mm^3 talousmetsien metsämaan suojelupinta-alan nostoa 20 prosenttiin ei voitu toteuttaa koska jäljelle jääneissä talousmetsissä ei pystytty toteuttamaan hakkuita puutuotannollisesti ylläpidettävällä tavalla.



Kuva 4: Eri puutavaralajien saanto 60, 70 ja 80 Mm^3/v -hakkuuskenaarioissa, kun suojeltua metsämaan metsien pinta-alaa ei laajenneta tai se laajennetaan joko 10 tai 20 prosenttiin kaikkien kolmen alueen talousmetsien metsämaalla (ks. tarkemmin luku 3.3.2). Hakkuiden ollessa 80 Mm^3 suojelupinta-alaa ei voida kasvattaa 20 prosenttiin.

Kuvassa 4 näkyy, kuinka eri hakkuuskenaarioilla ja suojelutasoilla saatiin tukki-, kuitu- ja energiapuuta. Korkeammilla eli 70 ja 80 Mm^3 vuotuisilla hakkuutasoilla suojelun lisääminen pienensi tukkipuun hakkuukertymää. Monsu-mallilla vuotuinen ainespuun eli kuitu- ja tukkipuun saanto oli selvästi suurempi esimerkiksi 70 Mm^3 hakkuutasolla kuin vastaavalla tilastoidulla runkopuun hakkuukertymällä (Luonnonvarakeskus 2025b), koska Monsu-mallissa hakkuu perustuu markkinahakkuuseen (ks. luku 3.1). Esimerkiksi vuosina 2016, 2020 ja 2023 runkopuun tilastoidut hakkuukertymät olivat Suomessa keskimäärin 70,6 Mm^3 (70,3, 68,9 ja 72,7 Mm^3), ja tästä kuitupuuta saatiin keskimäärin 34 Mm^3/v ja tukkipuuta 26 Mm^3/v. Monsu-mallissa ainespuun määrä oli 70 Mm^3:n hakkuutasolla keskimäärin 5 Mm^3 suurempi (kuitupuu +3 Mm/v ja tukkipuu +2 Mm^3/v). Vastaavasti energiarunkopuuta hakattiin Monsu-mallissa noin 5 Mm^3 vähemmän vuodessa kuin mitä sitä hakattiin keskimäärin noina kolmena vuonna (noin 10 Mm^3 vuodessa).

Skenaariolaskelmissa optimointi määräsi hakkuiden maantieteellisen sijoittumisen. Optimointien mukaan hakkuiden tuli painottua aluksi Etelä- ja Keski-Suomeen. Tämä voi muodostua metsien uhanalaisille lajeille ja luontotyypeille haitalliseksi, ellei suojelun kohdentamisessa onnistuta, sillä uhanalaisuutta on eniten juuri eteläisessä Suomessa (Kouki ym. 2018, Hyvärinen ym. 2019). Hiilitaseen näkökulmasta Luonnonvarakeskuksen uusimmat maakuntakohtaiset tulokset (Luonnonvarakeskus 2025d) osoittavat, että Etelä- ja Keski-Suomessa metsät ovat kääntyneet päästölähteiksi Pohjanmaata ja Pohjois-Karjalaa lukuun ottamatta. Näissä kahdessa maakunnassa ja Kainuussa metsien kokonaishiilitase on lähellä nollaa. Ainoastaan Lapissa metsät ovat selkeä, joskin pienenevä nielu. Pohjois-Suomen optimaalinen hakkuupoistuma oli skenaariolaskelmissa aluksi pieni, mutta suureni vähitellen. Skenaariolaskelmien mukaan Pohjois-Suomen metsien hakkuumäärien lisääminen lähivuosina ei olisi optimaalista, vaan hakkuumääriä täytyisi pikemminkin vähentää. Pohjois-Suomen metsien hakkuita olisi mahdollista lisätä vasta 20–30 vuoden päästä.

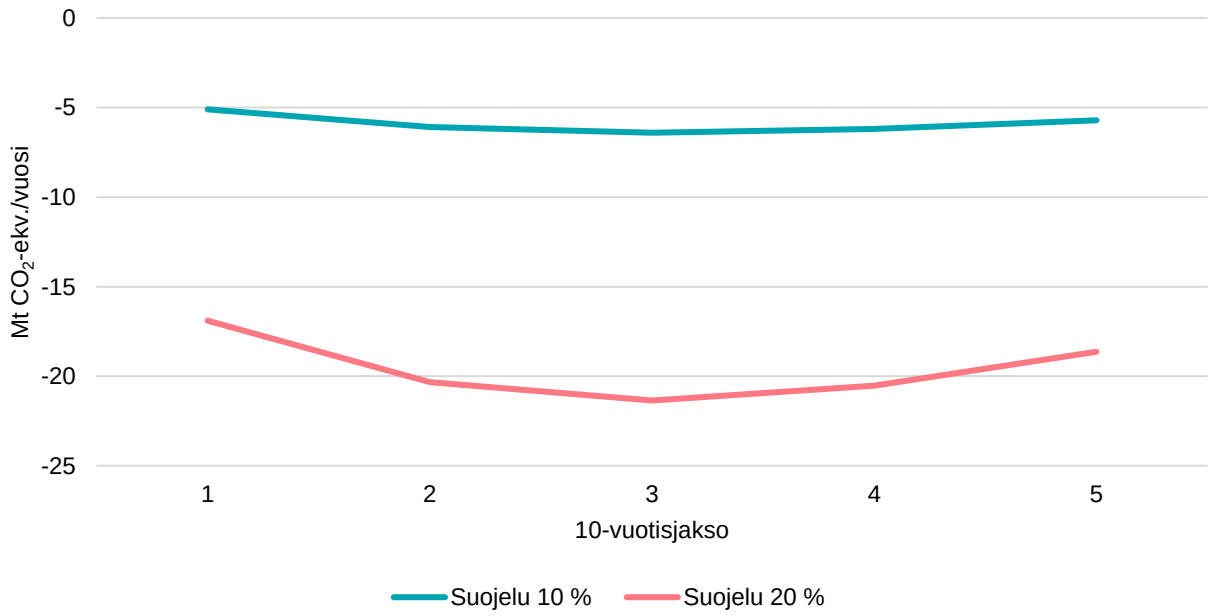
4.2 VAIKUTUKSET SKENAARIOTARKASTELUIHIN SISÄLTYVIEN METSIEN KÄYTÖN KOKONAISHIILITASEESEEN

Tämän työn skenaariotarkasteluihin sisältyvien metsien käytön kokonaishiilitase koostuu lisäsuojelualueiden, eli suojelun piiriin talouskäytöstä otettavien metsien, ja talouskäyttöön jäävien metsien päästöistä ja nieluista. Lisäksi mukana on puutuotteiden hiilitasevaikutukset. Suojelualueiden kokonaishiilitase ei riipu hakkuumääristä, mutta talousmetsien kokonaishiilitase riippuu niihin kertyvän hiilen ja hakkuiden myötä poistuvan hiilen erotuksesta sekä metsäojitettujen turvemaiden maaperän muista kasvihuonekaasupäästöistä (metaani ja typpioksiduuli).

Luvuissa 4.2.1–4.2.3 esitetään tarkasteluun sisältyvien Etelä-Suomen, Keski-Suomen ja Pohjois-Suomen metsämaan metsien kokonaishiilitaseen tulokset yhteensä eli koko Suomen tasolla. Suojeluskenaarioiden tulosten tulkinnassa tulee huomata, että ne sisältävät vain uusien lisäsuojelualueiden kehityksen, eivät koko 10 tai 20 prosentin suojelualan tilannetta ja lisäsuojeltavat alueet otetaan nykyisistä talouskäytössä olevista metsämaan metsistä. Simuloinnissa ei pystytty arvioimaan metsänielun kehitystä nykyisillä suojelualuilla, minkä vuoksi nielu arvioitiin vain lisäsuojelualueille. Tulokset on esitetty pääsääntöisesti tarkastelujen kymmenvuotisjaksojen keskiarvona. Ensimmäinen kymmenvuotisjakso alkaa vuodesta 2025.

4.2.1 Lisäsuojelualueiden kokonaishiilitaseen kehitys

Kuvassa 5 raportoidaan kansallinen lisäsuojelualueiden nielu tilanteessa, jossa suojeltu osuus talouskäytössä olevista metsämaan metsistä laajennetaan 10 tai 20 prosenttiin. Suojelualueilla kokonaishiilitase muodostuu puuston nettokasvun tuomasta nielusta sekä maaperään sitoutuneen hiilivaraston muutoksesta, johon vaikuttavat puustosta tuleva karikesyöte ja luontainen hajotustoiminta. Lisäksi kokonaishiilitaseeseen vaikuttavat ojitettujen suometsien hiilidioksidi-, metaani- ja typpioksiduulipäästöjen erot eri skenaarioissa.

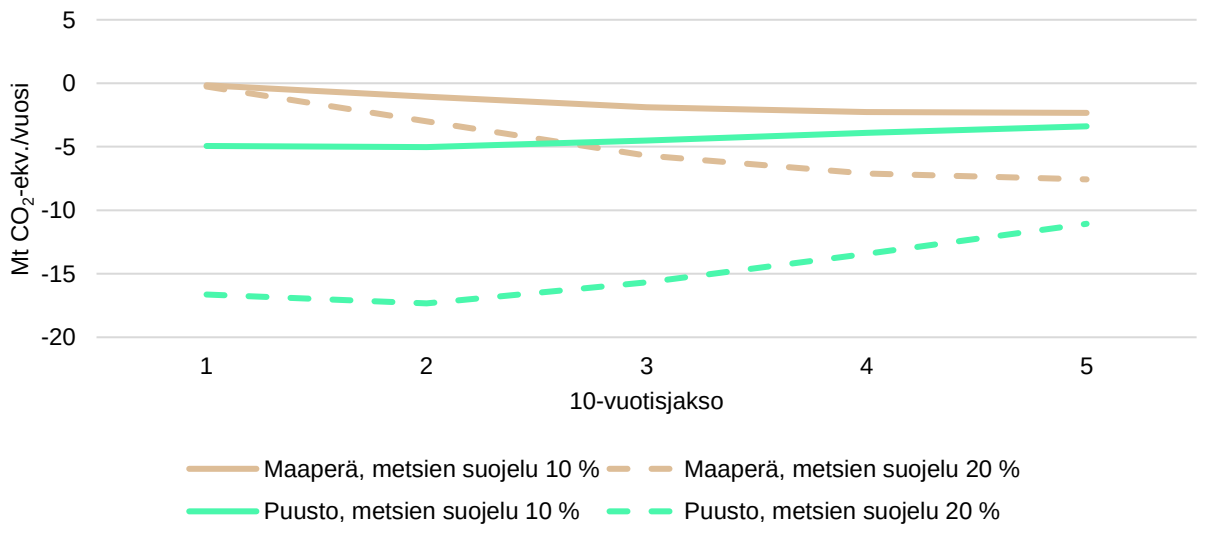


Kuva 5: Lisäsuojelualueiden kokonaishiilitaseen kehitys 10-vuotisjaksoissa koko Suomessa, kun talousmetsissä metsämaalla suojelupinta-alaa kasvatetaan Etelä- ja Keski-Suomessa 4 prosentista 10 ja 20 prosenttiin ja Pohjois-Suomessa 11,6 prosentista 20 prosenttiin.

Maaperän hiilivaraston kehitykseen ja varsinkin ojitettujen suometsien päästöihin liittyy suuria epävarmuuksia. Suojelun piiriin otetuissa metsissä ojitettuja turvemaametsiä ei todennäköisesti ole vastaavia määriä kuin talousmetsissä keskimäärin. Tämän vuoksi kuvassa 6 esitetään lisäsuojelualueiden puuston ja maaperän kasvihuonekaasupäästöjen ja nielujen kehitys 10 ja 20 prosentin suojelutilanteessa. Kymmenen prosentin suojeluskenaariossa puuston hiilinielu alkaa pienentyä noin 20 vuoden kuluttua. Hiilinielu vahvistuu kokonaisuudessaan maaperän hiilinielun voimistumisen seurauksena noin 30 vuotta, jonka jälkeen se heikkenee hitaasti, kun puuston hiilinielu alkaa heiketä nopeammin kuin maaperän hiilinielu kasvaa (kuva 5). Kun suojelua laajennetaan 20 prosenttiin, suojelualueiden puuston ja maaperän hiilinielujen kehityksen muoto on samankaltainen kuin 10 prosentin suojeluskenaariossa. Kuitenkin niin puuston kuin maaperänkin nielu on kolminkertainen verrattuna 10 prosentin suojelun nieluun. Tämä johtuu siitä, että 20 prosentin suojeluskenaariossa Etelä- ja Keski-Suomessa suojelupinta-ala kasvaa 2,7-kertaisesti ja koko Suomessa 3,8-kertaisesti 10 prosentin suojeluskenaarioon verrattuna.

Kuvassa 5 esitetyn kaikkien skenaariotarkasteluun sisältyvien koko maan lisäsuojelualueiden kokonaiskehityksen lisäksi voidaan todeta, että Etelä- ja Keski-Suomen lisäsuojelualueiden metsät ovat voimistuva nettonielu koko 50 vuoden tarkastelujaksolla, kun suojelualaa lisätään noin 4 prosentista 10 prosenttiin siten, että lisäsuojelu toteutetaan talousmetsien metsämaalla. Kuten edellä todettiin, suojelualan kasvattaminen 20 prosenttiin koko maassa merkitsisi Etelä- ja Keski-Suomessa tiukasti suojeltujen suojelupinta-alojen 2,7-kertaistumista 10 prosentin skenaarioon nähden, mikä selittää valtaosan kasvavasta kuvan 5 nielusta. Vaikka Etelä- ja Keski-Suomen lisäsuojeltujen talousmetsien metsämaan pinta-alat ovat samaa suuruusluokkaa (ks. luku 3.3.2 taulukko 2), Etelä-Suomen lisäsuojelualueiden metsänielun rooli olisi Keski-Suomen vastaavaa nielua merkittävämpi seuraavan 50 vuoden aikana parempien kasvuolosuhteiden takia.

Tarkastelun perusteella metsäluonnon monimuotoisuuden edistäminen suojelupinta-aloja kasvattamalla lisää huomattavasti suojeltujen metsien hiilinielua. Sama johtopäätös on tehty aikaisemminkin (Lehtonen ym. 2021). Suomen metsien kokonaishiilitaseeseen vaikuttaa kuitenkin suojeltujen ja talousmetsien kokonaisuus. Talousmetsien hakkuut ja hoito vaikuttavat huomattavasti suurempien pinta-alojen kautta metsien kokonaishiilitaseeseen suojelualueiden kasvavaa nielua enemmän.



Kuva 6: Lisäsuojelualueiden puuston ja maaperän hiilinielujen kehitys 10-vuotisjaksoissa koko Suomessa, kun talousmetsissä metsämaalla suojelupinta-alaa kasvatetaan Etelä- ja Keski-Suomessa 4 prosentista 10 ja 20 prosenttiin ja Pohjois-Suomessa 11,6 prosentista 20 prosenttiin.

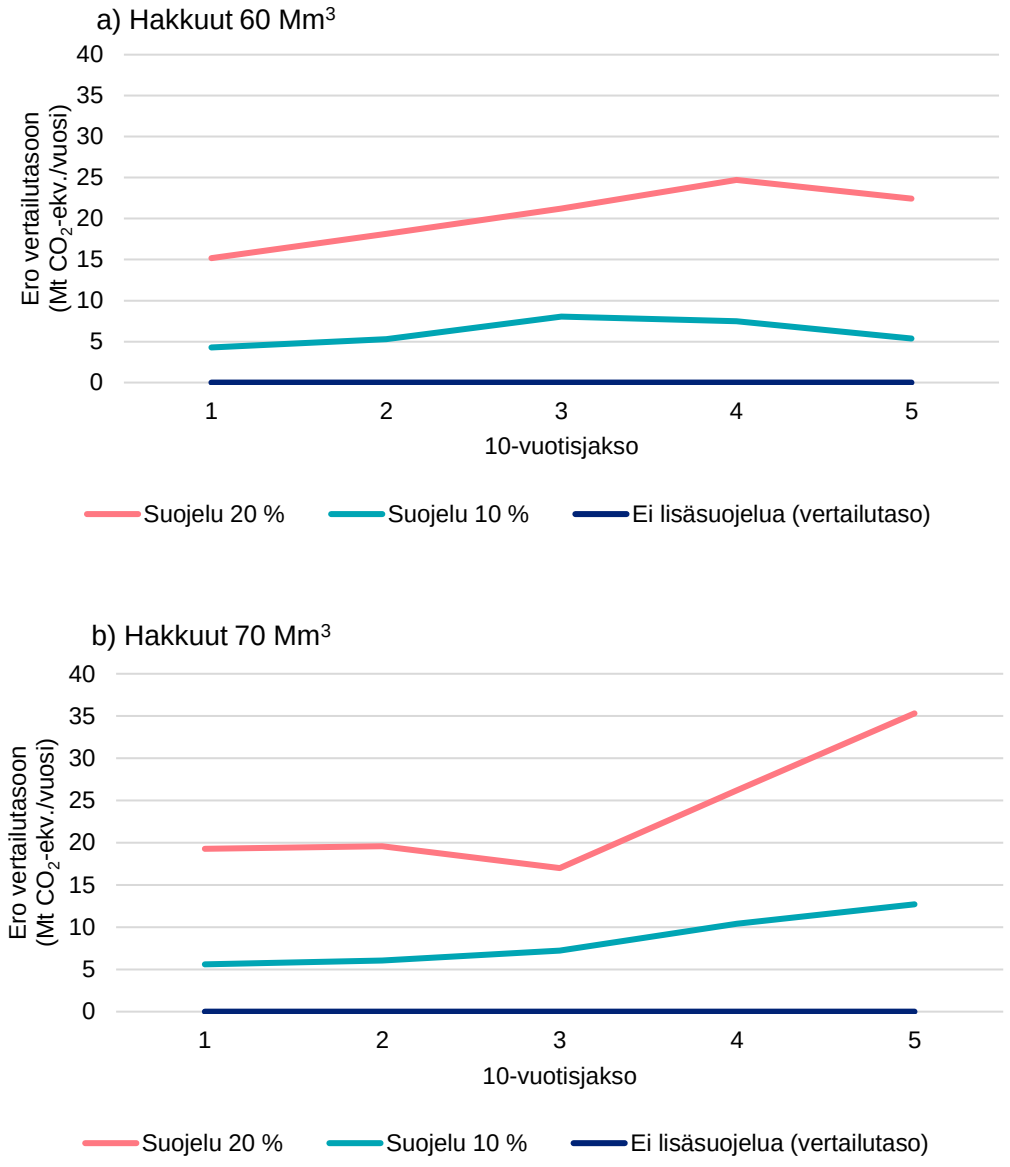
4.2.2 Talouskäyttöön jäävien metsien käytön kokonaishiilitaseen kehitys

Kuvissa 7a ja b esitetään suojelupinta-alan laajentamisen vaikutukset talouskäyttöön jäävien metsien käytön kokonaishiilitaseen (puusto + metsien maaperä + puutuotteet) vuosittaisilla 60 Mm^3 ja 70 Mm^3 hakkuutasoilla verrattuna siihen, että suojelua ei lisättäisi. Suojeluskenaarioissa Etelä- ja Keski-Suomen metsien suojelupinta-alaa kasvatetaan noin 4 prosentista 10 tai 20 prosenttiin talousmetsien metsämaalla ja Pohjois-Suomen metsämaan metsien suojelualaa kasvatetaan 11,6 prosentista 20 prosenttiin.

Tulosten tulkinnassa pitää ottaa huomioon, että talouskäyttöön jäävien metsien pinta-alat ovat erilaisia eri suojeluskenaarioissa. Simuloinnissa talousmetsien pinta-ala oli 19,4 miljoonaa hehtaaria. Jos suojelupinta-alaa laajennetaan kaikilla kolmella alueella 10 prosenttiin, koko maassa talouskäyttöön jäävien metsien pinta-ala pienenee 0,7 miljoonaa hehtaaria. Kun suojelupinta-alaa laajennetaan 20 prosenttiin, vastaava talouskäyttöön jäävä pinta-ala pienenee 2,5 miljoonaa hehtaaria.

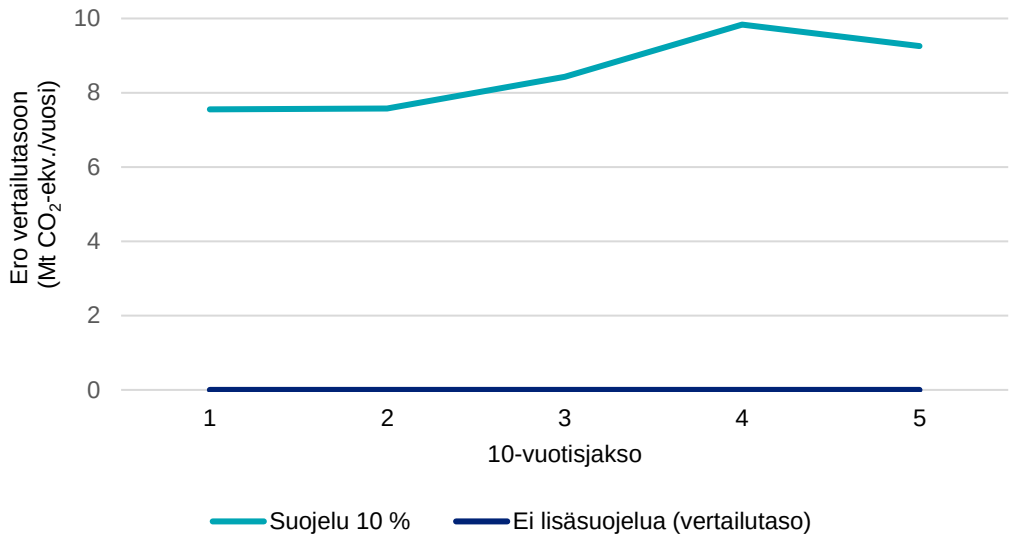
Kun hakkuut ovat 60 Mm^3 vuodessa ja suojelualaa lisätään Etelä- ja Keski-Suomessa 10 prosenttiin talousmetsien metsämaalla, talousmetsän pinta-ala ja sen hakkaamattomien alueiden määrä supistuvat (katso kohta 4.1, kuva 3). Toisin sanoen hakkuutason ylläpito suojelua lisättäessä johtaa intensiivisempään talousmetsien käyttöön. Tämän takia jo 10 prosentin suojelutaso heikentää talousmetsien kokonaishiilitaseen nettotulosta talousmetsien supistumista enemmän. Tämä näkyy kuvassa 7a kokonaishiilitaseen heikentymisenä ensimmäisten 30–40 vuoden tarkastelujaksojen ajan. Kun hakkuumäärä pidetään samana, tase heikkenee edelleen laajennettaessa suojelupinta-alaa 20 prosenttiin.

Kun hakkuut ovat 70 Mm^3 vuodessa (kuva 7b), talousmetsien käsittely muuttuu intensiivisemmäksi metsien suojelualan kasvaessa, koska hakkuutuotot joudutaan keräämään aiempaa pienemmältä talousmetsien pinta-alalta, ja mallissa kaikki hakkuukypsät metsät siirtyvät aktiivisen metsänkäsittelyn piiriin. Tämän vuoksi talousmetsien käytön kokonaishiilitaseen tulos heikkenee suojelualan kasvaessa koko tarkastelujakson ajan. Hakkuutason ylläpitäminen 70 Mm^3 vuosittaisella tasolla suojelupinta-alan kasvaessa heikentää talousmetsien hiilitasekehitystä selvästi enemmän kuin 60 Mm^3 hakkuutasolla, erityisesti lähestyttäessä tarkastelujakson loppua.



Kuva 7: Talouskäyttöön jäävien metsien käytön kokonaishiilitaseen suhteellinen muutos vertailutasoon nähden (suojelupinta-alaa ei kasvateta), kun suojelua lisätään ja vuosittainen hakkuutaso on (a) 60 Mm^3 ja (b) 70 Mm^3. Positiivinen luku kertoo, että kokonaishiilitase heikkenee verrattuna tilanteeseen, jossa suojelupinta-alaa ei kasvateta. Suojeluskenaarioissa talousmetsissä metsämaalla suojelupinta-alaa kasvatetaan Etelä- ja Keski-Suomessa 4 prosentista 10 ja 20 prosenttiin ja Pohjois-Suomessa 11,6 prosentista 20 prosenttiin.

Jos hakkuutaso kasvaa pysyvästi 80 Mm^3 vuodessa, talousmetsien puusto ja maaperä olisivat päästölähde, ja tilanne jatkuisi vuosikymmeniä samana (katso kohta 4.2.4, kuva 11). Kuvassa 8 on esitetty simuloinnin tulos, jossa vuosittaisen 80 Mm^3 hakkuutavoitteen rinnalla Etelä- ja Keski-Suomen talousmetsien metsämaan suojelualaa kasvatetaan noin 4 prosentista 10 prosenttiin. Tuloksena olisi, että metsien käytön kokonaishiilitase (puutuotteet mukaan lukien) heikkenisi tarkastelujakson alussa lähes 8 Mt vuodessa ja heikkeneminen voimistuisi tarkastelujakson aikana. Skenaariota, jossa metsämaan metsien suojeluala olisi kaikilla kolmella tarkastellulla alueella 20 prosenttia, ei pystytä toteuttamaan vuosittaisella 80 Mm^3 hakkuutasolla.

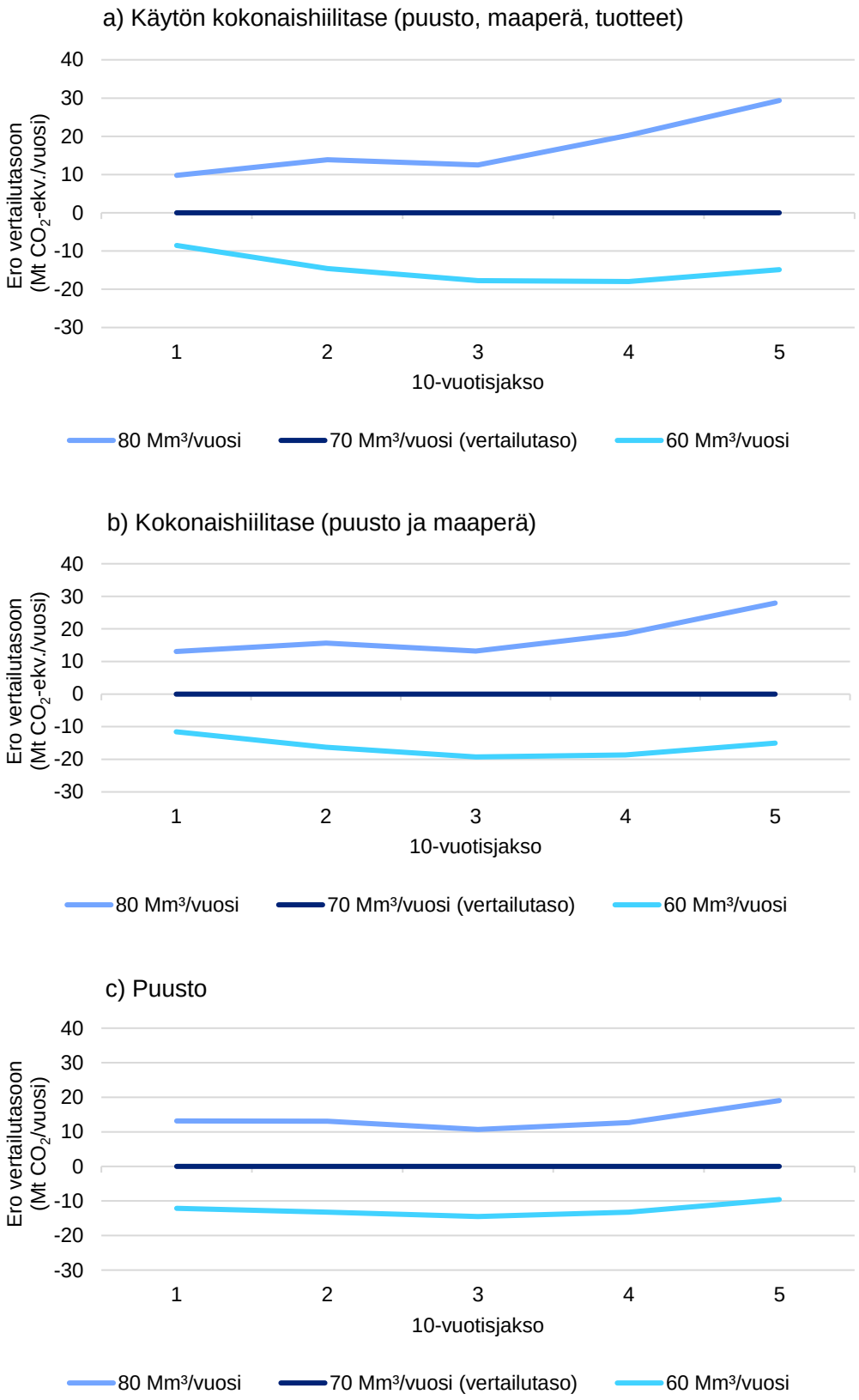


Kuva 8: Talouskäyttöön jäävien metsien käytön kokonaishiilitaseen suhteellinen muutos vertailutasoon nähden (suojelupinta-alaa ei kasvateta) jos suojelua lisätään 10 prosenttiin, ja vuosittainen hakkuutaso on 80 Mm^3. Positiivinen luku kertoo, että kokonaishiilitase heikkenee verrattuna tilanteeseen, jossa suojelupinta-alaa ei kasvateta. Suojeluskenaariossa talousmetsissä metsämaalla suojelupinta-alaa kasvatetaan Etelä- ja Keski-Suomessa 4 prosentista 10 prosenttiin.

4.2.3 Lisäsuojelualueiden ja talouskäyttöön jäävien metsien käytön kokonaishiilitaseen kehitys

Keskeisiä Monsu-mallin tuottamia arvioita olivat talousmetsien käytön kokonaishiilitase ilman lisäsuojelua ja taseet tilanteissa, joissa suojelupinta-alaa kasvatetaan talousmetsien metsämaalla 10 tai 20 prosenttiin. Jälkimmäisissä tilanteissa siis tarkasteltiin lisäsuojelualueiden ja talouskäyttöön jäävien metsien käytön kokonaishiilitaseen yhteisvaikutusta samalla metsäalueella, joka on ilman lisäsuojelua tehdyn tarkastelun lähtökohtana (nykyisen metsätalousmaan metsämaan metsät). Tarkastelun rajauksista on hyvä huomata, että tässä työssä tehty simulointi ei käsittele nykyisten puunhankinnan ulkopuolella olevien suojelualueiden hiilitaseen tilaa ja kehitystä.

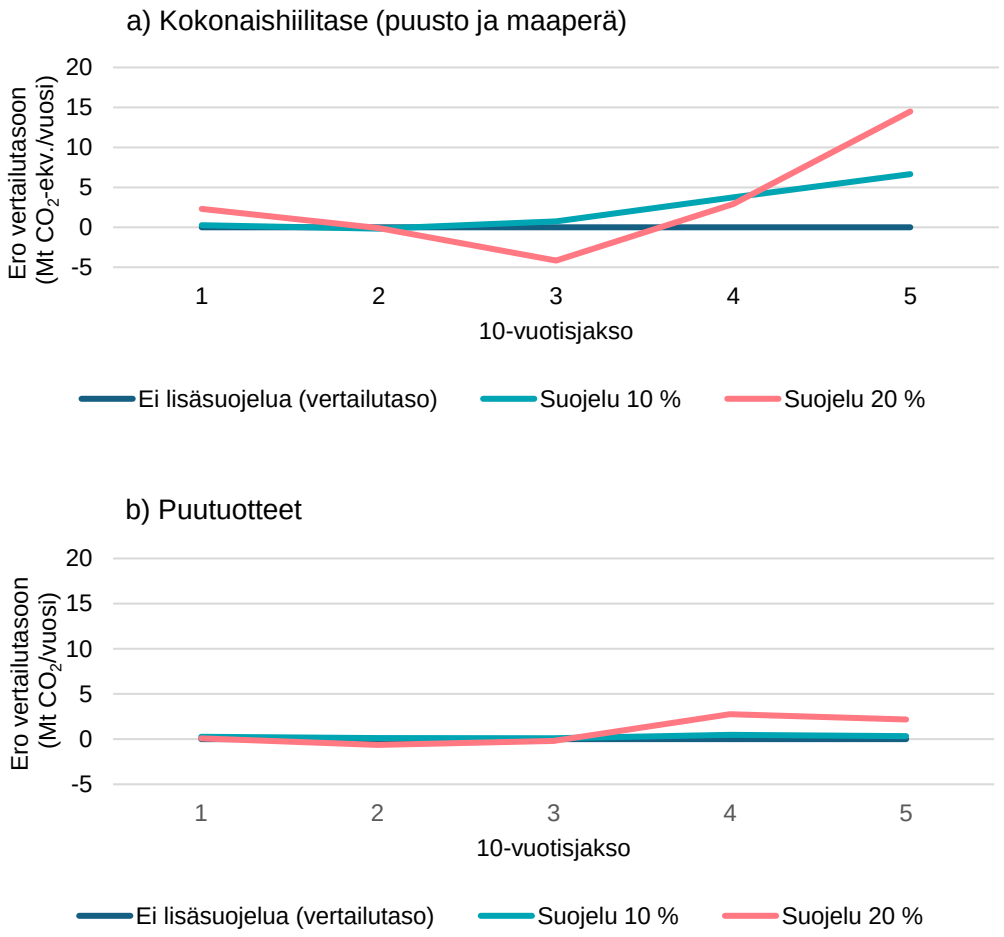
Kuvassa 9 esitetään talouskäytössä olevien metsien käytön kokonaishiilitaseen muutos hakkuuskenaarioilla 60 ja 80 Mm^3 vuodessa verrattuna 70 Mm^3 hakkuisiin tilanteessa, jossa suojelupinta-alaa ei lisätä. Skenaariotarkastelu osoittaa saman kuin aiemmatkin metsien hakkuiden vaikutusten pitkäaikaissimuloinnit (Kalliokoski ym. 2019, Seppälä ym. 2022): mitä alhaisempi hakkuutaso on, sitä vähemmän kasvihuonekaasupäästöjä muodostuu koko 50 vuoden tarkastelujaksolla. Tulos säilyy samana, katsottiinpa metsien talouskäytön (tuotteet + puusto + maaperä; kuva 9a), metsämaan (puusto + maaperä; kuva 9b) tai pelkästään puuston (kuva 9c) kokonaishiilitaseen kehitystä. Todettakoon, että maaperän hiilitaseen kehitys on skenaarioiden epävarmin osa-alue, mutta sen merkitys lopputuloksessa on vähäisempi kuin puuston (kuvat 9b ja 9c). Hakkuut kasvattavat puutuotenielua, mutta nykyisellä tuotevalikoimalla sen kasvu ei riitä lähellekään kompensoimaan puuston ja maaperän heikentyvää kehitystä, kuten kuvasta 9a näkyy.



Kuva 9: Talouskäytössä olevien metsämaan metsien käytön kokonaishiilitaseen kehitys 60 Mm^3 ja 80 Mm^3 vuotuisessa hakkuuskenaarioissa verrattuna 70 Mm^3 skenaarioon, kun suojelupinta-alaa ei lisätä. Kuvassa 9a on esitetty metsien käytön kokonaishiilitaseen kehitys, joka huomioi puutuotteiden, puuston ja maaperän yhteenlasketun vaikutuksen. Kuvassa 9b esitetään puuston ja metsämaan maaperän yhteenlaskettu hiilitaseen kehitys. Kuva 9c sisältää vain puuston kasvihuonekaasujen kehityksen.

Kun vuotuiset hakkuut ovat 70 Mm^3, suojelupinta-alan kasvattaminen 10 prosenttiin Etelä- ja Keski-Suomessa ei 30 ensimmäisen vuoden aikana juuri muuta tulosta verrattuna siihen, että suojelua ei lisätä (kuva 10a). Tällöin suojeluun siirrettyjen metsien hiilinielujen kasvu kompensoi hakkuiden voimistumisen aiheuttaman talouskäyttöön jäävien metsien hiilinielujen heikkenemisen. Suojeluun siirrettyjen metsien nielu kuitenkin heikkenee puuston ikääntyessä ja hakkuiden nielua pienentävät vaikutukset kasvavat ajan kuluessa aikaisempaa pienemmässä talousmetsien pinta-alassa. Näiden tekijöiden seurauksena talousmetsissä hiilinielut heikkenevät enemmän kuin suojelumetsien hiilinielut vahvistuvat 30 vuoden jälkeen. Metsämaan metsien suojelupinta-alan kasvattaminen kaikilla kolmella tarkastellulla alueella 20 prosenttiin johtaa kokonaishiilitaseen heikkenemiseen 40 vuoden jälkeen.

Kuva 10b osoittaa, että Monsu-mallin tuloksissa puutuotteiden nielu eroaa jonkin verran suojeluskenaarioiden välillä. Suojelupinta-alan laajentaminen 20 prosenttiin heikentää tukkipuun saantoa vuoden 2045 tienoilla, mikä näkyy pienempänä puutuotenieluna. Vastaavasti metsien käytön kokonaishiilitase heikkenee hieman tarkastelujakson lopussa (katso kuvien 10 a ja b yhteisvaikutus). Vastaavaa vaikutusta ei havaita, kun suojelun osuus kasvatetaan 10 prosenttiin. Silloin kokonaishiilitase ja puutuotteiden nielun sisältävä käytön kokonaishiilitase ovat käytännössä samanlaiset.

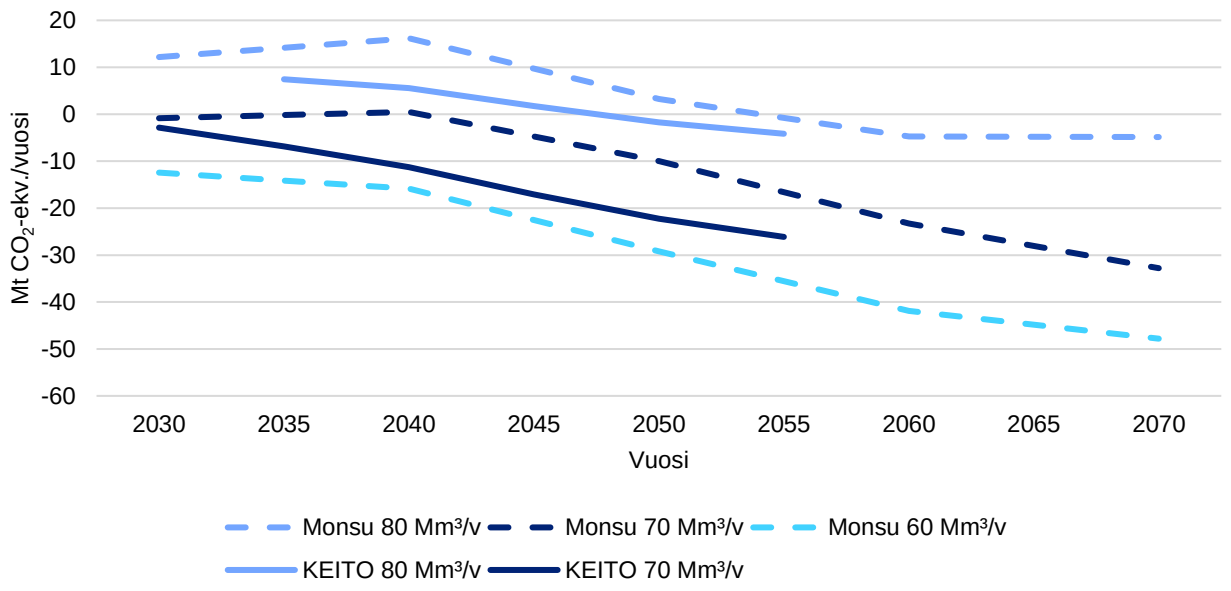


Kuva 10: Talousmetsien ja niistä suojelun piiriin otettujen metsien (a) kokonaishiilitaseen ja (b) puutuotenielun suojeluskenaarioiden erot vertailutasoon (suojelupinta-alaa ei kasvateta), kun hakkuut ovat 70 Mm^3 vuodessa. Suojeluskenaarioissa (Suojelu 10 % ja Suojelu 20 %) metsämaan metsien suojelupinta-alaa kasvatetaan Etelä- ja Keski-Suomessa 4 prosentista 10 ja 20 prosenttiin ja Pohjois-Suomessa 11,6 prosentista 20 prosenttiin talousmetsien metsämaalla. Ensimmäisen 10-vuotisjakson arvo vastaa melko lähellä vuoden 2030 arvoa ja siitä eteenpäin 10-vuotisjaksojen arvot kuvaavat likimäärin vuosien 2040, 2050, 2060 ja 2070 tilanteita.

4.2.4 Arvio ilmastotavoitteiden saavuttamisesta

EU:n vuoden 2030 maankäyttösektorin velvoitteen täyttämisen ja kansallisen vuoden 2035 hiilineutraaliustavoitteen saavuttamisen arvioimiseksi kuvassa 11 on esitetty Monsu-mallin ja KEITO-hankeyhteistyössä käytetyn Mela-mallin metsämaan (puusto ja maaperä) skenaariotulokset hakkuutasoilla noin 70 Mm^3 ja 80 Mm^3 vuodessa. KEITO-hankeyhteistyön tulokset kuvaavat pitkän aikavälin ilmastosuunnitelman taustaraportin “Suomi edellä” -skenaarion tuloksia (Koljonen ym. 2025b, Liite 1). Monsu-mallin tulokset puolestaan edustavat kymmenvuotiskausittain laskettuja tuloksia talouskäytössä olevissa metsämaan metsissä ilman lisäsuojelua, ensimmäisen kymmenvuotiskauden vastatessa vuosia 2025–2034. Ensimmäisen kymmenvuotiskauden tulos on asetettu vuoden 2030 arvoksi, ja seuraavat kymmenvuotiskaudet kuvaavat vuosien 2040, 2050, 2060 ja 2070 tilannetta. Viisivuotisarvot on johdettu kymmenvuotissarjojen keskiarvosta.

Monsu-mallin ja KEITO-hankeyhteistyön skenaariotulokset eroavat toisistaan alkuvuosikymmenten osalta huomattavasti. Lisäksi hakkuutasolla 70 Mm^3 vuodessa nielun vahvistuminen ajoittuu Monsu-mallilla tässä työssä laadituissa skenaarioissa noin kymmenen vuotta myöhemmäksi KEITO-hankeyhteistyön tuloksiin verrattuna. Malleissa on useita merkittäviä eroja esimerkiksi siinä, että toisin kuin KEITOssa, Monsussa ei otettu mukaan olemassa olevia suojelualueita eikä kitu- tai joutomaan metsiä. Erot heijastuvat esimerkiksi siihen, että ojitettujen turvemetsien päästöt olivat Monsun mukaan vuonna 2035 8,9 Mt, kun ne KEITOn mukaan olivat noin 15 Mt. Erot mallien kattavuudessa näkyvät myös puuston hiilitaseiden eroina. Myös metsänhoitotoimissa on tarkastelujen välillä eroja, mutta niitä ei ole pystytty tässä yhteydessä erittelemään tarkemmin. Lisäksi eroihin vaikuttaa se, että Monsussa hakkuumäärä vastaa markkinakelpoisen puun ja KEITOssa runkopuun hakkumäärää. Monsussa hakataan KEITO-hankeyhteistyön tarkasteluun verrattuna hieman enemmän ainespuuta (ks. luku 4.1), mikä voi olla yksi syy mallien tulosten eroille.



Kuva 11: KEITO-hankeyhteistyön ja Monsu-mallin tuloksia metsien kokonaishiilitaseen kehityksestä eri hakkuutasoilla. Kuvassa on esitetty KEITOn ”Markkinat edellä” (runkopuun hakkuut noin 80 Mm^3 vuodessa) ja “Suomi edellä”-skenaarion (runkopuun hakkuut noin 70 Mm^3 vuodessa) metsämaan metsien kokonaishiilitaseen kehittyminen vuosina 2030–2055 (Koljonen ym. 2025b). KEITO-hankeyhteistyössä skenaario laadittiin vuoteen 2055 saakka. Monsu-mallin metsätalouskäytössä olevien metsämaan metsien eri hakkuutasojen skenaariot hakkuutasoilla 60, 70 ja 80 Mm^3 vuodessa on esitetty vuosille 2030–2070 ilman lisäsuojelua. KEITOn tulokset koskevat kaikkia Suomen metsämaita (ml. suojelualueet), kun Monsu-mallissa ne edustavat vain talousmetsien metsämaan metsien tuloksia.

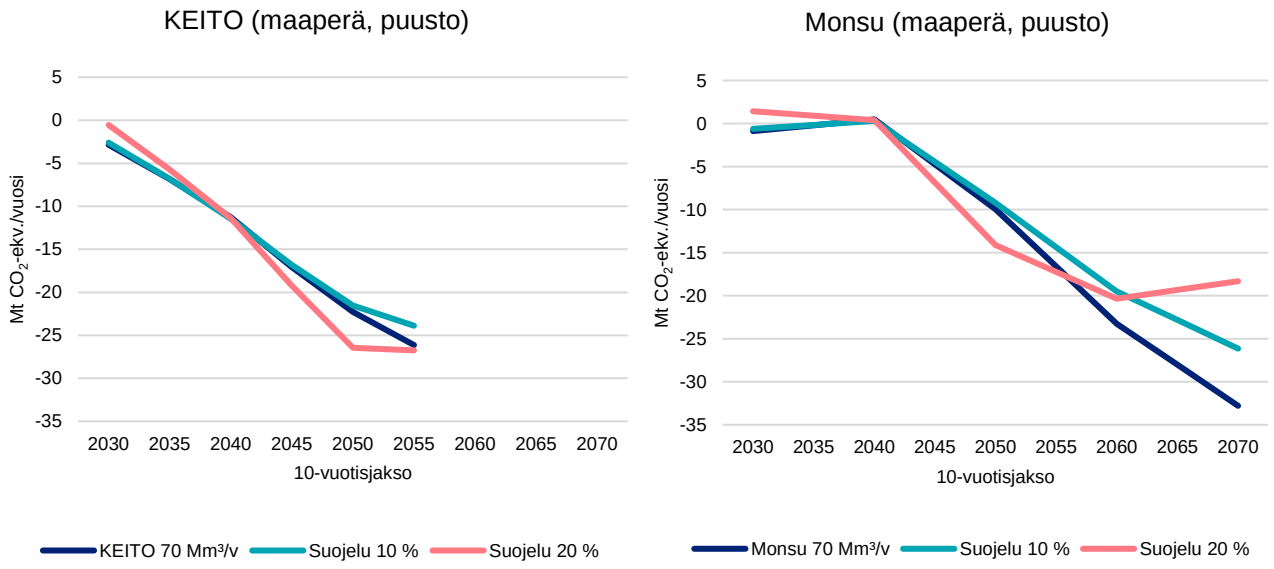
Taulukko 3: Monsu-skenaarioiden ja KEITO-hankeyhteistyön Mela-skenaarion väliset hiilitaseen heikennykset jokaista lisättyä runkopuuhakkuun miljoonaa kuutiometriä kohti eri ajanhetkinä (Mt CO_2-ekv. /Mm^3).

Mallin vertailuskenaariot Hakkuut (Mm^3) vuodessa	**2030**	**2035**	**2040**	**2045**	**2050**	**2055**
KEITO 70–80		1,46	1,62	1,81	1,97	2,11
Monsu 70–80	1,31	1,43	1,57	1,44	1,32	1,59
Monsu 60–70	1,15	1,39	1,63	1,78	1,93	1,39

KEITO-hankeyhteistyön tulokset kuvaavat pitkän aikavälin ilmastosuunnitelman taustaselvityksen “Markkinat edellä” -skenaarion tuloksia (Koljonen ym. 2025b, Liite 1), jossa ensimmäisen kymmenvuotisjakson (2019–2028) metsämaan tulokset vastaavat runkopuuhakkuuta 74 Mm^3 vuodessa. Tämän vuoksi KEITO-hankeyhteistyön 80 Mm^3 hakkuiden kokonaishiilitase on esitetty vuodesta 2035 alkaen. Monsu-malli antaa tässäkin skenaariossa, 70 Mm^3 vuotuisella hakkuutasolla, heikomman hiilitaseen, vaikka KEITO-hankeyhteistyön skenaariossa vuodesta 2029 lähtien hakkuut ovat hieman yli 80 Mm^3 vuodessa. Kuitenkin eri mallit tuottavat melko samansuuruisia arvioita metsien kokonaishiilitaseen heikkenemisestä miljoonaa hakkuukuutiometriä kohden, kun verrataan 70 ja 80 Mm^3 vuotuisen hakkuuskenaarion tuloksia saman mallin sisällä (taulukko 3). Hiilitasemuutokset miljoonaa hakkuukuutiometriä kohden osoittavat, että Monsu-mallin ja KEITO-hankeyhteistyön skenaarioiden väliset suhteelliset vertailut antavat samansuuntaisia tuloksia.

Sekä Monsu-mallinnuksen että KEITO-hankeyhteistyön skenaariot osoittavat, että mitä alhaisempana hakkuutaso pidetään, sitä suotuisampi on talousmetsien kokonaishiilitase (kuvat 11 ja 9). Metsien kokonaishiilitase kehittyy myönteisesti edettäessä 50-vuoden tarkastelujakson loppua kohden. Kehitys on myönteistä jopa hakkuutasolla 80 Mm^3 vuodessa. Mallien kuvaamassa kokonaishiilitaseessa on kuitenkin tasoero, ja niiden välillä on eroa ajankohdassa, jossa hiilinielut alkavat yhtäjaksoisesti paranemaan. Nämä erot aiheuttavat epävarmuutta tulosten tulkintaan etenkin lisäsuojelun vaikutusten ajoittumisessa metsien kokonaishiilitaseissa.

Kuvassa 12 on yhdistetty hakkuuskenaarion 70 Mm^3 vuodessa metsien kokonaishiilitaseen absoluuttiset arviot (kuva 11) sekä kuvan 10 tiedot suojelutason vaikutuksista. Koska työssä on lähdetty siitä, että KEITO-hankeyhteistyön absoluuttiset tulokset ovat paremmin linjassa kasvihuonekaasuinventaarion tulosten kanssa, suojelutason vaikutusten yhdistäminen on tehty myös KEITOn skenaarioon. Suojelutason vaikutukset on kuitenkin arvioitu Monsu-mallilla, mikä tuo tuloksiin epävarmuutta. Kuvassa 12 esitetyllä tavalla voidaan kuitenkin arvioida karkeasti suojelutason vaikutusta vuoden 2030 EU:n maankäyttösektorin velvoitteen täyttämiseen ja kansallisen vuoden 2035 hiilineutraaliustavoitteen saavuttamiseen.



Kuva 12: KEITO-hankeyhteistyön “Suomi edellä”-skenaarion (runkopuun hakkuut noin 70 Mm^3 vuodessa) talousmetsien metsämaan metsien kokonaishiilitaseen kehittyminen vuosina 2030–2055 (Koljonen ym. 2025b) ja vastaava kokonaishiilitaseen kehitys Monsu-mallilla. Suojelu 10 ja 20 % kehityskulut on arvioitu Monsu-mallin 70 Mm^3 skenaarioiden avulla. Suojelun vaikutus on yhdistetty KEITO-yhteistyöhankkeen skenaarioon.

Koska KEITO-hankeyhteistyön skenaario päättyy jo vuoteen 2055, sen rinnalla on esitetty myös Monsu-mallin yhdistelmätulos (kuvat 11 ja 12). Monsu-mallin skenaariotulos näyttää suojelutason vaikutuksen vuoden 2055 jälkeen aina vuoteen 2070, vaikka kokonaishiilitaseen absoluuttiset arvot eivät ole todennäköisesti yhtenäisiä kasvihuonekaasuinventaarion kanssa. Monsu-mallin tulokset kertovat, että suojelutason kasvattamisen vaikutukset metsien kokonaishiilitaseen heikentymiseen näkyvät selvästi tarkastelujakson lopulla, mikäli hakkuut säilyvät samalla tasolla.

KEITO-hankeyhteistyön perusteella Suomen metsien absoluuttinen kokonaishiilitase ilman puutuotteita olisi noin −3 Mt nielu vuonna 2030 ja noin −7 Mt nielu vuonna 2035, kun hakataan 70 Mm^3 vuodessa (”Suomi edellä” -skenaario). KEITO-mallinnuksessa ei ole kuitenkaan otettu huomioon maankäyttösektorin kasvihuonekaasuinventaarion joulukuussa 2025 julkaistujen ennakkotietojen uusia muutoksia (Tilastokeskus 2025a, tämän raportin luku 3.4). Muutoksen perusteella on tässä yhteydessä arvioitu, että Suomen metsien kokonaishiilitase paranee KEITO-hankeyhteistyön 70 Mm^3 /v skenaarion tuloksiin nähden vuositasolla −5 Mt vuoteen 2035 mennessä. Tällöin Suomen metsien kokonaishiilitase olisi noin −8 Mt nielu vuonna 2030 ja noin −12 Mt nielu vuonna 2035, Lisäksi oletetaan, että puutuotteiden hiilinielu on hakkuutasolla 70 Mm^3 vuodessa noin –2,5 Mt vuonna 2030 ja noin −2,0 Mt vuonna 2035. Puutuotteiden nieluarviot perustuvat Suomen ilmastopaneelin arvioihin sekä viimeaikaisiin kasvihuonekaasuinventaarion tuloksin (Seppälä ym. 2025; Suomen ilmastopaneeli 2025a, Tilastokeskus 2025a). Todettakoon, että KEITOn skenaarioissa käytettyjä puutuotenieluja ei voitu käyttää arvioinnin pohjana, koska niiden arviointioletukset poikkeavat nykyisestä tilanteesta (katso. kohta 3.4).

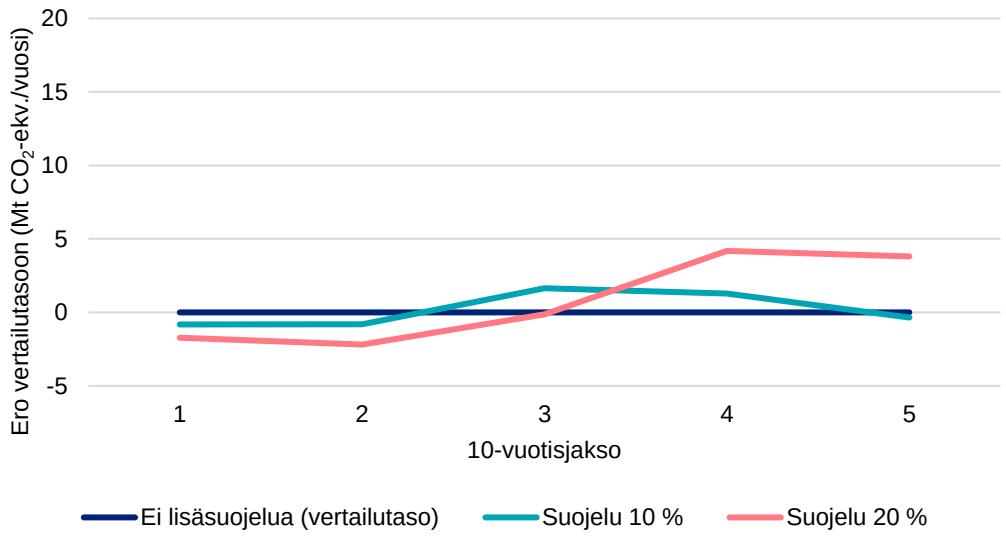
Metsien käytön kokonaishiilitaseessa (puusto + maaperä + puutuotteet) päästäisiin edellä esitetyn perusteella (puusto ja maaperä −8 Mt sekä puutuotteet –2,5 Mt) hakkuuskenaariolla 70 Mm^3 vuodessa noin –10,5 Mt nettonieluun. Kuvan 10 perusteella 10 prosentin suojelutasolla metsien käytön nettonielu kuitenkin heikkenisi tästä “Ei lisäsuojelu” -tilanteesta noin 0,5 Mt verran eli tasoon −10 Mt vuoteen 2030

mennessä. Vuoden 2030 tilanteessa muun maankäyttösektorin kuin metsämaan (puusto + maaperä) ja puutuotteiden nettotuloksen odotetaan päätyvän KEITO-hankeyhteistyön energia- ja ilmastostrategian politiikkaskenaariossa noin 9,5 Mt päästöksi (Koljonen ym. 2025a). Tämän seurauksena koko maankäyttösektorin nettotulos olisi kokonaisuudessaan noin −0,5 Mt, eli vuoden 2030 maankäyttösektorin EU-velvoite jäisi noin 11 Mt tavoitteesta (tavoite –11,3 Mt). Tätä vajetta ei pystyttäisi kuromaan tehostetuilla metsänhoitotoimilla. Myöskään ilmastolain mukainen vuoden 2035 hiilineutraaliustavoite ei olisi saavutettavissa. Kymmenen prosentin suojelutason seurauksena päädyttäisiin käytännössä samaan metsien nettonieluun vuonna 2035 kuin ilman lisäsuojelua. Maankäyttösektori olisi 70 Mm^3 vuosihakkuilla pieni nettonielu (–6 Mt) vuonna 2035, jos muiden maankäyttösektorin luokkien päästövähennystoimet etenisivät KEITO-yhteistyöhankkeen politiikkaskenaarion mukaisesti (yhteensä noin +8,5 Mt vuonna 2035 WAM-skenaariossa) Koljonen ym. 2025a). Hiilineutraaliustavoitteesta oltaisiin siis kaukana, sillä Suomen ilmastopaneelin arvion mukaan maankäyttösektorin tulisi olla noin –15 Mt nettonielu vuonna 2035 hiilineutraaliuden saavuttamiseksi (Suomen ilmastopaneeli 2025).

Kuvan 10 mukaan 20 prosentin metsien suojelutasolla ja hakkuutasolla 70 Mm^3 vuodessa metsien kokonaishiilitase heikkenisi ensimmäisellä kymmenvuotisjaksolla eli vuoteen 2030 mennessä noin 2,3 Mt verrattuna “Ei lisäsuojelua” -skenaarioon. Näin ollen vuodelle 2030 arvioitu metsien kokonaishiilitase (−8 Mt) pienenisi tasoon noin –5,5 Mt hakkuutason ollessa 70 Mm^3 vuodessa. EU:n maankäyttösektorin vuoden 2030 velvoitteesta jäätäisiin jopa 15 Mt, eikä tätäkään eroa voitaisi kuroa umpeen tehostetuilla metsänhoitotoimilla (Suomen ilmastopaneeli 2025a; Maa- ja metsätalousministeriö 2025). Lisäksi vuoden 2035 metsien kokonaishiilitase jäisi kauas hiilineutraaliustavoitteen edellyttämästä tasosta (maankäyttösektorin kokonaishiilitase olisi noin −5 Mt vuonna 2035). KEITO-skenaarion mukaan metsämaan talousmetsien nielut kuitenkin vahvistuisivat 2030-luvulla hyvää vauhtia, eikä 10 % suojelutaso muuttaisi myönteistä kehityskulkua vuoteen 2050 mennessä. Vuosisadan puolivälissä 20 % suojelu johtaisi jopa selvään hetkelliseen nielujen vahvistumiseen. Pidemmällä aikavälillä hakkuutason ylläpito 70 Mm^3 vuodessa suojelua lisättäessä johtaisi metsien kokonaishiilitaseen heikkenemiseen verrattuna tilanteeseen, jossa lisäsuojelua ei toteutettaisi (kuva 12, Monsu-skenaario).

Jos hakkuut olisivat pysyvästi 80 Mm^3 vuodessa, metsämaa olisi pitkään päästölähde, kun tasokorjaus noin –4 Mt otetaan huomioon KEITO-hankeyhteistyön skenaariossa (kuva 11). Tällöin myös metsien 10 prosentin suojelutaso johtaisi heikompaan tulokseen sekä Suomen vuoden 2030 maankäyttösektorin EU-velvoitteen, että vuoden 2035 hiilineutraaliustavoitteen näkökulmasta verrattuna tilanteeseen, jossa talousmetsien suojelua ei lisätä (katso luku 4.2.2 kuva 8).

Kuvasta 13 nähdään, että vuosittaiseen 60 Mm^3 hakkuuskenaarioon metsien suojelutason kasvattaminen 10 prosenttiin parantaa metsien käytön kokonaishiilitasetta −0,8 Mt ensimmäisen 20 vuoden aikana verrattuna siihen, että siihen että suojelua ei lisätä. Korkeammalla 20 prosentin suojelutasolla käytön kokonaishiilitase paranisi noin −2 Mt vuodessa verrattuna “ei lisäsuojelua” -skenaarioon. Käytön kokonaishiilitase kuitenkin heikkenisi tarkastelujakson loppua kohden jonkin verran enemmän 20 prosentin suojelutasolla verrattuna 10 prosentin suojeluun tilanteeseen nähden.



Kuva 13: Hakkuuskenaarion 60 Mm^3 vuodessa metsien käytön kokonaishiilitaseen suhteelliset erot 10 prosentin ja 20 prosentin suojelutasoilla talousmetsissä ja niistä suojelun piiriin otetuissa metsissä verrattuna tilanteeseen, jossa suojelua ei lisätä. Ei lisäsuojelua -skenaario on asetettu kuvassa nollaksi suhteellisten erojen esittämiseksi.

KEITOssa ei ole vastaavaa 60 Mm^3 vuosihakkuuskenaariota kuin Monsu-mallilla toteutettiin, minkä vuoksi Suomen EU:n maankäyttösektorin vuoden 2030 velvoitteen ja vuoden 2035 hiilineutraaliustavoitteen saavuttamisen arviointi perustuu Monsu-mallin tuloksiin (kuvat 9 ja 11 sekä taulukko 3) sekä KEITOn 70 Mm^3 vuosihakkuun tuloksiin ilman lisäsuojelua. Monsu-malli antaa 60 Mm^3 hakkuilla noin −12 Mt suuremman nettonielutuloksen vuonna 2030 kuin 70 Mm^3:n hakkuuskenaario ilman lisäsuojelua (kuva 11). Suomen ilmastopaneelin arvion mukaan nielun vahvistuminen voisi olla jopa suurempaa (kerroin −1,86 Mt/Mm^3) (Seppälä ym. 2025). Kun Monsu-malliin perustuva 60 ja 70 Mm^3 hakkuutasojen nieluero (−12 Mt) otetaan arvioinnin lähtökohdaksi, hakkuutason 60 Mm^3 vuodessa Suomen metsien nieluarvioksi saadaan −15 Mt (−3Mt −12 Mt = −15 Mt) Kun tähän arvioon lisätään −10 Mt inventaariokorjaus (katso tämän raportin kohta 3.4) saadaan Suomen metsien nettonieluksi vuonna 2030 noin –25 Mt kun hakkuut ovat 60 Mm^3 vuodessa. Samalla hakkuiden vähenemisen seurauksena puutuotteiden nielua ei enää olisi. Silti suuren metsänielun ansiosta EU:n maankäyttösektorin vuoden 2030 velvoite (−11,3 Mt) saavutettaisiin, vaikka muun maankäyttösektorin päästöjä pystyttäisiin vähentämään vain −1 Mt vuoden 2023 tasolla (maankäyttösektori olisi 11 Mt päästölähde). Suojelualan kasvattaminen 10 ja 20 prosenttiin parantaisi tavoitteiden saavuttamista entisestään ensimmäisen 20 vuoden aikana (kuva 13).

Hakkuuskenaario 60 Mm^3 vuodessa näyttäisi takaavan hyvin riittävän suureen metsien nettonielun hiilineutraaliuden saavuttamiseksi vuonna 2035. KEITO-hankeyhteistyön skenaarioissa metsien kokonaishiilitasetulos hakkuutasolla 70 Mm^3 vuodessa on noin −7 Mt vuonna 2035. Taulukosta 3 nähdään, että Monsu-malli tuottaa noin −14 Mt suuremman nettonielun talousmetsissä hakkuutasolla 60 Mm^3 kuin 70 Mm^3 vuodessa vuonna 2035 (10 Mm^3 * −1,39 Mt/Mm^3 = −13,9 Mt eli noin −14 Mt). Yhdistämällä mallien tulokset ja lisäämällä uuden inventaarion –10 Mt tasokorjauksen metsien käytön nettonielu olisi tällöin noin −31 Mt ilman lisäsuojelua. Metsien 10 prosentin suojeluskenaario vahvistaisi nielua edelleen noin –0,8 Mt ja 20 prosentin suojeluskenaario noin −1,7 Mt vuoteen 2035 mennessä. Näin ollen lisäsuojelu tukisi vuoden 2035 hiilineutraalistavoitteen saavuttamista, kun hakkuutaso on 60 Mm^3 vuodessa.

Suomen ilmastopaneelin (2025a) arvion mukaan metsien noin −23 Mt nettonielu vuodessa riittäisi hiilineutraaliustavoitteen saavuttamiseksi, mikäli muissa päästövähennystoimissa ja teknologisissa nieluissa onnistuttaisiin etenemään Ilmastopaneelin esittämien laskelmien mukaisesti (Suomen ilmastopaneeli 2025a). Samassa yhteydessä ilmastopaneeli on arvioinut, että muiden päästövähennystoimien onnistuessa hakkuutaso 61–64 Mm^3 vuodessa saattaisi riittää vuoden 2035 hiilineutraaliustavoitteen saavuttamiseen. Jos metsänhoitotoimilla ei saavuteta toivottua metsien kasvun lisäystä, matalampi arvio on lähempänä tarvittavaa tasoa. Ilmastopaneelin arviossa ei ole kuitenkaan otettu huomioon uusimman inventaariotiedon muutosta (Tilastokeskus 2025a), minkä seurauksena hiilineutraaliustavoite voitaisiin mahdollisesti saavuttaa korkeammalla hakkuutasolla. Edellä esitetty arvio –31 Mt nettonielusta vuonna 2035 hakkuutasolla 60 Mm^3 vuodessa tarkoittaisi –8 Mt nettonielueroa Ilmastopaneelin metsien nieluvaatimukseen (−23 Mt), minkä seurauksena noin 61–64 Mm^3 vuosihakkuut riittäisivät saavuttamaan hiilineutraaliustavoitteen. Näin on, jos oletetaan, että metsänielu heikkenee noin 1,5 Mt jokaista miljoonaa hakkuukuutiometriä kohden.

Hakkuiden maltillistamisen vaikutuksiin liittyy kuitenkin epävarmuutta, minkä vuoksi 60 Mm^3 vuotuiselle hakkuutasolle tässä yhteydessä esitetty uusimmasta inventaariotiedosta johdettu tasokorjaus (–10 Mt) voi olla liian optimistinen. Epävarmuuksien vuoksi edellä esitetyn laskelman pohjalta ei ole mielekästä arvioida tarkemmin, kuinka paljon mahdollisesti hakkuutaso voisi poiketa ylöspäin tasosta 60 Mm^3 vuodessa hiilineutraaliuden saavuttamiseksi.

Edellä esitetyn tarkastelun perusteella voidaan todeta, että reilun 60 Mm^3:n vuotuisella runkopuun hakkuutasolla voidaan yhteensovittaa vuoden 2035 hiilineutraaliustavoitteen saavuttaminen ja suojelualan laajentaminen 20 prosenttiin. Tarkastelussa on kuitenkin oletettu, että suojelupinta-alan lisäys tapahtuu jo simulointijakson alussa, eli vuonna 2025. Tämä ei ole realistinen oletus, sillä suojelupinta-alan kasvu on todennäköisesti vähittäistä, eikä työssä esitettyjä talousmetsien metsämaan lisäsuojelualoja todennäköisesti saavuteta edes vuoteen 2035 mennessä. Koska suojelupinta-alojen kasvattamisen toteutusnopeuteen liittyy epävarmuuksia, ja koska hakkuutaso dominoi kokonaishiilitaseen muutoksia verrattuna suojelun vaikutuksiin, on ilmastotavoitteiden saavuttamisessa tarkasteltava ensisijaisesti tarvittavia muutoksia hakkuutasoon. Tässä työssä ei ole myöskään arvioitu tarkkaa hakkuiden vähentämispolkua vuoteen 2030 mennessä Suomen EU-tavoitteiden saavuttamisen näkökulmasta. Se on kuitenkin mahdollista saavuttaa vuonna 2030 suuremmalla hakkutasolla kuin 60 Mm^3 vuodessa edellyttäen, että hakkuut vähenevät lähes lineaarisesti nykytasosta vuosina 2026–2030 (ks. Seppälä ym. 2025).

Vuoden 2035 hiilineutraaliustavoitteen saavuttamisen jälkeen Suomen tulee ilmastolain (423/2022) mukaisesti vähentää päästöjä edelleen, eli olla hiilinegatiivinen, jolloin Suomen päästöt olisivat pienemmät kuin luonnon ja teknologiset nielut. Raporttia kirjoitettaessa EU:n vuoden 2040 yhdeksänkymmenen prosentin nettopäästövähennystavoitteen toteutuksen yksityiskohtia on vielä vahvistamatta, mutta tarve luonnonnielujen vahvistamiselle nettopäästöjen vähentämiseksi on kuitenkin ilmeinen EU-tasolla. Sekä Monsu- että KEITO-mallinnukset osoittavat, että metsien hiilinielut vahvistuvat sitä enemmän keskipitkällä aikavälillä (30–50 vuotta) mitä vähemmän metsää hakataan (kuvat 11–12 ja taulukko 3). Myös suuruusluokaltaan vuoden 2024 hakkuita vastaavalla tasolla (noin 74 Mm^3 vuodessa) luonnonnielut alkavat vahvistua talousmetsissä vuodesta 2030 lähtien, mutta nielun lähtötaso ja kehitys eivät riitä vastaamaan ilmastotavoitteiden haasteeseen riittävän nopeasti. Merkittävä talousmetsien lisäsuojelu ja metsien käytön kokonaishiilitaseen kääntäminen vahvaksi nieluksi ei ole mahdollista ilman hakkuiden merkittävää maltillistamista.

Tässä työssä saadut tulokset metsien kokonaishiilitaseen kehityksestä suojelutason kasvaessa, nykyisellä tai korkeammalla hakkuutasolla, ovat samansuuntaisia kuin Kärkkäisen ym. (2021) tutkimuksessa esitetyt havainnot. Kyseisessä tutkimuksessa tätä johtopäätöstä ei kuitenkaan nostettu erikseen esiin, mutta se on tulkittavissa heidän laskelmiensa perusteella. Myös Mäkelän ym. (2023) tutkimuksessa korkeampi hakkuutaso heikensi metsien kokonaishiilitasetta.

4.3 LUONNON MONIMUOTOISUUDEN KEHITYS

Tärkein luonnon monimuotoisuuden tilaa kuvaava muuttuja tässä työssä on tiukasti suojellun metsän pinta-ala. Suojelupinta-alan kasvattaminen vaikuttaa positiivisesti monimuotoisuuteen varsinkin suojelukohteilla, kun taas talousmetsien monimuotoisuuden tila riippuu hakkuumääristä sekä toteutettavista luonnonhoitotoimenpiteistä (esim. Koivula ym. 2022, Koivula, Siitonen ym. 2025). Monimuotoisuutta tarkastellaan tässä työssä tiukan suojelun osuuden lisäksi metsäluonnon monimuotoisuudelle tärkeiden rakennepiirteiden avulla. Tarkasteltaviksi rakennepiirteiksi valittiin lahopuun, järeän puun sekä lehtipuun määrä. Luonnon monimuotoisuuden turvaaminen on tärkeää Suomen kaikissa osissa – Pohjois-Suomen metsien korkeampi suojeluaste ei auta Etelä-Suomen metsälajistoa (Hanski 2011). Tästä syystä, ensin esitettävien valtakunnallisten tulosten jälkeen, tuloksia esitetään erikseen myös Etelä-, Keski- ja Pohjois-Suomelle.

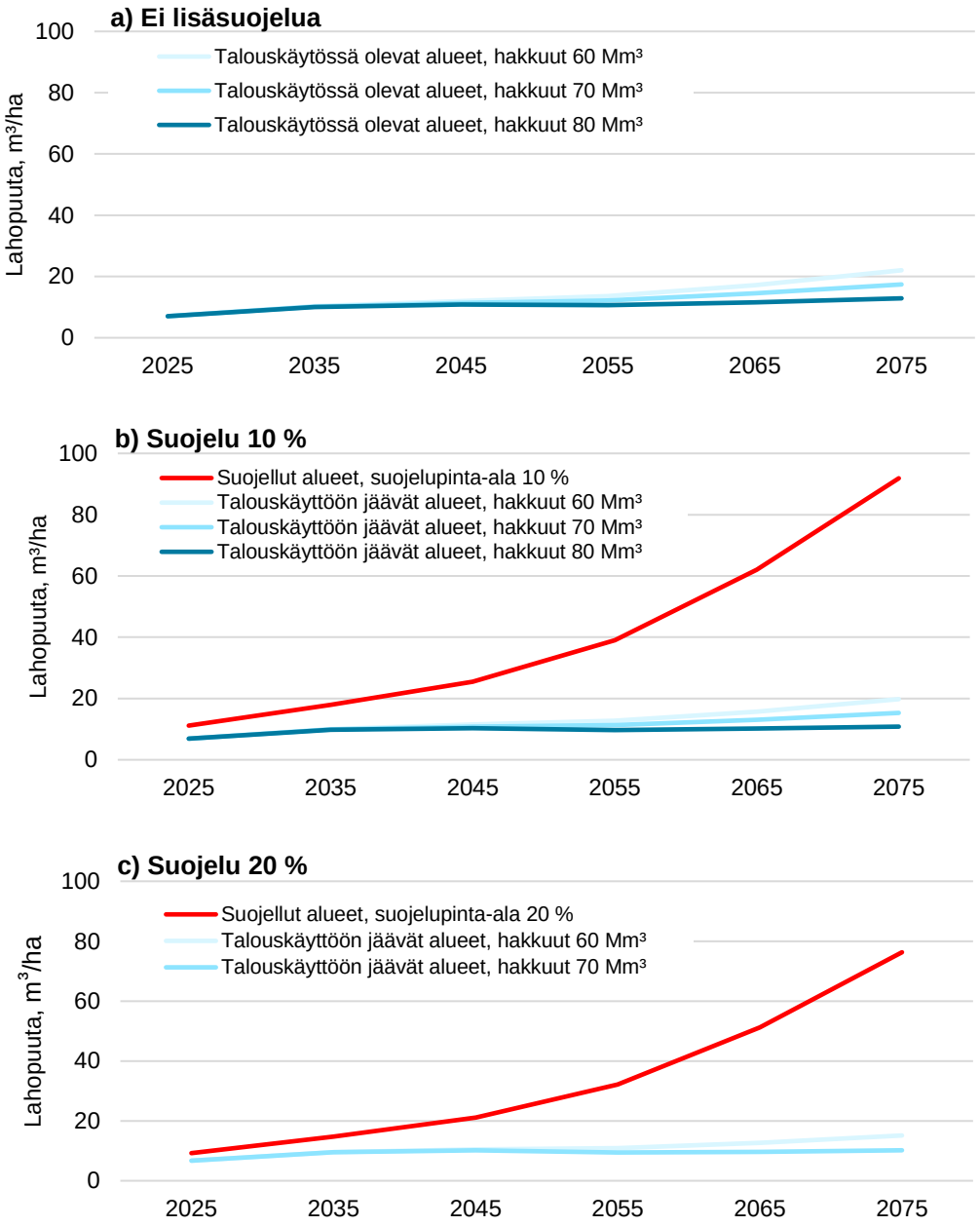
4.3.1 Lahopuun kehitys valtakunnallisella tasolla

Lahopuun määrä on metsissä tärkein yksittäinen luonnon monimuotoisuutta kuvaava rakennepiirre perustuen sitä vaativien uhanalaisten metsälajien suureen määrään sekä siihen, että monet ehdotetut lahopuuta lisäävät luonnonhoitotoimet kasvattavat myös eräiden muiden keskeisimpien rakennepiirteiden, kuten suurten ja vanhojen puuyksilöiden määrää (esim. Kotiaho ym. 2015, Hyvärinen ym. 2019, Koivula ym. 2025a). Lahopuun määrä tässä työssä tarkoittaa niiden kuolleiden runkojen tilavuutta, joiden rinnankorkeusläpimitta on yli 10 cm.

Skenaariossa, jossa suojelupinta-alaa ei kasvatettu, metsiin kertyi lahopuuta sitä enemmän, mitä vähemmän metsiä hakattiin (kuva 14a). Missään skenaariossa lahopuun määrä ei vähentynyt simulaatioiden tuottamasta alkutasosta (7 m^3/ha) ja erityisesti 60 Mm^3 mutta myös 70 Mm^3 hakkuuskenaariossa lahopuun määrä lähtee kasvuun noin 30 vuoden kuluttua simulaation alusta. Tämä havainto on yhteneväinen hiljattain MOTTI-ohjelmistolla laadittujen talousmetsien lahopuuskenaarioiden kanssa, missä lähtöoletuksena olivat muun muassa jo sovitut luonnonhoitotoimet (Salminen ym. 2024). On syytä korostaa, että käsillä olevan työn laskelmassa oletettiin, että kuolleita puita ei korjata metsistä. Tämä oletus johtaa ylioptimistisiin arvioihin talousmetsien lahopuumääristä, koska todellisuudessa suuri osa säästöpuista ja lahopuusta korjataan ja lahopuuta myös murskautuu hakkuissa (Korhonen ym. 2016; Kotiaho 2017, Saaristo ym. 2020). Ylioptimistisuuteen johtaa osaltaan myös se, että simuloinneissa hakkuut noudattavat metsänkäsittelysuositusten kiertoaika- ja pohjapinta-alaohjeita tarkasti, kun todellisuudessa ohjeistusta ei aina noudateta.

Suojeluun siirretyillä alueilla lahopuun määrä kasvaa merkittävästi (kuva 14b-c). Nopeasti kasvavaa tulosta voi selittää se, että suojelun piiriin etenkin Etelä- ja Keski-Suomessa valittiin keskimääräistä runsaspuustoisempia kohteita. Myös jo aiemmin on todettu, että metsien siirtäminen käsittelyiden ulkopuolelle kasvattaa niiden lahopuumäärää käytännössä lähtötilanteesta riippumatta (esim. Koivula ym. 2025a). Talouskäyttöön jäävissä metsissä lahopuun kehitys olisi heikompaa kuin ilman lisäsuojelua tilanteessa, jossa hakkuutaso säilyisi samana lisäsuojelusta huolimatta. Kun suojelupinta-ala kasvatetaan 10 prosenttiin, hakkuiden samanaikainen kasvattaminen 80 Mm^3:n vuodessa johtaa talouskäyttöön jäävällä metsämaalla lahopuun määrän heikkoon kehitykseen (kuva 14b). Jos suojelupinta-ala kasvatetaan 20 prosenttiin, talousmetsien intensiivisempi käyttö johtaa niissä lahopuumäärän hiipumiseen kokonaan jo 70 Mm^3 hakkuutasolla (kuva 14c).

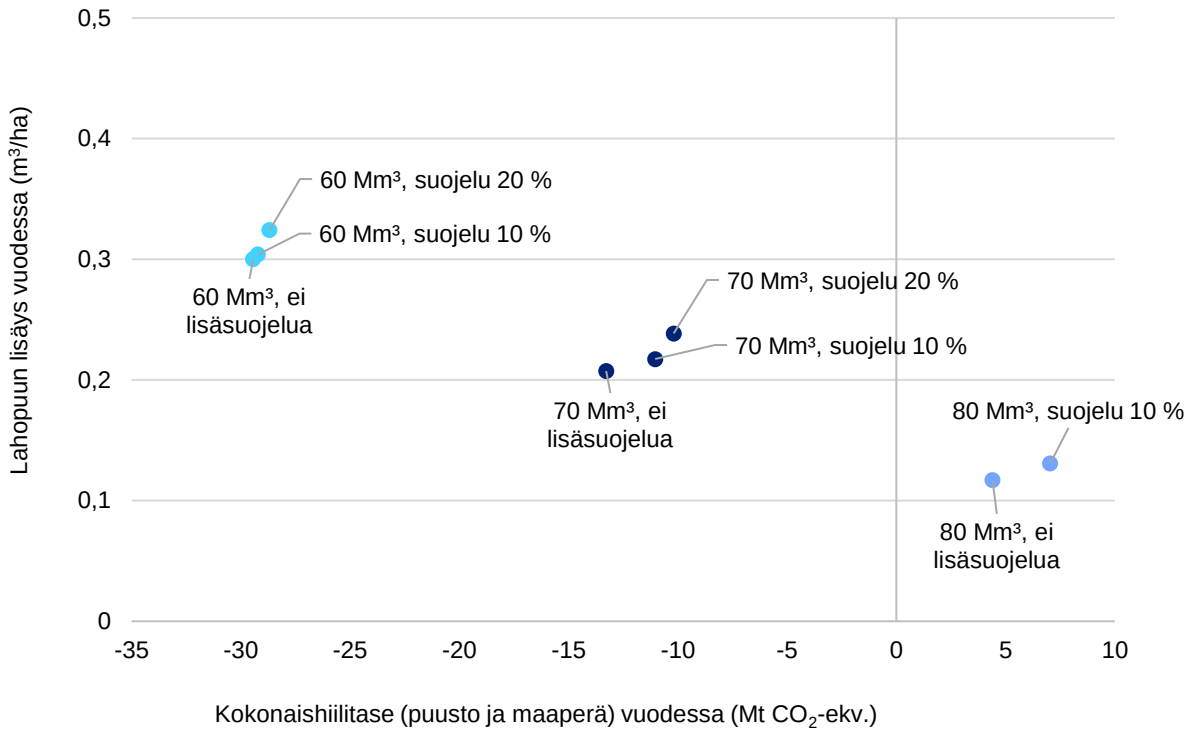
On hyvä huomata, että kuvien 14b-c loppuun asti kiihtyvä lahopuumäärän kasvu suojelualueilla saattaa todellisuudessa hidastua ajanjakson loppua kohden. Mönkkönen ym. (2022) ilmoittavat luonnontilaisissa metsissä valtakunnallisesti olevan keskimäärin noin 94 m^3/ha lahopuuta, ja VMI13 mukaan suojellulla metsämaalla on lahopuuta keskimäärin Etelä- ja Keski-Suomen kuivilla kankailla noin 4 ja lehtomaisilla kankailla noin 38 m^3/ha, ja Pohjois-Suomessa vastaavasti 51 ja 38 m^3/ha.



Kuva 14: a) Lahopuun määrän (m^3/ha) kehitys talouskäytössä olevissa metsämaan metsissä 60, 70 ja 80 Mm^3 vuotuisella hakkuutasolla, kun tiukasti suojellun metsämaan metsien pinta-alaa ei kasvateta skenaarioiden alkutilanteesta. b) Lahopuun määrän (m^3/ha) kehitys suojelluilla alueilla sekä talouskäyttöön jäävillä alueilla 60, 70 ja 80 Mm^3 vuotuisella hakkuutasolla, kun tiukasti suojellun metsämaan metsien pinta-ala kasvatetaan 10 prosenttiin. c) Lahopuun määrän (m^3/ha) kehitys suojelluilla alueilla sekä talouskäyttöön jäävillä alueilla 60 ja 70 Mm^3 vuotuisella hakkuutasolla, kun tiukasti suojellun metsämaan metsien pinta-ala kasvatetaan 20 prosenttiin. Huomaa, että kun suojelupinta-alaa kasvatetaan 20 prosenttiin, vuosittaista 80 Mm^3:n hakkuutasoa ei voida ylläpitää eikä sille sen vuoksi esitetä tuloksia.

Kuva 15 näyttää, kuinka erilaiset hakkuu- ja suojelutasojen tuottamat lahopuun määrän lisäykset ja hiilinielut asettuvat eri skenaariomallinuksen hakkuu- ja suojelutasojen yhdistelmillä koko Suomen metsämaan metsien pinta-alalla. Kuvasta ilmenee, että maltillisimmalla hakkuutasolla (60 Mm^3) hiilinielu on suurin ja lahopuun määrä lisääntyy eniten. On huomionarvoista, että hakkuutaso vaikuttaa sekä keskimääräiseen vuotuiseen lahopuun lisäykseen että keskimääräiseen vuotuiseen hiilinieluun selvästi

enemmän kuin suojelutaso kunkin hakkuumäärän sisällä. Kuvasta 15 näkyy myös, että suojelupinta-alan lisääminen johtaa valtakunnallisesti hieman suurempaan lahopuumäärään kuin kullakin hakkuutasolla ilman lisäsuojelualueita. Aineistosta voidaan laskea, että vaikka suojelualueilla lahopuumäärä kasvaa nopeasti (kuva 14b-c), niin valtakunnallisesti suojelupinta-alojen lisäys suhteessa metsätalouskäyttöön jääviin pinta-aloihin on niin pieni, että ilman hakkuiden samanaikaista maltillistamista keskimääräinen lahopuumäärä koko metsämaan pinta-alalla kasvaa 50 vuoden arviointiajanjaksolla vain noin 1,5 m^3/ha. Tulos osoittaa, että hakkuita maltillistamalla lahopuun määrää ja hiilinielua voidaan suurentaa samanaikaisesti.



Kuva 15: Lahopuun keskimääräinen vuotuinen lisäys (m^3/ha) ja metsien keskimääräinen vuotuinen kokonaishiilitase eri suojelu- ja hakkuutasojen yhdistelmillä 50 vuoden tarkastelujaksolla koko Suomen metsämaan metsien pinta-alalla. Kuvaajan pisteet eivät erottele kehitystä suojeluun siirrettävillä ja talouskäyttöön jäävillä alueilla.

4.3.2 Järeän puun kehitys valtakunnallisella tasolla

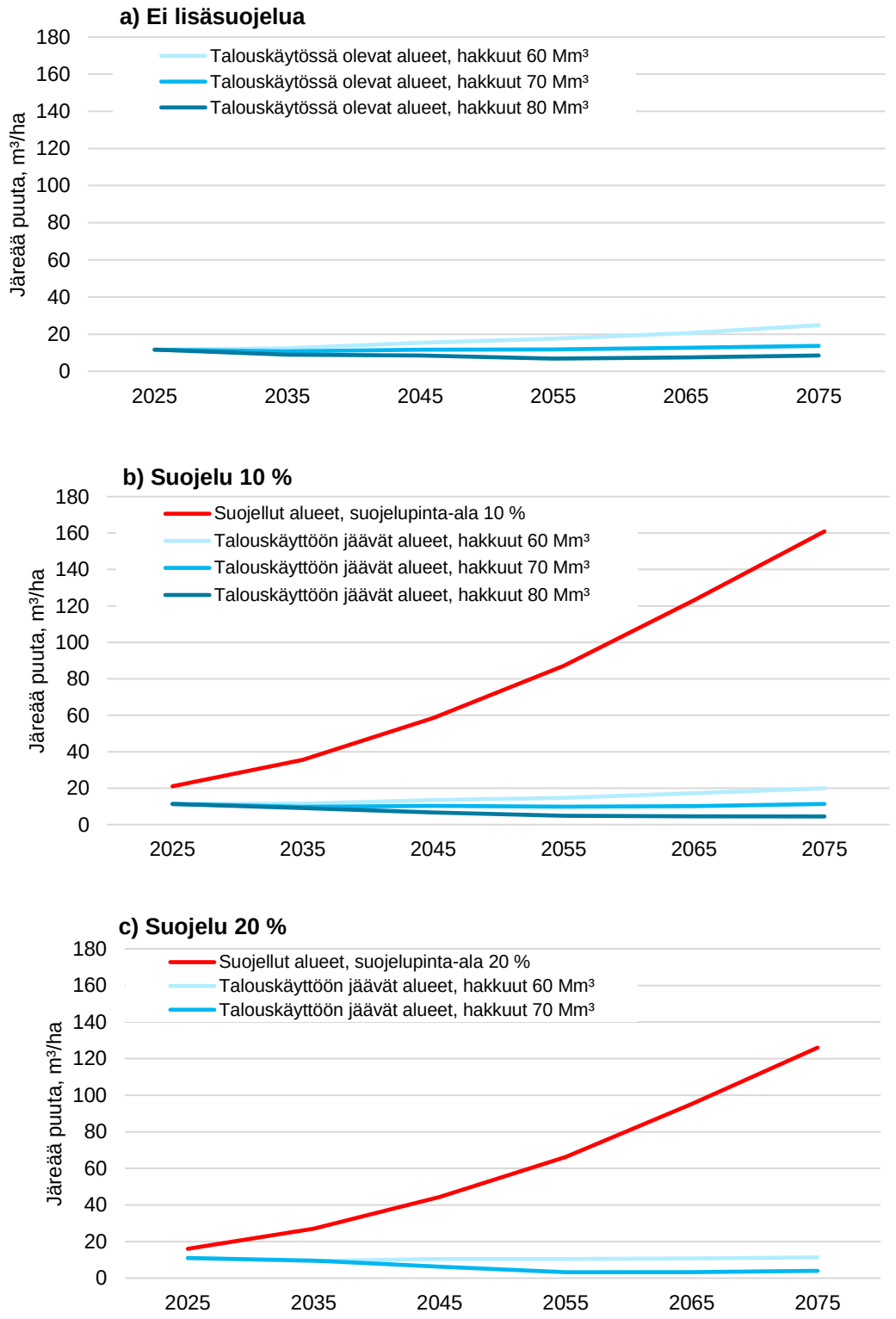
Vanhojen järeiden puiden määrä on toinen luonnon monimuotoisuudelle tärkeä metsien rakennepiirre (Kotiaho ym. 2015, Henttonen ym. 2019, Koivula ym. 2022, Kozák ym. 2023, Mildrexler ym. 2023). Luonnon monimuotoisuuden kannalta suurten ikääntyvien puiden pysyvä säästäminen on keskeistä, koska niiden edelleen ikääntyessä niihin kehittyy monimuotoisuudelle tärkeitä pienympäristöjä

(mikrohabitaatteja). Esimerkiksi uhanalaisille jäkälille tärkeitä rungon tyviosan kaarnanrakosia ja muita lajistolle tärkeitä vanhojen puiden ominaisuuksia kehittyy vasta pitkän ajan kuluessa (esim. Uliczka ja Angelstam 1999, Nirhamo ym. 2023). Oleellista on myös se, että näitä puita ei niiden kuollessa tai kaatuessa korjata poltto- tai energiapuuksi (esim. Koivula ym. 2022). Ilmastonmuutoksen, metsänhoidon ja jalostuksen seurauksena puiden kasvu on 1970-luvulta lähtien kohentunut, minkä vuoksi ikäluokittain tarkasteltuna puut ovat järeytyneet: läpimitaltaan 40-senttinen puu voi etenkin eteläisessä Suomessa olla iältään vielä alle satavuotias (Henttonen ym. 2017, 2019). Puita, jotka ovat samalla sekä järeitä että hyvin vanhoja (yli 40 cm ja yli 150 vuotta), on Suomen metsissä – suojelualueet huomioituna – keskimäärin vain noin 1 kpl/ha (Henttonen ym. 2019). Luonnontilaisissa metsissä tällaiset puut muodostavat tyypillisesti vallitsevan ikäluokan (Berglund & Kuuluvainen 2021). On myös huomattava, että lehtipuu voidaan perustellusti katsoa vanhaksi paljon havupuuta nuorempana (Koivula ym. 2022).

Tässä työssä järeiksi puiksi luokiteltiin puut, joiden läpimitta on suurempi kuin läpimitta, jossa metsäalan yhteisissä metsähoitosuosituksissa ehdotetaan metsikölle uudistushakkuuta. Rajaläpimitta riippui kasvupaikan viljavuudesta ja leveysasteesta. Työssä noudatettiin metsäalan yhteisiä metsänhoidon suosituksia, joiden mukaan säästöpuut ovat talousmetsään pysyvästi jätettäviä eläviä puita (Äijälä 2014, Saaristo & Vanhatalo 2019).

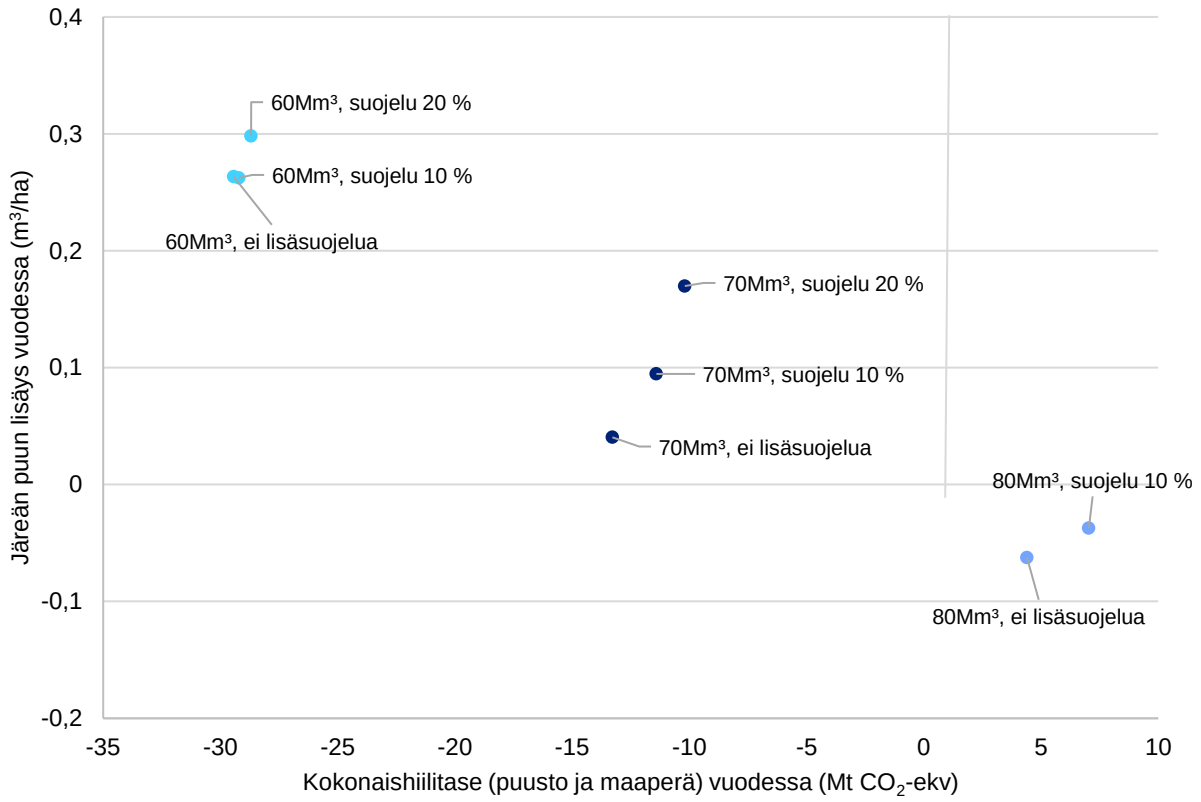
Tilanteessa, jossa suojelupinta-alaa ei kasvatettu, metsiin kertyi järeää puuta sitä enemmän, mitä vähemmän metsiä hakattiin (kuva 16a). Järeän puun määrä 50 vuoden arviointiajanjaksolla kasvaa kaksinkertaiseksi 60 Mm^3 hakkuuskenaariossa, pysyy melko muuttumattomana tai aavistuksen kasvaa 70 Mm^3 hakkuuskenaariossa ja laskee neljänneksellä 80 Mm^3 hakkuuskenaariossa. On hyvä huomata, että 60 Mm^3 hakkuuskenaarion myönteisestä kehityksestä huolimatta järeän puun määrä metsämaan metsissä jää absoluuttisesti edelleen melko vaatimattomaksi, keskimäärin noin 25 m^3:iin hehtaaria kohden. Simulaation lopussa järeän puun määrä alkaa nousta myös voimakkaimmissa hakkuuskenaarioissa, koska kaikissa hakkuissa jätettiin säästöpuita pysyvästi. On huomattava, että järeän puuston määrä talousmetsien metsämaalla ei kuitenkaan lisäänny automaattisesti millään skenaarioissa käytetyllä hakkuutasolla, vaan lisäys edellyttää, että osa suurista puista jätetään jokaisessa hakkuussa pysyvästi hakkaamatta.

Suojeluun siirretyillä alueilla järeän puun määrä kasvaa voimakkaasti (kuva 16b-c). Melko nopeasti kasvavaa tulosta selittää se, että suojelun piiriin etenkin Etelä- ja Keski-Suomessa valittiin keskimääräistä runsaspuustoisempia kohteita. Talouskäyttöön jäävissä metsämaan metsissä järeän puun määrän kehitys olisi heikompaa kuin ilman lisäsuojelua tilanteessa, jossa hakkuutaso säilyisi samana lisäsuojelusta huolimatta. Kun suojelupinta-ala lisätään 10 prosenttiin, hakkuiden samanaikainen kasvattaminen 80 Mm^3:iin vuodessa johtaa talouskäyttöön jäävällä metsämaalla järeän puun määrän merkittävään, yli 60 prosentin, vähenemiseen (kuva 16b). Järeä puu vähenee hieman myös jo 70 Mm^3:in vuotuisella hakkuutasolla mutta edelleen lähes kaksinkertaistuu 60 Mm^3:in vuotuisella hakkuutasolla. Jos suojelupinta-ala kasvatetaan 20 prosenttiin, talousmetsien intensiivisempi käyttö johtaa 50 vuoden arviointiajanjaksolla niissä järeän puun merkittävään laskuun määrän puolittumiseen jo 70 Mm3 hakkuutasolla (kuva 16c). Huomionarvoista kuitenkin on, että 60 Mm^3 hakkuutasolla järeiden puiden määrä 50 vuoden arviointiajanjaksolla lisääntyy talouskäyttöön jäävissä metsämaan metsissä vain vähän, kun suojelualueiden pinta-ala nostetaan 20 prosenttiin.



Kuva 16: a) Järeän puuston määrän (m^3/ha) kehitys talouskäytössä olevissa metsämaan metsissä 60, 70 ja 80 Mm^3 vuotuisella hakkuutasolla, kun tiukasti suojellun metsämaan metsien pinta-alaa ei kasvateta skenaarioiden alkutilanteesta. b) Järeän puun määrän (m^3/ha) kehitys suojelluilla alueilla sekä talouskäyttöön jäävillä alueilla 60, 70 ja 80 Mm^3 vuotuisella hakkuutasolla, kun tiukasti suojellun metsämaan metsien pinta-ala kasvatetaan 10 prosenttiin. c) Järeän puuston määrän (m^3/ha) kehitys suojelluilla alueilla sekä talouskäyttöön jäävillä alueilla 60 ja 70 Mm^3 vuotuisella hakkuutasolla, kun tiukasti suojellun metsämaan metsien pinta-ala kasvatetaan 20 prosenttiin. Huomaa, että kun suojelupinta-alaa kasvatetaan 20 prosenttiin, vuosittaista 80 Mm^3:n hakkuutasoa ei voida ylläpitää eikä sille sen vuoksi esitetä tuloksia.

Kuva 17 näyttää, kuinka erilaiset hakkuu- ja suojelutasojen tuottamat järeän puun määrän muutokset ja hiilinielut asettuvat eri skenaariomallinnuksen hakkuu- ja suojelutasojen yhdistelmillä koko Suomen metsämaan metsien pinta-alalla. Kuten lahopuunkin kohdalla, maltillisimmalla hakkuutasolla (60 Mm^3) järeän puun määrä lisääntyy eniten samalla kun hiilinielu on suurin. On huomionarvoista, että hakkuutaso vaikuttaa sekä järeän puun määrän että hiilinielun kehitykseen enemmän kuin suojelutaso kunkin hakkuumäärän sisällä. Kuvasta 17 näkyy myös, että suojelupinta-alan lisääminen johtaa valtakunnallisesti hieman suurempaan järeiden puiden määrään kuin kullakin hakkuutasolla ilman lisäsuojelualueita. Tulos osoittaa, että hakkuita maltillistamalla järeän puun määrää ja hiilinielua voidaan suurentaa samanaikaisesti.



Kuva 17: Järeän puun keskimääräinen vuotuinen lisäys (m^3/ha) ja metsien keskimääräinen vuotuinen kokonaishiilitase eri suojelu- ja hakkuutasojen yhdistelmillä 50 vuoden tarkastelujaksolla koko Suomen metsämaan metsien pinta-alalla. Kuvaajan pisteet eivät erottele kehitystä suojeluun siirrettävillä ja talouskäyttöön jäävillä alueilla.

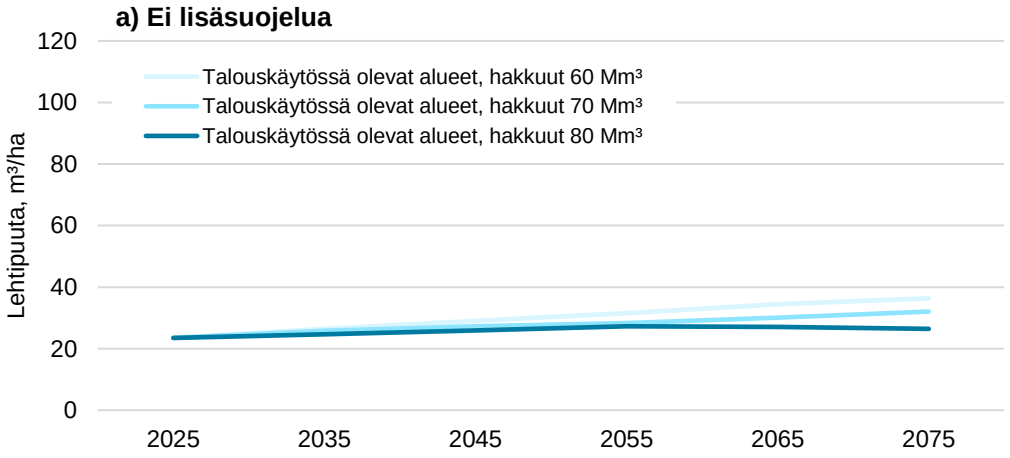
4.3.3 Lehtipuun kehitys valtakunnallisella tasolla

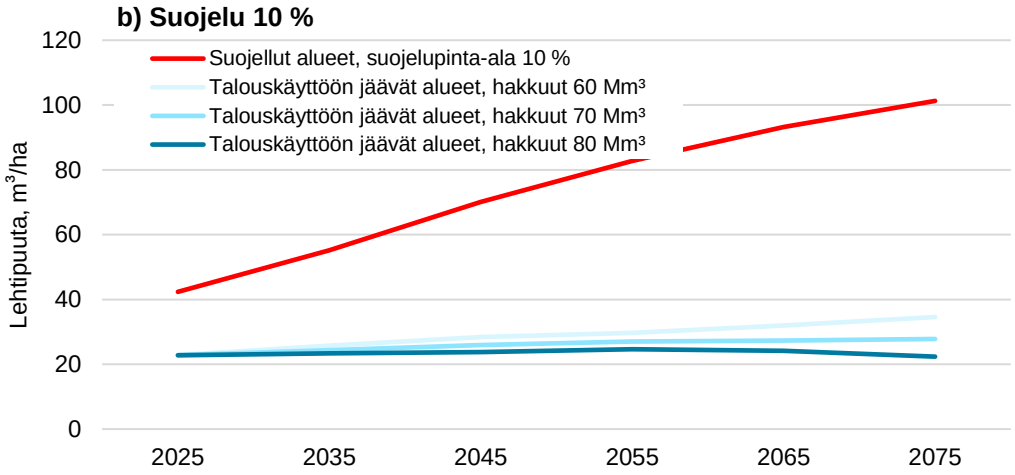
Kaikilla Suomen puulajeilla elää pelkästään niille erikoistunutta lajistoa (Keto-Tokoi ja Siitonen 2021), joten luonnon monimuotoisuuden kannalta on tärkeää säästää kaikkia puulajeja ja erityisesti lehtipuulajeja (Jonsson ym. 2019, Huuskonen ym. 2021, Salemaa ym. 2023). Lehtipuulajien säästämisen kustannukset voivat jäädä vähäisiksi, koska taloudellinen arvo pääosalla Suomen lehtipuulajeista on vähäinen. Uhanalaisuuskehityksen kääntämisen kannalta erityisen tärkeää on vanhojen ja samalla suurten lehtipuiden säästämien ja lisääminen (Huhta ja Melin 2023). Yleisesti ottaen lehtipuumäärän lisääminen onnistuu suosimalla lehtipuustoa kaikissa metsänhoidon vaiheissa, säästämällä isoja lehtipuita pysyvästi ja pidättäytymällä korjaamasta niitä energiapuuksi (Koivula ym. 2022).

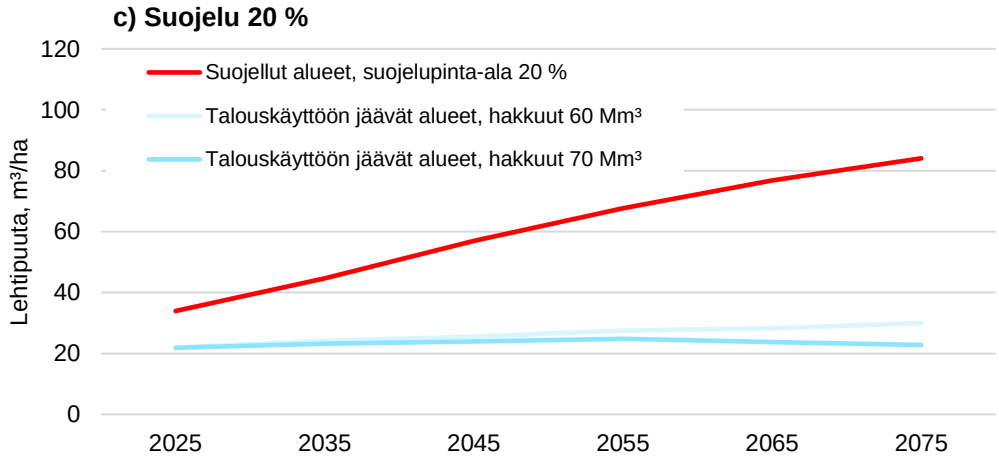
Kuten lahopuun ja järeän puun tapauksessakin, tilanteessa, jossa suojelupinta-alaa ei kasvatettu, metsiin kertyi lehtipuuta sitä enemmän, mitä vähemmän metsiä hakattiin (kuva 18a). Missään skenaariossa lehtipuun määrä ei vähentynyt alkutasosta. 60 Mm^3 hakkuuskenaariossa lehtipuun määrä 50 vuoden arviointiajanjaksolla kasvoi yli 50 prosenttia, kun 70 Mm^3 hakkuuskenaariossa ja varsinkin 80 Mm^3 hakkuuskenaariossa lehtipuun määrän lisääntyminen on huomattavasti maltillisempaa. 80 Mm^3 hakkuuskenaarion lopussa lehtipuun määrän kehitys kääntyy jopa laskuun (kuva 18a).

Suojeluun siirretyillä alueilla lehtipuun määrä alkaa kasvaa ripeästi (kuva 18b-c). Suojeluun siirretyillä alueilla lehtipuun lisääntyminen näin voimakkaasti ei ole odotettua, koska suojeluun simulaatioissa valitut metsät olivat melko järeäpuustoisia. Aineistosta kuitenkin ilmeni, että lisäsuojelualueilla kaikkien puulajien tilavuus kasvaa 50 vuoden tarkastelujakson aikana noin kaksinkertaiseksi. Koska valinta tehtiin optimoimalla, suojeluun valikoitui kohteita, jotka vaikuttavat mahdollisimman vähän metsätalouden taloudelliseen kokonaiskannattavuuteen ja pitkän ajan hakkuumahdollisuuksiin. Tästä syystä on mahdollista, että nimenomaan lehtipuuvaltaisia metsiä valikoitui suojeluun suhteellisen runsaasti. Nämä seikat voivat selittää odottamattoman runsasta lehtipuumäärän kasvua suojeluun siirretyillä alueilla.

Vertaamalla kuvien 18a ja 18b tai 18a ja 18c talousmetsäkäytössä olevien metsämaan metsien lehtipuumäärän kehitystä 50 vuoden tarkastelujakson yli huomataan, että kun suojelupinta-alaa kasvatetaan ja hakkuutasosta pidetään kiinni, heikentävät intensiivisemmät hakkuut lehtipuun määrän kehitystä talouskäyttöön jäävissä metsämaan metsissä. Simulaation lopussa talouskäytössä olevien metsien lehtipuun määrä kääntyy jopa laskuun. Näin tapahtuu, kun suojelupinta-ala lisätään 10 prosenttiin ja hakkuut kasvatetaan samanaikaisesti 80 Mm^3:iin vuodessa (kuva 18b). Jos suojelupinta-ala kasvatetaan 20 prosenttiin, talousmetsien intensiivisempi käyttö johtaa 50 vuoden arviointiajanjaksolla niissä lehtipuun määrän laskuun jo 70 Mm^3 vuotuisella hakkuutasolla (kuva 18c), mutta 60 Mm^3 vuotuisella hakkuutasolla lehtipuumäärä edelleen hieman lisääntyy.

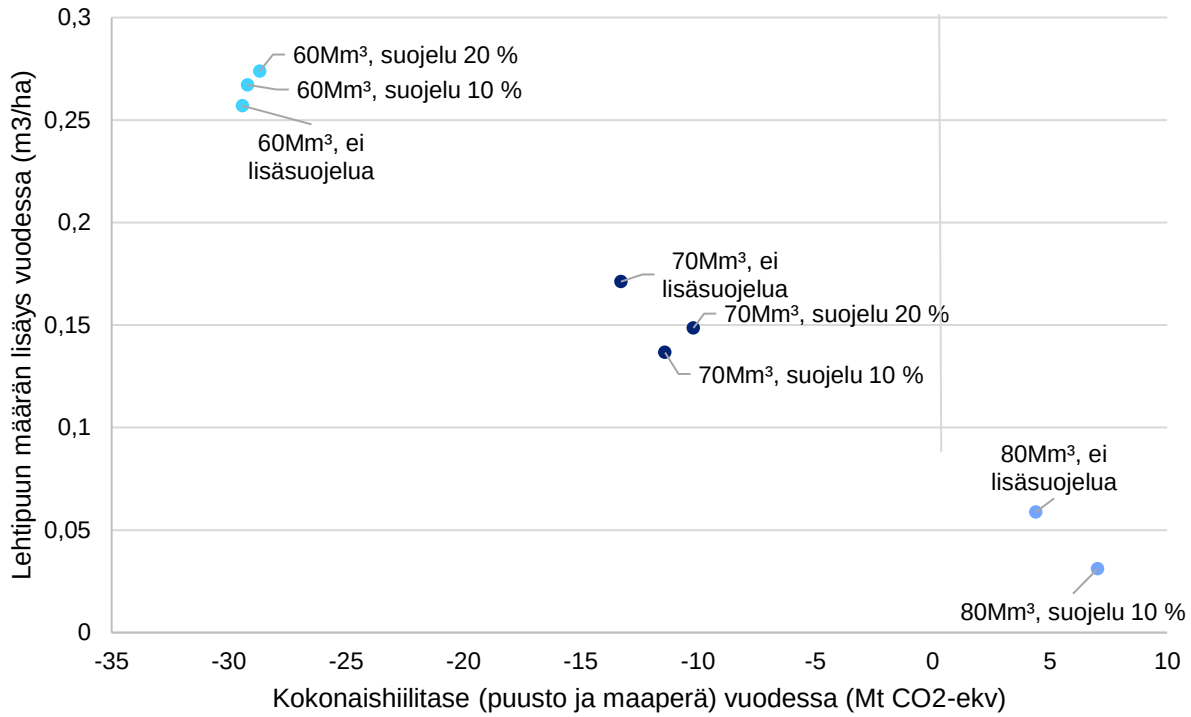






Kuva 18: a) Lehtipuun määrän (m^3/ha) kehitys talouskäytössä olevissa metsämaan metsissä 60, 70 ja 80 Mm^3 vuotuisella hakkuutasolla, kun tiukasti suojellun metsämaan metsien pinta-alaa ei kasvateta skenaarioiden alkutilanteesta. b) Lehtipuun määrän (m^3/ha) kehitys suojelluilla alueilla sekä talouskäyttöön jäävillä alueilla 60, 70 ja 80 Mm^3 vuotuisella hakkuutasolla, kun tiukasti suojellun metsämaan metsien pinta-ala kasvatetaan 10 prosenttiin. c) Lehtipuun määrän (m^3/ha) kehitys suojelluilla alueilla sekä talouskäyttöön jäävillä alueilla 60 ja 70 Mm^3 vuotuisella hakkuutasolla, kun tiukasti suojellun metsämaan metsien pinta-ala kasvatetaan 20 prosenttiin. Huomaa, että kun suojelupinta-alaa kasvatetaan 20 prosenttiin, vuosittaista 80 Mm^3:n hakkuutasoa ei voida ylläpitää eikä sille sen vuoksi esitetä tuloksia.

Kuva 19 näyttää, kuinka erilaiset hakkuu- ja suojelutasojen tuottamat lehtipuun määrän muutokset ja hiilinielut asettuvat eri skenaariomallinnuksen hakkuu- ja suojelutasojen yhdistelmillä koko Suomen metsämaan metsien pinta-alalla. Aivan kuten muidenkin rakennepiirteiden kohdalla, kuvasta ilmenee, että maltillisimmalla hakkuutasolla (60 Mm^3) lehtipuun määrä lisääntyy eniten samalla kun hiilinielu on suurin. On huomionarvoista, että hakkuutaso vaikuttaa sekä keskimääräiseen vuotuiseen lehtipuun määrän muutokseen että keskimääräiseen vuotuiseen hiilinieluun selvästi enemmän kuin suojelutaso kunkin hakkuumäärän sisällä. Kuvasta 19 näkyy myös, että valittavan hakkuutason ylläpitämisellä on eri suojelutasoilla eri suuntiin vieviä vaikutuksia. Tulos osoittaa, että hakkuita maltillistamalla lehtipuun määrää ja hiilinielua voidaan suurentaa yhtä aikaa.



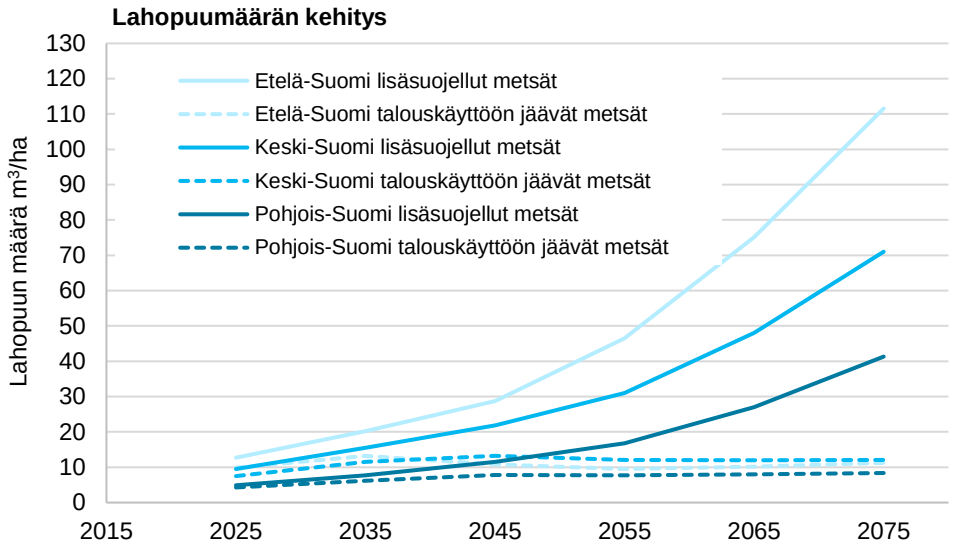
Kuva 19: Lehtipuun keskimääräinen vuotuinen lisäys (m^3/ha) ja metsien keskimääräinen vuotuinen kokonaishiilitase eri suojelu- ja hakkuutasojen yhdistelmillä 50 vuoden tarkastelujaksolla koko Suomen metsämaan metsien pinta-alalla. Kuvaajan pisteet eivät erotele kehitystä suojeluun siirrettävillä ja talouskäyttöön jäävillä alueilla.

4.3.4 Luonnon monimuotoisuuden kehitys alueellisella tasolla

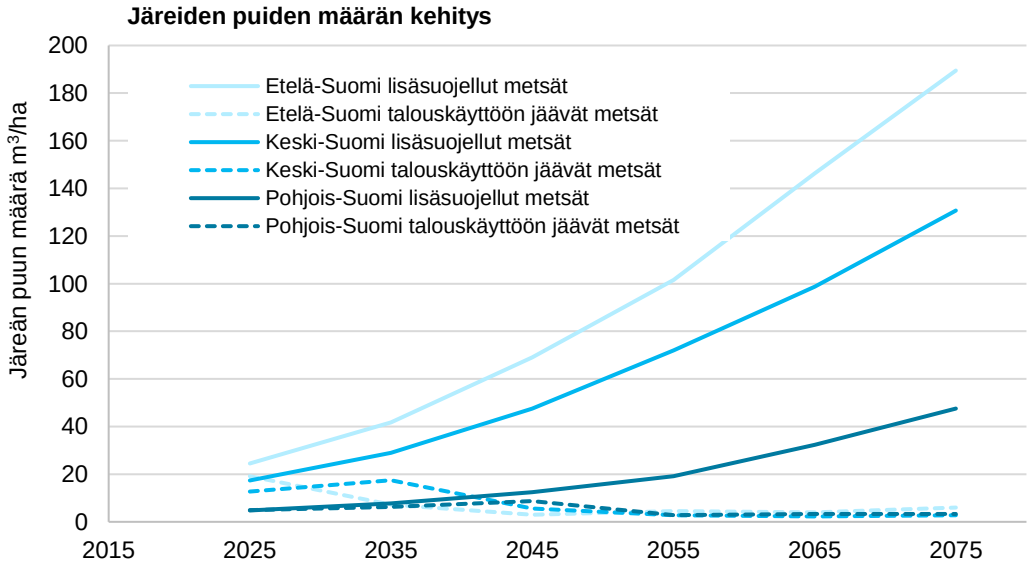
Kuvassa 20 havainnollistetaan lahopuun määrän kehitystä Etelä-, Keski- ja Pohjois-Suomen talouskäyttöön jäävissä ja lisäsuojelluissa metsämaan metsissä, kun hakkuutaso on 70 Mm^3 vuodessa ja suojelualueiden pinta-ala on nostettu 20 prosenttiin metsämaan pinta-alasta kaikissa kolmessa osassa Suomea. Suojeluun siirretyillä alueilla lahopuun määrä kasvaa voimakkaimmin Etelä-Suomessa, jossa kasvupaikat ovat muuta maata rehevämpiä ja lämpösumma on korkeampi. Talouskäyttöön jäävillä alueilla lahopuun kehitys on heikkoa kaikilla alueilla koko 50 vuoden tarkastelujaksolla.

Talousmetsien lahopuumäärän kehitys on eri osissa maatamme hidasta verrattuna suojelualueiden lahopuumäärän kehitykseen. Kaikilla alueilla talouskäyttö siis rajoittaa lahopuun määrän kasvua. Talouskäyttö rajoittaa lahopuun määrän kehittymistä voimakkaimmin Etelä-Suomessa, ja lahopuun määrä talousmetsissä jää kaikilla alueilla alhaiseksi, kun sitä vertaa näiden alueiden luontaiseen lahopuun kehityspotentiaaliin. Tarkastelu on mielekäs luonnon monimuotoisuuden kannalta, koska lajit ovat evolutiivisesti sopeutuneet alueilla ilman metsätalouskäyttöä vallitseviin rakennepiirteiden luonnontilaisiin määriin (Mönkkönen ym. 2022). Ajan yli talouskäyttöön jäävien metsämaan metsien ja suojeluun siirrettyjen metsämaan metsien välinen ero kasvaa. Ero kasvaa erityisen nopeasti Etelä-Suomessa, mutta on selvästi havaittavissa myös muilla alueilla. Tämä tarkoittaa luonnon monimuotoisuuden näkökulmasta sitä, että maisematasolla syntyy yhä selvempiä jakoja lajeille sopivien suojelualuelaikkujen ja maisemassa vallitsevien, metsätalouskäytössä olevien alueiden välille.

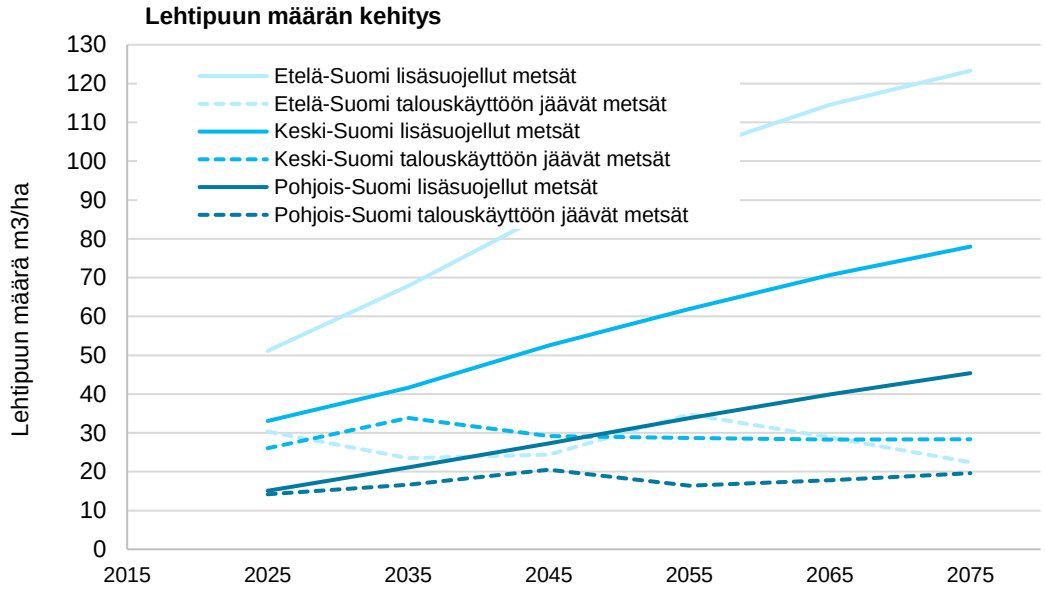
Kuvissa 21–22 havainnollistetaan vastaava kehitys järeän puun ja lehtipuun määrille. Tulokset ja niiden tulkinta ovat kaikkien luonnon monimuotoisuudelle tärkeiden rakennepiirteiden osalta keskeisiltä osiltaan yhteneväiset edellä esiteltyjen lahopuun kehityksen tulosten ja tulkintojen kanssa: luonnon monimuotoisuudelle tärkeiden rakennepiirteiden kehitys talousmetsissä on heikkoa kaikilla alueilla ja erityisesti Etelä-Suomessa. Kasvupaikan tuottavuus ja kasvukauden pituus selittävät pääosan määrällisistä eroista suojeluun siirrettävien alueiden välillä, mutta tuloksiin voi vaikuttaa osin myös metsien ikäluokkajakauman alueellinen erilaisuus.



Kuva 20: Lahopuumäärän kehitys metsämaan metsissä alueittain Etelä-, Keski- ja Pohjois-Suomessa talouskäyttöön jäävissä ja lisäsuojelluissa metsissä kun hakkuutaso on 70 Mm^3 vuodessa ja suojelualueiden pinta-ala on nostettu 20 prosenttiin metsämaan pinta-alasta kaikilla alueilla.



Kuva 21: Järeän puun määrän kehitys metsämaan metsissä alueittain Etelä-, Keski- ja Pohjois-Suomessa talouskäyttöön jäävissä ja lisäsuojelluissa metsissä kun hakkuutaso on 70 Mm^3 vuodessa ja suojelualueiden pinta-ala on nostettu 20 prosenttiin metsämaan pinta-alasta kaikilla alueilla.



Kuva 22: Lehtipuun määrän kehitys metsämaan metsissä alueittain Etelä-, Keski- ja Pohjois-Suomessa talouskäyttöön jäävissä ja lisäsuojelluissa metsissä kun hakkuutaso on 70 Mm^3 vuodessa ja suojelualueiden pinta-ala on nostettu 20 prosenttiin metsämaan pinta-alasta kaikilla alueilla.

4.4 NÄKÖKULMIA TULOSTEN TULKINTAAN JA JATKOSELVITYSTARPEITA

Tässä tutkimuksessa tehty simulointipohjainen skenaariotarkastelu, kuten kaikki mallinnukset, sisältää rajauksia ja oletuksia sekä muuttujien valintaan liittyviä epävarmuuksia, jotka on syytä huomioida tuloksia tulkittaessa. Tulokset voisivat muuttua, jos tarkasteluissa huomioitaisiin esimerkiksi puun hinta tai muut metsäsektorin kannustimet. Tarkasteluun ei myöskään sisältynyt uusia aktiivisia talousmetsien luonnonhoito- tai hiilinielutoimia eikä niihin liittyviä ohjauskeinoja. Tarkastelun yksi keskeinen oletus on se, että kaikki metsänomistajat noudattaisivat metsäalan yhteisiä metsänhoidon suosituksia. Tämä ei kaikilta osin ole paikkaansa pitävä (katso luku 2.3). Mallinnuksissa esimerkiksi oletettiin, että kaatuneita säästöpuita tai muutakaan kuollutta puustoa ei korjata energia- ja polttopuuksi, mikä saattaa yliarvioida talousmetsien lahopuukehitystä. Tarkastelussa myös oletettiin, että suojelupinta-ala lisätään kokonaisuudessaan jo simulointijakson alussa. Tämä ei ole realistinen oletus, sillä suojelupinta-alan kasvu tapahtuu todennäköisesti vähitellen, eikä työssä esitettyjä talousmetsien metsämaan lisäsuojelupinta-aloja todellisuudessa todennäköisesti saavuteta vuoteen 2035 mennessä. Ensimmäinen oletuksista johtaa ylioptimistisiin arvioihin rakennepiirteiden kehityksessä, mutta jälkimmäisen vaikutus on epäselvempi. Suojelun lisäämisen nopeuteen liittyvien epävarmuuksien vuoksi ilmastotavoitteiden saavuttamisen arvioita tulee tulkita ensisijaisesti hakkuutasojen näkökulmasta ilman lisäsuojelua.

Analyysimme suojeluun siirrettävien ja talouskäyttöön jäävien alueiden monimuotoisuudelle tärkeiden rakennepiirteiden kehityksestä osoitti, että alueiden erottaminen toisistaan on tärkeää raportoitaessa metsien rakennepiirteiden kehitystä. Jos erottelua ei tehdä, talousmetsien laaja pinta-ala peittää suojeluun siirrettävien alueiden myönteisen kehityksen. Keskiarvoistaminen siis johtaa harhaiseen

keskimääräiseen rakennepiirteiden määräarvioon, joka yhtäältä aliarvioi suojeluun siirrettyjen metsien rakennepiirteiden kehitystä ja toisaalta yliarvioi talouskäytössä olevien metsien rakennepiirteiden kehitystä.

Luonnon monimuotoisuudelle tärkeiden rakennepiirteiden kehitys suojeluun siirretyissä metsämaan metsissä oli voimakkainta Etelä-Suomessa ja heikompaa Pohjois-Suomessa (katso luku 4.3.4, kuvat 20, 21 ja 22). Erot alueiden kasvupaikkojen tuottavuudessa ja kasvukauden pituudessa selittävät pääosan määrällisistä eroista suojeluun siirrettävien alueiden välillä, mutta tuloksiin voi vaikuttaa myös metsien ikäluokkajakauman alueellinen erilaisuus.

Metsien kokonaishiilitaseen arviointi siten, että ne vastaisivat kasvihuonekaasuinventaarion osoittamia tasoja, edellytti useiden eri aineistojen yhteensovittamista. Monsu-mallin simuloimat talousmetsien metsämaan metsien kokonaishiilitaseen absoluuttiset arviot eivät olleet yhteensopivia edellisen kasvihuonekaasuinventaarion tulosten kanssa toisin kuin KEITO-yhteistyöhankkeen skenaarioissa oli pyritty tekemään. KEITO-tulokset eivät kuitenkaan olleet yhteensopivia nykyisen kasvihuonekaasuinventaarion (Tilastokeskus 2025a) kanssa, minkä takia skenaariotuloksiin tehtiin uuden ja edellisen kasvihuonekaasuinventaarion eron mukainen tasokorjaus (katso kohta 4.2.4). Erilaisten aineistojen yhteensovittaminen lisää osaltaan kokonaishiilitasearvioiden epävarmuutta, mikä heijastuu myös ilmastotavoitteiden saavuttamisen arviointiin. Lisäksi Monsu- ja KEITO-skenaarioiden kokonaishiilitaseissa on tasoero, ja niiden arviot kokonaishiilitaseen vahvistumisen ajankohdasta poikkeavat. Erot aiheuttavat epävarmuutta myös siihen, kuinka Monsu-mallilla arvioitu talousmetsien metsämaan metsien lisäsuojelun vaikutus näkyy jäljelle jääneiden talousmetsien kokonaishiilitaseessa ajan kuluessa.

Edellä esitetyistä syistä tämän raportin tulokset eivät kuvaa tarkkaan todellisesta kehitystä, vaan kertovat pikemmin metsien kokonaishiilitaseiden ja luonnon monimuotoisuuden muutosten suunnasta ja suuruusluokasta eri skenaarioiden välillä. Tämän takia tulevaisuudessa on perusteltua tarkentaa eri tekijöiden vaikutuksia ilmasto- ja luontotavoitteiden saavuttamisen kannalta sopivien hakkuutasojen määrittämiseksi sekä hyödyntää useita simulointimalleja tulosten tarkkuuden parantamiseksi. Kokonaisarvion täydentämiseksi olisi tärkeää ottaa huomioon myös laajemmin metsien käytön muutosten, eli suojelutason kasvattamisen ja hakkuiden maltillistamisen, taloudelliset ja sosiaaliset vaikutukset.

5 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämän raportin tavoitteena oli arvioida, miten metsien käytön kokonaishiilitase ja luonnon monimuotoisuudelle tärkeät rakennepiirteet – lahopuun, järeän puun ja lehtipuun määrä – kehittyvät eri skenaarioissa, joissa talousmetsien metsämaan tiukasti suojeltua pinta-alaa ja hakkuumääriä vaihdellaan. Muutoksia tarkasteltiin talousmetsissä ja niistä muodostetuissa uusissa suojelumetsissä Monsu-nimisen metsien simulointi- ja optimointimallin avulla 50 vuoden tarkastelujakson aikana. Skenaarioissa vuosittaiset hakkuutasot olivat 60, 70 ja 80 Mm^3. Metsämaan metsien tiukasti suojeltu pinta-ala vaihteli skenaarioissa seuraavasti: 1) suojelupinta-alaa ei lisätty alkutilanteesta, 2) suojelupinta-alaa kasvatettiin Etelä- ja Keski-Suomessa 10 prosenttiin (Pohjois-Suomessa pinta-ala on jo yli 10 prosenttia alkutilanteessa), tai 3) suojelupinta-alaa kasvatettiin 20 prosenttiin kaikilla kolmella alueella.

Skenaariomallinnus osoitti, että mitä alhaisempi hakkuutaso on, sitä parempi talousmetsien kokonaishiilitase on koko 50 vuoden tarkastelujaksolla (katso luku 4.2.3 kuva 9 ja luku 4.2.4 kuva 11). Monsu-mallin simulointien perusteella hakkuiden vähentäminen 10 Mm^3 parantaa metsien kokonaishiilitasetta noin −15 Mt vuodessa koko tarkastelujakson ajan, ja vastaavasti hakkuiden lisääminen aiheuttaa samansuuruisen heikennyksen kokonaishiilitaseeseen (katso luku 4.2.4 taulukko 3). Tulos on samansuuntainen aiempien metsien pitkäaikaissimulointien, kuten KEITO-hankeyhteistyön yhteydessä tehdyn mallinnusskenaarioiden kanssa, jonka tuloksia käytettiin tässä työssä hakkuutasojen ja metsien kokonaishiilitaseen välisissä arvioissa. Sekä Monsu- että KEITO-mallien simuloinnit osoittivat, että metsien kokonaishiilitase vahvistuu ajan myötä myös tilanteessa, jossa hakkuut jopa kasvavat viimeisen viiden vuoden tasosta (noin 73 Mm^3 vuodessa). Malleissa kokonaishiilitaseen vahvistumisen ajankohdat kuitenkin poikkeavat toisistaan.

Monsu-mallinnukset osoittivat, että talousmetsistä perustettujen suojelumetsien hiilinielu kasvaa ja säilyy korkealla tasolla koko 50 vuoden tarkastelujakson ajan (katso luku 4.2.1 kuva 5). Talousmetsien hakkuut ja metsänhoito vaikuttavat kuitenkin metsien kokonaishiilitaseeseen huomattavasti suojelualueita laajempien pinta-alojen kautta, ja niiden vaikutus kokonaishiilitaseeseen on siten suurempi kuin suojelualueiden kasvavan nielun vaikutus. Kun suojelupinta-alaa lisätään ja hakkuut pidetään korkealla tasolla, hakkuupaine kohdistuu pienemmälle talousmetsien pinta-alalle, mikä heikentää niiden kokonaishiilitasetta (katso luku 4.2.2 kuvat 7 ja 8).

Vuotuisen 60 Mm^3 hakkuutason ylläpitäminen yhdistettynä suojelupinta-alan laajentamiseen 10 prosenttiin ei juuri muuta lisäsuojelualueiden ja talouskäyttöön jäävien metsien yhteenlaskettua kokonaishiilitasetta tarkastelujakson aikana. Jos suojelua laajennetaan 20 prosenttiin, kokonaishiilitase heikkenee tarkastelujakson loppupuolella (katso luku 4.2.4 kuva 13). Ero “Ei lisäsuojelua” -skenaarioon jää kuitenkin pienemmäksi kuin jos hakkuut olisivat 70 Mm^3 (katso luku 4.2.4 kuva 12).

Hakkuutason ylläpitäminen 70 Mm^3 vuodessa yhdessä 10 prosentin suojelutason kanssa heikentää lisäsuojelualueiden ja talouskäyttöön jäävien metsien yhteenlaskettua kokonaishiilitasetta tämän vuosisadan puolivälin jälkeen verrattuna tilanteeseen, jossa lisäsuojelua ei toteuteta. Jos suojelua laajennetaan 20 prosenttiin, nielun heikkeneminen on tarkastelujakson loppupuolella selvästi suurempaa, mutta metsät olisivat tällöinkin kokonaisuutena vahvoja hiilinieluja (kuva 12).

Vuotuisen hakkuutason ylläpitäminen 80 Mm^3 ja suojelupinta-alan laajentaminen 20 prosenttiin ei ollut yhteensovitettavissa, koska suurinta ylläpidettävää hakkuumäärää ei pystytä toteuttamaan jäljelle jääneissä talousmetsissä. Suojelupinta-alan laajentaminen 10 prosenttiin on yhteensovitettavissa 80 Mm^3 hakkuutasoon, mutta korkean hakkuutason seurauksena metsien kokonaishiilitase heikkenee

merkittävästi ja metsät ovat kokonaisuudessaan pitkään päästölähde (katso luku 4.2.2 kuva 8 ja luku 4.2.4 kuva 11).

Tilanteessa, jossa suojelupinta-alaa ei kasvateta, talouskäytössä oleviin metsämaan metsiin kertyy lahopuuta, järeää puuta ja lehtipuuta sitä enemmän, mitä vähemmän metsiä hakataan (katso luvut 4.3.1–4.3.3 kuvat 14a, 16a ja 18a). Hakkuita nykyisestä maltillistamalla saadaan kaikkien tarkasteltujen luonnon monimuotoisuudelle tärkeiden rakennepiirteiden määrät talousmetsissä kasvuun, mutta kasvu jää hyvin vaatimattomaksi verrattuna suojelluissa metsissä ajan myötä tapahtuvaan rakennepiirteiden lisäykseen. Suojeluun siirretyillä alueilla lahopuun, järeän puun ja lehtipuun määrät kasvavat merkittävästi ja nopeasti (katso luvut 4.3.1–4.3.3 kuva 14b-c, 16b-c ja 18b-c). Nopeaa kehitystä voi osaltaan selittää se, että suojelun piiriin etenkin Etelä- ja Keski-Suomessa valittiin keskimääräistä runsaspuustoisempia kohteita.

Hakkuutasojen ylläpitäminen korkealla tasolla ei ole yhteensopivaa suojelualueiden lisäämisen ja luonnon monimuotoisuudelle tärkeiden rakennepiirteiden vaalimisen kanssa. Kun suojelupinta-alaa kasvatetaan 10 prosenttiin, hakkuiden samanaikainen kasvattaminen 80 Mm^3:iin vuodessa johtaa talouskäyttöön jäävällä metsämaalla kaikkien rakennepiirteiden heikkoon ja jopa vähenevään kehitykseen (katso luvut 4.3.1–4.3.3 kuvat 14b, 16b, 18b). Kun suojelupinta-ala kasvatetaan 20 prosenttiin, hakkuiden pitäminen edes 70 Mm^3 vuotuisella tasolla johtaa talousmetsissä kaikkien arvioitujen luonnon monimuotoisuudelle tärkeiden rakennepiirteiden määrän vähenemiseen (katso luvut 4.3.1–4.3.3 kuvat 14c, 16c ja 18c). Huomionarvoista on, että metsämaan metsien suojelupinta-alan kasvattaminen 10 prosenttiin sekä Etelä- että Keski-Suomessa – sen lisäksi, että tämä taso on jo saavutettu Pohjois-Suomessa – voidaan toteuttaa niin, että myös talousmetsissä turvataan monimuotoisuudelle tärkeiden rakennepiirteiden myönteinen kehitys, kunhan hakkuita maltillistetaan nykyisestä tasosta lähemmäs 60 Mm^3 hakkuutasoa.

Tulokset osoittivat, että kaikkien luonnon monimuotoisuudelle tärkeiden rakennepiirteiden määrä kasvaa ja metsien hiilinielut vahvistuvat hakkuiden vähentyessä (katso luvut 4.3.1–4.3.3 kuvat 15, 17 ja 19). Kaikki tarkastellut rakennepiirteet saavuttivat suurimmat määrät ja hiilinielu oli suurin kaikkein maltillisimmalla 60 Mm^3:n hakkuutasolla. Hakkuutaso vaikuttaa sekä luonnon monimuotoisuudelle tärkeiden rakennepiirteiden määrään että kokonaishiilitaseeseen selvästi enemmän kuin suojelutaso tietyllä hakkuutasolla. Talouskäyttö rajoittaa rakennepiirteiden määrän kasvua merkittävästi verrattuna tilanteeseen, jossa alueet jätettäisiin kehittymään kohti luonnontilaa eli siirrettäisiin suojeluun. Suojelupinta-alan lisääminen johtaa valtakunnallisesti tarkastellen hieman suurempaan lahopuun ja järeiden puiden määrään (katso luvut 4.3.1–4.3.2 kuvat 15 ja 17) kuin kullakin hakkuutasolla ilman lisäsuojelua. Kuitenkin talouskäytössä olevissa metsissä nykyisiä metsänhoitosuosituksia seuraamalla kehitys voi jäädä vaatimattomaksi, kun taas suojelualueilla rakennepiirteiden kehitys on voimakkaan myönteistä. Tulokset kertovat selvästi, että luonnon monimuotoisuuden kannalta tärkeiden rakennepiirteiden raportointi tulisi aina tehdä suojellut ja talouskäytössä olevat alueet erotellen.

Luonnon monimuotoisuus vaihtelee maantieteellisen sijainnin mukaan niin, että mitä etäämmällä toisistaan tarkasteltavat alueet sijaitsevat, sitä erilaisempaa niiden monimuotoisuus on. Tästä syystä luonnon monimuotoisuutta ei voi turvata suojelemalla alueita vain tietyllä maantieteellisellä alueella, esimerkiksi Pohjois-Suomessa. Talousmetsien ja suojelualueiden luonnon monimuotoisuudelle tärkeiden rakennepiirteiden kehityksen tarkastelu Etelä-, Keski- ja Pohjois-Suomessa (katso luku 4.3.4 kuvat 20, 21 ja 22), osoitti, että talouskäyttöön jäävien metsämaan metsien ja suojeluun siirrettyjen metsämaan metsien välinen ero kasvaa ajan kuluessa kaikilla alueilla, mutta että eron kasvu on erityisen suuri Etelä-Suomessa. Tulos on oleellinen luonnon monimuotoisuuden kannalta, koska lajit ovat evolutiivisesti sopeutuneet alueilla ilman metsätalouskäyttöä vallitseviin rakennepiirteiden luonnontilaisiin määriin. Tämä tarkoittaa Etelä-Suomen talousmetsissä elävien lajien suurempaa

ahdinkoa ja sitä, että vaikka monimuotoisudelle tärkeitä rakennepiirteitä on lisättävä kaikissa talousmetsissä, erityistä huomiota niiden vaalimiseen on kiinnitettävä Etelä-Suomessa.

Eri hakkuutasoja koskevien skenaarioiden perusteella voidaan tehdä seuraavat johtopäätökset luonnon monimuotoisuuden suojelun ja metsien hiilinielun yhteensovittamisesta Suomen ilmasto- ja luontopolitiikassa:

1. Jonkin verran 60 Mm^3 korkeampi vuotuinen hakkuutaso mahdollistaa ilmastolain mukaisen vuoden 2035 hiilineutraaliustavoitteen saavuttamisen. Lisäksi tämä hakkuutaso mahdollistaa talousmetsien metsämaan tiukan suojelun pinta-alan kasvattamisen jopa 20 prosenttiin ja tukee näin merkittävästi EU:n biodiversiteettistrategian tavoitteiden sekä ennallistamisasetuksen velvoitteiden saavuttamista. Skenaarion haaste liittyy puun tarpeeseen: hakkuutaso merkitsisi noin 10 Mm^3:n laskua kotimaisen runkopuun viimeaikaiseen käyttöön verrattuna. Jos puun käyttöä energiantuotantoon vähennetään merkittävästi, metsien kasvua edistetään metsänhoidollisin keinoin ja maankäyttösektorin kasvihuonekaasupäästöjä vähennetään muissa maankäyttöluokissa, ainespuun käytön vähentämistarve metsäteollisuudessa jäisi kuitenkin selvästi pienemmäksi. Maankäyttösektorin kasvihuonekaasuja koskeva vuoden 2030 EU:ssa sovittu velvoite voidaan täyttää 60 ja 70 Mm^3:n väliin asettuvalla vuotuisella hakkuutasolla. Tässä raportissa ei arvioitu tarkkaa velvoitteiden täyttymisen mahdollistavaa hakkuiden kuutiomäärää. Sama koskee vuoden 2035 hiilineutraaliustavoitteen saavuttamista. Myöskään sitä, miten talousmetsien metsämaan suojelupinta-alan kasvattaminen vaikuttaisi velvoitteiden täyttämiseen, ei pystytty tarkkaan arvioimaan.

2. Hakkuutaso 70 Mm^3 vuodessa mahdollistaa metsien kokonaishiilitaseen säilyttämisen nettonieluna. Suomen maankäyttösektorin vuoden 2030 EU-velvoite jäisi kuitenkin täyttämättä ja vuoden 2035 kansallinen hiilineutraaliustavoite saavuttamatta. Suojelupinta-alan laajentaminen 10 tai 20 prosenttiin talousmetsien metsämaalla ei juurikaan muuta metsien kokonaishiilitasetta 20 vuoden aikavälillä. Suojelupinta-alan lisääminen ja 70 Mm^3:n vuotuiset hakkuut johtaisivat siihen, että talouskäyttöön jäävissä metsissä hakkuupaineen kasvaessa metsien luonnon monimuotoisuudelle tärkeiden rakennepiirteiden suotuisa kehitys estyy tai muuttuu heikkeneväksi. Suojelutason nosto pienentäisi hakkuiden piirissä olevien talousmetsien pinta-alaa, ja talousmetsien hoito ja käyttö muuttuisi intensiivisemmäksi erityisesti, jos metsäteollisuuden tuotteiden kysyntä ja puun energiakäyttö eivät muutu. Suojelupinta-alan laajentuessa 20 prosenttiin puun kysyntä kohdistuisi noin 2,5 miljoonaa hehtaaria pienemmälle pinta-alalle. Jos vuosittaiset hakkuut pidetään 70 Mm^3 tasolla, lisääntyy hakkuupaine suojelun ulkopuolelle jäävillä alueilla. Hakkuupaineen kasvun vuoksi talousmetsien hiilinielukehitys heikkenisi eikä lisäsuojelualueiden hiilinielun lisääntyminen kykene kompensoimaan sitä kokonaan.

3. Hakkuutaso 80 Mm^3 vuodessa johtaisi metsien kokonaishiilitaseen merkittävään heikkenemiseen verrattuna 60 ja 70 Mm^3:n hakkuuskenaarioihin. Tämän seurauksena sekä Suomen maankäyttösektorin vuoden 2030 EU-velvoitteesta että kansallisesta vuoden 2035 hiilineutraaliustavoitteesta jäätäisiin kauas. Suojelupinta-alan kasvattamisen ja 80 Mm^3 vuotuisten hakkuiden yhdistelmä johtaisi talouskäytössä olevien metsien entistä intensiivisempään käyttöön, jolloin kokonaishiilitaseen ja luonnon monimuotoisuudelle tärkeiden rakennepiirteiden kehitys heikkenisi. Näin korkea hakkuutaso on Suomen 2050-luvulle ulottuvien pidemmän aikavälin ilmastotoimien ja luontotavoitteiden kannalta haitallinen.

Vaikka tarkasteluun sisältyy epävarmuuksia, voidaan todeta, että reilun 60 Mm^3:n vuotuinen runkopuun hakkuutaso on yhteensopiva sekä Suomen ilmastotavoitteiden että 10 prosentin ja jopa 20 prosentin metsämaan tiukan suojelupinta-alan kanssa. Täsmällisemmän ilmasto- ja luontotavoitteiden kanssa sopusoinnussa olevan hakkuutason ja siihen liittyvän muutospolun määrittäminen ei ollut käytössä olleen aineiston perusteella mahdollista. Tämän takia jatkossa on syytä tarkentaa arviota

hakkuutasosta käyttämällä erilaisia metsien simulointimalleja, jotka tuottavat yhtenevät tulokset kasvihuonekaasuinventaarion kanssa.

6 LÄHTEET

Banbury Morgan, B. & Jucker, T. 2025. A unifying framework for understanding how edge effects reshape the structure, composition and function of forests. *New Phytologist* (early view).

Bell, S., Tyrväinen, L., Sievänen, T., Pröbstl, U., Simpson, M. 2007. Outdoor recreation and nature tourism: a European perspective. *Living Reviews in Landscape Research* 1, 1–46. http://dx.doi.org/10.12942/lrlr-2007-2

Berglund, H. & Kuuluvainen, T. 2021. Representative boreal forest habitats in northern Europe, and a revised model for ecosystem management and biodiversity conservation. *Ambio 50*(5), 1003–1017. https://doi.org/10.1007/s13280-020-01444-3

Bowman, W.D. & Hacker, S.D. 2023. *Ecology*. Sixth edition. Oxford University Press. 735 s.

Burkhard, B., Kroll, F., Nedkov, S., Müller, F. 2012. Mapping ecosystem service supply, demand and budgets. Ecological Indicators 21, 17–29. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.06.019

Díaz-Yáñez, O., Pukkala, O., Packalen, P., Lexer, M.J. & Peltola, H. 2021. Multi-objective forestry increases the production of ecosystem services. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, *94*(3), 386–394. https://doi.org/10.1093/forestry/cpaa041

Eggers J., Räty M., Öhman K., Snäll T. 2020. How well do stakeholder-defined forest management scenarios balance economic and ecological forest values? *Forests* 11:86. https://doi.org/10.3390/f11010086

Eggleston, H.S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T. & Tanabe, K. (toim.) 2006. IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. Task Force on National Greenhouse Gas Inventories, Intergovernmental Panel on Climate Change. https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/

El Geneidy, S., Peura, M., Aumanen, V.-M., Baumeister, S., Helimo, U., Vainio, V. & Kotiaho, J.S. 2025. Value-transforming financial, carbon and biodiversity footprint accounting. https://doi.org/10.48550/arXiv.2309.14186

Elo, M., Halme, P., Toivanen, T., & Kotiaho, J. S. 2019. Species richness of polypores can be increased by supplementing dead wood resource into a boreal forest landscape. *Journal of Applied Ecology*, *56*(5), 1267–1277. https://doi.org/10.1111/1365-2664.13364

Erb, K.-H., Fetzel, T., Plutzar, C., Kastner, T. Lauk, C. Mayer, A., Niedertscheider, M., Körner, C., Haberl, H. 2016. Biomass turnover time in terrestrial ecosystems halved by land use. *Nature Geoscience* vol. 9: 674–678. https://doi.org/10.1038/ngeo2782

ESABCC 2023. *Scientific advice for the determination of an EU-wide 2040 climate target and a greenhouse gas budget for 2030–2050*. European Scientific Advisory Board on Climate Change. https://climate-advisory-board.europa.eu/reports-and-publications/scientific-advice-for-the-determination-of-an-eu-wide-2040

ESABCC 2025. *Scaling up carbon dioxide removals. Recommendations for navigating opportunities and risks in the EU*. European Scientific Advisory Board on Climate Change. https://climate-advisory-board.europa.eu/reports-andpublications/scaling-up-carbon-dioxide-removals-recommendations-for-navigating-opportunities-andrisks-in-the-eu

Euroopan komissio 2020. Vuoteen 2030 ulottuva EU:n biodiversiteettistrategia Luonto takaisin osaksi elämäämme. Komission tiedonanto Euroopan parlamentille, neuvostolle, Euroopan talous- ja sosiaalikomitealle ja alueiden komitealle.

Euroopan komissio 2021. Uusi EU:n metsästrategia 2030. Komission tiedonanto Euroopan parlamentille, neuvostolle, Euroopan talous- ja sosiaalikomitealle ja alueiden komitealle. COM(2021) 572 final.

Euroopan komissio 2024a. Impact assessment report accompanying the document Securing our future Europe's 2040 climate target and path to climate neutrality by 2050 building a sustainable, just and prosperous society, SWD(2024) 64 final.

Euroopan komissio 2024b. Regulation (EU) 2024/1991 of the European Parliament and of the Council of 24 June 2024 on nature restoration and amending Regulation (EU) 2022/869. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32024R1991&qid=1722240349976

Euroopan komissio 2025. Climate strategies & targets. https://climate.ec.europa.eu/eu-action/climate-strategies-targets_en

Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EU) 2023/839, annettu 19 päivänä huhtikuuta 2023, asetuksen (EU) 2018/841 muuttamisesta siltä osin kuin on kyse soveltamisalasta, raportointia ja vaatimusten noudattamista koskevien sääntöjen yksinkertaistamisesta ja jäsenvaltioiden tavoitteiden asettamisesta vuodelle 2030 sekä asetuksen (EU) 2018/1999 muuttamisesta seurannan, raportoinnin, edistymisen seurannan ja uudelleentarkastelun parantamisen osalta. (nk. Uudistettu LULUCF-asetus). https://eur-lex.europa.eu/legalcontent/FI/TXT/HTML/?uri=CELEX:32023R0839&qid=1741095561747#tit_1

Eyvindson K., Repo A., Mönkkönen M. 2018. Mitigating forest biodiversity and ecosystem service losses in the era of bio-based economy. *Forest Policy and Economics* 92:119–127. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1389934117303210?via%3Dihub.

Gossner, M.M., Floren, A., Weisser, W.W. & Linsenmair, K.E. 2013. Effect of dead wood enrichment in the canopy and on the forest floor on beetle guild composition. *Forest Ecology and Management, 302*, 404-413. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.03.039

Halme, P., Allen, K. A., Auniņš, A., Bradshaw, R. H., Brūmelis, G., Čada, V., ... & Zin, E. 2013. Challenges of ecological restoration: lessons from forests in northern Europe. *Biological Conservation*, *167*, 248–256. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2013.08.029

Hanski, I. 2011. Habitat loss, the dynamics of biodiversity, and a perspective on conservation. *Ambio* 40: 248–255. https://link.springer.com/article/10.1007/s13280-011-0147-3

Harrison, S., Ross, S.J., Lawton, J.H., Harrison, S., Ross, S.J., Lawtont, J.H. 1992. Beta Diversity on Geographic Gradients in Britain. *Journal of Animal Ecology* 61, 151–158. http://www.jstor.org/stable/5518

Heinonen, T., Pukkala, T. & Asikainen, A. 2020. Variation in forest landowners' management preferences reduces timber supply from Finnish forests. *Annals of Forest Science 77*, 31. https://doi.org/10.1007/s13595-020-00939-z

Heinonen, T., Pukkala, T., Asikainen, A. & Peltola, H. 2018a. Scenario analyses on the effects of fertilization, improved regeneration material, and ditch network maintenance on timber production of

Finnish forests. *European Journal of Forest Research,137*(1), 93–107. https://doi.org/10.1007/s10342-017-1093-9

Heinonen, T., Pukkala, T., Kellomäki, S., Strandman, H., Asikainen, A., Venäläinen, A. & Peltola, H. 2018b. Effects of forest management and harvesting intensity on the timber supply from Finnish forests in a changing climate. *Canadian Journal of Forest Research, 48*(10), 1124–1134. https://doi.org/10.1139/cjfr-2018-0118

Henttonen, H.M., Nöjd, P. & Mäkinen, H. 2017. Environment-induced growth changes in the Finnish forests during 1971-2010 – an analysis based on National Forest Inventory. *Forest Ecology and Management, 386*, 22–36. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.11.044

Henttonen, H.M., Nöjd, P., Suvanto, S., Heikkinen, J. & Mäkinen, H. 2019. Large trees have increased greatly in Finland during 1921–2013, but recent observations on old trees tell a different story. *Ecological Indicators, 99*, 118–129. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.12.015

Hetemäki, L. & Hänninen, R. 2013. Suomen metsäalan taloudellinen merkitys nyt ja tulevaisuudessa. *Kansantaloudellinen aikakauskirja 109*, 191–208. https://www.taloustieteellinenyhdistys.fi/wp-content/uploads/2014/09/hetem%C3%A4ki_h%C3%A4nninen.pdf

Hottola, J., Ovaskainen, O. & Hanski, I. 2009. A unified measure of the number, volume and diversity of dead trees and the response of fungal communities. *Journal of Ecology, 97*, 1320–1328. https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2009.01583.x

Huhta, E. & Melin, M. (toim.) 2023. *Ilmastonmuutoksen ja sään ääri-ilmiöiden vaikutukset luontoon ja luonnonvaratalouteen: Synteesiraportti*. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 118/2023. https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-849-2

Hurmekoski, E., Kunttu, J., Heinonen, T., Pukkala, T. & Peltola, H. 2023. Does expanding wood use in construction and textile markets contribute to climate change mitigation? *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 174* (2023) 113152. https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113152

Hurmekoski, E., Myllyviita, E., Seppälä, J., Heinonen, T., Kilpeläinen, A., Pukkala, T., Mattila, T., Hetemäki, L., Asikainen, A. & Peltola, H. 2020. Impact of structural changes in wood-using industries on net carbon emissions in Finland. *Journal of Industrial Ecology, 24*(4), 899–912. https://doi.org/10.1111/jiec.12981

Huuskonen, S., Domisch, T., Finér, L., Hantula, J., Hynynen, J., Matala, J., ... & Viiri, H. 2021. What is the potential for replacing monocultures with mixed-species stands to enhance ecosystem services in boreal forests in Fennoscandia? *Forest ecology and management*, 479, 118558. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037811272031327X

Hynynen, J., Eerikäinen, K., Mäkinen, H. & Valkonen, S. 2019. Growth response to cuttings in Norway spruce stands under even-aged and uneven-aged management. *Forest Ecology and Management*, 437, 314–323. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.12.032

Hynynen, J., Huuskonen, S., Kujala, S.T., Kniivilä, M., Lehtonen, A., Melin, M., Albrich, K., Demmler, J., Haapanen, M., Haikarainen, S., Heikkinen, J., Hirvelä, H., Honkaniemi, J., Hökkä, H., Kilpeläinen, H., Korhonen, K.T., Kärkkäinen, H., Kärkkäinen, K., Lehtonen, M., Luoranen, J., Martínez García, E., Miina, J., Mutanen, A., Mäkinen, H., Palmu, S., Salminen, H., Siipilehto, J., Siiskonen, H., Stenberg, L., Szejner, P. & Tikkasalo, O.-P. 2024. *Synteesiraportti: metsien kasvun lisäämisen keinot ja vaikutukset.* Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 92/2024. https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-985-7

Hyvärinen, E., Juslén, A., Kemppainen, E., Uddström, A. & Liukko, U.-M. (toim.) 2019. *Suomen lajien uhanalaisuus – Punainen kirja 2019.* Ympäristöministeriö & Suomen ympäristökeskus. Helsinki. 704 s. http://hdl.handle.net/10138/299501

Hökkä, H., Stenberg, L., Laurén, A. 2020. Modelling depth of drainage ditches in forested peatlands of Finland. *Baltic Forestry, 26*(2), 220–228. https://doi.org/10.46490/BF453

Ilmastolaki 423/2022. Saatavilla: https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2022/20220423

Jalkanen, J. (toim.) 2025. *Luontotyyppien ennallistamisen, luontaisen palautumisen ja luonnonhoidon vasteet ekologisessa kompensaatiossa*. https://zenodo.org/records/14409001/files/Vasteiden_Kuvaukset_V1.0-2025.pdf

Jalkanen, J., Nieminen, E., Ahola, A., Salo, P., Pekkonen, M., Luoma, E., Kettunen, A., Halme, P., Pappila, M., Kotiaho, J. & Kujala, H. 2025. *Heikennys- ja hyvitysalueiden luonnonarvohehtaarien laskeminen luonnonsuojelulain mukaisessa ekologisessa kompensaatiossa*. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 1/2025. http://hdl.handle.net/10138/591139

Jokela, J., Siitonen, J. & Koivula, M. 2019. Short-term effects of selection, gap, patch and clear cutting on the beetle fauna in boreal spruce-dominated forests. *Forest Ecology and Management, 446*, 29–37. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.05.027

Jonsson, M., Bengtsson, J., Gamfeldt, L., Moen, J., & Snäll, T. 2019. Levels of forest ecosystem services depend on specific mixtures of commercial tree species. Nature plants, 5(2), 141–147. https://www.proquest.com/docview/2177676577?fromopenview=true&pq-origsite=gscholar&sourcetype=Scholarly%20Journals

Kalliokoski, T., Heinonen, T., Holder, J., Mäkelä, A., Minunno, F., Lehtonen, A., Packalen, T., Peltoniemi, M., Pukkala, T., Salminen, O., Scehlhaas, M.-J., Vauhkonen, J., Kanninen, M.,Seppälä, J. & Ollikainen, O. 2019. *Skenaarioanalyysi metsien kehitystä kuvaavien mallien ennusteiden yhtäläisyyksistä ja eroista*. Suomen ilmastopaneelin raportti 2/2019.

Ketola, T., Ahlvik, L., Boström, C., Bäck, J., Jokimäki, J., Kallio, K. P., Kulmala, L., Lehikoinen, A., Nieminen, T. M., Oksanen, E., Pappila, M., Pöyry, J., Saarikoski, H., Sinkkonen, A., Sääksjärvi, I. & Kotiaho, J. S. 2021. *Soiden ennallistamisen suoluonto-, vesistö- ja ilmastovaikutukset. Luontopaneelin yhteenveto ja suositukset luontopolitiikan suunnittelun ja päätöksenteon tueksi*. Suomen Luontopaneelin julkaisuja 3a/2021. https://luontopaneeli.fi/wp-content/uploads/2021/07/luontopaneelin-raportin-yhteenveto-3a-2021-soiden-ennallistamisen-vaikutukset.pdf.

Keto-Tokoi, P. & Siitonen, J. 2021. *Puiden asukkaat. Suomen puiden seuralaislajit.* Gaudeamus.

Keto-Tokoi, P. 2018. *Tutkimustietoon perustuvia suosituksia vastuullisen metsänhoidon kehittämiseksi*. WWF Suomen raportteja, 37, 1–133.

Koivula, M., Domisch, T., Hamberg, L., Huhta, E., Kaitera, J., Korhonen, A., Korhonen, K.T., Laurila, M., Louhi, P., Männistö, M., Penttilä, R., Shorokhova, E. & Vanha-Majamaa, I. 2024. Metsätalous. Julkaisussa Maa- ja metsätaloustuottajain Keskusliitto MTK ry (MTK) & Svenska lantbruksproducenternas centralförbund SLC r.f (SLC) (toim.). *MTK:n ja SLC:n luonnon monimuotoisuuden tiekartta maa- ja metsätaloudelle*, 132–303. www.mtk.fi/luonnon-monimuotoisuus ja www.slc.fi/bdfardplan

Koivula, M., Felton, A., Jönsson, M., Löfroth, T., Høistad Schei, F., Siitonen, J. & Sjögren, J. 2025b. Biodiversity. Julkaisussa Rautio, P., Routa, J., Huuskonen, S., Holmström, E., Cedergren, J. & Kuehne, C. (toim.). *Continuous Cover Forestry in Boreal Nordic Countries*. 195–220. Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-3-031-70484-0

Koivula, M., Louhi, P., Miettinen, J., Nieminen, M., Piirainen, S., Punttila, P. & Siitonen, J. 2022. *Talousmetsien luonnonhoidon ekologisten vaikutusten synteesi*. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 60/2022. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 83 s. https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-472-2

Koivula, M., Siitonen, J., Tonteri, T., Assmuth, A., Hotanen, J.-P., Huhta, E., Kaitera, J., Lintunen, J., Salminen, H., Shorohova, E. & Viitala, E.-J. 2025a. *Synteesiraportti: talousmetsien luonnon monimuotoisuuden kehitys ja luonnonhoidon vaikuttavuus*. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 19/2025. https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-419-032-9

Koljonen, T. & Silfver, T. 2025. KEITO WEM-/WAM-tilanne. https://hiilineutraalisuomi.syke.fi/wp-content/uploads/sites/8/2025/05/Keito_WEM_WAM_tilanne_09042025.pdf

Koljonen, T., Soimakallio, S., Silfver, T. & Kivinen, M. (toim.) 2025a. *Kansallisen energia- ja ilmastopolitiikan uudet toimet ja skenaariot (KEITO) – keskipitkän aikavälin vaikutusarviot*. VTT Technology 442. https://publications.vtt.fi/pdf/technology/2025/T442.pdf

Koljonen, T., Silfver, T., Soimakallio, S., Kivinen, M., Aakkula, J., Haakana, M., Halonen, M., Halttu, K., Hirvelä, H., Kurki, S., Lehtilä, A., Lehtonen, H., Markkanen, J., Mutanen, A., Niemistö, J., Similä, L., Sundqvist, H., Vainio, T., Viitanen, J., Vikfors, S. 2025b. *Kansallisen energia- ja ilmastopolitiikan uudet toimet ja skenaariot (KEITO) − pitkän aikavälin ilmastosuunnitelman taustaselvity*s. VTT Technology 443. https://publications.vtt.fi/pdf/technology/2025/T443.pdf

Komonen, A., Junninen, K., Kotiaho, J. S., & Elo, M. 2024. Forest restoration benefits common and rare wood-decomposing fungi with a delay. *Forest Ecology and Management*, *572*, 122342. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2024.122342

Kontula, T. & Raunio, A. (toim.) 2018. *Suomen luontotyyppien uhanalaisuus 2018. Luontotyyppien punainen kirja – Osa 1: Tulokset ja arvioinnin perusteet*. Suomen ympäristökeskus ja ympäristöministeriö, Helsinki. Suomen ympäristö 5/2018. 388 s. https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/161233

Korhonen, K. T., Auvinen, A. P., Kuusela, S., Punttila, P., Salminen, O., Siitonen, J., Ahlroth, P., Jäppinen J-P. & Kolström, T. 2016. *Biotalousskenaarioiden mukaisten hakkuiden vaikutukset metsien monimuotoisuudelle tärkeisiin rakennepiirteisiin*. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 51/2016.

Korhonen, K.T., Ihalainen, A., Kuusela, S., Punttila, P., Salminen, O. & Syrjänen, K. 2020. Metsien monimuotoisuudelle merkittävien rakennepiirteiden muutokset Suomessa vuosina 1980–2015. *Metsätieteen aikakauskirja 2020*, 10198. https://doi.org/10.14214/ma.10198

Kotiaho, J. S. 2017. On effective biodiversity conservation, sustainability of bioeconomy, and honesty of the Finnish forest policy. *Annales Zoologici Fennici* 54: 13–25. https://www.sekj.org/PDF/anzf54OA/anzf54-013-025.pdf

Kotiaho, J. S., Bäck, J., Jokimäki, J., Kallio, K. P., Ketola, T. Kulmala, L., Laine, I., Lehikoinen, A., Nieminen, T. M., Oksanen, E., Pappila, M., Sinkkonen, A., Sääksjärvi, I., Tahvonen, O. ja Peura, M. 2022. *Jatkuvapeitteisen metsänkäsittelyn ympäristö- ja talousvaikutukset*. Suomen Luontopaneelin

julkaisuja 1A/2022. https://luontopaneeli.fi/wp-content/uploads/2022/04/luontopaneelin-julkaisuja-1a-2022-jatkuvapeitteisen-metsankasittelyn-ymparisto-ja-talousvaikutukset.pdf

Kotiaho, J. S., Bäck, J., Herzon, I., Häyrynen, S., Jokimäki, J., Kallio, K. P., Kulmala, L., Laine, I., Lehikoinen, A., Nieminen, T.M., Oksanen, E., Onkila, T., Pappila, M., Silfverberg, O., Sinkkonen, A., Sääksjärvi, I. & Kangas, J. 2023. *Suomen luonnon tila ja tulevaisuus – toimenpidekuilun analyysi ja ratkaisuja luontokadon pysäyttämiseksi*. Suomen Luontopaneelin julkaisuja 4A/2023.

Kotiaho, J. S., Kuusela, S., Nieminen, E., & Päivinen, J. (toim.) 2015. *Elinympäristöjen tilan edistäminen Suomessa: ELITE-työryhmän mietintö elinympäristöjen tilan edistämisen priorisointisuunnitelmaksi ja arvio suunnitelman kokonaiskustannuksista*. Suomen ympäristö, 8/2015. Suomen ympäristökeskus. http://hdl.handle.net/10138/156982

Kotiaho, J.S., Ahlvik, L., Bäck, J., Hohti, J., Jokimäki, J., Kallio, K. P., Ketola, T. Kulmala, L., Lakka, H.-K., Lehikoinen, A., Oksanen, E., Pappila, M., Sääksjärvi, I. & Peura, M. 2021. *Metsäluonnon turvaava suojelun kohdentaminen*. Suomen Luontopaneelin julkaisuja 4/2021.

Kouki, J., Junninen, K., Mäkelä, K., Hokkanen, M., Aakala, T., Hallikainen, V., Korhonen, K.T., Kuuluvainen, T., Loiskekoski, M., Mattila, O., Matveinen, K., Punttila, P., Ruokanen, I., Valkonen, S. & Virkkala, R. 2018. Metsät. Julkaisussa Kontula, T. & Raunio, A. (toim.), *Suomen luontotyyppien uhanalaisuus 2018. Luontotyyppien punainen kirja – Osa 1: Tulokset ja arvioinnin perusteet*. Suomen ympäristö 5/2018. Suomen ympäristökeskus ja ympäristöministeriö, Helsinki.

Kozák, D., Svitok, M., Zemlerová, V., Mikoláš, M., Lachat, T., Larrieu, L., & Svoboda, M. 2023. Importance of conserving large and old trees to continuity of tree-related microhabitats. *Conservation Biology*, 37(3), e14066. https://conbio.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/cobi.14066

Kuusela, S., Annala, M., Kontula, T., Leikola, N., Määttänen, A.-M., Virkkala, R. & Virtanen E. (toim.) 2022. *Kohti kattavaa suojelualueverkostoa. Luonnon monimuotoisuuden turvaamisen painopisteet Suomessa*. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 18/2022. Suomen ympäristökeskus, Helsinki. 325 s. http://hdl.handle.net/10138/344399

Kärkkäinen, L., Hynynen, J., Räty, M., Horne, P. Juutinen, A., Korhonen, K.T., Koskela, T., Maidell, M., Miettinen, J., Miina, J., Määttä, K., Otsamo, A., Punttila, M., Svensberg, M. Syrjänen, K. 2021. *Kustannusvaikuttavat keinot metsäluonnon monimuotoisuuden köyhtymisen pysäyttämiseksi*. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2021:21. http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-217-6

Laasasenaho, J. 1982. Taper curve and volume functions for pine, spruce and birch. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae*, 108, 1–74

Lee, J., Park, B.-J., Tsunetsugu, Y., Ohira, T., Kagawa, T., Miyazaki, Y. 2011. Effect of forest bathing on physiological and psychological responses in young Japanese male subjects. *Public Health*, 125 (2): 93–100.

Lehtonen, A., Aro, L., Haakana, M., Haikarainen, S., Heikkinen, J., Huuskonen, S., Härkönen, K., Hökkä, H., Kekkonen, H., Koskela, T., Lehtonen, H., Luoranen, J., Mutanen, A., Nieminen, M., Ollila, P., Palosuo, T., Pohjanmies, T., Repo, A., Rikkonen, P., Räty, M., Saarnio, S., Smolander, A., Soinne, H., Tolvanen, A., Tuomainen, T., Uotila, K., Viitala, E.-J., Virkajärvi, P., Wall, A. & Mäkipää, R. 2021. *Maankäyttösektorin ilmastotoimenpiteet: Arvio päästövähennysmahdollisuuksista*. Luonnonvara- ja

biotalouden tutkimus 65/2021.Luonnonvarakeskus. Helsinki. 122 s. https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-275-9

Lehtonen, A., Eyvindson, K., Härkönen, K., Leppä, K., Salmivaara, A., Peltoniemi, M., Salminen, O., Sarkkola, S., Launiainen, S., Ojanen, P., Räty, M. & Mäkipää, R. 2023. Potential of continuous cover forestry on drained peatlands to increase the carbon sink in Finland. *Scientific Reports 13*, 15510. https://doi.org/10.1038/s41598-023-42315-7

Luonnonvarakeskus 2022. Metsien suojelu: Suojelualueet, talousmetsien monimuotoisuuden suojelukohteet ja luontoarvojen suojelua tukevat alueet maakunnittain, aluetyypeittäin ja maaluokittain 2022 (1 000 ha). Aineisto on ladattu Luonnonvarakeskuksen rajapintapalvelusta 1.11.2025 lisenssillä CC BY 4.0.

Luonnonvarakeskus 2023a. Luken maakunnittaiset arviot metsien hakkuumahdollisuuksista valmistuivat – suurin ylläpidettävissä oleva hakkuukertymä pieneni hieman edellisestä arviosta. Uutinen 30.5.2023. https://www.luke.fi/fi/uutiset/luken-maakunnittaiset-arviot-metsien-hakkuumahdollisuuksista-valmistuivat-suurin-yllapidettavissa-oleva-hakkuukertyma-pieneni-hieman-edellisesta-arviosta

Luonnonvarakeskus 2023b. MELA tulospalvelu - VMI12-VMI13 (2017-2021). http://mela2.metla.fi/mela/tupa/index.php

Luonnonvarakeskus 2023c.Metsien vertailutason toinen tekninen korjaus. https://www.luke.fi/fi/ajankohtaista/teemat-ja-kampanjat/metsien-vertailutason-laskenta/metsien-vertailutason-toinen-tekninen-korjaus#milta-suomen-metsien-hiilinielu-nayttaa-suhteessa-paivitettyyn-vertailutasoon-ja-lulucfsektorin-vuosien-20212025-velvoitteeseen-toisen-teknisen-korjauksen-jalkeen

Luonnonvarakeskus 2024. Metsävarat maakunnittain. https://www.luke.fi/fi/tilastot/metsavarat/metsavarat-maakunnittain-7

Luonnonvarakeskus 2025a. Metsäteollisuuden ulkomaankauppa maittain vuosittain. https://statdb.luke.fi/PxWeb/pxweb/fi/LUKE/LUKE__met__06%20Metsateollisuuden%20ulkomaankauppa/03_Ulkomaankauppa_maittain_vuosittain.px/

Luonnonvarakeskus 2025b. Hakkuukertymä ja puuston poistuma alueittain 2024. Uutinen 24.5.2025. https://www.luke.fi/fi/tilastot/hakkuukertyma-ja-puuston-poistuma/hakkuukertyma-ja-puuston-poistuma-alueittain-2024 ja tilaston taulukot https://statdb.luke.fi/PxWeb/pxweb/fi/LUKE/LUKE__met__hakker/?tablelist=true

Luonnonvarakeskus 2025c. Kantorahatulot 2024. https://www.luke.fi/fi/tilastot/kantorahatulot/kantorahatulot-2024 ja tilaston taulukot https://statdb.luke.fi/PxWeb/pxweb/fi/LUKE/LUKE__met__kanrah/?tablelist=true

Luonnonvarakeskus 2025d. Kokeellinen tilasto: Metsien maakunnittaiset hiilitasetulokset 2015–2023. https://www.luke.fi/fi/tilastot/hakkuukertyma-ja-puuston-poistuma/kokeellinen-tilasto-metsien-maakunnittaiset-hiilitasetulokset-20152023

Luonnonvarakeskus 2025e. Maankäyttösektori pysyy suurena päästölähteenä, mutta metsät ovat pieni nielu kasvihuonekaasuinventaarion 2024 ennakkotiedoissa. https://www.luke.fi/fi/uutiset/maankayttosektori-pysyy-suurena-paastolahteena-mutta-metsat-ovat-pieni-nielu-kasvihuonekaasuinventaarion-2024-ennakkotiedoissa

Malinen, J., Kilpeläinen, H., Piira, T., Redsven, V., Wall, T., and Nuutinen, T. 2007. Comparing model-based approaches with bucking simulation-based approach in the prediction of timber assortment recovery. *Forestry: An International Journal of Forest Research, 80*(3), 309–321. https://doi.org/10.1093/forestry/cpm012b

Martikainen, P., Siitonen, J., Punttila, P., Kaila, L. & Rauh, J. 2000. Species richness of Coleoptera in mature managed and old-growth boreal forests in southern Finland. *Biological Conservation, 94*(2), 199–209. https://doi.org/10.1016/S0006-3207(99)00175-5

Mehtätalo, L. 2002. Valtakunnalliset puukohtaiset tukkivähennysmallit männylle, kuuselle, koivulle ja haavalle. *Metsätieteen aikakauskirja 4/2002*(4), 6196. https://doi.org/10.14214/ma.6196

Metsähallitus 2025. Valtion metsät edelleen merkittävä hiilinielu. https://www.metsa.fi/tiedotteet/valtion-metsat-edelleen-merkittava-hiilinielu-metsien-kasvun-hidastuminen-on-pienentanyt-nielua/

Metsäkeskus 2022. Metsäkeskuksen avoin metsä- ja luontotieto, hakkuaikomukset, Hakkuutapatilasto 2020.xlsx. https://www.metsakeskus.fi/fi/avoin-metsa-ja-luontotieto/tietoa-metsien-kaytosta/hakkuuaikomukset.

Metsäntutkimuslaitos, 2014. *Metsätilastollinen vuosikirja 2014*. Saatavilla: https://urn.fi/URN:ISBN:978-951-40-2506-8

Miettinen, J., Ollikainen, M., Juutinen, A., Siipilehto, J., Stenberg, L., Sarkkola, S., Ahtikoski, A., Hökkä, H. & Nieminen, M. 2025. Economics of strip harvesting in drained boreal peatland forests. *Canadian Journal of Forest Research*. Accepted for publication.

Mikola, J. 2025. Kasvihuonekaasuinventaarion kattamat metsämaat. Suullinen tiedonanto 28.10.2025.

Mildrexler, D. J., Berner, L. T., Law, B. E., Birdsey, R. A., & Moomaw, W. R. 2023. Protect large trees for climate mitigation, biodiversity, and forest resilience. *Conservation Science and Practice*, 5(7), e12944. https://conbio.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdfdirect/10.1111/csp2.12944

Minkkinen, K., Ojanen, P., Koskinen, M. & Penttilä, T. 2020. Nitrous oxide emissions of undrained, forestry-drained, and rewetted boreal peatlands. *Forest Ecology and Management 478*, 118494. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118494

Maa- ja metsätalousministeriö 2022. Valtioneuvoston selonteko maankäyttösektorin ilmastosuunnitelmasta. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja 2022:15. Maa- ja metsätalousministeriö, Helsinki. http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-366-388-6

Maa- ja metsätalousministeriö 2025. Metsien kasvun ja hiilinielujen vahvistamisen toimenpidepaketti. Muistio 3.3.2025. https://valtioneuvosto.fi/documents/1410837/0/Metsien%20kasvupaketti_03032025_luovutettu.pdf/a019eeeb-38dc-7615-42ba-cb9d14112b09/Metsien%20kasvupaketti_03032025_luovutettu.pdf?t=1742979457200

Morita, E., Fukuda, S., Nagano, J., Hamajima, N., Yamamoto, H., Iwai, Y., Nakashima, T., Ohira, H., & Shirakawa, T.2007. Psychological effects of forest environments on healthy adults: Shinrin-yoku (forest-air bathing, walking) as a possible method of stress reduction. *Public Health*, 121(1), 54–63. https://doi.org/10.1016/j.puhe.2006.05.024

Mosley, F., Niemi, J. & Soimakallio, S. 2025. Applying the greenhouse gas inventory calculation approach to predict the forest carbon sink. *Carbon Balance and Management,* 20 (16). https://doi.org/10.1186/s13021-025-00307-2

Murcia, C. 1995. Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. *Trends in Ecology & Evolution, 10*(2), 58–62. https://doi.org/10.1016/S0169-5347(00)88977-6

Mäenpää, H., Peura, M., Halme, P., Siitonen, J., Mönkkönen, M., & Oldén, A. 2020. Windthrow in streamside key habitats: Effects of buffer strip width and selective logging. *Forest Ecology and Management*, 475, 118405. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118405

Mäkelä, A., Minunno, F., Kujala, H., Kosenius, A-K., Heikkinen, R.K., Junttila, V., Peltoniemi, M., & Forsius, M. 2023. Effect of forest management choices on carbon sequestration and biodiversity at national scale. *Ambio* 52, 1737–1756. https://doi.org/10.1007/s13280-023-01899-0

Mäkinen, H., Hynynen, J., Siitonen, J., & Sievänen, R. 2006. Predicting the decomposition of Scots pine, Norway spruce, and birch stems in Finland. *Ecological Applications, 16*(5), 1865–1879. https://doi.org/10.1890/1051-0761(2006)016[1865:ptdosp]2.0.co;2

Mönkkönen, M., Aakala, T., Blattert, C., Burgas, D., Duflot, R., Eyvindson, K., Kouki, J., Laaksonen, T., & Punttila, P. 2022. More wood but less biodiversity in forests in Finland: a historical evaluation. *Memoranda Societatis pro Fauna et Flora Fennica, 98*(Supplement 2), 1–11.

Nieminen, M, Sallantaus T, Ukonmaanaho L, Nieminen TM, Sarkkola S. 2017. Nitrogen and phosphorus concentrations in discharge from drained peatland forests are increasing. *Science of the Total Environment 609:974–981*. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.07.210

Nieminen, M, Sarkkola S, Hellsten S, Marttila H, Piirainen S, Sallantaus T, Lepistö A. 2018. Increasing and Decreasing Nitrogen and Phosphorus Trends in Runoff from Drained Peatland Forests—Is There a Legacy Effect of Drainage or Not? *Water, Air, and Soil Pollution* 229:286–286.

Nirhamo, A., Pykälä, J., Jääskeläinen, K. & Kouki, J. 2023. Habitat associations of red-listed epiphytic lichens in Finland. *Silva Fennica 57*, 1, 22019. https://doi.org/10.14214/sf.22019

Ojanen, P. & Minkkinen, K. 2019. The dependence of net soil CO_2 emissions on water table depth in boreal peatlands drained for forestry. *Mires and Peat, 24*, 27, 1–8. http://hdl.handle.net/10138/308545

Ojanen, P., Minkkinen, K. & Regina, K. 2020. Ojituksen vaikutus maaperän kasvihuonekaasupäästöihin. *Suo 71*(2), 173–188.

Ojanen, P., Minkkinen, K., Alm, J. & Penttilä, T. 2010. Soil–atmosphere CO_2, CH_4 and N_2O fluxes in boreal forestry-drained peatlands, *Forest Ecology and Management, 260*(3), 411–421. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.04.036

Oldén, A., Peura, M., Saine, S., Kotiaho, J. S., & Halme, P. 2019a. The effect of buffer strip width and selective logging on riparian forest microclimate. *Forest Ecology and Management, 453*, 117623. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117623

Oldén, A., Selonen, V. A. O., Lehkonen, E., & Kotiaho, J. S. 2019b. The effect of buffer strip width and selective logging on streamside plant communities. *BMC ecology,, 19*, 9. https://doi.org/10.1186/s12898-019-0225-0

Pang, X., Nordström, E.M., Böttcher, H., Trubins, R., & Mörtberg, U. 2017. Trade-offs and synergies among ecosystem services under different forest management scenarios – The LEcA tool. *Ecosystem Services* 28:67–79. https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.10.006

Parkatti, V-P. & Tahvonen, O. 2021. Economics of multifunctional forestry in the Sámi people homeland region. *Journal of environmental economics and management* 110:102542. https://doi.org/10.1016/j.jeem.2021.102542

Peura, M., Bäck, J., Jokimäki, J., Kallio, K. P., Ketola, T., Laine, I., Lakka, H-K., Lehikoinen, A., Nieminen, T.M., Nieminen, M., Oksanen, E., Repo, A., Pappila, M. & Kotiaho, J. S. 2022. *Jatkuvapeitteisen metsänkäsittelyn vaikutukset luonnon monimuotoisuuteen, vesistöihin, ilmastoon, virkistyskäyttöön ja metsätuhoriskeihin*. Suomen Luontopaneelin julkaisuja 1B/2022. https://luontopaneeli.fi/wp-content/uploads/2022/04/luontopaneelin-julkaisuja-1b-2022-jatkuvapeitteisen-metsankasittelyn-vaikutukset-luonnon-monimuotoisuuteen.pdf

Peura, M., Eyvindson, K., Burgas, D., Mönkkönen, M., Raatikainen, K. J., & Kotiaho, J. S. 2024. Cost-effective biodiversity protection through multiuse-conservation landscapes. *Landscape Ecology*, *39*, 48. https://doi.org/10.1007/s10980-024-01803-5

Pukkala, T. 2006. Optimising the semi-continuous cover forestry of Finland. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung, 177*. 141–149.

Pukkala, T. 2011. Optimizing forest management in Finland with carbon subsidies and taxes. *Forest Policy and Economics, 13*(6), 425–434. https://doi.org/10.1016/j.forpol.2011.06.004

Pukkala, T. 2014. Does biofuel harvesting and continuous cover management increase carbon sequestration? *Forest Policy and Economics*, *43*(2014), 41–50. https://doi.org/10.1016/j.forpol.2014.03.004

Pukkala, T. 2020. Calculating the Additional Carbon Sequestration of Finnish Forestry. *Journal of Sustainable Forestry, 41*(7), 624–641. https://doi.org/10.1080/10549811.2020.1792935

Pukkala, T. 2021. Measuring the social performance of forest management. *Journal of Forestry Research* 35: 1803–1818. https://doi.org/10.1007/s11676-021-01321-z.

Pukkala, T. 2022a. Assessing the externalities of timber production. *Forest Policy and Economics, 135*, 102646. https://doi.org/10.1016/j.forpol.2021.102646

Pukkala, T. 2022b. Improved guidelines for any-aged forestry. *Journal of Forestry Research, 33*, 1443–1457. https://doi.org/10.1007/s11676-022-01473-6

Pukkala, T., Vauhkonen, J., Korhonen, K.T., & Packalen, T. 2021. Self-learning growth simulator for modelling forest stand dynamics in changing conditions. *Forestry 94*(3), 333–346. https://doi.org/10.1093/forestry/cpab008

Repola, J., Ojansuu, R. & Kukkola, M. 2007. *Biomass functions for Scots pine, Norway spruce and birch in Finland.* Working Papers of the Finnish Forest Research Institute, 53. https://urn.fi/URN:ISBN:978-951-40-2046-9

Routa, J. & Huuskonen, S. (toim.) 2022. *Jatkuvapeitteinen metsänkasvatus: Synteesiraportti*. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 40/2022. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 132 s. https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-427-2

Rummukainen, A., Alanne, H., Mikkonen, E. 1995. Wood procurement in the pressure of change-resource evaluation model till year 2010. *Acta Forestalia Fennica, 248*, 1–98. http://hdl.handle.net/10138/27280

Rüter, S., Matthews, RW., Lundblad, M., Sato, A., Hassan, RA. Chapter 12: harvested wood products. Refinement to the 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories, 12.1-12. Intergovernmental Panel on Climate Change; 2019. p. 49. 2019.

Saaristo, L. & Vanhatalo, K. (toim.) 2019. *Metsänhoidon suositukset talousmetsien luonnonhoitoon, työopas*. Tapion julkaisu.

Saaristo, L., Korhonen, K. T., Laitinen, J., Partanen, J., Pasanen, H., Punttila, P. & Siitonen, J. 2020. *Kustannustehokas luonnonhoidon laadun seurantatiedon kerääminen*. Tapion julkaisu.

Salemaa, M., Hotanen, J-P., Oksanen, J., Tonteri, T. & Merilä, P. 2023. Broadleaved trees enhance biodiversity of the understorey vegetation in boreal forests. *Forest Ecology and Management, 546*, 121357. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.121357

Salminen, H., Haikarainen, S., Lehtonen, M., Huuskonen S. & Hynynen, J. 2024. Skenaariot. Julkaisussa Maa- ja metsätaloustuottajain Keskusliitto MTK ry (MTK) & Svenska lantbruksproducenternas centralförbund SLC r.f (SLC) (toim.). *MTK:n ja SLC:n luonnon monimuotoisuuden tiekartta maa- ja metsätaloudelle*, 261–285. www.mtk.fi/luonnon-monimuotoisuus ja www.slc.fi/bdfardplan

Sarkkola, S., Hökkä, H., Koivusalo, H., Nieminen, M., Ahti, E., Päivänen, J., Laine, J. 2010. Role of tree stand evapotranspiration in maintaining satisfactory drainage conditions in drained peatlands. *Canadian Journal of Forest Research, 40*(8), 1485–1496. https://doi.org/10.1139/X10-084

Selonen, V. A., & Kotiaho, J. S. 2013. Buffer strips can pre-empt extinction debt in boreal streamside habitats. *BMC Ecology, 13*, 24.

Seppälä, J., Ahlvik, L., Leino, M., Mäkipää, R., Ollikainen, M., Salo, M., Soimakallio, S., Toiviainen, A., Lehtonen, A., Mosley, F., Vesa, S., Vikfors, S. 2025 *Arvio Suomen maankäyttösektorin tilanteesta – Tarkastelussa EU:n LULUCF-velvoitekaudet 2021–2025 ja 2026–2030*. Suomen ilmastopaneelin raportti 1/2025. https://doi.org/10.31885/9789527457344

Seppälä, J., Heinonen, T., Kilpeläinen, T., Peltola, T., Pukkala, T., Sihvonen, M., Soimakallio, S., Vesala, T., Weaver, S., Ollikainen, M. 2022. *Metsät ja ilmasto: Hakkuut, hiilinielut ja puun käytön korvausvaikutukset*. Suomen ilmastopaneelin raportti 3/2022. https://doi.org/10.31885/9789527457122

Siitonen, J. 2001. Forest management, coarse woody debris and saproxylic organisms: Fennoscandian forests as an example. *Ecological Bulletins, 49*, 11–41.

Siitonen, J., Penttilä, R. & Ihalainen, A. 2012. METSO-ohjelman uusien pysyvien ja määräaikaisten suojelualueiden ekologinen laatu Uudenmaan alueella. *Metsätieteen aikakauskirja 4/2012*, 6487. https://doi.org/10.14214/ma.6487

Similä, M. & Junninen, K. (toim.) 2011. *Metsien ennallistamisen ja luonnonhoidon opas*. Metsähallituksen luonnonsuojelujulkaisuja, sarja B 157. Metsähallitus, Vantaa. 191 s.

Starck, I., Aalto, J., Hancock, S., Valkonen, S., Kalliovirta, L., & Maeda, E. 2025. “Slow Recovery of Microclimate Temperature Buffering Capacity after Clear-Cuts in Boreal Forests.” *Agricultural and Forest Meteorology* 363 (March 2025): 110434. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2025.110434.

Stokland, J.N., Siitonen, J. & Jonsson, B.G. 2012. *Biodiversity in dead wood*. Cambridge University Press, Cambridge.

Suomen ilmastopaneeli 2025a. *Suomen hiilineutraaliuspolku - Arvio hiilineutraaliuden saavuttamisesta ja sen keinoista*. Suomen ilmastopaneelin julkaisuja 1/2025. https://doi.org/10.31885/9789527457337

Suomen ilmastopaneeli 2025b. Lausunto VN/1046/2025 Kansallisen energia- ja ilmastostrategian luonnos. https://ilmastopaneeli.fi/hallinta/wp-content/uploads/2025/08/IP_Asiantuntijalausunto_VN-1046-2025_TEM-1.pdf

Tilastokeskus (Statistics Finland) 2025a. Kasvihuonekaasupäästöt Suomessa, 1990–2024* https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin__khki/statfin_khki_pxt_138v.px/ vierailtu 15.12.2025

Tilastokeskus (Statistics Finland) 2025b. *Greenhouse gas emissions in Finland 1990-2023: National Inventory Document under the UNFCCC and Paris Agreement*. Statistics Finland 15.4.2025. https://stat.fi/media/uploads/tup/khkinv/fi_nid_un_2023_2025-04-15.pdf

Toivanen, T., & Kotiaho, J. S. 2010. The preferences of saproxylic beetle species for different dead wood types created in forest restoration treatments. *Canadian Journal of Forest Research*, *40*(3), 445–464. https://doi.org/10.1139/X09-205

Tonteri, T., Mikkola, K., Lahti, T. 1990. Compositional gradients in the forest vegetation of Finland. *Journal of Vegetation Science* 1, 691–698. https://doi.org/10.2307/3235577.

Tuomi, M., Laiho, R., Repo, A., & Liski, J. 2011. Wood decomposition model for boreal forests. *Ecological Modelling, 222*(3), 709–718. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2010.10.025

Uliczka, H. & Angelstam, P. 1999. Occurrence of epiphytic macrolichens in relation to tree species and age in managed boreal forest. *Ecography, 22,* 396–405. https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.1999.tb00576.x

UNEP 2025. Emissions Gap Report 2025. https://www.unep.org/resources/emissions-gap-report-2025

Vaahtera, E. (toim.) 2023. Metsätilastollinen vuosikirja 2022. https://jukuri.luke.fi/bitstreams/71d0392d-4a5c-4da0-a1e9-2629efdd5f6c/download

Viskari, T., Laine, M., Kulmala, L., Mäkelä, J., Fer, I., Liski, J. 2020, 'Improving Yasso15 soil carbon model estimates with ensemble adjustment Kalman filter state data assimilation', *Geoscientific Model Development*, vol. 13, pp. 5959–5971. https://doi.org/10.5194/gmd-13-5959-2020

Ylisirniö, A.-L., Mönkkönen, M., Hallikainen, V., Ranta-Maunu, T. & Kouki, J. 2016. Woodland key habitats in preserving polypore diversity in boreal forests: Effects of patch size, stand structure and microclimate. *Forest Ecology and Management 373*, 138–148. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.04.042

Zell, J., Kändler, G. & Hanewinkel, M. 2009. Predicting constant decay rates of coarse woody debris — a meta-analysis approach with a mixed model. *Ecological Modelling, 220*(7), 904–912. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2009.01.020

Zumr, V. Nakládal, O., Gallo, J. & Remeš, J. 2024. Deadwood position matters: diversity and biomass of saproxylic beetles in a temperate beech forest. *Forest Ecosystems, 11*, 100174. https://doi.org/10.1016/j.fecs.2024.100174

Äijälä, O., Koistinen, A., Sved, J., Vanhatalo, K. and Väisänen, P. 2014. Metsänhoidon Suositukset. *Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion julkaisuja*, TAPIO, 181 pp.

7 LIITTEET

LIITE 1: RUNKOPUUN HAKKUUKERTYMÄN JA METSIEN HIILITASEEN RIIPPUVUUDET KEITO-HANKEYHTEISTYÖN SKENAARIOISSA

Taulukko LT1.1 kuvaa Mela-mallin simulointituloksia metsien (puusto + maaperä) kokonaishiilitaseesta eri hakkuutasoilla eri vuosille KEITO-hankeyhteistyön skenaarioissa (Koljonen ym. 2025a, Koljonen ym. 2025b). Tulokset kertovat, kuinka metsien nettopäästöt kasvavat vuoteen 2035 saakka ja kääntyvät laskuun sen jälkeen. KEITO-skenaariotarkastelun mukaan metsät olisivat nielu vuonna 2055, eli poistumat olisivat päästöjä suuremmat. KEITOn perusskenaarion (WEM) ja politiikkaskenaarion (WAM) välillä ei juuri ole eroa taulukon LT1.1 tarkkuustasolla. Taulukossa LT1.1 on lisäksi kuvattu skenaarioiden runkopuun hakkuukertymä (Mm^3/vuosi) keskimäärin kymmenvuotisjaksolla. Hakkuutaso on WEM- ja WAM-skenaarioiden keskiarvo.

Puutuotenielut kehittyvät taulukon LT1.1 mukaisesti seuraavasti: 2025: −5,2 Mt, 2035: −3,5 Mt, 2040: −3,3 Mt, 2045: −3,0 Mt ja 2055: −2,5 Mt.

Taulukossa LT1.2 on KEITO-hankeyhteistyön tulosseminaarissa (9.4.2025) esitetyt simulointitulokset, joiden perusteella vuosittaisen hakkuukertymän kasvu 70–71 Mm^3:sta 80–82 Mm^3:een johtaa −7,9 Mt nielun kääntymisen 10,6 Mt päästöksi (muutos noin 18,5 Mt).

Taulukko LT1.1: KEITO-hankeyhteistyön Mela-mallin simulointitulokset metsien (puusto + maaperä) kokonaishiilitaseesta Mt eri hakkuutasoilla eri vuosille (Koljonen ym. 2025a). Positiivinen luku on nettopäästö ja negatiivinen on nettopoistuma (nielu).

Runkopuun hakkuukertymä (Mm^3/vuosi)	**Kymmen-vuotisjakso**	**2023**	**2025**	**2030**	**2035**	**2040**	**2045**	**2050**	**2055**
77	2019–2028	1,2	7,4						
82	2029–2038			9,2	10,2				
81	2039–2048					7,9	3,7		
81	2049–2058							0,1	−2,6

Taulukko LT1.2: KEITO-hankeyhteistyön tulosseminaarissa (Koljonen ja Silfver 2025) 9.4.2025 esitetyt skenaariotulokset hakkuukertymistä ja metsämaan päästöistä. Positiivinen luku on nettopäästö ja negatiivinen on nettopoistuma (nielu). Keskeiset erot skenaarioiden välillä liittyivät oletuksiin talouden kehityksestä, teollisuuden investointien toteutumisesta sekä kysynnän kehityksestä.

	WEM-Perus Hakkuukertymä 80–82 Mm^3/vuosi	**WEM-Alhainen** Hakkuukertymä 70–71 Mm^3/vuosi
Puusto 2035 Mt CO_2-ekv.	−5,9	−23,8
Maaperä 2035 Mt CO_2-ekv.	16,3	15,8
Muut päästöt Mt CO_2-ekv.	0,1	0,1
Yhteensä Mt CO_2-ekv.	**10,6**	**−7,9**

Taulukossa LT1.3 on esitetty Pitkän aikavälin ilmastosuunnitelman taustaselvitykseen (Koljonen ym. 2025b) sisältyvät arviot metsämaan kokonaishiilitaseen ja puutuotenielujen kehityksestä, kun eri skenaarioissa runkopuunhakkuut kehittyvät taulukon LT1.4 mukaisesti. Skenaarioiden “Suomi edellä” ja “Markkinat edellä” hakkuutasot ja niitä vastaavat kasvihuonekaasutaseet ovat vertailukelpoisia, koska niissä lannoitetasot tarkastelun aikavälinä ovat samat. Ne ovat noin puolta suuremmat kuin kahdessa muussa skenaariossa.

Taulukko LT1.3: Pitkän aikavälin ilmastosuunnitelman taustaselvityksen metsien käyttöskenaarioiden metsämaan (puusto + maaperä) hiilitaseen ja puutuotenielun kehitys 2023–2055 (vuoden 2023 tulos kasvihuoneinventaarion mukainen) (Koljonen ym. 2025b).

Skenaario		**Hiilitase (Mt CO_2-ekv.)**							
		2023	**2025**	**2030**	**2035**	**2040**	**2045**	**2050**	**2055**
Suomi edellä	Metsämaa	1,22	0,65	−2,85	−6,83	−11,27	−17,09	−22,29	−26,13
	Puutuotteet	−1,6	−6,3	−3,51	−3,86	−3,99	−3,68	−3,46	−3,12
Ympäristö edellä	Metsämaa	1,22	−2,42	−15,75	−30,54	−39,07	−47,83	−55,55	−61,25
	Puutuotteet	−1,6	−6,22	−3,46	0,39	−1,25	−1,4	−1,32	−1,2
Markkinat edellä	Metsämaa	1,22	3,66	5,6	7,45	5,58	1,78	−1,76	−4,16
	Puutuotteet	−1,6	−5,36	−5,3	−4,22	−3,84	−3,45	−3,27	−2,96
Yhteiskunta edellä	Metsämaa	1,22	1,9	−2,95	−8,86	−15,86	−24,29	−30,4	−34,72
	Puutuotteet	−1,6	−5,46	−3,46	−1,36	−2,35	−2,23	−2,14	−1,95

Taulukko LT1.4: Pitkän aikavälin ilmastosuunnitelman metsien käyttöskenaarioiden runkopuunhakkuut 2019–2055 (Koljonen ym. 2025b).

Skenaario	**Runkopuuhakkuut (Mm^3/vuosi)**			
	2019–2028	**2029–2038**	**2039–2048**	**2049–2058**
Suomi edellä	72,9	70,9	70,4	70,4
Ympäristö edellä	70,3	50,9	50,5	50,5
Markkinat edellä	74,0	80,7	80,8	80,8
Yhteiskunta edellä	73,1	67,2	62,9	62,8