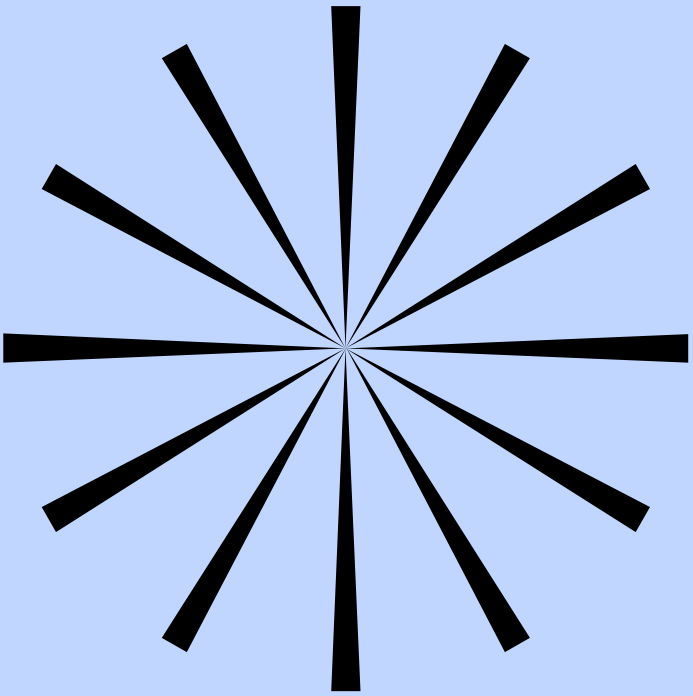


SUOMEN ILMASTOPANEELIN RAPORTTI 6/2026

Päästölähteestä hiilinieluksi

Maatalouden, metsätalouden ja maankäytön päästövähennyskeinot, niiden kustannukset ja tarvittavat ohjauskeinot Suomessa

RAISA MÄKIPÄÄ, LASSE ARO, AINO ASSMUTH, SANNA EHONEN, SANNA HIETALA, SATU KARJALAINEN, KATI KULOVESI, LEENA KÄRKKÄINEN, TUOMAS MATTILA, JARI MIINA, HARRI MÄKINEN, HEIDI LEHTINIEMI, TARJA LEHTO, ALEKSI LEHTONEN, HEIKKI LEHTONEN, JUSSI LINTUNEN, SARI LUOSTARINEN, KRISTIINA LÅNG, JOHANNA NIEMISTÖ, ANNI PALVI, SAMPO PIHLAINEN, JANNE RÄMÖ, AUVO SAIRANEN, JYRI SEPPÄLÄ, TARJA SILFVER, PASI SUOMI, ESA-JUSSI VIITALA

SUOMEN ILMASTOPANEELI

© Suomen ilmastopaneeli

Julkaistu CC BY 4.0 -lisenssillä.

Suomen ilmastopaneelin raportti 6/2026.

Päästölähteestä hiilinieluksi — Maatalouden, metsätalouden ja maankäytön päästövähennysmahdollisuudet, niiden kustannukset ja tarvittavat ohjauskeinot Suomessa

Tekijät: Raisa Mäkipää, Lasse Aro, Aino Assmuth, Sanna Ehonen, Sanna Hietala, Satu Karjalainen, Kati Kulovesi, Leena Kärkkäinen, Tuomas Mattila, Jari Miina, Harri Mäkinen, Heidi Lehtiniemi, Tarja Lehto, Aleksi Lehtonen, Heikki Lehtonen, Jussi Lintunen, Sari Luostarinen, Kristiina Lång, Johanna Niemistö, Anni Palvi, Sampo Pihlainen, Janne Rämö, Auvo Sairanen, Jyri Seppälä, Tarja Silfver, Pasi Suomi, Esa-Jussi Viitala

Toimitussihteeri: Heidi Lehtiniemi

Julkaisupäivä: 17.11.2026

ISSN: 2737-0666
ISBN: 978-952-7457-44-3
DOI: 10.31885/9789527457443

Osa raportin kirjoittajista on hyödyntänyt tekoälyä osana tutkimustyötään, esimerkiksi tiedonhaun tai kirjoittamisen tukena. Tekoälyä ei ole hyödynnetty tavalla, jolla olisi vaikutusta tutkimusaineistoon, analyysiin, tuloksiin tai julkaistuun sisältöön.

Viittausohje:

Mäkipää, R., Aro, L., Assmuth, A., Ehonen, S., Hietala, S., Karjalainen, S., Kulovesi, K., Kärkkäinen, L., Mattila, T., Miina, J., Mäkinen, H., Lehtiniemi, H., Lehto, T., Lehtonen, A., Lehtonen, H., Lintunen, J., Luostarinen, S., Lång, K., Niemistö, J., Palvi, A., Pihlainen, S., Rämö, J., Sairanen, A., Seppälä, J., Silfver, T., Suomi, P. & Viitala, E.-J. (2026). Päästölähteestä hiilinieluksi — Maatalouden, metsätalouden ja maankäytön päästövähennysmahdollisuudet, niiden kustannukset ja tarvittavat ohjauskeinot Suomessa. Suomen ilmastopaneelin raportti 6/2026.
https://doi.org/10.31885/9789527457443

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.

Ilmastopaneeli.fi
LinkedIn | Bluesky
info@ilmastopaneeli.fi

SISÄLLYS

KESKEISET VIESTIT V

TIIVISTELMÄ VII

SAMMANDRAG VIII

SUMMARY IX

1 JOHDANTO 1

2 KASVIHUONEKAASUPÄÄSTÖJEN KEHITYS JA NYKYTILA MAANKÄYTTÖSSÄ JA MAATALOUDESSA 4

3 KOTIELÄINTUOTANTO 9

4 PELTOJEN MAAPERÄ 18

5 MAATALOUDEN ENERGIAN KÄYTTÖ 42

6 METSÄNHOITO 51

7 OJITETTUJEN TURVEMAAMETSIEN KÄSITTELY 56

8 METSÄNLANNOITUS 63

9 PUUSTON VARHAISKEHITYKSEN OHJAAMINEN 68

10 SÄÄSTÖPUUT JA KUOLLEEN PUUN HIILIVARASTON LISÄÄMINEN 73

11 PUUTUOTTEET JA TUOTANTORAKENNE 75

12 METSÄKADON VÄLTTÄMINEN 79

13 SUOJELUALUEIDEN PERUSTAMINEN 82

14 ENNALLISTAMINEN KOSTEIKOKSI 85

15 TURVETUOTANTOALUEIDEN JATKOKÄYTTÖ 88

16 TOTEUTUSPOLUT MERKITTÄVIMPIIN PÄÄSTÖVÄHENNYKSIIN 92

17 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET 107

18 LÄHTEET 110

19 LIITTEET 132

KESKEISET VIESTIT

Maa- ja metsätaloudessa sekä maankäytössä voidaan merkittävästi vähentää päästöjä ja vahvistaa hiilinieluja

Maa- ja metsätaloudessa ja maankäytössä on runsaasti käyttämättömiä ja kustannusvaikuttavia päästövähennysmahdollisuuksia, joiden toteuttamiseen tarvitaan kannustimia, investointeja, velvoittavaa lainsäädäntöä, neuvontaa ja aktiivisia maanomistajia. Nettopäästövähennysten saavuttaminen vaatii päästövähennyksiä, uusien päästöjen estämistä ja hiilinielujen vahvistamista.

Merkittäviä päästövähennyksiä voidaan saavuttaa turvemaita vettämällä ja metsäkatoa hillitsemällä. Metsien hiilinielua voidaan vahvistaa pidentämällä kiertoaikoja, lieventämällä kangasmaiden harvennushakkuita sekä kasvattamalla kuusivaltaisia suometsiä nykyistä märempinä ja jatkuvapeitteisinä.

TURVEMAAPELLON VETTÄMINEN VÄHENTÄÄ PÄÄSTÖJÄ NOPEASTI

- Osa turvemaapelloista on ajautunut ruuantuotannon ulkopuolelle. Vettämällä ja säätösalaojittamalla yhteensä 64 000–78 000 hehtaaria hylättyjä ja osin vähän ruuantuotannossa käytettyjä turvemaapeltoja vähennettäisiin vuotuisia päästöjä 1,5–2 Mt jopa alle 30 €/t CO_2-ekv. kustannuksella.
- Turvemaapeltojen vettäminen vaatii 2 000–5 000 euron alkuinvestoinnin hehtaaria kohden. Tämä voidaan kattaa osittain tai kokonaan julkisella tuella. Päästövähennyksiä voivat vauhdittaa myös elintarviketeollisuuden vastuullisuusohjelmat ja vapaaehtoiset hiilimarkkinat.
- Koska ympäröivät ojat voivat estää vedenpinnan nostoa, tarvitaan valuma-aluetason suunnittelua varmistamaan, että vettäminen onnistuu eikä vaikutus kumoudu toisaalla samanaikaisen ojituksen seurauksena. Koko valuma-alueen huomiointi on myös kustannusvaikuttavaa, kun tunnistetaan alueet, joilla voidaan edistää samanaikaisesti ilmasto- ja luontotavoitteita.

METSÄKADON HILLITSEMINEN ON VÄLTTÄMÄTÖNTÄ

- Vuosittaisen metsäkatoalan puolittamalla vuotuiset nettopäästöt voivat vähentyä noin 1,5 Mt CO_2-ekv. verrattuna tilanteeseen, jossa metsäkato etenisi 2020-luvun alun kaltaisena eli noin 10 000 hehtaarilla vuodessa.
- Metsäkatoa voidaan hillitä maankäytön muutosmaksulla, joka ohjaa säilyttämään metsän hiilivarastot ja hiilinielut sekä välttämään maaperäpäästöjä. Maksu toisi valtiolle lisätuloja. Maksun tulisi perustua menetetyn hiilivaraston sekä vähentyneen hiilinielun ja lisääntyneiden maaperäpäästöjen kokonaisvaikutukseen. Tällöin maksu olisi suurin silloin kun turvemaametsä muutetaan viljellyksi pelloksi.
- Samanaikaisesti maankäytön muutosmaksun käyttöönoton kanssa tulisi edistää viljelykelpoisten peltojen siirtymistä aktiiviviljelijöiden käyttöön rajaamalla maataloustuet niille pelloille, joilla tuotetaan ruokaa tai rehua.

METSIEN HIILIVARASTOJA PITÄÄ KASVATTAA AIKAILEMATTA

- Metsänhoidon muutoksilla on mahdollista kasvattaa metsien vuosittaista hiilinielua merkittävästi. Vaikutus riippuu valituista toimista ja niiden laajuudesta. Laajasti toteutettuina kiertoaikojen pidentäminen ja harvennushakkuiden lieventäminen johtavat hakkuiden vähenemiseen, mikä vahvistaa hiilinielua, kasvattaa hiilivarastoa ja lisää metsien kasvua.
- Metsälakiin tulee palauttaa metsän päätehakkuukelpoisuudelle kynnysarvot eli läpimittarajat. Metsälain valvontaa tulee kehittää ja kynnysarvoista poikkeaminen pitää sanktioida, jotta lainsäädännöllä olisi tarvittava ohjausvaikutus.
- Informaatio-ohjausta ja metsäneuvontaa kehittämällä voidaan edistää niitä toimia, jotka ovat metsänomistajalle taloudellisesti kannattavia. Näitä voivat olla esimerkiksi metsien kasvattaminen nykyistä runsaspuustoisempina, kiertoaikojen maltillinen pidentäminen, metsien typpi-, boori- ja tuhkalannoitus sekä turvemaametsien jatkuvapeitteinen metsänkasvatus. Metsänomistajien ja metsäneuvonnan käyttöön tulee saada laskentatyökalut, jotka mahdollistavat vaihtoehtojen taloudellisen kannattavuuden vertailun ja ympäristövaikutusten arvioinnin.
- Vapaaehtoiset hiilimarkkinat tai hiilikorvausjärjestelmä voivat luoda taloudellisia kannusteita metsänhoidon muutoksiin. Tällöin metsänomistajille avautuisi merkittäviä uusia tulomahdollisuuksia.

Julkisella ohjauksella uudistetaan rakenteita ja luodaan uusia ansaintamahdollisuuksia valtiolle ja maanomistajille

- Turvepeltojen vettämisen, metsäkadon hillitsemisen ja metsänhoidon muutosten lisäksi tarvitaan laajempia muutoksia, jotta saavutetaan EU:n maankäyttösektorin toisen velvoitekauden 2026–2030 velvoitteet ja Suomen ilmastolain mukainen hiilineutraaliustavoite vuonna 2035.
- Lähivuosina tarvitaan mittavia muutoksia kansalliseen ja EU:n yhteiseen maatalouspolitiikkaan, tukien kohdentamiseen, päästöjen ja nielujen hinnoitteluun ja markkinoihin sekä neuvontaan ja koulutukseen. Erityisesti taloudellisilla ohjauskeinoilla voidaan muuttaa toimintaa laajasti ja nopeasti.
- Maa- ja metsätalouden tukia tulee muuttaa tulosperusteisiksi siten, että maanomistaja saa tuloja päästövähennyksistä ja hiilinielujen kasvattamisesta. Tulosperusteisten tukien käyttöönotto parantaa maanomistajien valmiutta osallistua ja mahdollisuuksia saada tuloja kehittyviltä hiilimarkkinoilta esimerkiksi turvemaiden päästöjä vähentävästä vettämisestä tai lisäisiä hiilinieluja tuottavista metsänhoitotoimista. Ilmastopolitiikan vaikuttavuus voi jäädä olemattomaksi, jos samaan aikaan tukipolitiikka ohjaa toimijoiden valintoja päästöjä lisäävään suuntaan.
- Monet maa- ja metsätalouden sekä maankäytön ilmastotoimet tuottavat myös muita hyötyjä. Esimerkiksi kivennäismaapeltojen orgaanisen aineksen lisääminen parantaa peltojen kasvukuntoa, säästöpuiden määrän lisääminen ja kuolleiden puiden säästäminen hakkuissa sekä metsien suojelu ylläpitävät luonnon monimuotoisuutta ja turvemaiden vesitalouden ennallistaminen edistää vesiensuojelua.

TIIVISTELMÄ

Tähän raporttiin on koostettu ajantasaista tutkimustietoa maatalouden, metsätalouden ja maankäytön (AFOLU) päästövähennysmahdollisuuksista, niiden kustannuksista ja toimeenpanoon vaadittavista ohjauskeinoista Suomessa.

Päästövähennyksiä tarkastellaan suhteessa Suomen kansalliseen hiilineutraaliustavoitteeseen ja Euroopan unionin ilmastotavoitteisiin. Viime vuosina maa- ja metsätalouden sekä maankäytön kasvihuonekaasupäästöt eivät ole vähentyneet asetettujen tavoitteiden mukaisesti. Viimeisimmän inventaarion mukaan näiden maatalous- ja maankäyttösektoreilla syntyneiden päästöjen osuus Suomen kokonaispäästöistä oli 33 prosenttia, yhteensä 16,2 miljoonaa tonnia hiilidioksidiekvivalenttia (Mt CO_2-ekv.).

Tämä synteesiraportti arvioi AFOLU-sektorin merkittävimmiksi ja kustannusvaikutuksiltaan parhaiksi päästövähennyskeinoiksi turvepeltojen vettämisen ja metsäkadon hillitsemisen. Parhaita hiilivarastoa vahvistavia keinoja ovat puolestaan metsien kiertoajan pidentäminen, harvennushakkuiden lieventäminen ja turvemailla avohakkuiden välttäminen ja siirtyminen jatkuvapeitteiseen metsänkasvatukseen. Raportin luvussa 16 esitellään vaihtoehtoisia ohjauskeinopaketteja eli toteutuspolkuja näiden merkittävien päästövähennysten toimeenpanoon.

Turvepeltojen vettämiseen tarvitaan investointeja, joihin voidaan kannustaa tulosperusteisilla tuilla. Päästövähennystoimien perusteella maksettavat tuet lisäisivät myös maanomistajien valmiuksia osallistua vapaaehtoisille hiilimarkkinoille. Ympäröivät ojat voivat estää vedenpinnan nostoa ja siksi toimien suunnittelu valuma-aluetasolla takaa kustannusvaikuttavuutta.

Metsäkatoa hillitsemällä voidaan vähentää päästöjä, jotka koostuvat metsien hiilivaraston ja hiilinielun menetyksestä sekä maankäytön muutoksen jälkeen lisääntyvistä maaperän päästöistä. Riittävän korkea maankäytön muutosmaksu hillitsisi uusien turvepeltojen raivausta ja keräisi metsäkatoa aiheuttavista rakennushankkeista tuloja valtiolle.

Metsätaloudessa kustannusvaikuttavinta on vahvistaa viime vuosikymmenen aikana olemattomiin heikentynyttä hiilinielua metsän kiertoaikoja pidentämällä ja harvennushakkuita lieventämällä. Nämä toimet voivat olla joillekin metsänomistajille jopa taloudellisesti kannattavampia kuin nykyisenkaltainen metsänhoito.

Maatalouden ja maankäyttösektorin ilmastotoimia vauhdittamaan tarvitaan lähivuosina mittavia muutoksia kansalliseen ja EU:n yhteiseen maatalouspolitiikkaan, tukien kohdentamiseen, päästöjen ja nielujen hinnoitteluun ja markkinoihin sekä neuvontaan ja koulutukseen. Erityisesti toimintaa laajasti ja nopeasti muuttavat taloudelliset ohjauskeinot ovat tarpeen, jotta vuosille 2030 ja 2035 asetetut sekä vuosille 2040 ja 2050 asetettavat ilmastotavoitteet saavutetaan kustannustehokkaasti.

Tukia tulee muuttaa siten, että ilmastolle haitallinen toiminta rajataan tukien ulkopuolelle ja ilmastoperusteisia tukia lisätään tulosperusteisesti. Ilmastotoimen vaikuttavuus voi jäädä olemattomaksi, jos samaan aikaan tukipolitiikka ohjaa toimijoiden valintoja päästöjä lisäävään tai nieluja heikentävään suuntaan.

AFOLU-sektorin ilmastotoimet luovat myös ansaintamahdollisuuksia sekä valtiolle että maanomistajille. Kustannuksia tarkasteltaessa on huomattava, että monet maankäyttösektorin toimet tukevat samanaikaisesti ilmastotavoitteita, luonnon monimuotoisuutta ja vesiensuojelua.

SAMMANDRAG

I denna rapport sammanställs aktuella forskningsdata om möjliga åtgärder för att minska utsläppen inom jordbruket, skogsbruket och markanvändningen (AFOLU), kostnaderna för dessa samt de styrmedel som krävs för att genomföra åtgärderna i Finland.

Utsläppsminskningarna granskas i förhållande till Finlands nationella klimatneutralitetsmål och Europeiska unionens klimatmål. Under de senaste åren har växthusgasutsläppen från jordbruket, skogsbruket och markanvändningen inte minskat i enlighet med de uppställda målen. Enligt den senaste inventeringen utgjorde dessa utsläpp inom jordbruks- och markanvändningssektorn 33 procent av Finlands totala utsläpp, sammanlagt 16,2 miljoner ton koldioxidekvivalenter (Mt CO2-ekv.)

Denna syntesrapport bedömer att AFOLU-sektorns mest betydelsefulla och kostnadseffektiva sätt att minska utsläppen är att återväta torvåkrar och motverka avskogning. De bästa metoderna som stärker kolförrådet i sin tur inkluderar att förlänga skogarnas omloppstid, minska gallringsavverkningen samt undvika kalhyggen och övergå till kontinuitetsskogsbruk på torvmarker. I kapitel 16 i rapporten presenteras alternativa styrmedel, det vill säga sätt att genomföra dessa betydande utsläppsminskningar.

För att återväta torvåkrar behövs investeringar som kan uppmuntras med resultatbaserade stöd. Stöd baserade på vidtagna utsläppsminskningsåtgärder skulle också öka markägarnas beredskap att delta i den frivilliga koldioxidmarknaden. Omgivande diken kan utgöra hinder för höjning av vattennivån och därför behövs planering av åtgärderna på avrinningsområdesnivå för att garantera kostnadseffektiviteten.

Genom att motverka avskogning kan man minska utsläppen, som utgörs av förlust av kolförrådet och kolsänkan i skogarna samt markutsläpp som ökar efter att markanvändningen ändrats. En tillräckligt hög avgift för ändrad markanvändning skulle motverka röjningen av nya torvåkrar och generera intäkter till staten från byggprojekt som orsakar avskogning.

Inom skogsbruket är det mest kostnadseffektivt att stärka den kolsänka som försvagats till en försumbar nivå under det senaste decenniet genom att förlänga omloppstiderna och minska gallringsavverkningen, vilket för vissa skogsägare till och med kan vara ekonomiskt lönsammare än den nuvarande skogsvården.

För att påskynda klimatåtgärderna inom jordbruket och markanvändningssektorn behövs under de närmaste åren omfattande förändringar i den nationella jordbrukspolitiken och EU:s gemensamma jordbrukspolitik, allokeringen av stöd, prissättningen av utsläppen och marknaden samt rådgivningen och utbildningen. Särskilt ekonomiska styrmedel som genomgripande och snabbt förändrar verksamheten behövs för att klimatmålen för 2030 och 2035 samt de mål som ska fastställas för 2040 och 2050 ska uppnås på ett kostnadseffektivt sätt.

Stöden ska ändras så att verksamhet som är skadlig för klimatet inte omfattas av stöden och de klimatbaserade stöden utökas resultatbaserat. Effekten av en klimatåtgärd kan bli obefintlig om stödpolitiken samtidigt styr aktörernas val i en riktning som ökar utsläppen.

Klimatåtgärderna inom AFOLU-sektorn skapar också möjligheter till intäkter för både staten och markägarna. När kostnaderna granskas är det viktigt att notera att många åtgärder inom markanvändningssektorn samtidigt stöder klimatmålen, den biologiska mångfalden och vattenskyddet.

SUMMARY

This report is a compilation of up-to-date research data on the emission reduction potential of agriculture, forestry and other land use (AFOLU), related costs and the steering instruments required for implementation in Finland.

Emission reductions are examined in relation to Finland's national carbon neutrality target and the European Union's climate target. In recent years, greenhouse gas emissions from agriculture, forestry and other land use have not decreased in line with established targets. According to the latest inventory, these emissions in the agricultural and land use sectors accounted for 33% of Finland's total emissions, totalling 16.2 million tonnes of carbon dioxide equivalent (Mt CO2-eq.)

This synthesis report assessed that rewetting peat fields and reducing deforestation are the most significant and cost-effective emission reduction measures in the AFOLU sector. In turn, the best ways to strengthen carbon reservoirs include extending forest rotation periods, reduced thinning, avoiding clear-cutting in peatlands and shifting to continuous cover forestry. Chapter 16 of the report presents alternative policy instruments packages as paths for the implementation of these significant emission reductions.

Rewetting peat fields requires investments that can be encouraged with performance-based subsidies. Subsidies paid based on emission reduction measures would also increase landowners' capacity to participate in the voluntary carbon market. Ditches around peat fields may prevent raising their water level, which is why planning measures for the entire catchment basin ensures cost-effectiveness.

Reducing deforestation can decrease emissions caused by the loss of forest carbon reservoirs and sinks as well as soil emissions increased by land use change. A sufficiently high land use change fee would curb the clearing of new peat fields and generate revenue for the state from construction projects that cause deforestation.

In forestry, the most cost-effective measure is to strengthen the carbon sink – which has deteriorated to a non-existent level in the last decade – by extending rotation periods and reducing thinning, which may be even more economically viable for some forest owners than the current type of forest management.

To accelerate climate action in agriculture and the land use sector in the next few years, major changes will be necessary in agricultural policy nationally and in the EU; the same applies to the allocation of subsidies, the pricing and market of emissions, and guidance services and education. Economic instruments that change operations extensively and rapidly are especially necessary to achieve the climate targets set for 2030 and 2035 in a cost-effective way; the same applies to climate targets that will be set for 2040 and 2050.

Subsidies must be changed so that operations that are harmful to the climate are excluded from subsidies, and climate-based subsidies must be increased on a performance basis. The impact of climate action may fall flat if subsidy policy is steering actors' choices towards increasing emissions at the same time.

Climate action in the AFOLU sector also creates opportunities for the state and landowners to earn money. When examining costs, it is important to recognise that many measures in the land use sector will support climate objectives, biodiversity and water protection simultaneously.

1 JOHDANTO

Ilmastonmuutoksen hillitseminen on välttämätöntä nykymuotoisen elämän ja ekosysteemien toimintojen jatkumiselle. Ripeä ilmastonmuutosta aiheuttavien päästöjen vähentäminen on tarpeellista, jotta vakavilta vaikutuksilta maa- ja merialueilla ja yhteiskunnissa voidaan välttyä.

Maailmanlaajuisesti ihmisen aiheuttamasta ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden kumulatiivisesta kasvusta neljännes on syntynyt metsäkadon ja maaperän hiilivarastojen heikkenemisen myötä ja kolme neljännestä fossiilisen hiilen vapautumisesta ilmakehään. Nykyisin ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden vuosittaisesta kasvusta lähes 90 % on fossiilisten raaka-aineiden käytöstä johtuvaa ja noin 10 % on peräisin maankäytön muutoksista. Suomessa maaekosysteemien ja maankäytön osuus päästöistä on tätä suurempi. Viimeisimmän inventaarion mukaan maatalous- ja maankäyttösektoreilla syntyneiden päästöjen osuus Suomen kokonaispäästöistä oli 33 prosenttia, yhteensä 16,2 miljoonaa tonnia hiilidioksidiekvivalenttia (Mt CO_2-ekv.). Näiden päästöjen vähentämisellä on iso merkitys Suomen kokonaispäästöille ja ilmastotavoitteiden saavuttamiselle.

Suomessa erityisesti energiasektorin päästöjä on onnistuttu voimakkaasti vähentämään (55 % vuoden 1990 päästöistä) (SVT 2026), mutta maatalouteen liittyvät päästöt ovat jopa kasvaneet ja metsien aikaisemmin suuri hiilinielu on hävinnyt käytännössä kokonaan, minkä takia kokonaispäästöjen vähentämisessä ei olla edetty.

Maatalous- ja maankäyttösektorilla on useita hyödyntämättömiä päästövähennysmahdollisuuksia. Päästölähteiden, niiden vähentämiskeinojen ja -kustannusten tunteminen on välttämätöntä sekä päätöksentekijöille, jotka suunnittelevat ilmastotavoitteita ja niiden toteutumista vauhdittavia ohjauskeinoja, että peltojen ja metsien hoidosta päättäville maanomistajille. Tieto päästöjä vähentävistä menetelmistä ja päästövähennysten kustannuksista on tarpeellista myös elinkeinoille, joissa hyödynnetään pelloilla ja metsissä tuotettavia raaka-aineita.

Ilmastonmuutoksen hillintä on globaali tehtävä, johon Euroopan unioni (EU) ja Suomi ovat kansainvälisissä sopimuksissa sitoutuneet. Vuonna 2015 hyväksytyssä Pariisin sopimuksessa (UNFCCC 2015) määritellyt, kaikkia maita sitovat tavoitteet ovat maapallon keskimääräisen lämpötilan nousun rajoittaminen reilusti alle 2 asteeseen, pyrkien 1,5 asteeseen, sekä globaali ilmastoneutraalius eli kasvihuonekaasupäästöjen ja poistumien tasapaino kuluvan vuosisadan jälkipuoliskolla. Pariisin sopimuksen osapuolet ovat myös sitoutuneet 5 artiklassa suojelemaan ja lisäämään hiilinieluja, mukaan lukien metsien hiilinielun lisääminen. Nämä kollektiiviset tavoitteet on tarkoitus saavuttaa sopimuksen osapuolten säännöllisesti kiristyvien kansallisten ilmastotavoitteiden (Nationally Determined Contributions, NDC) kautta. Osapuolella on velvollisuus huolehtia, että sen tavoite edustaa riittävää kontribuutiota yhteisen tavoitteen saavuttamiseen. Useimmat Pariisin sopimuksen osapuolista ovat sisällyttäneen kansallisiin tavoitteisiinsa myös maatalousmaiden ja metsien päästöjen vähentämis- ja hiilinielujen vahvistamistoimia.

EU:lla on Pariisin sopimuksen alla yhteinen eurooppalaiseen ilmastolakiin kirjattu ilmastotavoite (2021/1119). Se on sitoutunut vähentämään nettokasvihuonekaasupäästöjään vähintään 55 prosenttia vuoden 1990 tasosta vuoteen 2030 mennessä ja 90 prosenttia vuoteen 2040 mennessä. EU:n yhteinen tavoite toteutetaan osittain EU:n laajuisella päästökaupalla (EU ETS) ja osittain jäsenmaakohtaisilla ilmastotavoitteilla. Osana tätä laajaa ilmastopolitiikan kokonaisuutta EU:ssa on LULUCF-asetuksessa 2018/841) määritelty jäsenmaakohtaiset, maankäyttösektoria koskevat ilmastotavoitteet vuosille 2021–2030. Ensimmäisellä kaudella (2021–2025) metsille, pelloille ja maankäytön muutoksille oli määritelty erilliset laskennalliset tavoitteet. Vuoteen 2030 saakka ulottuvalle toiselle kaudelle on asetettu koko maankäyttösektoria koskeva, suoraan kasvihuonekaasuinventaarion lopputulokseen perustuva tavoite.

Jäsenmaakohtainen velvoite muodostuu kasvihuonekaasuinventaarion LULUCF-sektorin (Land Use, Land-Use Change and Forestry) vuosien 2016–2018 keskiarvotuloksesta sekä jäsenmaakohtaisesta nielutavoitteesta. Kasvihuonekaasuinventaarion vuonna 2026 (SVT 2026) julkaistujen tulosten mukaan Suomen LULUCF-sektori oli vuosina 2016–2018 keskimäärin hiilinielu suuruudeltaan -8,4 Mt CO_2-ekv. Suomen jäsenmaakohtaiseksi lisäisen nielun tavoitteeksi on määritelty -2,9 Mt CO_2-ekv. Täten Suomen vuoden 2030 tavoite on noin -11,3 Mt CO_2-ekv. suuruinen nettonielu. Tavoite vahvistetaan lopullisesti vuoden 2032 inventaariotietojen ja menetelmien pohjalta vuonna 2032, joten inventaariokehityksen myötä tähän voi tulla muutoksia. Vuosien 2026–2029 velvoitteita tarkastellaan nelivuotisena budjettina, jossa vuosittaisen LULUCF-velvoitteen määrittelee jäsenmaakohtainen vuoteen 2030 asti ulottuva lineaarinen kehityspolku (Euroopan komissio 2026/893; Seppälä ym. 2025A), joka lähtee maankäyttösektorin vuosien 2021–2023 nettotuloksen keskiarvosta. Lineaarisen kehityspolun vuosittaiset inventaarioarvot tarkistetaan vuonna 2032 sen vuoden inventaariomenetelmien perusteella. Toukokuussa 2026 julkaistun kasvihuonekaasuinventaarion ennakkotiedon mukaan LULUCF-sektori oli vuonna 2025 noin 9,4 Mt CO_2-ekv. suuruinen päästölähde, joten maankäyttösektorilla tarvitaan vuoteen 2030 mennessä yhteensä yli 20 Mt CO_2-ekv. päästövähennyksiä ja nielujen lisäyksiä sovitun EU:n tavoitteen saavuttamiseksi.

EU:n tämänhetkinen ilmastopolitiikan arkkitehtuuri on suunniteltu saavuttamaan vähintään 55 prosentin nettopäästövähennys vuoden 1990 tasosta vuoteen 2030 mennessä. Keskustelut vuoden 2040 ilmastotavoitteen edellyttämistä politiikkatoimista ovat käynnissä ja komissiolta odotetaan tähän liittyviä lainsäädäntöaloitteita loppuvuodesta 2026. Valmistelua ohjaavat eurooppalaiseen ilmastolakiin tehdyt kirjaukset sektoreiden välisen ja niiden sisäisen joustavuuden lisäämisestä. Lisäksi valmistelua ohjaa kaksi tarkempaa kirjausta hiilenpoistoihin ja maankäyttösektoriin liittyen. Eurooppalaisen ilmastolain 4.4 artiklan d-kohdan mukaan komission tulee vuoden 2040 ilmastotavoitteen toimeenpanoaloitteissa huomioida:

> hiilenpoistojen realistinen vaikutus päästövähennystoimiin kokonaisuudessaan ottaen huomioon luonnollisiin poistumiin liittyvät epävarmuustekijät ja varmistaen, että mahdolliset puutteet eivät aiheuttaisi haittaa muille talouden aloille kuitenkaan rajoittamatta jäsenvaltioiden mahdollisuutta käyttää luonnollisten poistumien ylijäämiä kompensoimaan muiden alojen päästöjään.

Lisäksi 4.4 artiklan e-kohdan mukaan huomioidaan myös:

> tarve tilanteen mukaan ylläpitää, hoitaa ja lisätä luonnollisia nieluja pitkällä aikavälillä sekä suojella ja palauttaa biologista monimuotoisuutta, edistää kestävää biokiertotaloutta sekä ottaa huomioon metsien ikärakenteen erojen vaikutukset, luonnollinen vaihtelu ja epävarmuustekijät, etenkin ne, jotka liittyvät ilmastonmuutoksen vaikutuksiin ja luonnonhäiriöihin maankäytön, maankäytön muutoksen ja metsätalouden alalla.

Yhtenä vaihtoehtona vuoden 2030 jälkeistä ilmastopolitiikan arkkitehtuuria koskevissa keskusteluissa on nykysääntelystä poikkeava maataloussektorin ja maankäyttösektorin (AFOLU, agriculture, forestry, land-use) yhteinen ilmastotavoite.

EU-lainsäädäntöön perustuvien tavoitteiden lisäksi Suomi on ilmastolaissa (423/2022) asettanut omaksi tavoitteekseen hiilineutraaliuuden vuoteen 2035 mennessä sekä päästöjen vähentämisen ja nielujen vahvistamisen tämän jälkeenkin. Päästöjen ja poistojen tasapaino seuraavan yhdeksän vuoden aikana edellyttää päästöjen ripeää vähentämistä sekä jäljelle jäävien päästöjen kompensoimista hiilinieluilla. Luonnon nielujen lisäksi kompensoinnissa voidaan käyttää teknisiä hiilinieluja, mutta niiden toteuttaminen on vielä hyvin kallista luonnon nielujen kasvattamisen kustannuksiin verrattuna.

Tämän tutkimuksen tavoitteena on koota ajantasainen tutkimustieto maatalous- ja maankäyttösektorin kasvihuonekaasutaseen vahvistamismahdollisuuksista. Tämä synteesiraportti esittelee AFOLU-sektorin eri osa-alueiden päästöjen ja nielujen nykytilan sekä keinot päästöjen vähentämiseksi ja nielujen vahvistamiseksi. Raportti arvioi päästövähennyskeinojen kustannusvaikuttavuutta, sekä niiden toteutukseen soveltuvia ohjauskeinoja. Kustannusvaikuttavuutta tarkastellaan maanomistajan talouden näkökulmasta arvioiden toimesta hänelle aiheutuvia kustannuksia suhteessa saavutettuun päästövähennykseen.

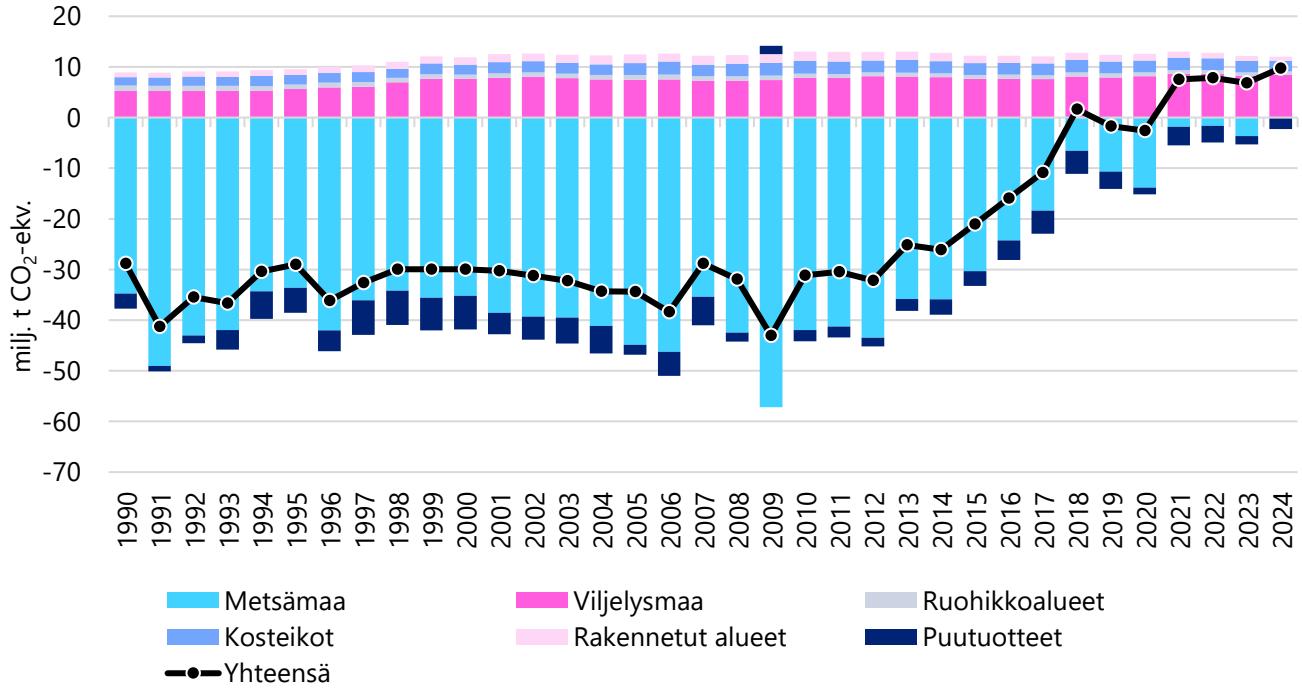
Luvussa 2 esitetään tilannekuva kasvihuonekaasupäästöjen kehityksestä ja nykytilasta. Sisältöluvuissa 3–15 syvennytään tarkastelemaan päästövähennyspotentiaalia, niihin liittyviä kustannuksia ja ohjauskeinoja. Luvussa 16 esitellään kirjoittajien tärkeimmiksi tunnistamat päästövähennyskeinot ja suositellaan niiden toimeenpanoon sopivia ohjauskeinoja ja toteutuspolkuja. Luku 17 vetää yhteen raportin johtopäätöksiä.

2 KASVIHUONEKAASUPÄÄSTÖJEN KEHITYS JA NYKYTILA MAANKÄYTTÖSSÄ JA MAATALOUDESSA

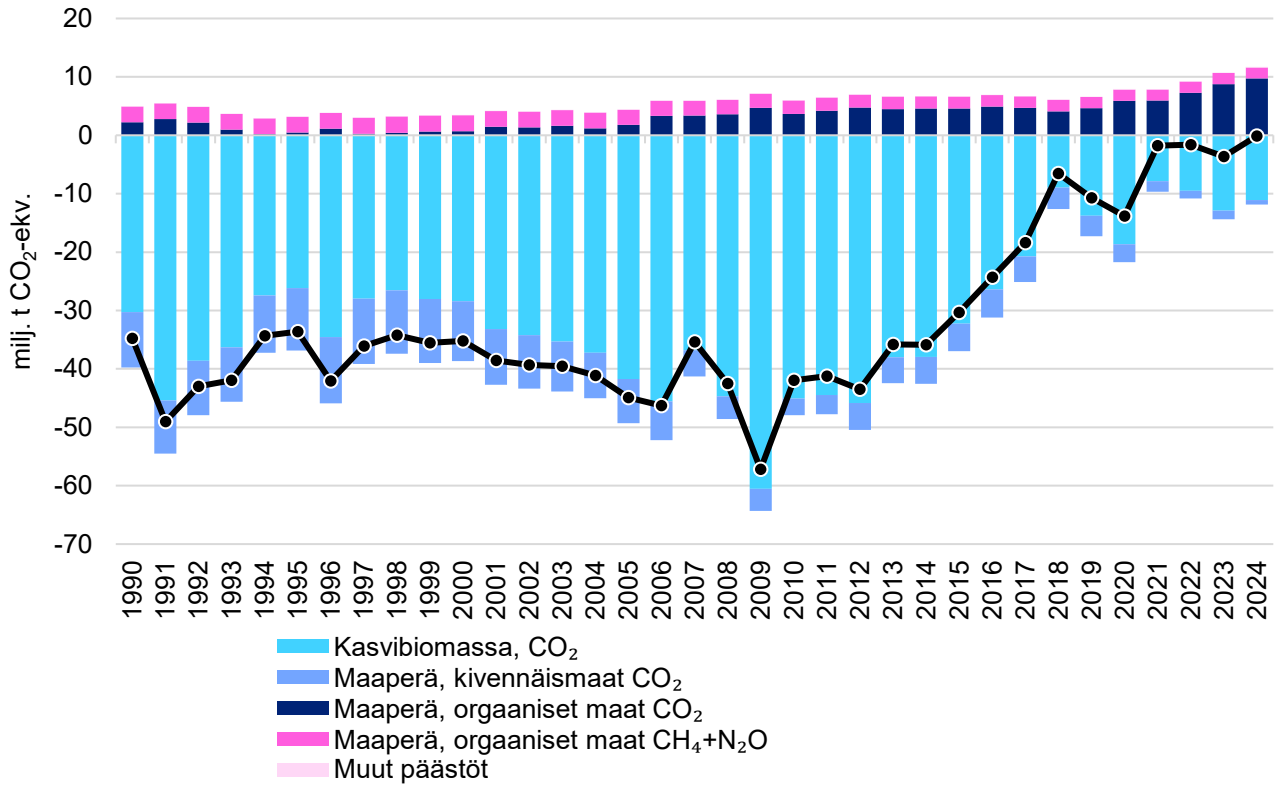
Tässä luvussa käydään läpi maa- ja metsätaloudesta sekä maankäytöstä syntyneitä kasvihuonekaasupäästöjä ja nieluja. Viimeisimmän inventaarion mukaan maatalous- ja maankäyttösektoreilla syntyneiden päästöjen osuus Suomen kokonaispäästöistä oli 33 prosenttia, yhteensä 16,2 Mt CO_2-ekv. (SVT 2026).

Maankäyttösektori kattaa maankäytöstä, maankäytön muutoksista ja metsätaloudesta aiheutuvat hiilidioksidin sekä muiden kasvihuonekaasujen (CH_4, N_2O) päästöt ja poistumat. Sektori koostuu kuudesta maankäyttöluokasta: metsämaa, viljelysmaa, ruohikkoalueet, kosteikot, rakennetut alueet ja muu maa, sekä erikseen tarkasteltavista puutuotteista. Tässä luvussa käymme läpi kansallisen tason kasvihuonekaasuinventaarion tuloksia 2024 (Luonnonvarakeskus, 2024).

Maankäyttösektorin nettotulos oli vuoteen 2012 saakka keskimäärin yli 30 Mt CO_2-ekv. vuotuinen hiilinielu, mutta kääntyi päästölähteeksi vuonna 2021. Vuonna 2024 maankäyttösektorin nettotulos oli yhteensä 9,8 Mt CO_2-ekv. päästö (Kuva 1). Maankäyttösektorin kääntyminen päästölähteeksi selittyy pääasiassa metsämaan nielun heikkenemisellä 2010-luvulta lähtien. Metsämaan nielu on pienentynyt huomattavasti verrattuna vuosien 1990–2012 keskimääräiseen tasoon (-40,5 Mt CO_2-ekv.), ja vuonna 2024 se oli enää −0,13 Mt CO_2-ekv. (Kuva 2). Hiilinielun heikkenemiseen on vaikuttanut useita tekijöitä, kuten hakkuumäärien kasvu, puuston kasvun hidastuminen ja ojitettujen soiden maaperäpäästöjen lisääntyminen.



Kuva 1. Maankäyttösektorin kasvihuonekaasupäästöt ja hiilinielut maankäyttöluokittain vuoden 2024 inventaariossa. Positiivinen luku on päästöä ja negatiivinen poistumaa (nielu). Lähde: Kasvihuonekaasuinventaario, Luonnonvarakeskus (2024).



Kuva 2. Metsämaan kasvihuonekaasupäästöt ja hiilinielut vuoden 2024 inventaariossa. Positiivinen luku on päästöä ja negatiivinen poistumaa (nielu). Lähde: Kasvihuonekaasuinventaario, Luonnonvarakeskus (2024).

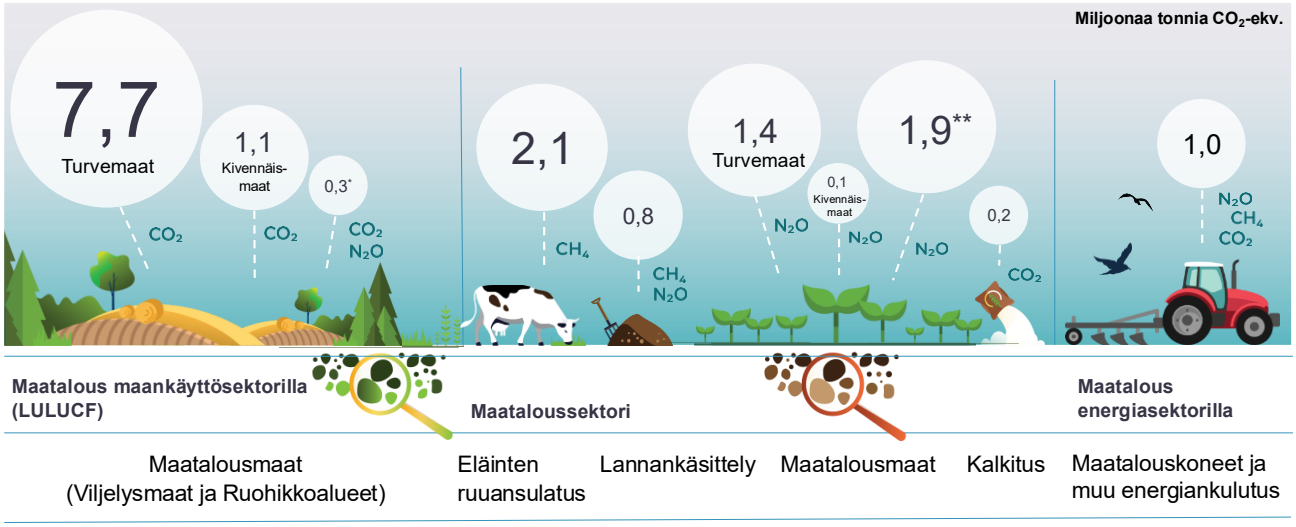
Hakkuut heikentävät hiilinielua keskipitkällä aikavälillä vähentämällä elävän puuston biomassaa. Vaikka puuston kasvu ylittää kokonaispoistuman, puuston hiilivaraston kasvu ei enää viime vuosina ole riittänyt kompensoimaan kasvaneita maaperäpäästöjä. Hakkuiden ohella elävän puuston biomassaan ovat vaikuttaneet puiden latvustojen lyhentyminen sekä puuston kasvun hidastuminen. Kasvun hidastumista selittävät muun muassa metsien varttuminen nopeimman kasvuvaiheen ohi, kuivuus ja metsätuhot.

Metsien hiilitaseen kannalta maaperäpäästöillä on keskeinen merkitys. Ojitettujen turvemaametsien maaperäpäästöt (metaani- ja dityppioksidipäästöt mukaan lukien) olivat vuonna 2024 lähes yhtä suuret (11,6 Mt CO_2-ekv.) kuin koko maan puuston ja kivennäismaametsien maaperän yhteenlasketut nielut (11,8 Mt CO_2-ekv.). Maaperäpäästöjen kasvuun ovat vaikuttaneet lisääntyneiden hakkuiden myötä hakkuujätteiden hajoamisen kasvu, puuston kasvun hidastumisesta ja latvustorakenteen muutoksista johtuva karikesyötteen väheneminen sekä lämpötilan nousu, joka kiihdyttää orgaanisen aineksen hajoamista. Puuston hiilinielun heikkenemisen ja maaperäpäästöjen kasvun yhteisvaikutuksen seurauksena metsien hiilinielu on viime vuosina ollut lähellä nollaa ja suhteellisen pienet muutokset voivat kääntää sen päästölähteeksi.

Viljelysmaa on merkittävin maankäyttösektorin kasvihuonekaasupäästöjen lähde Suomessa. Vuonna 2024 noin 70 prosenttia maankäyttösektorin päästöistä tuli viljelysmailta, mikä vastaa 8,4 Mt CO_2-ekv. (Kuva 1). Viimeisen neljän vuoden ajan viljelysmaan päästöt ovat olleet hieman korkeammalla tasolla kuin laskenta-aikasarjan aiempina vuosina. Viljelysmaan ilmastovaikutuksia hallitsevat erityisesti turvepellot. Vaikka niiden osuus viljelysmaan pinta-alasta on vain 12 %, niiden päästöt ovat erittäin suuret. Kivennäismailla viljelysmaan päästöt ovat selvästi pienempiä ja ilmastoviisaita viljelymenetelmiä käytettäessä kivennäismaapelto voi olla hiilinielu. Viljelysmaan lisäksi maatalousmaihin luetaan myös

ns. ruohikkoalueet, jotka ovat pääosin hakamaita tai hylättyjä entisiä peltoja. Maatalousmaiden osalta CO_2-päästöt raportoidaan maankäyttösektorilla, kun taas N_2O-päästöt raportoidaan pääosin maataloussektorilla (Kuva 3).

Maankäyttösektorin päästö- ja nieluarviot ovat herkkiä puuston kasvua, hakkuita ja maaperäprosesseja koskeville lähtötiedoille sekä menetelmällisille päivityksille. Kasvihuonekaasuinventaariossa menetelmiä ja lähtöaineistoja on päivitetty IPCC:n ohjeistuksen (2019A) mukaisesti ja uudempi tutkimustieto on otettu aiempaa kattavammin huomioon, mikä on tarkentanut päästö- ja poistuma-arvioita. Inventaarion menetelmiä kehitetään jatkuvasti ja esimerkiksi päästövähennystoimien kuten turvemaiden pohjaveden korkeuden nostamisen vaikutuksen saaminen mukaan laskentaa edellyttää kehitystyötä. Aina kun inventaariomenetelmissä otetaan käyttöön uusia menetelmiä tai päivitettyjä tausta-aineistoja, lasketaan koko inventaarioaikasarja uudelleen. Viime vuosien inventaariotulokset ovat johdonmukaisesti vahvistaneet kokonaiskuvaa maankäyttösektorin huomattavasti heikentyneestä hiilitaseesta viimeisen kymmenen vuoden aikana. Maankäyttösektorin kehitys on näin ollen noussut keskeiseen rooliin sekä Suomen kasvihuonekaasutaseen tulkinnassa että EU:n maankäyttösektorin velvoitteiden ja ilmastotavoitteiden seurannassa.



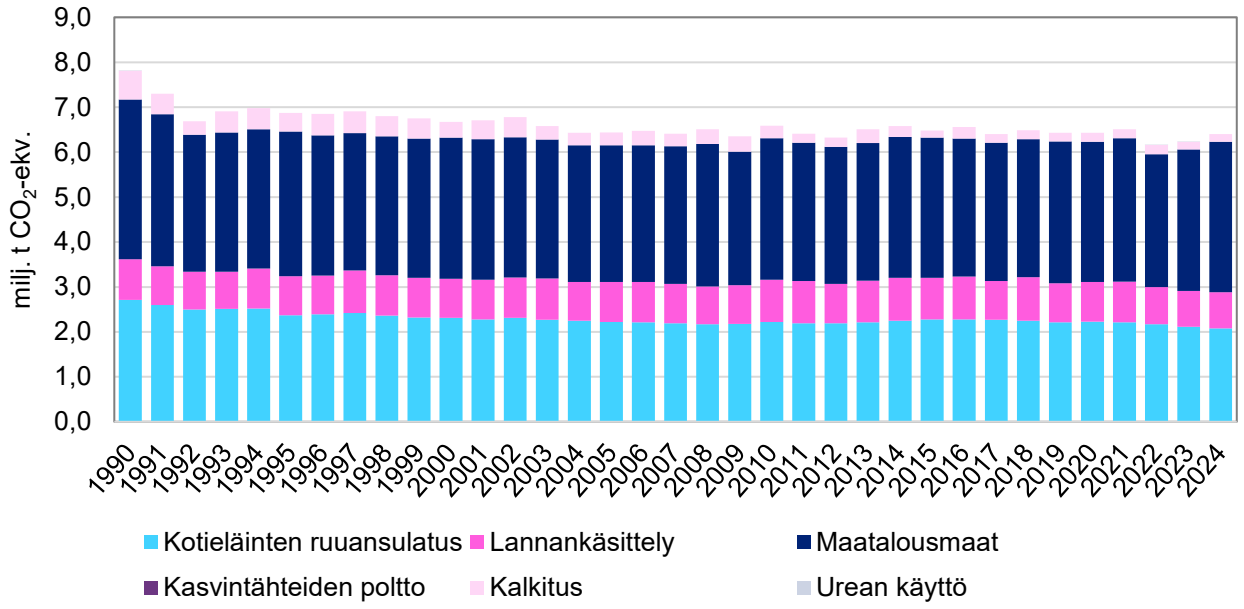
*Muut päästöt kattavat kasvibiomassan hiilivaraston muutokset sekä alle 20 vuotta sitten raivatuilla kivennäismailla syntyvät N_2O-päästöt.
**Muut maaperän päästöt kattavat lannoituksesta, lannan levityksestä, kasvintähteistä sekä laiduneläinten lannasta ja virtsasta aiheutuvat N2O-päästöt.

Kuva 3. Maataloudesta lähtöisin olevat kasvihuonekaasupäästöt sektoreittain ja lähteittäin Suomessa (Mt CO_2-ekv.). Lähde: 2024 tiedot Tilastokeskus, alkuperäiskuva maa- ja metsätalousministeriö.

Maataloussektorilla päästöjä raportoidaan vuosittain tuotantoeläinten ruuansulatuksesta (CH_4), lannankäsittelystä (CH_4, N_2O), maatalousmaista (N_2O) sekä kalkituksesta ja urean käytöstä (CO_2).

Noin puolet maataloussektorin päästöistä syntyy maatalousmailla (Kuvat 3 ja 4). Näistä päästöistä lähes puolet on nykyään peräisin orgaanisten maiden viljelystä ja runsas kolmannes väkilannoitteiden käytöstä. Tuotantoeläinten ruuansulatuksen päästöistä valtaosa syntyy nautakarjasta, ja nämä päästöt muodostavat runsaan kolmanneksen koko maataloussektorin päästöistä. Lannankäsittelystä aiheutuvat päästöt ovat kokonaisuudeltaan tätä pienemmät ja muodostavat keskimäärin alle kuudesosan maataloussektorin päästöistä.

Maataloussektorin päästöt ovat pysyneet viimeisen 20 vuoden ajan jokseenkin vakaina (Kuva 4). Päästöissä esiintyy vuosittaista vaihtelua, jota selittävät muun muassa lannoitemäärien ja satotasojen vaihtelut. Lietelannan metaanipäästöihin vaikuttavat eläinmäärien ja lantatuotoksen muutosten lisäksi laskentavuoden lämpötila. Vuonna 2022 maataloussektorin kokonaispäästöt jäivät selvästi keskimääräistä alhaisemmaksi, sillä lannoitteiden korkea hinta vähensi niiden käyttöä ja sitä kautta lannoituksesta syntyviä päästöjä. Vuonna 2024 lannoitteiden myynti maatalouskäyttöön oli puolestaan 14 % suurempi kuin vuosien 2017–2021 keskimääräinen taso, minkä vuoksi maataloussektorin päästöt olivat 6,4 Mt hiilidioksidiekvivalenttia (CO_2-ekv.), vaikka eläinmäärät olivatkin laskeneet edellisiin vuosiin verrattuna.



Kuva 4. Maataloussektorin päästöt päästölähteittäin vuoden 2024 inventaariossa. Maatalousmaiden päästöistä osa (CO_2-päästöt) raportoidaan maankäyttösektorilla. Lähde: Kasvihuonekaasuinventaario, Luonnonvarakeskus (2024).

Pitkällä aikavälillä maataloussektorin päästöjä ovat pienentäneet väkilannoitteiden ja kalkitusaineiden käytön väheneminen sekä eläinmäärien, erityisesti nautojen määrän merkittävä aleneminen. Vuoteen 1990 verrattuna lypsylehmien määrä on vuoteen 2024 mennessä yli puolittunut. Samanaikaisesti lehmien keskikoko ja maitotuotos ovat kuitenkin kasvaneet, minkä vuoksi ruuansulatuksesta aiheutuvat päästöt eivät ole vähentyneet samassa suhteessa kuin eläinmäärät. Turvemaapeltojen viljelyyn liittyvät päästöt ovat puolestaan pitkällä aikavälillä kasvaneet ja tavoitteena olleita päästövähennyksiä ei ole saavutettu.

OSA I – MAATALOUS JA MAATALOUDEN MAANKÄYTTÖ

3 KOTIELÄINTUOTANTO 9
3.1 TUOTANTOELÄINTEN RUUANSULATUKSEN PÄÄSTÖT 9
3.1.1 NYKYTILA JA PÄÄSTÖJEN VÄHENTÄMISEN KEINOT 9
3.1.2 PÄÄSTÖVÄHENNYSARVIO JA KUSTANNUKSET 11
3.1.3 OHJAUSKEINOT 13
3.2 LANNANKÄSITTELYN PÄÄSTÖT 14
3.2.1 NYKYTILA JA PÄÄSTÖJEN VÄHENTÄMISEN KEINOT 14
3.2.2 PÄÄSTÖVÄHENNYSARVIO JA KUSTANNUKSET 16
3.2.3 OHJAUSKEINOT 16

4 PELTOJEN MAAPERÄ 18
4.1 PELTOJEN LANNOITUS 18
4.1.1 NYKYTILA JA PÄÄSTÖJEN VÄHENTÄMISEN KEINOT 18
4.1.2 PÄÄSTÖVÄHENNYSARVIO JA KUSTANNUKSET 21
4.1.3 OHJAUSKEINOT 23
4.2 KIVENNÄISMAAPELLOT 25
4.2.1 NYKYTILA JA PÄÄSTÖJEN VÄHENTÄMISEN KEINOT 25
4.2.2 PÄÄSTÖVÄHENNYSARVIO JA KUSTANNUKSET 26
4.2.3 OHJAUSKEINOT 28
4.3 TURVEMAAN PELLOT 30
4.3.1 NYKYTILA JA PÄÄSTÖJEN VÄHENTÄMISEN KEINOT 30
4.3.2 PÄÄSTÖVÄHENNYSARVIO JA KUSTANNUKSET 34
4.3.3 OHJAUSKEINOT 39

5 MAATALOUDEN ENERGIAN KÄYTTÖ 42
5.1 NYKYTILA JA PÄÄSTÖJEN VÄHENTÄMISEN HAASTEET 44
5.2 PÄÄSTÖVÄHENNYSARVIO JA KUSTANNUKSET 45
5.3 OHJAUSKEINOT 47

3 KOTIELÄINTUOTANTO

3.1 TUOTANTOELÄINTEN RUUANSULATUKSEN PÄÄSTÖT

3.1.1 Nykytila ja päästöjen vähentämisen keinot

Suomen kasvihuonekaasuinventaarion mukaan kotieläinten ruuansulatuksesta (enteric fermentation) aiheutui metaanipäästöjä vuonna 2024 yhteensä 2,08 Mt CO_2-ekv. (SVT 2026). Näistä 1,06 Mt CO_2-ekv. (51 %) oli peräisin maidontuotannosta, 0,82 Mt CO_2-ekv. (40 %) muusta nautakarjasta eli pääosin naudanlihantuotannosta sekä 0,19 Mt CO_2-ekv. (9 %) muista eläinryhmistä (lampaat, siat, porot, hevoset, vuohet ja turkiseläimet). ”Muut eläinryhmät” ovat heterogeeninen kokonaisuus ja ruuansulatuksen metaaniin on hyvin hankala antaa päästövähennystoimenpiteitä. Tuotetun lannan osalta metaanipäästöt käsitellään lannoituskohdan yhteydessä.

Naudanlihan ja maidontuotannon metaanipäästöt ovat volyymiltään lähes samaa suuruusluokkaa. Naudanlihan osalta päästövähennysmahdollisuudet ovat kuitenkin maidontuotantoa pienemmät. Lihanaudoille ei ole hyväksyttyä metaanituotantoa inhiboivaa lisäainetta eikä tällä hetkellä sellaista ole hyväksyntäprosessissa. Lihanaudoille ei käytetä rypsirouhetta, joten öljyn tai rypsipuristeen lisääminen ruokintaan ei ole taloudellisesti mahdollista. Ainoa toimiva ilmastotoimenpide tällä hetkellä on hyvän päiväkasvun ylläpitäminen eli käytännössä nuorempana teurastaminen, jolloin rehunkulutus ja ympäristökuormitus ovat kokonaisuudessaan pienimmät yhtä tuotettua lihakiloa kohti (Huuskonen ym. 2025). Metaanin osalta tavoitteena on minimoida metaani-intensiteetti (CH_4/lihakilo)

Myös lypsylehmillä on tavoitteena minimoida metaani-intensiteettiä (CH_4/kg maitoa). Käytännössä intensiteetti paranee yhdessä rehuhyötysuhteen kanssa, eli maitoa tuotetaan mahdollisimman paljon yhtä syötyä kuiva-ainekiloa kohti. Lehmä tarvitsee vakiomäärän rehua elintoimintojen ylläpitoon. Tällöin ensimmäisten maitokilojen tuottamisen ympäristökuormitus on erittäin suuri, koska yhtä maitokiloa kohti tarvitaan paljon rehua ja yhden rehukilon metaanituotantovaikutus on melko vakio. Maitotuotoksen noustessa ylläpitotarpeen vaikutus laimenee suurentuvaan maitomäärään ja metaani-intensiteetti paranee. Suomessa märehtijöiden metaanintuotanto on eläinmäärän pienentymisen vuoksi vähentynyt vuoden 1960 jälkeen 57 % ja metaani-intensiteetti parantunut 37 % (Huhtanen ym. 2022). Samaan aikaan Suomen maidontuotanto on vähentynyt 1960-luvun ylituotannosta (yli 3,5 miljardia litraa vuodessa) kotimaista kulutusta vastaavalle tasolle noin 2,1–2,3 miljardiin litraan, mikä on ollut maidontuotannon kokonaismäärän taso 2006–2025 (SVT 2026). Tuotostason nousun mukanaan tuoma metaani-intensiteetin parantaminen noudattaa vähenevän lisätuoton lakia, joten nykyisen tuotostason nostaminen parantaa tilannetta aikaisempaan verrattuna enää vähän. Mainittavaa etua on kuitenkin saavutettavissa vielä 50 kilon päivätuotostasolle saakka.

Rehuhyötysuhteen jalostus on keino parantaa metaani-intensiteettiä. Jalostus pohjaa laskennan maatiloilta kerättäviin tietoihin. Maatilojen lisänä olevien tutkimuskarjojen eläinmäärä ja geenipohja ovat tähän tarkoitukseen kapeita. Ainoat maatiloilla rehuhyötysuhteeseen liittyvät mitattavissa olevat luotettavat suureet ovat elopaino ja maitotuotos. Näistä vain maitotuotos mitataan luotettavasti. Elopainon mittaamiseen joudutaan käyttämään epäsuoria menetelmiä maatilavaakojen puuttuessa. Tutkimuksissa on havaittu elopainon suurenemisen johtavan rehuhyötysuhteen laskuun ja samalla heikentävän metaani-intensiteettiä (Huhtanen ja Huuskonen 2020). Tämän vuoksi elopainon jalostaminen pienemmäksi on käytännössä metaanipäästövähennyksiä tuottava vaihtoehto. Genominen jalostus kuitenkin parantaa edistymismahdollisuuksia. Jalostus on osa elinkeinon kehittämistä ja sitä ei valtion tukitoimin voi juuri lainkaan nopeuttaa biologisten lainalaisuuksien vuoksi.

Suomessa menestyvistä palkorehukasveista keltamaite voisi olla yksi potentiaalinen, tanniinia sisältävä ja siten metaania inhiboiva laji. Se on talvenkestävä, mutta perustuminen on hidasta ja satotaso puna-apilaa heikompi.

Metaanituotannon suora jalostaminen pienemmäksi on vielä haastavampaa kuin rehuhyötysuhde, koska käytössä ei ole maatiloille soveltuvaa menetelmää lehmien metaanituotannon mittaamiseksi. Jalostusta varten tarvitaan tieto lehmän syömästä rehumäärästä, maitotuotoksesta ja metaanintuotannosta. Metaanijalostuksen pohjana pohjoismaissa on käytössä maatilaolosuhteisiin soveltuva Cattle Feed Intake System (CFIT) kuvantamiseen perustuva syönninmittaus ja metaanituotannon pitoisuutta mittaava sniffer-menetelmä (Gransworthy ym. 2019). Menetelmäyhdistelmällä ei voi mitata suoraan lehmän metaani-intensiteettiä ja menetelmä ei ole vertailussa osoittautunut kovinkaan luotettavaksi (Huhtanen ym. 2015, Guinguina 2026). Sniffer-menetelmä voi suosia myös rehua huonosti sulattavia lehmiä, jolloin näennäisesti intensiteetiltään hyvä lehmä voi olla vain huonosti rehua sulattava. Todellinen metaani-intensiteetti ei tässä tapauksessa parane.

Merkittävin keskituotoksen nousun etu saavutetaan matalia tuotoksia nostettaessa. Esimerkiksi Afrikan Zebu-lehmä tuottaa tyypillisesti 4 litraa maitoa päivässä ja laskennallinen metaanintuotanto on 80 g CH_4/kg maitoa, kun Suomessa vastaava luku on 15 g CH_4/kg maitoa (Rinne 2025). Globaalisti merkittävä keino vähentää metaanintuotantoa on tietotaidon viemisen kautta Afrikan ja Aasian lehmien keskituotoksen nosto ja vastaavasti eläinmäärän vähentäminen, mikäli maidontuotanto maailmassa halutaan pitää nykyisellä tasolla. Maidontuotannon tietotaidon vienti kehittyviin maihin voisi siis tuottaa merkittävän ilmastokädenjäljen, minkä tarkastelu kuitenkin jää tämän raportin ulkopuolelle.

Luonnonmukaisin rehuhyötysuhdetta parantava, ja samalla metaani-intensiteettiä pienentävä menetelmä on nurmirehun sulavuuden parantaminen jälkikasvuaikaa lyhentämällä (Arndt ym. 2022). Aikainen korjuu ja siitä seuraava nurmisäilörehun parempi sulavuus ovat yksi tehokkaimmista ruokinnallisista keinoista alentaa maidontuotannon metaani-intensiteettiä. Warner ym. (2017) havaitsivat, että nurmirehun sulavuuden nosto paransi laskennallisesti metaani-intensiteettiä 28 % verrattaessa hyvin aikaisin ja hyvin myöhään korjattua nurmisatoa. Vaikutus syntyi sekä pienemmästä metaanituotosta että korkeammasta maitotuotoksesta. Käytännön ruokintatasoja matalaa sulavuutta väkirehulla kompensoitaessa vaikutus jää huomattavasti Warnerin esimerkkiä pienemmäksi.

Märehtimisen metaania voidaan tehokkaimmin hillitä rehustuksen inhibiittorikäsittelyllä. Markkinoilla on tällä hetkellä vain yksi hyväksytty lisäaine Bovaer (3NOP). Sen päästövähennyspotentiaali on perusruokinnasta riippuen 10–30 % naudan päivittäisestä metaanintuotannosta (Rinne ym. 2025). Tanskan laskentasuosituksen pohjana oleva Lund ym. (2024) käyttää 60 mg/kg kuiva-ainetta (ka) annostasolla tuottaa päästövähennystä 27 %, Huhtanen (2024) 24 % ja Rinne (2025) 20 % seosrehuruokinnalla. Bovaerin vähennysvaikutus riippuu ilmeisesti perusruokinnan tyypistä ja yksittäisten kokeiden tuloksissa on lisäksi satunnaisvaihtelua.

Bovaer on kuitenkin hyväksytty vain lypsylehmille ja maidontuotantoon tarkoitetuille uudishiehoille. Vuoden 2025 lopulla Tanskassa on noussut esille epäilyjä, että Bovaer aiheuttaa lehmille terveysongelmia (Undark 2026), jollaisia ei ole aiemmissa lukuisissa tutkimuksissa havaittu (EFSA 2021). Mainehaitan vuoksi Bovaerin markkinoille tulo on viivästynyt Pohjoismaissa. Aarhusin selvityksessä väitettyjen lehmien terveysongelmien ja Bovaerin käytön välille ei löytynyt yhteyttä (Kristensen ym. 2026).

Toinen pötsin metaanituotantoa vähentävä luontainen lisäaine on kasviöljyt. Mikrobisynteesiä haittaavana tekijänä myös kuidun sulatus pötsissä samalla heikkenee ja suositeltu kasviöljyjen kokonaismäärä tulee olla alle 5 % rehun kokonaissyönnistä. Nurmikasvien vahamaista rasvaa ei lueta

tähän mukaan. Öljy itsessään on korkean jalostusarvon tuote ja siksi tällä hetkellä liian kallis käytettäväksi metaaninvähennykseen. Ainoastaan rehujen luontaisen öljyn, kuten kauran, rypsipuristeen tai murskatun rypsinsiemenen käyttö on taloudellisesti järkevää. Ohran korvaaminen kauralla ja rypsirouheen korvaaminen puristeella kumpikin vähentävät metaanintuotantoa enimmillään 12 % ilman tuotostappioita (Arndt ym. 2022; Ayanfe ym. 2025). Kauran viljelymahdollisuudet Suomessa ovat hyvät, mutta rypsipuristeen saatavuus on tarpeeseen nähden marginaalista. Maatiloilla murskattu rypsinsiemen on yksi kustannusvaikuttavimmista tavoista vähentää metaanintuotantoa. Rypsi on kuitenkin maitotiloille erikoiskasvi ja sen viljelytekniikka on kohtuullisen vaativa, joten viljelyalan lisääminen vaatii tietotaidon lisäämistä. Yhteistyö alueen muiden rypsiä viljelevien maatilojen kanssa edesauttaisi rypsinsiemenen käytön lisäämistä.

Muista lisäaineista intensiivisissä tutkimuksissa merkittävimmät ovat merilevät ja nitraatit. Merilevä on huomattavan kallis tarvittava käyttömäärä huomioiden ja sen sisältämä tehoaine bromoformi on potentiaalisesti karsinogeeninen, joten sen käyttöönotto ei ole todennäköistä (Liu ym. 2025). Nitraatit ovat myös hinnaltaan korkeita ja sinällään myrkyllisiksi luokiteltavia yhdisteitä. Tutkimuksissa on ollut myös lukuisia muita metaania inhiboivia lisäaineita, mutta mittavista tutkimuspanoksista huolimatta Bovaeria lukuun ottamatta toistaiseksi ei ole löydetty käyttökelpoista vaihtoehtoa.

Navettailmasta voisi teoriassa saada suodatettua metaani pois, jos kaikki navettailma kulkisi suodattimen tai katalysaattorin kautta. Esimerkkinä Luke Maaningan 70 lehmän ja 16 000 m^3 navetassa metaanituotto on laskennallisesti 40 kg metaania /pv. Pitoisuus ilmassa nousisi vuorokaudessa 4000 ppm/m^3, jos ilmanvaihtoa ei olisi ollenkaan. Navettailma kuitenkin vaihtuu vähintään 20 kertaa tunnissa ja keskitetyn suodattimen läpi kulkisi ilmaa vastaavasti keskimäärin 300 000 m^3/h. Metaanipitoisuus olisi enää luokkaa 7 ppm/m^3 (noin 5 mg/m^3) ja näin matalan pitoisuuden poistamiseen suuressa ilmamäärässä ei ole kannattavaa tekniikkaa olemassa. Vertailun vuoksi ulkoilman metaanipitoisuus on noin 2 ppm/m^3 (=1923 ppb/m^3).

3.1.2 Päästövähennysarvio ja kustannukset

Useiden tutkimusten mukaan metaani-inhibiittori Bovaer on tällä hetkellä tehokkain lyhyen aikavälin päästövähennyskeino ilman että maitotuotos laskee merkittävästi tai että tuotantoa ja eläinmäärää tarvitsee päästövähennyksen saavuttamiseksi vähentää. Bovaer on hyväksytty vain maidontuotantoon tarkoitetuille naudoille, ja valmistajalla ei tällä hetkellä ole hyväksyntähakemusta lihasektorille. Suomen nurmeen pohjautuvasta dieetistä ja erillisruokinnasta johtuen päästövähennyspotentiaali kansallisesta metaanipäästön 2,1 Mt CO_2-ekv./v tasosta on arviolta noin 15 % eli noin 0,3 Mt CO_2-ekv./vuosi, jos lisäainetta annettaisiin kaikille lehmille ja uudistukseen käytettäville hiehoille (Rinne 2025). Lihanaudoille Bovaeria ei voi käyttää eikä myöskään luomutuotannossa. Lisäksi on epärealistista olettaa kaikkien maitotilojen sitoutuvan lisäaineen käyttöön. Tulevaisuudessa käytännön arvio olisi, että realistinen vähennysvaikutus olisi em. tietoihin perustuen optimistisesti 10 % märehtijöiden koko metaanituotannosta. Päästövähennysvaikutus olisi siten enintään 0,21 Mt CO_2-ekv./v.

Valmistajan ilmoituksen perusteella Bovaerin hinta tulee olemaan vuoden 2027 alussa 15,5 €/kg (DNS-Firmenic 2026). Annostustasolla 60 mg 3NOP/kg ka kustannus olisi siten 0,19 €/lehmä/pv. Laskelmissa kustannuksena on käytetty 0,0061 €/litra maitoa. Lisäksi tulee kustannus tuotostappiosta (- 1 %, -0,3 kg maitoa/pv, mutta toisaalta rehunkulutus pienenee vähän (- 3 %, 0,4 kg kuiva-ainetta/pv, Pupo ym. 2025, Rinne ym. 2025, Huhtanen 2024). Tämän hetken hintatasolla nettovaikutuskustannus tuotoskaudella on Huhtanen (2024) mukaan 0,19 €/pv. Huomionarvoista on mahdollinen tuotosmenetys. Yksittäisten tutkimusten mukaan tuotosmenetystä ei ole, mutta Huhtanen (2024) meta-analyysin mukaan maitotuotos alkaa pienentyä Bovaer annostustason noustessa. Päästövähennys ja tuotostaso huomioiden annostustaso tulee olla vaihteluvälin minimi 60 mg/kg ka., optimi annostustaso voisi olla

jopa tätä pienempi. Umpilehmillä ja uudiskarjalla tuotostappioita ei tule, joten niillä Bovaerin käyttö on kannattavampaa kuin lypsylehmillä. Umpilehmien osuus karjasta on pieni, mutta yli 6 kk ikäisiä hiehoja on 0,52 kpl yhtä lypsylehmää kohti, joten ei lypsävien metaanintuotanto on merkittävän suurta.

Huhtanen (2024) laskennan mukaisesti nettovuosikustannus kaikille Bovaeria saaville eläimille olisi arviolta 11 milj. €/v. Pelkästään lypsylehmille annosteltuna kustannus on 83 €/t CO_2ekv ja koko karja huomioiden 74 €/t CO_2-ekv. Summa on linjassa aiemmin lasketun 70–80 €/t CO_2-ekv (Miettinen ym. 2022). Laskelmien eroina ovat tämän hetken Bovaerin laskenut hinta ja Miettinen (2022) laskelman oletus muuttumattomasta maito- ja rehunsyöntimääristä.

CO_2-ekv -hinnan määritys riippuu huomattavan paljon mitä laskentaperustetta käytetään. Kansainvälisen raportoinnin näkökulmasta yhtenäinen päästövähennysvaikutus olisi kaikkein perustelluin vaihtoehto. Tanskassa Bovaerin päästövähennykseksi on 60 mg/kg ka annostasolla esitetty 27 % metaanituotannon pieneneminen ja maitotuotoksen eikä syöntimäärän muutokseen ole otettu kantaa. Tällä mallilla laskettuna päästövähennyskustannus on lypsylehmillä 59 €/t CO_2-ekv ja koko karjalle laskettuna 55 €/t CO_2-ekv.

Saavutettava yli 10 prosentin vähennys maitolitrakohtaisessa metaanipäästössä saattaisi olla maineriskistä huolimatta maitoalalle harkitsemisen arvoinen vaihtoehto. Etenkin jos päästöjen vähentäminen on toisaalta markkinoilla tärkeä hyväksyttävyyden edellytys, etenkin yritysten välisessä maidon puolivalmisteiden kaupassa (Lehtonen ym. 2026, luku 5).

Jalostuksen kautta saatavan rehuhyötysuhteen ja tätä kautta metaani-intensiteetin parannus on hyvin pitkän aikavälin muutos. Jalostuksesta aiheutuu omat kustannuksensa ja tässä yhteydessä näitä ei arvioida, koska metaanituotantoa itsessään ei voi jalostaa.

Niiden lehmien siemennyksissä, joiden jälkeläisistä ei haluta uudistushiehoja, voidaan myös hyödyntää sukupuolilajiteltua siementä, jolloin saadaan sonnivasikoita, joiden päiväkasvu on hiehoja suurempi. Tällä, samoin kuin lypsylehmien siemennyksissä käytettyjen liharoturisteytysten avulla voidaan parantaa päiväkasvua ja siten vähentää metaanipäästöjä tuotettua lihakilogrammaa kohden. Näistä toimenpiteistä, joita jo osin käytetään (käytön laajuutta ei tilastoida), ei ole kuitenkaan ole tiedossa Suomen tilanteeseen sovitettuja laskelmia saavutettavista päästövähennyksistä.

Ruokinnansuunnittelun kautta lehmille ja kasvatettavalle nuorkarjalle saatava tasapainoinen ruokinta vähentää rehunkulutusta ja samalla metaanintuotantoa yhtä tuotettua maitolitraa kohti. Nettokustannusta tästä ei muodostu, koska rehukustannuksen pieneneminen tuo mukanaan kustannussäästöjä. Samoin nurmirehun sulavuuden nostosta ei todennäköisesti koidu nettokustannusta. Sulavuuden nousu on kytkeytynyt rehuhyötysuhteen nousuun, ja samalla metaani-intensiteetin paranemiseen, ja rehuhyötysuhteen nousu todennäköisesti kattaa lisääntyneiden korjuukertojen aiheuttaman lisätuotantokustannuksen. Menetelmästä ei toistaiseksi ole saatavilla talousvertailuja.

Ruokintaa voidaan muuttaa enemmän rypsipuristetta, murskattua rypsiä ja kauraa sisältäväksi. Kaura vastaa hintatasoltaan nautojen perusruokinnassa yleisesti käytettyä ohraa. Kauran käyttöä rajoittaa lähinnä saatavuus ja kauran maidon rasvapitoisuutta vähentävä vaikutus. Murskatun rypsinsiemenen ja kauran käyttö voi vähentää lypsylehmien metaanipäästöjä ilman merkittävää nettokustannusta. Luken ruokintalaskentamallien avulla tehtyjen simulaatiolaskelmien (Lypsikki tuotosvastemalli Ramin & Huhtanen 2013) mukaan murskatun rypsinsiemenen yhden kilogramman suuruinen päivittäinen annos pienensi metaanipäästöä noin 4 % (päästövähennyspotentiaali lehmillä 0,04 Mt CO_2-ekv./v). Pienestä määrästä murskattua rypsinsiementä on etua maitotuotokselle, mutta suurilla annoksilla maitotuotos vähenee ja samalla voi ilmetä muita haittoja (FEFAC 2023), eivätkä suuret annokset siksi ole

suositeltavia. Pienillä annoksilla maitotuoton lisäys kompensoi rehukustannuksen nousun viime vuosien keskimääräisillä rehujen ja maidon hinnoilla, jolloin kokonaiskustannukset eivät kasva. Vaikutus metaanipäästöihin on määrällisesti hyvin rajallinen, mutta toimenpide voi kuulua matalan kustannuksen ruokinnallisiin päästövähennyskeinoihin. Tulos on hyvin samansuuntainen, joskin vaikutukseltaan pienempi, kuin muissa eurooppalaisissa tutkimuksissa (Arndt ym. 2022, FEFAC 2023). Arndt (2022) mukaan öljylisällä oli saavutettu keskimäärin 12 % vähennys metaani-intensiteetissä. Murskatun rypsinsiemenen laajamittainen käyttö vaatisi syysrypsin viljelyalan lisäämistä 32 000 ha. Sen kannattavuus puolestaan riippuu hintasuhteista ja on epävarmaa, että se olisi riittävän kannattavaa toteutuakseen.

3.1.3 Ohjauskeinot

Käytössä olevat ohjauskeinot metaanipäästöjen vähentämiseen ovat olleet toistaiseksi hyvin rajalliset. Mahdollisia päästövähennyskeinoja voisivat olla Tanskan mallin mukainen lisäaineen muodossa annettava metaani-inhibiittori (kuten Bovaer), ruokinnan öjylisä tai nurmirehun sulavuuden parantaminen. Öljylisän tulisi kustannussyistä olla perusrehujen luontaisesti sisältämä öljy.

Bovaer-tyyppisen lisäaineen ohjauskeinon vaikuttavuuden takaamiseksi tulee kiinnittää huomiota kustannusten jakautumiseen. Ohjauskeinona voi olla lainsäädännöllinen määräys, tai sitominen maksettavaan ympäristötukeen. Tällöin maksajaksi jää maidontuottaja ja kustannus siirtyy viiveellä kuluttajahintaan, tai pienentää maidontuottajan tulotasoa. Toinen vaihtoehto on maksaa maidolle lisähintaa ja kustannus siirtyy suoraan markkinahintaan. Meijerin tehtäväksi jää kompensoidun tuotteen myynti korotetulla hinnalla, joko kompensaatiomarkkinoiden kautta tai vähentämällä tuotannosta raportoitavaa hiilijalanjälkeä.

Öljyn käyttö metaanin vähennystoimenpiteenä edellyttää tasapainoisen kasviöljyä sisältävän ruokintasuunnitelman ja öljyn käyttömäärän raportointia esimerkiksi satokirjanpidon tai ostolaskutuksen kautta. Ruokinnan öljypitoisuus olisi mahdollista todentaa maidon rasvahappoprofiilista, jota tietoa nykyisin jo kerätään ja voisi käyttää todentamisessa (Tietolaatikko 1). Ohjauskeinona esimerkiksi kasviöljyn sisällyttäminen vapaaehtoisiin ympäristötoimenpiteisiin ja korvaus ympäristötuen kautta.

Kasviöljytuotannon sivujakeena saatavan rypsipuristeen tuotantomäärä Suomessa on vähäinen tarvittavaan käyttömäärään nähden. Uutena kustannusvaikuttavana päästötoimenpiteenä nautatiloille voisi suositella nautatilalla tuotetun ja murskatun rypsinsiemenen käyttöä. Markkinointi tarkoittaa viljelytekniikaltaan kohtuullisen vaativan, mutta nautatiloille soveltuvan syysrypsin viljelyn koulutusta nautatilallisille. Vaadittava rypsin viljelyalan lisäys olisi 34 000 ha. Viljelyalan lisäysvaiheessa ohjauskeinona on maksaa hehtaaritukea tai satomäärään sidottua tuotantotukea murskattavalle rypsinsiemenelle.

Kaura on jo nyt osa nautojen ruokintaa, mutta sen öljypitoisuus (7 %) on pieni rypsiin (40–45 %) verrattuna. Öljyn ruokintasuosituksia tulisi myös tarkentaa ja tiedottaa, koska suositusrajan ylittävä kasviöljypitoisuus heikentää perusrehun sulatusta ja edelleen maitotuotosta. Kauran kohdalla ohjaustoimenpiteenä voi olla sisällyttäminen vapaaehtoisiin ympäristötoimenpiteisiin. Sulavan nurmirehun osalta ohjauskeino olisi sama. Vaikuttavuuslaskelmien puutteen vuoksi sulavasta nurmirehusta ei voi antaa kvantitatiivisia suosituksia.

Vaikka Suomessa ja suomalaisessa nautakarjatuotannossa metaanilla on merkittävä rooli, sen vähennyspotentiaali on pieni verrattuna kehittyvien maiden vähennyspotentiaalin, jossa maidontuotanto perustuu matalan tuotostason lehmiin. Kehittyvien maiden tuotostason noston ja samalla metaani-intensiteetin parantamisen voisi sisällyttää esimerkiksi päästökompensaatiokauppaan. Merkittävästä vaikuttavuudestaan huolimatta tämä on poliittisesti hankala menettelytapa.

3.2 LANNANKÄSITTELYN PÄÄSTÖT

3.2.1 Nykytila ja päästöjen vähentämisen keinot

Kotieläintuotannon lannan vuosittainen määrä ja sen käsittelystä aiheutuvat päästöt riippuvat kotieläinten määrästä. Lisäksi lannasta aiheutuvien kasvihuonekaasupäästöjen määrään vaikuttavat tuotantoeläinten osuudet ja muodostuvat lantatyypit, ml. eläinsuojassa ja varastoinnissa käytettävät tekniikat. Lanta myös hyödynnetään pääasiassa lannoituksessa, josta sen päästöt arvioidaan osana kaikkea lannoitteiden käyttöä.

Lannan perinteinen hyödyntämisketju kattaa eläinsuojassa muodostuvan lannan keruun, välivarastoinnin ja levityksen peltoon. Nykyisellään lannankäsittelyn päästöt ovat vuosittain noin 0,8 Mt CO_2-ekv., joka on 13 % koko maataloussektorin päästöistä (SVT 2026). Olennaista päästöjen minimoimiseksi on poistaa lanta nopeasti eläinsuojasta, varastoida se mahdollisimman lyhyen aikaa ja alhaisessa lämpötilassa sekä hyödyntää tehokkaasti peltolevityksessä. Paksun, kuivan orgaanisen katteen avulla voidaan tehokkaasti vähentää lietelannan metaanipäästöjä, mutta samalla kattaminen lisää hieman lannan suoria N_2O-päästöjä.

Lannan typpeä haihtuu kaikissa sen käsittelyn vaiheissa, eli laitumella, eläinsuojassa, varastoinnissa ja levityksessä, joten tehokkain päästöjä vähentävä menetelmä on täsmentää ruokintaa esimerkiksi välttämällä typen (valkuaisen) yliruokintaa. Ammoniakkipäästöt ovat määrällisesti tärkein lannan kaasumainen typpipäästö, ja vaikkei se ole kasvihuonekaasu, sen haihtumista kannattaa ehkäistä esimerkiksi lantavarastojen kattamisella tai multaavilla levitysmenetelmillä, koska ammoniakkilaskeumasta raportoidaan epäsuorat N_2O-päästöt. Ammoniakki on myös ilman laatua heikentävä yhdiste, jolle on oma päästökattonsa.

Lantatyypillä ei ole kovin merkittävää vaikutusta kokonaispäästöihin, sillä lietelannasta syntyy enemmän metaani- ja vähemmän dityppioksidipäästöjä kuin kuivalannasta. Kuivikepohjalanta on päästöjen muodostumisen kannalta kaikkein haastavin, sillä lantapatjan alakerroksiin muodostuvat anaerobiset olosuhteet, pitkät viipymät ja runsas orgaanisen aineksen määrä yhdessä lisäävät sekä metaani- että dityppioksidipäästöjä. Kuivikepohja yhdistyy kuitenkin yleensä runsaaseen laidunnukseen, jossa lannan ja virtsan päästöt eläintä kohden ovat huomattavasti pienemmät.

Kuivikkeiden käyttö muodostaa osan kotieläintuotannon lantavaraston ympäristövaikutuksista, sillä käytetty kuivike päätyy yleensä lannan mukana varastoitavaksi ja edelleen pellolle levitettäväksi. Erityisesti turpeen käyttö kuivikkeena kasvattaa kasvihuonekaasupäästöjä turvetuotannon korkeiden päästöjen vuoksi. Noin neljännes nautakarjan lannasta sisältää kuivikkeita (Luostarinen ym. 2017). Naudanlihantuotannossa keskeisiä kuivikkeita ovat turve ja olki, joista turve on käytetyin (70 prosentilla kuivikkeita käyttävistä tiloista; Hietala ym. 2021; Manni ym. 2023). Suomalaisessa broilerituotannossa kuivitus perustuu lähes yksinomaan turpeeseen (Usva ym. 2023). Erityisesti broilerituotannossa turve on kriittinen kuivikemateriaali, jolle on vaikea löytää vastaavat ominaisuudet omaavaa korvaajaa (Manni ym. 2023). Turpeen merkitys broilerituotannossa liittyy erityisesti kuivikkeen kosteudensidontakykyyn, kuivikepohjan kuntoon ja lintujen jalkapohjaterveyteen, minkä vuoksi sen korvaaminen edellyttää vaihtoehtojen toimivuuden tarkastelua myös eläinten terveyden ja hyvinvoinnin näkökulmasta. Sianlihatuotannossa vallitseva lantajärjestelmä on liete, joka on käytössä lähes kaikilla tiloilla (99 %; Hietala ym. 2024; Luostarinen ym. 2017; Manni ym. 2023). Kuivikkeita käyttävillä tiloilla yleisimmät materiaalit olivat puuhake tai sahanpuru sekä olki, joita käytti 42–53 % tiloista, turvetta käytti 21 % ja heinää 16 % tiloista (kyselyaineisto n=193; Hietala ym. 2024). Erityisesti turpeen korvaamiseksi kuivikkeena tulisi etsiä vaihtoehtoja. Broilerituotannossa turve on keskeinen ja vaikeasti korvattava kuivikemateriaali, kun taas naudantuotannossa käytössä on useita vaihtoehtoisia kuivikkeita, kuten olki

sekä puu- ja kuitupohjaiset materiaalit. Sianlihantuotannossa kuivikkeiden merkitys on kansallisella tasolla vähäisempi lietelantajärjestelmien suuren osuuden vuoksi.

Kotieläintuotannon eriytyminen kasvintuotannosta sekä alueellinen keskittyminen ja yksikkökoon kasvu on muuttanut lannan ja sen ravinteiden kiertoa. Kotieläintiloilla voikin muodostua lantaa, tai pikemminkin sen fosforia, enemmän kuin tila itse omilla pelloillaan voi fosforilannoituksen rajoitusten puitteissa (Valtioneuvoston asetus 64/2023) hyödyntää. Tästä aiheutuva lannan ravinteiden kierrätyksen tarve kytkeytyy myös lannan päästöihin. Mikäli kotieläintilalle ylimääräistä lantaa siirretään kasvintuotantoon erikoistuneille tiloille joko suoraan tai prosessoinnin kautta, voitaisiin korvata mineraalilannoitteiden käyttöä ja välttää niiden tuotannosta ja käytöstä aiheutuvia päästöjä. Samalla päästöjä vähentävät lannankäsittelyn ja käytön menetelmät on ulotettava myös kasvinviljelytilojen käyttöön niiden lantaa vastaanottaessa.

Suomessa uusimman arvion mukaan 75 % vuosittain kasvinviljelyssä tarvittavasta lannoitefosforista ja noin kolmannes lannoitetypestä olisi Luonnonvarakeskuksen arvioiden mukaan saatavissa kierrätettävistä ravinnepitoisista biomassoista (Luostarinen ym. 2026). Kierrätyslannoitevalmisteiden osuus lannoitemarkkinoista on kuitenkin toistaiseksi vähäinen, vain muutamia prosentteja maataloudessa käytetyistä ravinteista (Luostarinen ym. 2023B; Suomen biokierto ja biokaasu ry 2022), joten kierrätyslannoitteilla on paljon kasvupotentiaalia epäorgaanisten lannoitteiden korvaamisessa. Epäorgaanisen typpilannoitteen tuotannon vähenemisen aiheuttamaa päästövähennystä ei raportoida maatalouden vaan teollisuuden päästölaskelmassa.

Kierrätystä voitaisiin lisätä erityisesti hyvin toteutetulla keskitetyllä lannan prosessoinnilla. Tähän saakka kaikesta lannasta on prosessoitu noin 8 %, josta noin puolet on prosessoitu biokaasulaitoksissa, loput kuivauksessa ja pelletöinnissä, kompostoinnissa ja separoinnissa. Valtaosa lantabiokaasulaitoksista on ollut tilakohtaisia. Lisäksi on muutamia tilojen yhteisiä laitoksia ja yksi suuri maatalouden biomassoja käsittelevä keskitetty laitos sekä joitain laitoksia, jotka ottavat pieniä määriä lantaa vastaan (Tampio ym. 2026). Vuosien 2026–2027 aikana tilanne kuitenkin muuttuu, kun kolme kirjoitushetkellä rakenteilla olevaa, erittäin suurta, keskitettyä biokaasulaitosta käynnistyy. Laitosten ympäristölupien mukaan syötteenä noin 1,1 miljoonaa tonnia erilaisia lantoja. Suunnitteilla on myös useita suuria maatalouden biomassojen biokaasulaitoksia lisää (Luostarinen ym. 2026). Lannan prosessointi biokaasuksi tarjoaa fossiilivapaan polttoainevaihtoehdon esimerkiksi tieliikenteelle ja prosessointi lannoitevalmisteiksi voi parhaimmillaan vähentää fossiiliraaka-aineisiin perustuvien lannoitteiden käyttöä, joten lannan suorien päästöjen vähentämisen lisäksi prosessointi tuottaa muita ilmastohyötyjä.

Lannan prosessointi voi hyvin toteutettuna vähentää lannasta aiheutuvia kasvihuonekaasupäästöjä. Käytännön toteutukseen on syytä kiinnittää huomiota, sillä esimerkiksi biokaasulaitosten tapauksessa heikot käytännöt voivat johtaa jopa lannankäsittelyn päästöjen kasvuun, koska päästöt eri vaiheista prosessiketjua (Luostarinen ym. 2023A) lisääntyvät kun metaanin tuotto maksimoidaan. Keskitetyn lannan prosessoinnin haasteena on ohjauskeinojen heikot mahdollisuudet vaikuttaa kestävimpiin toimintatapoihin (Luostarinen ym. 2026). Esimerkiksi suurten biokaasulaitosten ympäristöluvassa laitosten viipymään, kasvihuonekaasupäästöriskin kannalta merkittävään tekijään, ei juuri pystytä puuttumaan eikä laitoksilta edellytetä mädätteen ravinteiden kierrätykseltä paljoakaan. Mädäte pyritään usein palauttamaan sellaisenaan tai korkeintaan separoituna pääasiassa syötteitä laitokseen toimittaneille tiloille riippumatta palautettavasta ravinnemäärästä ja tilan tarpeesta niille. Lisäksi suuren tilajoukon mädätteen varastointi- ja levitystapoja ei optimoida. Kotieläintiloilta on mahdollisesti ympäristöilmoituksessa tai -luvassa edellytetty jotain varastointitapaa, mutta katettuja säiliöitä on vähän ja tilojen levitysmenetelmissä lietteen (tässä tapauksessa lietemäisen mädätteen) hajalevitys on edelleen varsin yleistä.

3.2.2 Päästövähennysarvio ja kustannukset

Kotieläintilojen lannankäsittelyn päästöjä vähentävät käytännöt vaativat investointeja ja aiheuttavat kustannuksia. Katetun ja riittävän lannan varastokapasiteetin varmistaminen, nopea lannan poisto eläinsuojasta ja varastoinnin ajan alhaisen lämpötilan varmistaminen voivat vaatia lannankäsittelytekniikan päivittämistä. Tarve ja sikäli myös kustannukset vaihtelevat paljon tilakohtaisesti.

Lannan ohjautuminen biokaasutuotantoon ollaan sisällyttämässä maatalouden kasvihuonekaasuinventaarioon (Luonnonvarakeskus 2026A). Tätä varten Luonnonvarakeskuksessa on laadittu aikasarja lannan biokaasukäytöstä ja selvitetty vuonna 2025 laitosten toimintatapoja oikeiden päästökertoimien valitsemiseksi laskentaan. IPCC:n laskentaohjeessa (IPCC 2019b) huomioidaan biokaasutuotannon hyvät ja huonot käytännöt erilaisin kertoimin.

Lantabiokaasun päästövähennystä on arvioitu aiemmin erityisesti biokaasutuotannon lisäämisen näkökulmasta (Lehtonen ym. 2020 & 2024, Miettinen ym. 2022). Päästövähennyksistä valtaosa kohdentuu tällöin energiasektorille, mikäli biokaasun sisältämällä energialla korvataan fossiilisia polttoaineita. Vaikutus lannankäsittelyn päästöihin riippuu toteutuskäytännöistä. Myös lantabiokaasun kustannusten arviointi on haastavaa, koska laitosratkaisut ovat erittäin tapauskohtaisia.

Lannan prosessoinnin muita etuja kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisen lisäksi voivat olla ammoniakkipäästöjen väheneminen, hajuhaittojen väheneminen, vesistöjen ravinnekuormituksen väheneminen, ravinneomavaraisuuden ja huoltovarmuuden paraneminen tehokkaiden kierrätystoimien myötä sekä orgaanisen aineksen kierrätys ja kohdentaminen sitä erityisesti tarvitseville pelloille maaperähyödyin. Kaikkien etujen toteutuminen edellyttää monen tekijän yhtäaikaista toteutumista ja kestävimpiä käytäntöjä joka vaiheessa (Luostarinen ym. 2023A, 2026).

Lannankäsittelyn muutoksilla saavutettavissa olevaa päästövähennyspotentiaalia on Suomessa tutkittu erittäin vähän. Myös tietoa päästövähennyskustannuksista (€/t CO_2-ekv.) on niukasti. Edellä esitetyn perusteella voidaan kuitenkin arvioida, että lannankäsittelyn muutoksilla on vaikeaa saavuttaa suuria, useiden kymmenien prosenttien päästövähennyksiä. Lisäksi lannankäsittelyn muutoksilla on usein ristikkäisvaikutuksia, ts. yhteen tekijään, kuten kasvihuonekaasupäästöihin, vaikutettaessa saatetaan heikentää jotain muuta ympäristövaikutusta. Esimerkiksi jos typen hävikkejä ammoniakkina saadaankin vähennettyä eläinsuojissa ja lantaloissa, suuremman typpipitoisuuden lannan levittäminen peltoon voi tuottaa edelleen dityppioksidia eli typpioksiduulia (N_2O) ilmakehään levitysvaiheessa tai pian sen jälkeen. Varovaisesti arvioiden lannan käsittelyn kehittämisen päästövähennykset jäävät korkeintaan muutaman kymmenesosamegatonnin suuruisiksi. Päästövähennysmahdollisuuksien täsmentämiseksi tarvitaan erillisiä laskelmia erilaisten lannankäsittelyn muutosten vaikutuksista kasvihuonekaasupäästöihin ja samalla myös mm. ammoniakkipäästöjen ja ravinnekuormituksen riskiin parhaan kompromissin saavuttamiseksi.

3.2.3 Ohjauskeinot

Ympäristölupien ja -ilmoitusten ohjaava vaikutus on tärkeä lannankäsittelyn ja myös prosessoinnin päästövähennysten toteutumisen kannalta. Lannankäsittelyn päästöjen vähentämistä voidaan ohjata edellyttämällä katettua ja riittävän kapasiteetin varastotilavuutta lannalle sekä päästöjä vähentävien levitysmenetelmien käyttöä. Mm. nitraattiasetus (1250/2014) vaatii uusien lantavarastojen yhteydessä kelluvan tai tiiviin katteen käyttöä ja multaamista. Käytännön toteutuksessa on silti vielä parannettavaa.

Lannan prosessoinnin yhteydessä on laitoksen mittakaavasta riippumatta edellytettävä kestäviä käytäntöjä ja suurten laitosten yhteydessä myös ravinteiden käytön suunnitelmaa, jotta ne ohjautuvat

loppukäyttöönsä vastaanottavien tilojen ravinnetarpeen mukaan. Tämä ei nykyisellään välttämättä toteudu (Luostarinen ym. 2026), mistä syystä ohjeistusta sekä luvitukseen että toiminnanharjoittajille tarvitaan ravinteiden käytön täsmentämiseksi. Lisäksi fosforiasetuksen (64/2023) lantapoikkeuksen (joka sallii hieman suuremman lantafosforin levittämisen viljavuusluokkien 4 ja 5 pelloille tietyillä kasveilla kuin muilla fosforilannoitteilla) poistaminen edistäisi päästöjä vähentävää lannan prosessoinnin käyttöä, mutta vuoden 2026 valtioneuvoston päätöksellä lantapoikkeus poistetaan vain Saaristomeren valuma-alueen 23 kunnan alueelta (143/2026).

Maatalouspolitiikan kannustavuutta ja vaikuttavuutta lannan päästöjen vähentämisen ja ravinteiden kierrätyksen tueksi on tarpeen tehostaa. Esimerkiksi tuetun rakentamisen yhteydessä erityisesti lantavarastojen kattamiseen ei tulisi sallia katteeksi pelkästään lantasäiliön pinnalle luontaisesti syntyvää lannan kiintoaineen kuorettumaa niin kuin nitraattiasetuksen mukaisesti naudan lietelannalle. Muilla lannoilla tai lannasta prosessoiduilla neste- ja lietemäisillä valmisteilla kuorettumaa ei muodostu. Lantasäiliöiden mitoituksen tulee olla riittävä, jotta tarvetta lannan syyslevitykselle, jossa typen hyödyntäminen kasveille on heikompaa kuin kevätlevityksessä, ei olisi. Nykyisiä lantasäiliöiden minimimitoituksia on syytä tarkistaa, jos tarvetta lannan syyselvitykselle esiintyy. Lisäksi tuet päästöjä vähentäviin levitysmenetelmiin (kuten liete- ja nestemäisten lantojen sijoittaminen ja kiinteiden lantojen nopea multaus) ovat tarpeen sekä levityksen käytännön toteutukselle että sen tarvitsemille investoinneille. Tukien tulee kannustaa kierrätyslannoitevalmisteiden vastaanottoon.

Takaamalla lannan prosessoinnin ja ravinteiden kierrätyksen investointitukien jatkuvuus voidaan kannustaa toiminnanharjoittajia sisällyttämään ravinteiden kierrätys osaksi lannan prosessointia. Mahdollisuuksia tähän tuovat tulosperusteiset tuet, joista ravinnekiertotuki on tärkeä kannustin ja voisi sisältää myös bonusta päästöjä vähentävien toimien käytöstä

4 PELTOJEN MAAPERÄ

4.1 PELTOJEN LANNOITUS

4.1.1 Nykytila ja päästöjen vähentämisen keinot

Peltojen lannoitus aiheuttaa päästöjä sekä suoraan typpilannoituksen aiheuttamina N_2O-päästöinä, että epäsuoraan ravinnevalumien ja typpilaskeuman kautta sekä kiihdyttämällä maaperän orgaanisen aineen hajoamista. Näiden lisäksi lannoitteiden valmistusketju tuottaa päästöjä, mutta nämä eivät sisälly maatalous- tai maankäyttösektorin raportoitaviin päästöihin vaan teollisuuteen. Lannan ja lannoitteiden levitystyö taas sisältyy maatalouden energiankäyttöön. Suppeasta rajauksesta huolimatta kasvihuonekaasuinventaarion sisältämät peltojen lannoituksen N_2O-päästöt ovat huomattavat: 1,3 Mt CO_2-ekv./vuodessa (SVT 2026). Näihin kuitenkin liittyy huomattavaa epävarmuutta, sillä lannoitetypestä dityppioksidiksi muuntuminen on maaperän biologinen prosessi. Dityppioksidipäästöjä voidaan vähentää joko vähentämällä järjestelmään lisättävää ja järjestelmässä kiertävää typpeä tai vaikuttamalla typen pitoisuuksiin ja maaperän olosuhteisiin.

TYPPILANNOITUKSESTA KARKAA DITYPPIOKSIDIA

Peltojen lannoituksen päästöt liittyvät typen kiertoon, ennen kaikkea mikrobien nitrifikaatio- ja denitrifikaatioprosesseihin (Butterbach-Bahl ym. 2013). Dityppioksidipäästöjä (N_2O) syntyy, kun maaperässä on mikrobeille tarjolla typpiyhdisteitä ja olosuhteet ovat suotuisat päästöjä tuottaville aineenvaihduntareiteille. Kasvihuonekaasuinventaariossa oletetaan ensimmäisen tason oletuksena, että noin 1,6 % lisätystä lannoitetypestä muuttuu dityppioksidiksi, mutta vaihtelu on suurta, välillä 0,2–1,8 % (IPCC 2019a). Lannalla ja muilla typpilähteillä vaihtelu on vielä suurempaa, välillä 0,1–1,1 % (IPCC 2019a). Suuri vaihtelu heijastaa olosuhteiden vaikutusta dityppioksidipäästöihin. Dityppioksidipäästöt ovat suurimmat, kun lämpimässä maassa on saatavilla mikrobeille hiiltä ja maaperän kosteus on korkea. Maaperän väliaikainen vettyminen lisää dityppioksidipäästöjä huomattavasti (Butterbach-Bahl ym. 2013), minkä vuoksi peltojen hyvä salaojitus on tehokas N_2O-päästöjen vähennyskeino (jopa 90 % vähenemä) (Castellano ym. 2019, Grossel ym. 2016). Peltojen kuivatustilanne ei kuitenkaan yleisesti ole hyvä, peltokartoituksissa jopa 60 % pelloista sisältää kuivatusjärjestelmien toimintahäiriöitä, mitkä johtavat ajoittaiseen vettymiseen (Mattila & Vihanto 2024). Myös maan tiivistyminen lisää N_2O-päästöjä moninkertaisiksi (kokeesta riippuen 1.3–42-kertaisiksi) (Pulido-Moncada ym. 2022). Suomalaisissa peltoseurannoissa jopa 88 % pelloista on tiivistynyt ruokamultakerroksesta (Mattila & Vihanto 2024). Tiivistyminen on myös lisääntynyt vuosikymmenten myötä maatalouskoneiden painon lisääntyessä ja viljelykiertojen yksinkertaistuessa (Keller ym., 2019). Maan kuivatukseen ja rakenteeseen panostaminen on tehokas keino vähentää N_2O-päästöjä. Tiivistyneen maan kuohkeutus on joissain kokeissa vähentänyt päästöjä 52–81 % (Liu ym. 2026).

LANNOITUKSEN OPTIMOINNILLA VOIDAAN VÄHENTÄÄ DITYPPIOKSIDIPÄÄSTÖJÄ

Dityppioksidipäästöjä voidaan vähentää sovittamalla typen saatavuus kasvien typenottoon (Han ym. 2017). Jos maaperässä on korkea kasvipeite typpeä lisättäessä tai sen vapautuessa, kasvit hyödyntävät maaperän liukoiset typpivarat tehokkaasti, jolloin typpeä jää vähemmän maaperän mikrobien prosessoitavaksi (Inselsbacher ym. 2010). Lannoitustekniikan (määrä, koostumus, ajoitus, sijoitus) lisäksi voidaan panostaa myös kasvipeitteen jatkamiseen sadonkorjuun jälkeen kerääjäkasvien avulla. Kerääjäkasvit käyttävät maaperästä typpeä, jolloin sitä jää vähemmän saataville loppusyksyn märkiin oloihin (Basche ym. 2014). Kerääjäkasvien keräämä typpi kuitenkin vapautuu myöhemmin

kasvintähteiden hajotessa, mikä lisää N_2O-päästöjä (Basche ym. 2014). Suomalaisissa oloissa etenkin kerääjäkasvuston jäätyminen voi johtaa suuriin päästöihin, riippuen kerääjäkasvilajista (Kjær ym. 2026). Kerääjäkasvilajista ja viljelykäytänteistä riippuen kerääjäkasvit voivat vähentää N_2O-päästöjä 50–70 % (ei palkokasveja, ei muokkausta) tai lisätä niitä 50–80 % (palkokasvit tai muokkaus) (Muhammad ym. 2019). Pakkasta kestävät heinäkasvien ja palkokasvien seokset aiheuttavat yleisesti ottaen suurimmat kokonaispäästövähenemät (Basche ym. 2014, Kjær ym. 2026).

Dityppioksidipäästöjä voidaan myös vähentää estämällä maaperän nitrifikaatioprosessi lannoiterakeen läheisyydessä kemiallisesti (Akiyama ym. 2010). Lannoitteisiin lisättävät nitrifikaatio-inhibiittorit (esim. nitrapyriini, DMPP, disyandiamidi) voivat vähentää N_2O-päästöjä noin 8–57 %, mutta samalla ne lisäävät ammoniakkipäästöjä (Lam ym. 2017). Ammoniakkipäästöjen lisääntyminen ja siitä seuraava epäsuora N_2O-päästöjen kasvu voi heikentää inhibiittoreilla saavutettavaa kokonaishyötyä (Lam ym. 2017). Pohjoismaisissa oloissa inhibiittorien suora hyöty on ollut keskimäärin noin 40 % (Mortensen ym. 2026), mutta etenkin jäätymisen ja sulamisen vuorottelu voi heikentää tehoa (Ruser & Schulz 2015).

Yksinkertaisin tapa päästöjen vähentämiseen on vähentää lannoituksen määrää. Typpi on kuitenkin yksi tärkeimmistä kasvinravinteista, joten jos typensaanti heikkenee, tämä rajoittaa satotasoa voimakkaasti (Engels ym. 2012). Lannoitus on kuitenkin vain yksi tekijä, joka vaikuttaa kasvin typensaantiin: merkittävä osa kasvin ottamasta typestä on peräisin maaperässä kiertävistä typpivaroista (Mattila ym. 2023). Tutkimuksissa, joissa lannoitusta on tarkennettu maaperän typen vapautumisarvion perusteella, lannoitustasoa on voitu vähentää 30–50 % ilman satotason laskua (Haney ym. 2018). Yleisesti ottaen Suomessa typen hyötykäyttöaste (nitrogen use efficiency, NUE) on verrattain alhainen (53 %, vuonna 2023, Eurostat), vaikka maaperän typpivarannot ovat korkeita. Typenkäytön vähentämisen mahdollisuuksia Suomessa ei ole kattavasti tutkittu, mutta mikäli hyötykäyttöaste nostettaisiin samalle 82–87 % tasolle kuin Saksassa tai Ranskassa, typen käyttömäärät vähenisivät 40 %. Keskeinen keino parantaa typen hyötykäyttösuhdetta on varmistaa, että typpi todella on rajoittava kasvinravinne. Kasvit tarvitsevat kasvuunsa 17 alkuainetta, joista 14 ravinnetta on peräisin maaperästä (Engels ym., 2012). Ravinteet luokitellaan pää- (N, P, K), sivu- (Ca, Mg, S) ja hivenravinteisiin (Fe, Cu, Mn, Zn, B, Cl, Mo, Si). Yhdenkin ravinteen puuttuminen rajoittaa satoa ja niitä ei voi korvata kasvin aineenvaihdunnassa (Engels ym. 2012). Suomalaisissa peltomaissa on yleisiä ravinnepuutteita etenkin kaliumin (59 %), kalsiumin (53 %), rikin (42 %), mangaanin (52 %) ja boorin osalta (55 %) (Eurofins 2026). Mangaanin ja boorin osalta on huomattavaa, että vain murto-osaan näytteistä tilataan näiden ravinteiden analyysit (43 % Mangaani ja 7 % Boori). Suurelle osalle suomalaisista pelloista lisätään typpeä, vaikka pellossa on muita kasvin kasvua rajoittavia tekijöitä (Mattila & Vihanto 2024). Näiden tekijöiden korjaaminen parantaisi typen hyötykäyttösuhdetta huomattavasti muuttamatta viljelyjärjestelmiä tai viljeltäviä kasvilajeja.

Peltojen sisäinen vaihtelu hankaloittaa optimaalisen typpilannoitustason etsimistä. Täsmäviljelymenetelmillä, joissa lannoitus jaetaan alku- ja täydennyslannoitukseen ja täydennyslannoituksen määrä arvioidaan paikkakohtaisesti satelliittihavainnoilla, droneilla tai traktoriin kiinnitetyillä kasvustosensoreilla, lannoituksen tarkkuutta voidaan parantaa huomattavasti (Medici & Canavari 2022). Tutkimuksissa typpilannoitusta on voitu vähentää 9–42 % ilman sadon vähenemistä (Medici & Canavari 2022). Yksittäisissä tutkimuksissa vähenemät ovat voineet olla vielä suurempia, etenkin mikäli maksimaalista paikallista typpilannoitusmäärää on rajoitettu (Guerrero & Mouazen 2021). Mikäli täydennyslannoitus annetaan kasville maaperälevitystä tehokkaammalla tavalla vihreään kasvustoon (lehtilannoitus) typen käyttömääriä voidaan joissain tapauksissa vähentää viljoilla edelleen noin 40 % (Ferrari ym. 2025). Lehtilannoituksen etuna on myös se, että siten vältetään typen päätyminen maaperään, jossa se on alttiina muuntumiselle dityppioksidille.

LANNAN LANNOITEKÄYTTÖN PÄÄSTÖJÄ VÄHENTÄVÄT KÄYTÄNNÖT

Epäorgaaniseen lannoitukseen verrattuna, lannan käyttö lisää biologisia prosesseja ja haasteita typen hyötykäytön tehostamiselle. Lannan orgaaninen typpi vapautuu mikrobitoiminnan kautta viikkojen ja kuukausien viiveessä kasvien käyttöön, minkä vuoksi kasvukauden loppupuolella suoritettu lannanlevitys heikentää merkittävästi lannan typen hyväksikäyttöä. Lietteen syyslevityksen sisältämästä ammoniumtypestä on Suomen olosuhteita vastaavassa kanadalaisessa tutkimuksessa kadonnut talven aikana 47–94 % huuhtoutumisen ja nitrifikaatioprosessien vuoksi (Chantigny ym. 2019). Mikrobitoiminta tuottaa myös saatavilla olevasta typestä talviaikaisia N_2O päästöjä lumipeitteestä ja matalasta lämpötilasta huolimatta.

Lannan varastointitilat mitoitetaan Suomessa 12 kuukauden tarpeelle (Valtioneuvoston asetus 1250/2014). Käytännössä kapasiteetti ei kuitenkaan aina riitä siihen, että liete voitaisiin levittää yksinomaan ravinteiden hyödyntämisen kannalta optimaalisina ajankohtina kasvukaudella. Levitysmahdollisuuksia rajoittavat pitkä talviaikainen levityskielto, keväinen peltojen heikko kantavuus, sääolojen vaihtelu sekä tilojen kasvaneista peltolohkoetäisyyksistä aiheutuvat logistiset haasteet. Tämän seurauksena osa lietteestä joudutaan edelleen levittämään syksyllä, jotta varastotilaa vapautuu seuraavan talvikauden lietekertymälle.

Lietteen syyslevityksen merkittävä vähentäminen olisi tehokas keino parantaa ravinteiden hyödyntämistä (Chantigny ym. 2019), vähentää ostolannoitteiden tarvetta sekä pienentää maatalouden kasvihuonekaasupäästöjä. Nykytilanteen korjaaminen edellyttäisi kuitenkin lisäinvestointeja lannan varastointikapasiteettiin sekä investointeja tukevia ohjauskeinoja.

Lietteen levityksen siirtäminen syksystä kasvukauden alkuun on mahdollista vetoletkulevityksen avulla. Menetelmässä liete pumpataan varastosäiliöstä levityskalustolle enintään 2 km pitkää siirtoletkua pitkin, jolloin raskaan lietetankin kuljettamista pellolla ei tarvita. Pienempi akselipaino vähentää maan rikkoontumista, tiivistymisriskiä ja siten myös tiivistymiseen liittyviä dityppioksidipäästöjä (Pulido-Moncada ym. 2022. Menetelmä mahdollistaa lietteen levityksen heti roudan sulamisen jälkeen, jolloin ravinteet saadaan kasvien käyttöön optimaaliseen aikaan ja typen hävikit jäävät pienemmiksi. Vetoletkulevitys soveltuu erityisesti suurille ja yhtenäisille lohkoille sekä etäsäiliöitä hyödyntäville alueille, joilla liete voidaan siirtää talviaikana varastoitavaksi myöhempää kevätlevitystä varten.

Vetoletkulevitys yhdistettynä lisälietesäiliökapasiteettiin on lietteen hyväksikäytön kannalta merkittävin muutosmahdollisuus nykykäytäntöön verrattuna. Lietteen syyslevityksestä luopuminen mahdollistaa lietteen levittämisen sadon kannalta järkevään aikaan, mikä parantaa typen hyväksikäyttöä ja vähentää mineraalitypen lisätarvetta sekä siihen liittyviä kasvihuonekaasupäästöjä, etenkin N_2O.

BIOLOGISEN TYPENSIDONNAN HYÖDYNTÄMINEN

Osa viljelykasveista voi sitoa typpeä ilmakehästä. Tällöin vältetään typpiyhdisteiden päätymistä maaperään ja vähennetään N_2O-päästöjä huomattavasti (Schwenke ym. 2015, Zhong ym. 2009). Yksivuotisten kasvien viljelyssä tämä tarkoittaisi palkoviljojen kuten herne, härkäpapu, linssi ja makealupiini, viljelyn lisäämistä ja vastaavaa vilja-alan supistamista. Nurmien osalta typensitojien sisällyttäminen on yksinkertaisempaa, sillä palkokasviseoksilla saavutetaan vastaavansuuruisia satoja kuin puhtailla heinäkasveilla (Helgadóttir ym. 2018, Sturludóttir ym. 2014, Topp & Doyle 2004). Palkokasvien lisääminen nurmiin olisi merkittävä keino sekä typpilannoituksen että N_2O-päästöjen vähentämiseen (Känkänen ym. 2012, Lüscher ym. 2014). Palkokasvien täysimittaisen viljelyn arvioitiin vähentävän koko maan tasolla typpilannoitustarvetta noin 60 % (Känkänen ym. 2012). Palkokasvit eivät kuitenkaan kokonaan poista N_2O-päästöjä, sillä niiden kasvintähteiden hajoamisessa vapautuu typpeä, joka voi johtaa N_2O-päästöihin. Samoin karjatiloilla korjattu palkokasvinurmi päätyy rehuksi ja siitä lantaan ja takaisin pellolle. Lannan ja kasvintähteiden N_2O-päästökertoimet ovat kuitenkin

huomattavasti alempia kuin väkilannoitteilla ja lisäksi typen vapautuminen voidaan ajoittaa ajankohtiin, jolloin kasvien ravinteiden otto on voimakasta (palkokasvi-heinäkasviseokset, nurmen kasvu). Yhteenvetona, palkokasvien avulla voidaan vähentää N_2O-päästöjä huomattavasti, mikäli niiden viljelyä lisättäisiin täysimääräisesti.

Edellä kuvatut dityppioksidin vähentämiskeinot sijoittuvat jatkumolle, jossa toisessa päässä on viljelyteknisiä keinoja ja toisessa keinoja, jotka aiheuttavat huomattavia muutoksia koko viljelyjärjestelmään. Nämä sijoittuvat yleisemmin maatalouden kestävyyssiirtymäkehikkoon, jossa ensin parannetaan panosten käytön tehokkuutta (efficiency), sitten korvataan panoksia (substitution) ja lopuksi suunnitellaan järjestelmä sellaiseksi, että panoksia ei juurikaan tarvita (redesign) (Hill & MacRae 1996). Vaikka uudelleensuunnittelu kuulostaa vaikealta saavuttaa, globaalisti noin 29 % maatiloista on arvioitu soveltavan näitä periaatteita toiminnassaan (Pretty ym. 2018). Ruokajärjestelmätasolla on kuitenkin huomattava määrä esteitä ja rajoitteita järjestelmätason muutokselle, mikä tekee laajamittaisen soveltamisen vaikeaksi (Brunelle ym. 2024). Eri tasoiset vaihtoehdot N_2O-päästöjen vähentämiseksi mahdollistavat kuitenkin päästöjen vähentämisen tilatasolla: kuivatus, maan rakenne, kerääjäkasvit, typpi-inhibiittorit ja typen käytön tehokkuus.

4.1.2 Päästövähennysarvio ja kustannukset

Dityppioksidipäästöjen ja typpilannoituksen vähentämiseen on suuri joukko keinoja, joiden käyttöönotto riippuu siitä, kuinka paljon viljely- ja ruokajärjestelmää halutaan muuttaa. Mikäli ruokajärjestelmän tuotanto pidetään entisellään, keinoiksi jää lähinnä viljelyteknisiä keinoja ja jossain määrin nurmiviljelyn kasvivalintavaihtoehtoja. Mikäli ruokajärjestelmän tuotantoa vähennetään, siirrytään kasvipainotteisempaan ruokavalioon ja lisätään palkokasvien viljelyä, typpilannoitusta ja päästöjä voidaan vähentää entisestään. Toimenpiteistä esimerkiksi täsmälannoitus, maan rakenteen parantaminen ja kuivatuksen tehostaminen ovat sellaisia, että ne ovat tällaisenaan taloudellisesti kannattavia, ja vaativat vain informaatio-ohjausta. Kerääjäkasvien viljely ja nitrifikaatio-inhibiittorien käyttö sen sijaan aiheuttavat lisäkustannuksia, ja niiden toteutuskelpoisuus riippuu maatalouden kannattavuudesta ja poliittisista päätöksistä maataloustukien kohdentamisen suhteen.

Keinojen yhdistelmien tarkastelua hankaloittaa se, että useissa tapauksissa keinot aiheuttavat suhteellisia muutoksia. Useamman keinon yhteisvaikutusta on tutkittu harvemmin. Taulukossa 1 on esitetty päästövähennyspotentiaali ensin viljelyteknisille keinoille ja tämän jälkeen viljelyjärjestelmää muuttavalle palkokasvien täysimittaiselle hyödyntämiselle. Keinojen vähennyspotentiaalit on yhdistetty kaavalla $P = 1 - \sum(1-p)$, missä P on kokonaispotentiaali ja p on yksittäisen toimen aiheuttama potentiaali. (Eli jos yksi toimi vähentää päästöjä 40 % ja toinen myös 40 %, näiden yhteisvaikutus on 1 – 60 %*60 % = 64 % vähenemä.)

Suurimmat yksittäiset päästövähennyskeinot liittyvät maan tiivistymisen korjaamiseen ja välttämiseen, typenkäytön tehostamiseen ja palkokasvien hyödyntämiseen. Keinojen yhteisvaikutukseksi arvioitu noin 94 % vähenemä N_2O-päästöissä ja tämä on saavutettavissa ilman muutoksia viljelyjärjestelmään. Tämä potentiaali on huomattavan paljon suurempi kuin kunnianhimoisimpienkaan maiden kansalliset tavoitteet N_2O-päästöjen vähentämiseksi[1] ja siksi sen toteutumista on pidettävä epätodennäköisenä. Päästövähennyspotentiaali kuitenkin kuvastaa sitä, että maatalousjärjestelmässä on huomattavaa kehityspotentiaalia. Helposti ja lähiaikoina saavutettava potentiaali on pienempi ja sitä rajoittaa

[1] Esimerkkejä kunnianhimoisista kansallisista tavoitteista ovat Tanskan ”SmartField” 30 % vuoteen 2030 (Danish Technological Institute 2024) ja Kanadan CanN_2Onet (Agriculture and Agri-Food Canada 2024) 30 % vuoteen 2030.

toimenpiteiden taloudellinen kannattavuus ja hyväksyttävyys. Taulukko 1 ei sisällä viherlannoitusnurmien mahdollisuuksia dityppioksidinpäästöjen vähentämiseen viljatiloilla, asia kaipaisi lisäselvityksiä koska asiaa koskevaa suomalaista kirjallisuutta ei löytynyt.

Taulukko 1. Lannoituksen muutosten päästövähennysmahdollisuudet dityppioksidipäästöissä, kun menetelmiä toimeenpannaan täysimittaisesti. Kustannuksia ja suoria hyötyjä arvioidaan asteikolla ++ (selvä taloudellinen lisähyöty), + (mahdollinen taloudellinen lisähyöty) ja – (lisäkustannus).

Toimenpide	**Dityppioksidi-päästöjen suhteellinen vähenemä nykytasosta**	**Tarkastelualue**	**Teoreettinen maksimipotentiaali**	**Kustannukset vs. suorat hyödyt**
Typen hyötykäyttöasteen lisääminen 80 prosenttiin	40 %	Koko Suomen peltoala	40 %	++
Peltomaan kuivatustilan parantaminen	90 %	60 % peltolohkoista, vaikuttaa noin 30 % osuudella kunkin lohkon alasta	16 %	+
Maaperän kuohkeuttaminen ja tiivistymisen estäminen	50–98 %	80 % Suomen peltoalasta	40–80 %	++
Kerääjäkasvien viljely viljapelloilla	50–70 %	42 % Suomen peltoalasta	20–30 %	-
Nitrifikaatio-inhibiittorien käyttö pelloilla	40 %	65 % peltoon lisätystä typestä	26 %	-
Täsmäviljely	0–40 %	65 % peltoon lisätystä typestä	13 %	+
Edelliset yhteensä			**Toimia yhdistämällä jopa 90 %**	
Palkokasvien viljelyn laajentaminen	40%	Koko Suomen peltoala	40 %	+
Kaikki yhteensä			**94 %**	

Suuri osa toimista vaatii viljelijöiden osaamisen kehittämistä ja toimivien sekä monistettavien toimintatapojen, tietojärjestelmien ja ratkaisujen löytämistä monimuotoisen ja monimutkaisen maatalousjärjestelmän sisällä (ks. Tietolaatikko 1). Esimerkiksi palkokasvinurmien lisääminen yli 30 % on vaikeaa mm. lannanlevitykseen ja palkokasvien talvehtimiseen liittyviin haasteisiin liittyen (Lehtonen & Niskanen 2016). Toisaalta palkokasvien lisääminen viljelykiertoon voi olla hyvinkin kannattavaa,

etenkin jos typpilannoitteiden hinta jatkaa nousuaan (Tzemi ym. 2024). Kannattavuuden lisäksi toimien käyttöönottoa voi rajoittaa toimien hyväksyttävyys, esimerkiksi Tanskassa vain 37 % viljelijöistä hyväksyi nitrifikaatio-inhibiittorien käytön ja 45 % kasvintähteiden keruun pelloilta (De Notaris ym. 2022). Viljelijöiden huolet liittyivät menetelmien toimivuuteen ja sopivan koneketjun löytämiseen sekä taloudellisiin riskeihin. Menetelmien käyttöönotto vaatisikin neuvontaa ja toimivien käytäntöjen demonstraatioita (Boleman & Dromgoole, 2007).

Osa menetelmistä vaatii investointeja tai toimivia urakointipalveluita, kuten kuivatuksen tehostamista, täsmäviljelyä, tiivistymien poistoa ja välttämistä. Täsmäviljelyn osalta hyödyt ovat kuitenkin huomattavat ja se on useimmiten taloudellisesti kannattavaa (Medici & Canavari 2022). Tiivistyminen ja kuivatusongelmat heikentävät satotasoa selvästi, mikä tekee niiden korjaamisesta houkuttelevaa, mutta ne ovat samalla teknisesti haastavia (Etana & Håkansson 1994, Oosterbaan 1994). Suomessa salaojitukseen saa sekä investointitukea että suunnittelu- ja neuvontapalveluita. Salaojien kunnossapito on kuitenkin jäänyt viljelijöiden vastuulle ja siihen liittyvää opastusta on ryhdytty lisäämään vasta viime vuosina. Kerääjäkasvien osalta niiden viljelyä on tuettu voimakkaasti (100 €/ha), mutta tukea ei ole suunniteltu N_2O-päästöjen vähentämiseen (ts. heinäkasveja seokseen, talvehtivia lajeja, ei maahanmuokkausta).

Nitrifikaatio-inhibiittorien osalta niiden käyttöön liittyy noin 11–20 % lisäkustannus (Antošovský ym. 2025, Sponagel ym. 2025), mikä katetaan osin vähentyneellä typen hävikillä ja suuremmalla typen hyötykäyttöasteella (Sponagel ym. 2025). Koska niiden käyttöön liittyy kuitenkin viljelijöiden näkökulmasta riskejä ja epävarmuuksia, käyttöönottoa lisäisi kohdennettu tuki ja neuvonta (De Notaris ym. 2022).

Palkokasvien osalta kustannukset liittyvät palkoviljojen markkinoihin ja toisaalta nurmipalkokasvien onnistumiseen liittyviin riskeihin. Näihin liittyviä kustannuksia on vaikeaa arvioida tai ennustaa, sillä ne liittyvät ennen kaikkea tuotteiden markkinoihin ja typpilannoitteiden hinnan kehitykseen.

4.1.3 Ohjauskeinot

Peltojen lannoituksen päästöjen vähentämiseen on useita toimivia ohjauskeinoja, jotka vähentävät käytetyn typpilannoituksen määrää tai tehostavat typen käyttöä. Eri ohjauskeinoilla ja niiden yhdistelmillä voidaan aikaansaada samanlaisia tuloksia.

Typpiverolla voidaan kannustaa lannoitemäärien vähentämiseen ja lannoitekäytäntöjen tehostumiseen. Typpilannoitteiden hinnoissa voi olla ajallisesti suurta vaihtelua ja pahimmillaan veron vaikutus voi kohdistua negatiivisesti maatilojen talouteen, lannoitushalukkuuteen ja sitä kautta kasvien satotasoon. Siksi typpiveroon tulisi harkita joustomekanismia esimerkiksi typpilannoitteiden hinnan ollessa poikkeuksellisen kova, jolloin markkinalähtöinen hintaohjaus riittää kannustamaan viljelijöitä tehostamaan typen käyttöä. Typpiverolla voidaan puuttua typen alhaisesta hinnasta seuraaviin negatiivisiin ulkoisvaikutuksiin, kuten vesistöpäästöihin, ja siksi verolle on yhteiskunnallisesti tarvetta. Typpiveron tuottama lisääntynyt verotulo tulisi ohjata takaisin viljelijöille esimerkiksi palkokasvitukena, jolloin maatalouden kokonaiskustannukset eivät kasva.

Vaihtoehtoinen toteutustapa on päivittää optimaalisten typpilannoitustasojen suositusjärjestelmä. Suomessa ei tällä hetkellä ole kasvikohtaisia virallisia suosituksia optimaaliselle typpitasolle eri viljelykasveille ja maalajeille. Aiemmin suositukset pohjautuivat ympäristökorvauksen suurimpiin sallittuihin typpilannoitustasoihin, mutta nyt ne lähinnä rajautuvat nitraattidirektiivin typen enimmäismäärään. Käytännössä lannoitusta säädetään pinta-alan ja esimerkiksi rehun tarpeen mukaan ja keskimääräinen typpilannoitustaso on huomattavasti suositusmaksimia pienempi. Eri Euroopan maissa on hyvin erilaisia käytäntöjä typpilannoitussuositusten muodostamiseen (Jordan-

Meille ym. 2023). Esimerkiksi Iso-Britanniassa typpilannoitukseen annetaan muutaman vuoden välein päivitettyjä suosituksia eri viljalajeille riippuen typen hinnasta ja viljojen markkinahinnoista (AHDB 2026). Esimerkiksi tämänhetkisillä (kesäkuu 2026) typen ja viljan hinnoilla, suositus olisi vähentää 40 kg/ha typpilannoitusta normaalitilan optimista. Itävallassa typpilannoitusta tarkennetaan maaperästä vapautuvan typen arvioilla (Higgins ym. 2023). Suomalaisten tutkimustenkin yhteenvedolla maaperästä vapautuvan typen tarkempi arviointi voisi johtaa 25–75 kg/ha pienempiin lannoitusoptimeihin (Valkama ym. 2013).

Tietolaatikko 1. Älymaataloudessa tieto, data ja yhteistyö mahdollistavat ilmastoviisaan maatalouden.

Tieto, data ja yhteistyö ilmastoviisaan maatalouden mahdollistajina

Älymaatalous perustuu tiedon ja datan hyödyntämiseen maatilan johtamisessa ja päivittäisissä toiminnoissa. Maatilan tiedonhallinta kattaa datan keräämisen, käsittelyn, varastoinnin ja jakamisen siten, että tietoa voidaan hyödyntää tehokkaasti päätöksenteossa ja tuotannon ohjauksessa (Pesonen ym. 2023).

Maatilan omaa tietoa täydennetään ulkopuolisista lähteistä saatavalla datalla, kuten teollisuuden, hallinnon, tutkimuksen, kuluttajien ja muiden maatilojen tuottamalla tiedolla. Kun eri tietolähteitä yhdistetään, voidaan tuotantoa suunnitella ja johtaa aiempaa tarkemmin ja ennakoivammin.

- **Täsmäviljelyn periaatteita ja digitaalisia teknologioita yhdistämällä tuotantopanokset kohdennetaan oikeaan paikkaan, oikeaan aikaan ja oikealla määrällä**, mikä parantaa resurssitehokkuutta, vähentää ympäristökuormitusta sekä tukee maatilan kannattavuutta. Tulevaisuudessa tavoitteena on vahvistaa maatilan taloudellista ja ympäristöllistä kestävyyttä entisestään hyödyntämällä dataa, automaatiota ja älykkäitä ratkaisuja (Sainz-Rubio & Rovira-Mas. 2020). Näin tieto ja data muodostavat perustan ilmastoviisaalle, kustannustehokkaalle ja kilpailukykyiselle maatilan johtamiselle.

- **Teknologiset ratkaisut eivät kuitenkaan yksin riitä, sillä vaikuttavuutta syntyy, kun kestävyysnäkökulmat ohjaavat ja muuttavat sekä kuluttajien valintoja että markkinatoimijoiden toimintaa.** Maatilayritysten yhteistyön ja yhteisöllisen tiedonhallinnan avulla maatalousyrittäjät voivat rakentaa ilmastoystävällisestä tuotannosta lisäarvoa sekä muodostaa aiempaa kattavamman tilannekuvan omasta toiminnastaan. Tämä vahvistaisi maatilayritysten asemaa ruokajärjestelmässä ja parantaisi mahdollisuuksia neuvotella ympäristöystävällisesti tuotetuille raaka-aineille niiden arvoa paremmin vastaava korvaus.

- **Ilmastoviisas tuotanto edellyttää muutoksia koko ruokajärjestelmässä.** Taloudellisilla kannustimilla tuetaan maatilayritysten toimintatapojen muutosta, parannetaan maatilojen kannattavuutta ja mahdollistetaan investoinnit uusiin digitaalisiin ratkaisuihin sekä älymaatalouden teknologioihin. Toimijoiden välinen luottamus, jaetut pelisäännöt ja koordinaatio edistävä ruokajärjestelmän yhteistä kehittämistä ja ilmastotavoitteiden saavuttamista (Sippola ym. 2026). Lähtökohtana tulee olla koko ruokaketjulle syntyvä yhteinen hyöty. Hyödyn pitää jalkautua myös maatalousyrittäjälle.

- **Pitkällä aikavälillä datatalous vahvistaa vastuullisuutta, läpinäkyvyyttä ja ruokaketjun tuottamaa lisäarvoa suomalaisessa ruokajärjestelmässä.** Elintarviketeollisuuden vastuullisuusohjelmat, maatalousyrittäjät, kuluttajat ja julkinen ohjaus kokonaisuutena muuttavat ruokajärjestelmää (Lehtonen ym. 2026).

Ostotyppilannoitusta voidaan vähentää realistisesti 25 % lisäämällä palkokasvien, etenkin palkonurmikasvien viljelyalaa. Jos palkonurmien osuus nautojen rehustuksessa kasvaa merkittävästi, viljelijät joutuvat sopeutumaan ostolannoitenurmia suurempaan satovaihteluun. Sopeutuminen vaatii

uudenlaista varautumista, mikä on luomutuotannossa arkipäivää. Tavanomaisessa viljelyssä palkokasvien vaatimaa tietotaitoa voidaan kasvattaa neuvontapalveluiden ja informaatio-ohjauksen kautta. Palkokasvien viljelyyn voidaan kannustaa palkokasvituen maltillisella korotuksella. Samalla palkoviljojen markkinahinnat voivat kuitenkin laskea, jos kysynnässä ei tapahdu samanaikaisesti muutoksia.

Lannan syyslevityksessä ravinteiden hyödyntäminen on heikkoa, mutta varastointikapasiteetin puutteiden vuoksi siihen joudutaan edelleen turvautumaan. Lannan syyslevityksen välttämistä voidaan edistää investointituella lisälietesäiliöiden ja etäsäiliöiden rakentamiseen, sekä vetoletku-urakointiin, jos lietteen syyslevitystä halutaan vähentää. Sen sijaan täsmäviljelykaluston hankintaan valtion tukea ei kannata suunnata sillä se etenee markkinaehtoisesti teknologian kehittyessä ja konekannan uusiutuessa.

Viljelyjärjestelmämuutoksissa puutteet toimivissa käytännöissä ja viljelijöiden osaamisessa muodostavat usein pullonkaulan päästövähennysten toimeenpanolle. Parantamalla viljelijöiden osaamistasoa typpi-inhibiittorien käytöstä neuvonnan keinoin sekä kehittämällä lannoituksen parhaita toimivia käytäntöjä tutkimuksessa ja koetoiminnassa voidaan merkittävästi tehostaa kasviravinteiden hyödyntämistä ja edelleen saavuttaa päästövähennyksiä.

4.2 KIVENNÄISMAAPELLOT

4.2.1 Nykytila ja päästöjen vähentämisen keinot

Kivennäismaita on maatalouskäytössä 2,2 milj. ha eli 90 % Suomen peltoalasta (Statistics Finland 2026). Kaikki tämä ala ei ole kuitenkaan aktiivisessa maatalouskäytössä. Tästä 0,7 milj. ha on rehunurmena, yli 200 000 ha kesantoina ja runsaat 1 milj. ha yksivuotisten kasvien viljelyssä (SVT 2026, SVT 2026B). Suomen kivennäismaapeltojen hiilipitoisuus on korkea ja peltojen hiilivarasto on pienentynyt (Heikkinen ym. 2013, 2021, 2022), eli kivennäismaapellot ovat olleet nettopäästölähde. Kivennäismaapeltojen hiilivaraston pienentymistä voidaan hillitä kasvattamalla hiilisyötettä maaperään tai hidastamalla orgaanisen aineksen hajotusta, jolloin maaperän hiilivarasto voi kasvaa tai sen väheneminen voi hidastua. Hiilivaraston kasvattamista vaikeuttaa lämpenevä ilmasto, sillä se kiihdyttää orgaanisen aineksen hajotusta maaperässä. Lisäksi lyhyt kasvukausi vaikeuttaa hiilisyötteen kasvattamista ja monivuotisten nurmien ylläpitoa. Hiilipitoisuuden kasvattaminen on helpointa pelloilla, joissa on alhainen orgaanisen hiilen pitoisuus ruokamultakerroksessa ja pohjamaassa. Hiilisyötettä voidaan kasvattaa huolehtimalla kasvien kasvuedellytyksistä, monipuolistamalla viljelykiertoja erityisesti monivuotisten ja monilajisten nurmien avulla, viljelemällä maanparannus- tai kerääjäkasveja sekä hyödyntämällä eloperäisiä sivuvirtoja lannoitteina ja maanparannusaineina (Maanavilja ym. 2021, Miettinen ym. 2022, Lehtonen 2022, Lehtonen ym. 2024). Kivennäismaapeltojen hiilivarastoa kasvattaa maanmuokkauksen vähentäminen siten, että viljatiloilla viljelykierrossa on kolmen viljavuoden jälkeen viherlannoitusvuosi, nurmitiloilla suorakylvön käyttö ja eläintiloilla ruokohelven ottaminen osaksi rehu- ja kuivikehuoltoa. Maanmuokkauksella on ratkaiseva merkitys peltojen hiilitaseeseen, koska kyntö voi vapauttaa suuren osan maaperään kyntämättömän jakson aikana kertyneestä hiilestä.

Kerääjäkasvit ovat viljelykasvin alla tai sadonkorjuun jälkeen viljeltäviä kasveja, jotka lisäävät maaperän hiilisyötettä, vähentävät ravinteiden huuhtoutumista ja parantavat maan rakennetta. Kerääjäkasviala oli Suomessa noin 250 000 hehtaaria vuonna 2015, mutta laski noin 120 000 hehtaariin 2020-luvun vaihteessa (Känkänen 2019). Nykyisen tukikauden alkaessa vuonna 2023 kerääjäkasvien ala yli kaksinkertaistui ja on nyt noin 300 000 ha (Statistics Finland 2026). Kerääjäkasvien biomassan hajoaminen voi lisätä maaperän dityppioksidipäästöjä, mutta dityppioksidipäästöjen merkitys on selvästi

pienempi kuin saavutettu hiilivaraston kasvu, joten nettovaikutus Suomen päästöihin on ollut päästöjä vähentävä (Heikkinen ym. 2021).

Viherlannoitusnurmet ovat viljelykierron välikasveja, joita ei viljellä sadontuottotarkoituksessa vaan maan kasvukunnon parantamiseksi ja hiilisyötteen lisäämiseksi. Viherlannoitusnurmessa käytettävät syväjuuriset typensitojakasvit (esimerkiksi valkomesikkä) sitoo maahan typpeä, lisää juuriston hiilisyötettä ja parantavat maan rakennetta. Biokaasunurmi puolestaan on apilanurmea tai muuta palkokasvia sisältävää nurmiseosta, joka ohjautuu biokaasulaitosten raaka-aineeksi. Molemmat voivat korvata yksivuotisia viljelykasveja kivennäismailla. Viherlannoitusnurmea oli ennen vuotta 2023 alle 15 000 hehtaaria ja biokaasunurmea käytännössä ei lainkaan (Maanavilja ym. 2021). Käytännössä luomukasvituotantotilojen viherlannoitusnurmet eivät näy tilastoissa, joten pinta-ala on käytännössä tilastoitua suurempi. Biokaasun tuotantoon perustetut nurmet eivät ole yleistyneet, koska niille ei ole ollut erityistä tukea, eikä niillä ole helppo päästä uusiutuvan energian direktiivin mukaisiin päästövähennyksiin (Rasi ym. 2019).

Nurmen hiiliviljely tarkoittaa viljelytekniikkaa, jossa syväjuuristen kasvilajien osuutta lisätään, typpilannoitus pidetään kohtuullisena tai nurmipalkokasvipitoisuus hyvänä, niittokorkeutta nostetaan ja toistuvaa muokkausta vähennetään. Tavoitteena on näillä toimilla edistää nurmen kasvua eli biomassan määrää ja korkeamman niittokorkeuden myötä kasvattaa maaperään jäävän hiilisyötteen määrää. Tämä toimenpide voitaisiin kohdentaa koko Suomen olemassa olevalle rehunurmialalle, jota on yhteensä noin 0,8 milj. ha, josta valtaosa noin 0,65 milj. ha on kivennäismailla (Lehtonen ym. 2021).

Kivennäismaiden päästövähennystoimien haasteet liittyvät erityisesti vaikutusten suuruuteen per hehtaari, mittausepävarmuuteen ja käyttöönoton laajuuteen. Lisääntyneen hiilisyötteen vaikutukset saadaan raportoitua Suomen käyttämällä arviointimenetelmällä joustavasti uusien käytäntöjen yleistyessä. Maaperähiilen muutoksiin liittyy edelleen epävarmuutta sekä mittauksen että pysyvyyden osalta, ja vaikutukset realisoituvat usein hitaasti, mikä tekee lyhyen aikavälin tavoitteiden saavuttamisesta haastavaa (Lehtonen ym. 2024). Kun huomioidaan että yksikkökohtaiset vaikutukset ovat kivennäismailla tyypillisesti pienempiä kuin turvemailla, ilmastohyötyjen saavuttaminen edellyttää toimilta laajaa pinta-alakattavuutta sekä politiikalta pitkäjänteisyyttä (Maanavilja ym. 2021). Toimien käyttöönottoa voivat jarruttaa viljelijäkohtaiset siirtymäkustannukset, kone- sekä logistiikkaketjut, puutteet osaamisessa ja neuvonnan saatavuudessa, markkinariskit epävarmuuksina palkokasvien kysynnässä tai biokaasuketjun toteutuvasta käyttöasteesta ja metaanihäviöistä (Miettinen ym. 2022, Koljonen ym. 2024).

Kivennäismaapeltojen metsitystoimien osalta hyväksyttävyys edellyttää kohdentamista heikkotuottoisille viljelylohkoille, jotta vältetään tuotannon siirtymät ja ei-toivotut maankäyttövaikutukset (Laturi ym. 2022).

4.2.2 Päästövähennysarvio ja kustannukset

KERÄÄJÄKASVIT

Kerääjäkasvien päästövähennyspotentiaalia on arvioitu eri menetelmin ja lähtötiedoin, mistä johtuen arvioissa on huomattava vaihteluväli. Lehtonen ym. (2021) Yasso07-mallinnuksessa kerääjäkasvialan lisääminen tuotti keskimäärin 50 kg C/ha/v suuruisen hiilivarastomuutoksen vuonna 2035, mikä vastaa muunnettuna CO_2-ekvivalenteiksi 0,18 t CO_2 ha/v. Kansainväliseen meta-analyysiin perustuva arvio samalle ilmiölle, eli pelkälle maaperän hiilivarastomuutokselle ilman N_2O-päästöjä, on 320 kg C/ha/v eli muunnettuna 1,17 t CO_2-ekv./ha/v ensimmäisten 50 vuoden aikana (Poeplau & Don 2015). Näiden väliin asettuu suomalaisella peltoaineistolla tehty mallien ja mittausten vertailu: neljän tilan viisivuotisessa kerääjäkasvikokeessa kerääjäkasvien vaikutukseksi maaperän hiilivarastoon saatiin

keskimäärin 152 kg C/ha/v (0,56 t CO_2 ha/v) mitattuna ja 128–268 kg C/ha/v (0,47–0,98 t CO_2 ha/v) neljällä eri hiilimallilla mallinnettuna (Mattila ym. 2025). Myös tämä suomalainen tulos jäi kansainvälistä meta-analyysiarviota pienemmäksi, minkä tekijät arvioivat johtuvan koejakson vaatimattomista kerääjäkasvisadoista; maahan päätyvän hiilisyötteen määrä osoittautui kaikissa malleissa keskeisimmäksi hiilensidontaa määrittäväksi tekijäksi. Suomen ilmasto-olosuhteet, maalajit ja kerääjäkasvien biomassa poikkeavat merkittävästi kansainvälisen meta-analyysin aineistosta, minkä vuoksi kansainvälinen arvio ei välttämättä sovellu suoraan Suomen olosuhteisiin (Lehtonen ym. 2021).

Kerääjäkasvillisuuden potentiaalisesta toteutusalasta esiintyy vaihtelevia arvioita. Lehtosen ym. (2021) mallinnuksessa kerääjäkasviala kasvatettiin lineaarisesti 120 000 ha vuonna 2020, 420 000 ha vuoteen 2050, kun taas optimistisimmissa arvioissa pinta-alan on arvioitu voivan kasvaa 620 000 ha vuoteen 2035 mennessä (Maanavilja ym. 2021). Tämä vaihtelu aiheuttaa huomattavia eroja kokonaispäästövähenemiin Lehtosen ym. (2021) mallinnuksen mukaan päästövähenemä on 0,20 ja 0,25 Mt CO_2-ekv./v vuosina 2035 ja 2050. Laturin ym. (2022) suurempi arvio 0,73 Mt CO_2-ekv./v vuodelle 2035 perustuu puolestaan suurempaan 620 000 ha pinta-alaan (Maanavilja ym. 2021).

Maanomistajalle kerääjäkasvien käytöstä koituvat nettokustannukset ja tulonmenetykset on arvioitu olevan 96 €/ha/v (Hyvönen ym. 2020). Kustannusvaikuttavuus vaihtelee käytetyn päästövähennysluvun mukaan, kansainvälisellä arviolla se on 82 €/t CO_2-ekv. ja suomalaisen mallinnuksen kokonaispäästövaikutuksella 130 €/t CO_2 -ekv vuodelle 2035 ja 161 €/t vuodelle 2050 (Lehtonen ym. 2021, Laturi ym. 2022, Hyvönen ym. 2020). Känkäsen ym. (2020) katetuottolaskelman esimerkkitapauksessa kerääjäkasvien käyttö viisivuotisessa viljakierrossa paransi katetta yhteensä 628 €/ha eli noin 126 €/ha/v verrattuna viljelyyn ilman kerääjäkasveja. Laskelmassa on vähennetty kerääjäkasvien kustannukset ja tulonmenetykset, kuten siemen- ja kylvökustannukset sekä pääkasvin sadonalenema, ja tuottona on mukana 100 €/ha/v ympäristökorvaus. Ilman korvausta nettohyödyksi jää noin 26 €/ha/v (Laturi ym. 2022). Hyöty perustuu oletettuihin pitkän aikavälin vaikutuksiin, kuten maan kasvukunnon paranemiseen ja apiloiden typpilannoitusvaikutukseen, joten se on epävarma ja riippuu kasvilajista ja lohkon kunnosta.

VIHERLANNOITUS, BIOKAASUNURMET JA SUORAKYLVÖ

Sekä viherlannoitus- että biokaasunurmien päästövähennyspotentiaalia on arvioitu Lehtonen ym. (2021) Ilmava-hankkeen Yasso07-mallinnuksessa, jossa molempien biomassan oletettiin parantavan maaperän hiilitasetta samalla tavoin. Mallinnuksessa oletettiin, että yksivuotisten kasvien pinta-alasta korvautuu 10 % viherlannoitus- tai biokaasunurmilla lineaarisesti vuosien 2020 ja 2050 välillä, saavuttaen noin 120 000 ha vuoteen 2050 mennessä. Pelkän hiilivarastovaikutuksen osalta mallinnus antoi hiilivarastomuutokseksi 61 kg C/ha/v eli 0,22 t CO_2/ha/v. Kun mukaan lasketaan myös N_2O-päästöjen muutokset, toimenpiteen kansallinen kokonaisvaikutus on noin 0,08 Mt CO_2-ekv./v vuonna 2035 ja kasvaa noin 0,13 Mt CO_2-ekv../v:iin vuoteen 2050 mennessä toteutusalan laajetessa (Lehtonen ym. 2021). Maanomistajalle koituvat nettokustannukset ja tulonmenetykset viherlannoitusnurmien tai biokaasunurmien viljelystä on arvioitu olevan 105 €/ha/v (Hyvönen ym. 2020). Yasso07-mallinnukseen perustuva nurmen hiiliviljelyn hiilivarastovaikutus oli vain 7 kg C/ha/v eli 0,03 t CO_2 ha/v, ja Suomen kokonaispinta-alan kokonaispäästövaikutus 0,13 ja 0,18 Mt CO_2-ekv./v vuosina 2035 ja 2050 (Lehtonen ym. 2021), kun pinta alan oletettiin kasvavan 670 000 ha vuoteen 2050 mennessä. On kuitenkin huomioitava, että Yasso07-mallissa maaperän orgaanisen aineksen hajoaminen määräytyy ainoastaan karikkeen kemiallisen laadun ja ilmasto-olojen perusteella, eikä malli ota huomioon esimerkiksi maanmuokkauksen tai maalajin vaikutusta maaperän hiilivarastoon, minkä vuoksi viljelysmaiden mallinnustuloksiin liittyy epävarmuutta (Palosuo ym. 2015). Toimenpiteen kustannuksia maanomistajalle ei ole eritelty erillisenä toimenpiteenä lähteissä vaan se toteutuu pääosin osana muita nurmenhoitokäytäntöjä.

Muokkauksen vähennyksellä on vaikea kasvattaa maaprofiilin kokonaishiilivarastoa. Pohjoisissa oloissa korkea kosteus ja talviaikainen routiminen kiihdyttävät maamururakenteiden uusiutumista ja orgaanisen aineksen hajotusta (Singh ym. 2015, Sheehy ym. 2015). Jos viljelykierto suorakylvössä koostuu yksivuotisista kasveista, maaperän hiilivarasto ei ole Suomessa yleensä kasvanut, koska kasvintähteet jäävät pintaan ja syvempien maakerrosten hiilivarasto pienenee (Leppälä ym. 2025). Syvien maakerrosten potentiaalia suorakylvössä voidaan saada käyttöön lisäämällä viljelykiertoon syväjuurisia kasveja, mutta menetelmästä ei ole tutkimustietoa Suomesta.

KIVENNÄISMAAPELLON METSITYS

Maatalouskäytöstä poistuneen kivennäismaapellon metsityksen on arvioitu vähentävän kasvihuonekaasupäästöjä keskimäärin 3,8 t CO_2-ekv./ha/v aiempaan maankäyttöön verrattuna ensimmäisten 15 vuoden aikana (Lehtonen ym. 2021). Vaikutus kasvaa puuston kasvaessa, ja jaksolla 2036–2050 se on noin 6,4 t CO_2-ekv./ha/v (Lehtonen ym. 2021). Valtaosa päästövähennyksestä syntyy puustoon sitoutuvasta hiilestä, kun taas maaperän osuus on kivennäismailla pieni (0,5–1,0 t CO_2-ekv./ha/v). Jos metsitettäisiin 3 000 ha vuodessa vuodesta 2021 alkaen ja tästä 75 % olisi kivennäismaita ja 25 % turvemaita, päästöt pienenisivät keskimäärin noin 0,1 Mt CO_2-ekv./v ensimmäisten 15 vuoden aikana ja noin 0,2 Mt CO_2-ekv./v 45 vuoden tarkastelujaksolla (Lehtonen ym. 2021).

Pitkäaikaisiin pellonmetsityskokeisiin perustuvan arvion mukaan kivennäismaapelloille istutettu puusto, lajista riippuen, sitoi kiertoaikana keskimäärin 8,4–11,7 t CO_2/ha/v. Sidonta oli suurinta kuusella ja pienintä männyllä (Jylhä ym. 2024). Luku kuvaa puuston biomassaan sitoutuvaa hiiltä koko kiertoajalta, eikä siinä ole huomioitu maaperän hiilen muutoksia eikä vertailua aiempaan maankäyttöön, joten se ei ole suoraan verrattavissa edellä esitettyyn päästövähennysarvioon. Metsityksen kustannukset olivat kivennäismailla keskimäärin noin 3 700 €/ha (vuoden 2021 hintataso, ilman arvonlisäveroa), mutta nykyisillä maanmuokkausmenetelmillä kustannus on todennäköisesti jonkin verran suurempi (Jylhä ym. 2024). Kuusella metsitys oli kannattavaa myös ilman tukea, kun laskentakorko oli 3 %, kun taas muilla puulajeilla kannattavuus edellytti pääosin tukea (Jylhä ym. 2024).

4.2.3 Ohjauskeinot

Kivennäismaapeltojen toimet muodostavat tärkeän päästövähennyskokonaisuuden, jonka onnistuminen riippuu sekä ohjauskeinojen vakaudesta että viljelyjärjestelmien laajasta ja pitkäjänteisestä muutoksesta. Kivennäismaiden ilmastotoimien vahvuutena on se, että monet toimista voidaan helposti sisällyttää nykyisiin tuotantorakenteisiin.

Edellä kuvattuja päästövähennystoimia ohjataan Suomessa pääosin EU:n yhteisen maatalouspolitiikan (CAP) kautta, sekä ensimmäisen pilarin ekojärjestelmätuilla että toisen pilarin ympäristökorvauksella. Ekojärjestelmätuki on EU:n kokonaan rahoittama vuosittain haettava suora tuki, jonka toimenpiteet ovat viljelijälle vapaaehtoisia ja yksivuotisia. Kerääjäkasveihin läheisesti liittyvä talviaikaisen kasvipeitteen toimenpide korvaa pellon pitämisen muokkaamattomana ja kasvipeitteisenä talven yli tukitasolla arviolta 40 €/ha, ja viherlannoitusnurmet ovat oma ekojärjestelmätoimenpiteensä tukitasolla arviolta 100 €/ha (Ruokavirasto 2026). Talviaikainen kasvipeitteisyys esitetään kuitenkin ensisijaisesti vesiensuojelu- ja eroosiontorjuntatoimena, ja hiilensidonta on sen osalta pikemminkin oheishyöty.

Ympäristökorvauksen lohkokohtaisiin toimenpiteisiin sisältyy erikseen kerääjäkasvien toimenpide, jonka nettokustannukset ja tulonmenetykset viljelijälle on edellä arvioitu (Hyvönen ym. 2020). Kerääjäkasvit voidaan ilmoittaa joko ekojärjestelmän talviaikaiseen kasvipeitteeseen tai ympäristökorvauksen lohkokohtaiseksi toimenpiteeksi, mutta samalla alalla vain toiseen.

Tietolaatikko 2. Elinkaariarviointimenetelmällä lasketaan päästöjä läpi arvoketjun.

Elinkaariarvioinnilla lasketaan päästöjä läpi arvoketjun

Kansallinen kasvihuonekaasuinventaario seuraa päästöjä, jotka syntyvät Suomen rajojen sisällä, jättäen huomiotta ulkomailla tapahtuvat päästöt, tuonnin ja tuontipanokset, sekä tuotannon tehokkuuden vaikutuksen päästöjen intensiteettiin.

Elinkaariarviointimenetelmä eli LCA (Life Cycle Assessment), tuotteisiin ja tuotantoketjuihin keskittyvänä lähestymistapana, ja on siksi hyvä menetelmä täydentämään kasvihuonekaasuinventaarion tuottamaa tietoa. Elinkaariarviointi on vakiintunut ja ISO standardoitu menetelmä (ISO 2006).

Ilmastotoimia suunnitellessa on tärkeää huomioida, ettei kansallisia päästövähennystoimia suunnata niin, että ne lisäävät päästöjä ulkomailla.

- **Elinkaariarvioinnin periaatteena on määrittää tuotteen tai palvelun ympäristövaikutus ottamalla huomioon kaikki tuotteen tuottamiseksi vaaditut yksikköprosessit ja niihin liittyvät päästöt, ml. käytetyt tuotantopanokset**. Arviointi kattaa koko elinkaaren: raaka-aineiden hankinta, valmistus, jalostus, jakelu, varastointi, käyttö sekä elinkaaren loppuvaiheen käsittely, myös maantieteellisen alueen rajojen ulkopuolelta ja tuonnista. Tämä lisää myös vertailtavuutta, mistä on etua päätöksenteossa ja ohjaustoimissa.

- **Tuotteiden ympäristövaikutuksien kvantifioinnilla on merkitystä toiminnanohjauksessa erityisesti yrityksissä ja teollisuudessa.** Elinkaariarviointi on kehitetty päätöksenteon tueksi tunnistamalla keskeiset kuormituskohdat sekä päästövähennysten mahdollisuudet tuotannossa. Keskeisiä tekijöitä päästöjen vähentämiseksi ja tuotannon suunnittelemiseksi vähemmän ympäristöä kuormittavaan suuntaan ovat tuotteen tuotantoon liittyvät toiminnot, prosessit ja raaka-aineet, ml. tuonti.

- **Päästövähennystoimia suunniteltaessa olisi myös arvioitava mahdolliset riskit muihin ympäristövaikutuksiin, kuten rehevöitymiseen, luonnon monimuotoisuuteen tai vesiniukkuuteen**: Suomalaisen broilerituotannossa ja sianlihatuotannossa soijarehun merkitys on suuri, sillä sen alkuperästä riippuen joko ilmastovaikutus tai vesiniukkuusvaikutus kasvoi (Usva ym. 2023; Hietala ym. 2024). Myös nautakarjatuotannossa rehuraaka-aineiden laadusta ja alkuperä vaikuttaa siihen, millaisia ilmasto-, vesiniukkuus- ja luonnon monimuotoisuusvaikutuksia tuotannosta syntyy (Joensuu ym. 2023). Parempaa kasvua ja maitotuotosta aikaansaava ruokinta voi samanaikaisesti tuottaa pienemmät ilmasto-, rehevöitymis- ja happamoitumisvaikutukset per kilo tuotetta, vaikka rehuannoksen päästökerroin samalla nousisi väkirehulisän myötä (Huuskonen ym. 2023; 2025; Manni ym. 2025; Hietala ym. 2026). Lypsylehmien ympäristövaikutusten ja sosiaalisten riskien minimoinnin kannalta paras vaihtoehto on käyttää kotimaista apilanurmea ja härkäpapua sisältävää ruokintaa (Hietala ym. 2026).

- **Elinkaariarvioinnin näkökulmasta parhaat päästövähennystoimet ovat tyypillisesti resurssitehokkuuteen liittyviä**, kuten resurssitehokas kasvintuotanto, anaerobinen lannankäsittely ja biokaasutuotanto, sekä esimerkiksi turvemaiden viljelyn vähentäminen**,** kun toimiin ei liity uusien resurssien käyttöä toisaalla arvoketjussa.

Hiilisyötteen lisääminen on keskeisin keino kivennäismaapeltojen maaperän hiilivaraston kasvattamiseen. Jos tavoitteena on lisätä kivennäismaalajin peltojen hiilensidontaa, jo olemassa olevien toimenpidekohtaisten kannustimisien ja ohjausten ja niiden rahoituksen jatkaminen entisellään tuskin tulee johtamaan tuloksiin. Siksi vähintään kokeilun alle tulisi ottaa tulosperusteisia ohjauksia,

kuten osan peltoalatuista maksamisen ehdollisena sille, että pellolla on vihreää kasvillisuutta, yhteyttämistä ja sitä kautta hiilen sidontaa merkittävässä määrin ja mieluiten koko pitkän kasvukauden ajan. Tähän voi yhdistyä vähäisempää muokkausta ja muuta pellon kasvukunnon parantamista, kuten ojituksen tai maan rakenteen parantamista. Asetelmassa, jossa esim. lehtivihreäindeksin arvo vaikuttaisi peltoalatukien tasoon, viljelijä voisi itse valita lohkokohtaisesti sopivat keinot, eikä toimenpidekohtaisia ohjauksia entisessä määrin tarvittaisi.

Kivennäismaapeltojen metsitystä on Suomessa edistetty pääasiassa tuilla. Vuosina 2021–2023 joutoalueiden metsitykseen maksettiin kivennäismailla 1 500 €/ha:n metsityspalkkio ja 900 €/ha:n hoitopalkkio (Jylhä ym. 2024), ja hallitus on esittänyt tuen käynnistämistä uudelleen vuosille 2027–2029 (HE 178/2026). Vuosien 2021–2023 tukitasolla tukea olisi kivennäismailla tarvittu laskennallisesti noin 3,7–4,2 € koko kiertoaikana sidottua hiilidioksiditonnia kohti (laskentakorko 3 %) (Jylhä ym. 2024). Kuusella metsitys oli kannattavaa myös ilman tukea, kun taas muilla puulajeilla kannattavuus edellytti pääosin tukea (Jylhä ym. 2024). Tonnikohtainen tukikustannus riippuu kuitenkin voimakkaasti tarkastelujaksosta, sillä nuori taimikko sitoo vielä vähän hiiltä, joten lyhyemmällä aikavälillä laskettuna kustannus sidottua tonnia kohti on moninkertainen.

4.3 TURVEMAAN PELLOT

4.3.1 Nykytila ja päästöjen vähentämisen keinot

Turvemaapeltojen toimet tarjoavat Suomen maataloussektorin suurimman päästövähennyspotentiaalin. Suomessa on noin 290 000 ha turvemaapeltoja, joista valtaosa on ojitettu ja jatkuvassa viljelykäytössä (ST 2026). Ojitus alentaa pohjavedenpintaa ja kiihdyttää turpeen hapellisissa oloissa tapahtuvaa hajoamista, minkä seurauksena turvemaapellot ovat merkittävä hiilidioksidi- ja dityppioksidipäästöjen lähde. Turvemaapeltojen päästöt olivat vuonna 2024 yhteensä 9,1 $MtCO_2$, josta 7,7 Mt oli CO_2 päästöjä ja 1,4 Mt CO_2-ekv. taakanjakosektorilla raportoitavia N_2O -päästöjä (Kuva 3) (SVT 2026). Turvepeltojen osuus kaikista maatalouteen liittyvistä päästöistä on yli 50 % (Kuva 3) ja niiden osuus maatalousmaan pinta-alasta on noin 10 %. Turvemaapellot ovat myös merkittävä vesistökuormituksen lähde, sillä ojitettujen turvemaiden typpivalumat ovat huomattavasti suurempia kuin kivennäismailta (Lehtonen ym. 2024).

Vettämiskelpoisten turvepeltojen, eli sellaisten, joilla ympäristön vesi riittää pohjavedenpinnan nostoon lähelle maan pintaa useimpina vuosina kuivimpia vuosia lukuun ottamatta, kokonaispotentiaaliksi on arvioitu 120 000–130 000 ha. Näistä noin 60 000 ha on peltoja, joilla turvemaalajia on yli 90 % peltolohkon alasta, josta vähintään 2/3 on paksuturpeista eli turvekerroksen paksuus on vähintään 60 cm ja peltolohkon koko on suurempi kuin 0,3 ha. Tällaisten peltojen on arvioitu olevan soveltuvimpia pohjavedenpinnan nostoon ja kustannusvaikuttavien päästövähennysten saavuttamiseen ruuantuotantoa haittaamatta (Lehtonen ym. 2024). Pois viljelykäytöstä olevien turvemaapeltojen pinta-alan on arvioitu olevan n. 60 000 ha (Saarnio ym. 2025). Noin viidennes tästä eli noin 12 000 ha on arvioitu vettämiskelpoiseksi (Kekkonen ym. 2026).

Turvemaapellot jakautuvat Suomessa alueellisesti epätasaisesti. Suurimmat turvepeltoalat sijaitsevat Pohjois-Pohjanmaalla, Pohjois-Savossa, Pohjois-Karjalassa ja Etelä-Pohjanmaalla, kun taas eteläisemmässä Suomessa turvepeltojen osuus jää alle viiden prosentin (Ympäristöministeriö 2025). Tämä alueellinen epätasaisuus määrittää keskeisesti, kenelle käytön muutoksista aiheutuvat taloudelliset rasitteet tai toisaalta mahdollisuudet kannustimien hyödyntämiseen kohdistuvat, mikä tekee turvemaapolitiikasta yhtä aikaa ilmasto-, alue- ja maatalouspolitiikan kysymyksen (Lehtonen ym. 2024).

Käyttötavoittain tarkasteltuna intensiivisin turvepeltojen käyttö on kotieläintiloilla, erityisesti lypsy- ja nautakarjataloudessa, joissa myös turvepeltoja käytetään rehuntuotantoon ja lannanlevitykseen (Lehtonen ym. 2024). Yksivuotisten kasvien, kuten viljan, viljelyala turvepelloilla oli vuonna 2024 noin 72 330 ha, ja niiden hiilidioksidipäästöt ovat 2,1 Mt CO_2-ekv. vuodessa ja dityppioksidipäästöt 0,4 Mt CO_2-ekv. vuodessa (Helin ym. 2025). Tuotantorakenteen muutos kohti pääomaintensiivisempiä lypsyrobottitiloja voi jatkossakin synnyttää paikoin kysyntää uusien turvepeltojen raivaamiselle, sillä suurempi tilakoko lisää peltoalan tarvetta rehuntuotantoon ja lannanlevitykseen (Helin ym. 2025). Turvepeltojen aiheuttamien erittäin korkeiden kasvihuonekaasupäästöjen vuoksi olisi perusteltua suunnata investointituet tiloille, joiden laajentuminen ei johda uusien turvepeltojen raivaamiseen. Myös vastuullinen elintarviketeollisuus voi tulevaisuudessa vähentää ostoja tiloilta, joilla on raivattu uutta turvepeltoa. Turvemaapellolla tuotetun raaka-aineen hiilijalanjälki on monikymmenkertainen verrattuna kivennäismaapellolla tuotettuun.

Turvemaapeltojen korkea hehtaarikohtainen päästö merkitsee, että vähennyspotentiaali hehtaaria kohti on monikymmenkertainen verrattuna muihin maatalouden toimiin. Tästä syystä turvemaiden ilmastotoimien katsotaan olevan keskeinen osa koko maataloussektorin päästövähennysstrategiaa. Turvemaapeltojen päästövähennyspotentiaali on Suomessa sekä teknisesti että alueellisesti huomattava. Sen realisoituminen edellyttää kuitenkin pitkäjänteistä politiikkaa, alueellisesti räätälöityjä ratkaisuja sekä jatkuvaa tutkimusta vedenpinnan hallinnan, kasvihuonekaasupäästöjen ja kustannusvaikutusten ymmärtämiseksi. Realistinen etenemispolku perustuu valikoimaan toimenpiteitä, jossa korkeaan vedenpintaan siirrytään soveltuvimmilla lohkoilla ja muilla alueilla hyödynnetään vesitalouden optimointia, huomioiden biofysikaaliset ja taloudelliset reunaehdot.

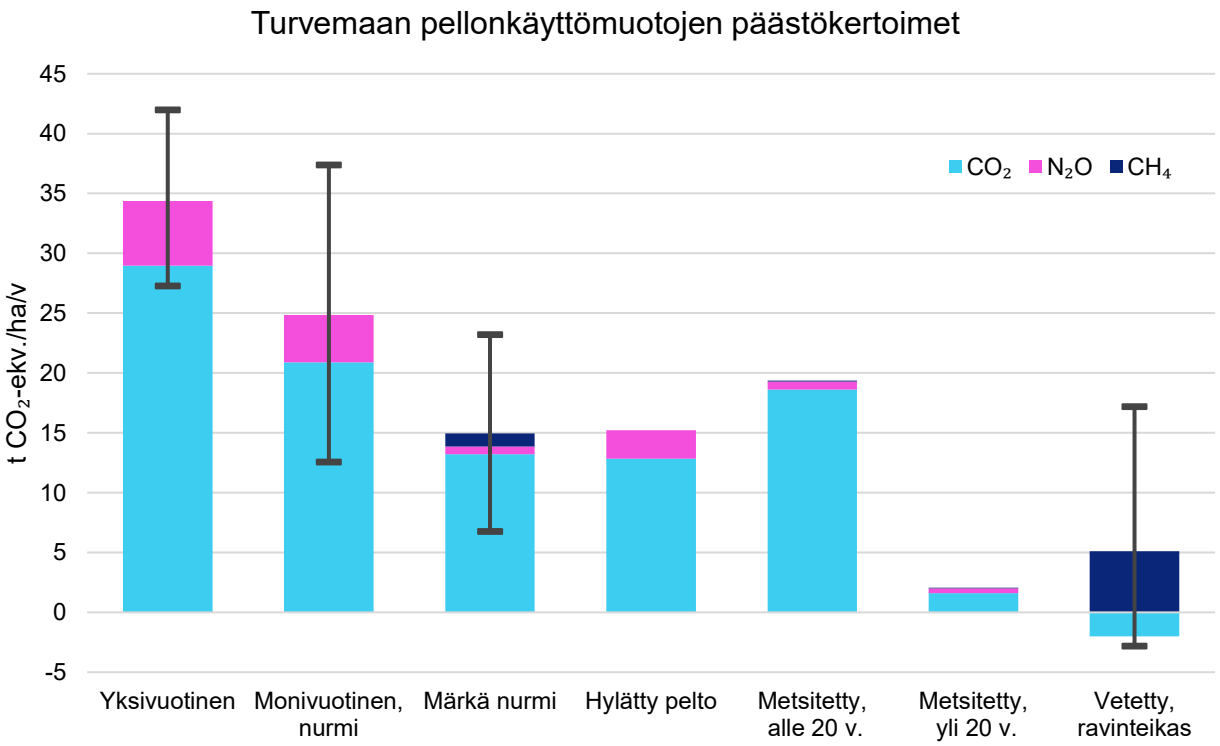
TURVEMAIDEN PÄÄSTÖJÄ SÄÄTELEE ENSISIJAISESTI POHJAVEDENPINNAN TASO

Tutkimuskirjallisuus on johdonmukaisesti osoittanut, että turvemaiden päästöjä säätelee ensisijaisesti pohjavedenpinnan taso (Evans ym. 2021, Darusman ym. 2023). Kun vedenpinta nostetaan lähemmäs maanpintaa, turpeen hapellinen hajoaminen hidastuu ja CO_2-päästöt alenevat merkittävästi (Bianchi ym. 2021). Vedenpintaa voidaan nostaa säätösalaojituksella tai siihen liitetyllä salaojakastelulla, sekä padottamalla vettä ojiin. Päästövähennyksiä syntyy, vaikka pohjaveden pinta pidettäisiin vain osan aikaa tavanomaista korkeammalla, ja jo nosto tasolle noin −30 cm maanpinnasta tuottaa mitattavia päästövähennyksiä (Maanavilja ym. 2021). Suomalaisessa tutkimuksessa turvemaapelloilla saatiin keskimäärin 5 t CO_2-ekv./ha/v suuruinen päästövähennys jokaista 10 cm kohden, jonka vedenpinta nousi (Saarnio ym. 2025). Tämän mekanismin oletetaan tällä hetkellä olevan riippumaton viljelykasvista, eli vedenpinnan taso on ratkaisevampi tekijä kuin itse kasvilaji. Esimerkiksi viljan viljelystä nurmiviljelyyn siirtyminen ojitetuilla turvepelloilla ei siten nykytiedon valossa itsessään vähennä päästöjä merkittävästi (Holzknecht ym. 2025). Turvemaapeltojen nurmiviljelyn ilmastovaikuttavuus perustuu pikemminkin siihen, että nurmikasvit sietävät korkeampaa pohjavedenpintaa ja vähäisempää maanmuokkausta paremmin kuin useimmat yksivuotiset kasvit, jolloin vesitasoa voidaan nostaa ilman merkittävää satotappiota (Purola & Lehtonen 2021).

Ilmastotoimien epävarmuudet turvemaapelloilla liittyvät erityisesti paikallisiin olosuhteisiin. Pohjavedenpinnan ja hiilidioksidipäästöjen välinen suhde on epälineaarinen ja riippuu turpeen hajoamisasteesta, ravinteisuudesta ja kasvillisuudesta (Lehtonen ym. 2024). Lisäksi metaanipäästöt kasvavat usein vedenpinnan noustessa, mikä voi osittain kumota hiilidioksidivähennykset etenkin ensimmäisinä vuosina vettämisen jälkeen (Bianchi ym. 2021). Pitkäaikainen pysyvyys, kunnossapito ja alueelliset erot lisäävät vaihtelua, jota yleiset päästökertoimet eivät täysin kuvaa (Niemi ym. 2024).

Turvemaiden vettämisen päästövähennyspotentiaalin arviointiin liittyy epävarmuuksia, jotka johtuvat käytössä olevien IPCC:n päästökertoimien rajallisesta erottelukyvystä eri maankäyttö- ja hoitomuotojen välillä. Kertoimet perustuvat osin sellaisiin olosuhteisiin, jotka eivät täysin vastaa maatalouskäytössä

olevia turvemaita, mikä korostaa lisätutkimuksen tarvetta erityisesti Suomessa tapahtuvan kosteikkoviljelyn ja muiden vettämistoimien päästövaikutusten tarkentamiseksi. Vedenpinnan ohjauksen toteutuminen on myös laite- ja sääriippuvaista, ja kuivat kaudet voivat estää tavoitellun veden korkeuden saavuttamisen varsinkin keskikesällä. Satovaikutukset, kuten märkyysriski, ja tilalogistiikan mahdollisuudet, kuten koneketjujen soveltuvuus, vaikuttanevat myös viljelijöiden käytännön päätöksiin. Taloudelliset epävarmuudet turvemaapeltojen kohdalla liittyvät CAP-investointitukien ja hoitokorvausten tasoon ja pysyvyyteen, jotka edelleen määrittävät toimenpiteiden kannattavuutta maanomistajalle (Wejberg ym. 2024, Purola & Lehtonen 2021). Lisäksi mikäli tukijärjestelmässä pyritään kytkemään korvaus mitattuun tai arvioituun päästövaikutukseen, nousevat keskeisiksi kysymyksiksi vaikutusten luotettava arviointi ja seuranta sekä näihin liittyvät hallinnolliset kustannukset (Rämö ym. 2025).



Kuva 5. Turvemaan peltojen maaperän päästöjen arvioinnissa käytettäviä päästökertoimia. Pylväät esittävät kasvihuonekaasupäästöjen laskennassa käytettävät päästökertoimet maankäyttömuotokohtaisesti. Pylväissä on omina väreinään eroteltu CO_2-, N_2O- ja CH_4-päästöjen osuudet hehtaarikohtaisina tCO_2-ekv per vuosi. Lisäksi päästökertoimiin liittyvää epävarmuutta kuvataan pystysuuntaisilla janoilla, jotka kuvaavat kasvihuonekaasujen yhteenlaskettuja 95 prosentin luottamusvälejä. Suurehko ero alle ja yli 20 vuotta sitten metsitettyjen turvemaapeltojen välillä johtuu siitä, että metsitetty turvepelto luokitellaan pellosta siirtyneeksi metsäksi vain 20 vuoden ajan. Tämän jälkeen se sisältyy suometsien luokkaan ja päästökerroin edustaa keskimääräisen suometsän päästöjä. Vetetyn pellon päästöjen suuri luottamusväli johtuu siitä, että päästökertoimien taustalla on useista erilaisista ekosysteemeistä vetettyjen alueiden päästömittauksia. Kuvan lähteinä IPCC 2014, Maljanen ym. 2010 ja UNFCC 2026.

VETTÄMISKELPOISET TURVEPELLOT: VETTÄMINEN, SÄÄTÖSALAOJITUS JA KOSTEIKKOVILJELY

Suurimmat päästövähennykset turvepelloilla voidaan saavuttaa nostamalla pohjaveden pintaa pysyvästi lähelle maan pintaa. Kaikki turvepellot eivät kuitenkaan ole tähän soveltuvia ympäristön veden riittävyyden vuoksi. Vettämiseen soveltuvat parhaiten edellä kuvatut paksuturpeiset turvepellot, joiden ympäristössä on riittävästi vettä pohjaveden pinnan pysyvään nostoon. Tällaisia peltoja voidaan pitää soveltuvimpina kustannusvaikuttavaan päästöjen vähentämiseen pohjaveden pintaa nostamalla.

Yksittäisen lohkon todelliseen vettämiskelpoisuuteen kuitenkin vaikuttavat muutkin tekijät, kuten lohkoa ympäröivät olosuhteet sekä vettämisen toteutusmenetelmät. Pohjaveden pinnan nosto pysyvästi lähelle maan pintaa voidaan tehdä tapauksesta riippuen esim. ojapadotuksella, ja lisäksi tarvittaessa ympäröivien ojien ja valtaojien vesien ohjaamisella tai pumppaamalla vettä halutulle kosteikkoalueelle. Nämä toimet mahdollistavat pohjaveden tason hallinnan viljelyssä olevilla turvepelloilla.

Tavanomaisen viljelyn jatkamiseen soveltuva pohjaveden pinnan taso ja päästövähennyksiä on mahdollista saavuttaa myös, kun säädetään pohjavedenpintaa säätösalaojituksen avulla. Tällöin viljelijä voi alentaa pohjaveden pintaa peltotöiden ajaksi ja saada mahdollisesti satohyötyjä pohjaveden pinnan säädön ansiosta etenkin kuivina kasvukausina (Myllys ym. 2024).

Jos turve pysyy suurimman osan vuodesta veden kyllästämänä vedenpinnan noustessa tasolle −5–−10 cm, pellon liikennöitävyys heikkenee merkittävästi, mutta viljelyä voidaan jatkaa kosteikkoviljelyssä. Tällöin hiilidioksidipäästöt pienenevät murto-osaan ojitettuun peltoon verrattuna ja turpeen muodostus voi käynnistyä (Kuva 5). Samalla viljelykasvit vaihtuvat märkyyttä sietäviin lajeihin, kuten ruokohelpeen, osmankäämiin, järviruokoon tai rahkasammaleen. Kosteikkoviljely voi vaatia erilaista konekalustoa kuin kuivien ojitettujen peltojen viljely, mikä voi toimia pullonkaulana sen toimeenpanossa. Kosteikkoviljelyn tavoitteena on yhdistää turpeen hajoamisen hidastaminen ja biomassatuotanto, mutta ilmastovaikutus riippuu voimakkaasti sekä kasvillisuudesta että kasvupaikasta. Metaanipäästöt voivat kasvaa korkean vedenpinnan oloissa ja hiiltä poistuu korjatussa biomassassa, mikä osittain heikentää nettoilmastohyötyä erityisesti ravinnerikkailla rehevillä mailla (Bianchi ym. 2021). Tämän vuoksi kosteikkoviljely ei ole yksiselitteisesti optimaalinen ratkaisu kaikille turvemaille, vaan sen soveltuvuus on arvioitava tapauskohtaisesti. Kosteikkoviljelyn yleistyminen edellyttää lisäksi riittävän vakaata kysyntää tuotetulle biomassalle esimerkiksi kasvualustoissa, kuivikkeissa tai biopohjaisissa materiaaleissa, sillä ilman toimivia jalostus- ja arvoketjuja tuotannon taloudellinen kannattavuus ja investointihalukkuus jäävät epävarmoiksi (Lehtonen ym. 2024, Niemi ym. 2024). Toisaalta teollisten käyttökohteiden ja korvaavien materiaalien kysynnän vahvistuminen voi parantaa kosteikkoviljelyn kannattavuutta erityisesti heikkotuottoisilla turvemailla (Niemi ym. 2024).

VETTÄMISKELVOTTOMIEN TURVEPELTOJEN METSITYS JA VILJELYSTÄ POIS JÄTTÄMINEN

Heikkotuottoisten turvemaapeltojen metsitys on yksi keino vähentää päästöjä silloin, kun pelto on jo jäänyt pois aktiivisesta viljelystä tai sijaitsee kaukana maatilan talouskeskuksesta. Metsitys soveltuu parhaiten ohutturpeisille pelloille. Metsityksen päästövähennysvaikutus realisoituu hitaasti (Kuva 5) ja kustannukset painottuvat etupäähän, minkä vuoksi toimenpide jää heikkotuottoisena investointina toteuttamatta ilman riittäviä taloudellisia kannustimia (Lehtonen ym. 2021, Lehtonen ym. 2024).

Viljelystä kokonaan pois jättäminen voi tulla kyseeseen erityisesti silloin, kun peltolohkojen etäisyys maatilan talouskeskukseen kasvaa tilojen vähentyessä ja rakennekehityksen edetessä. Heikkotuottoisen ja kaukana sijaitsevan turvemaapellon jättäminen viljelemättä ilman muita toimenpiteitä voi olla tietoinen taloudellisin perustein tehty valinta, joka samalla vähentää kasvihuonekaasupäästöjä. Pelkällä viljelystä pois jättämisellä päästövähennys jää kuitenkin vaatimattomaksi (7 t CO_2-ekv./ha/v), ja suuremmat vähennykset edellyttävät lisätoimia kuten metsitystä tai vedenpinnan nostoa (Maljanen ym. 2010). Toisaalta, koska viljelemättä jättäminen johtaa maataloustuen menettämiseen kyseiseltä pellolta, päästövähennysten toteutumista voisi edistää viljelijälle maksettava taloudellinen kannustin (Lehtonen ym. 2021, Lehtonen ym. 2024). Muita päästöjä vähentäviä toimia ovat esimerkiksi nurmien ja muiden monivuotisten kasvien viljely yksivuotisten kasvien sijasta.

ENNALLISTAVA VETTÄMINEN

Ennallistavassa vettämisessä turvemaapellon vedenpinta nostetaan pysyvästi lähelle maanpintaa tai sen yläpuolelle.Toisin kuin vedenpinnan hallinnassa tai kosteikkoviljelyssä, ennallistavassa vettämisessä viljelystä luovutaan kokonaan ja tavoitteena on palauttaa kohde kohti luonnontilaisen suon kaltaisia olosuhteita tai turvata turvekerroksen säilyminen pitkällä aikavälillä. Laaja-alainen vettäminen, ilmastokosteikkojen perustaminen ja osittainen maankäytön muutos tuottavat suurimmat kokonaispäästövähennykset kansallisissa tarkasteluissa (Lehtonen 2022, Niemi ym. 2024). Samalla on kuitenkin tunnistettava, ettei koko turvepeltoalaa, edes hydrologisesti vettämiskelpoiseksi katsottua, voida realistisesti siirtää korkeaan vedenpintaan. Rajoitteet ovat sekä hydrologisia että teknisiä, sillä kuivatusjärjestelmät ovat usein yhteisiä, ja vedenpinnan nosto yhdellä lohkolla voi vaikuttaa naapurialueisiin tai alapuolisiin vesistöihin. Turvekerroksen paksuus, maaston kaltevuus ja ojitusverkoston rakenne määrittävät, missä vedenpintaa voidaan hallitusti nostaa. Lisäksi kuivina vuosina tavoitellun vesitason ylläpito voi olla vaikeaa, mikä pienentää koko kasvukaudella saavutettavaa päästövähennystä (Lehtonen ym. 2024, Wejberg ym. 2024, Saarnio ym. 2025).

4.3.2 Päästövähennysarvio ja kustannukset

Turvemaapeltojen toimet ovat kustannusvaikuttavuudeltaan edullisimpia koko maataloudessa ja edullisia myös muihin taakanjakosektorin toimiin verrattuna. Esimerkiksi vettämisellä aikaansaadun päästövähennyksen kustannus voi jäädä selvästi alle 30 €/t CO_2-ekv., kun monilla muilla sektoreilla kustannukset ovat satoja euroja hiilidioksiditonnia kohden (Karhinen ym. 2026). Turvemaapellon vettäminen tuottaa päästövähennyksiä sekä taakanjakosektorilla että maankäyttösektorilla, koska pellon N_2O-päästöt raportoidaan taakanjakosektorilla ja CO_2 päästöt maankäyttösektorilla.

VETTÄMISKELPOISET TURVEPELLOT: VETTÄMINEN, SÄÄTÖSALAOJITUS JA KOSTEIKKOVILJELY

Vesitalouden hallinnan parantamisella, kuten ojapadotuksella, säätösalaojituksella, säätökaivon lisäämisellä salaojitukseen tai säätösalaojituksella ja kastelulla, voidaan alentaa turvepeltojen päästöjä arviolta noin 5–10 t CO_2-ekv./ha/v kun kyseessä on yksivuotinen viljely tai monivuotinen nurmiviljely (Lehtonen ym. 2021, Rämö ym. 2025, Saarnio ym. 2025). Esimerkiksi monivuotisessa nurmiviljelyssä päästöt voivat pienentyä noin 25:stä 15:een t CO_2-ekv./ha/v (IPCC 2014, Lehtonen ym. 2021, Rämö ym. 2025). Peltomaalle, joka on yksivuotisessa viljelyssä ja jossa vedenpintaa on nostettu mutta viljan viljely jatkuu, ei ole olemassa erillistä päästötietoa ja käytetyssä lähdekirjallisuudessa on tämän osalta tehty oletus siitä, että vedenpinnan nosto vähentää päästöjä samassa suhteessa kuin nurmiviljelyssä eli 10 t CO_2-ekv./ha/v (Rämö ym. 2025).

Säätösalaojituksessa viljelijä voi hallita pohjavedenpintaa nostamalla tai laskemalla sitä, niin että pohjaveden pinnan nosto voi olla maltillinen, eikä siitä aiheudu haittaa viljeltäville kasveille tai peltotöille, jolloin pelto on edelleen sovelias tavanomaisten maataloustukikelpoisten viljelykasvien tuotantoon. Tällöin viljelijälle ei muodostu ns. vaihtoehtoiskustannusta eli tulonmenetystä tavanomaisen kuivatetun pellon maataloustuotannon päättymisestä aiheutuen pohjavedenpinnan nostosta.

Parhaimmassa tapauksessa säätösalaojitus voidaan toteuttaa jo olemassa oleviin turvepellon salaojiin edullisin kustannuksin. Tällöin epävarmaksi jää se, onko pellolla jo olemassa oleva salaojitus riittävän tehokas pohjaveden pinnan laskemiseen tarvittaessa esim. peltotöiden ajaksi, kuten tiheäojavälisessä säätösalaojituksessa on tarkoituksena ja tavoitteena. Jos näin on, voidaan säätösalaojitus toteuttaa tarvittavien säätökaivojen lisäämisellä, mikä tulee olennaisesti halvemmaksi kuin koko pellon tiheäojavälinen säätösalaojitus. Avo-ojitetulla turvepellolla pohjavedenpinnan nosto voidaan soveltuvissa tapauksissa toteuttaa myös avo-ojiin asennettavilla patorakennelmilla. Wejberg ym. (2024)

laskivat viljelijän nettokustannuksia erilaisissa tapauksissa. Wejberg ym. (2024) mukaan viljelijän nettokustannuksetsäätösalaojituksesta, toteutuskustannukset, tuet ja viljelyhyödyt huomioon ottaen olisivat ojapadotuksessa noin 138 €/ha/v, säätösalaojituksessa noin 61 €/ha/v, säätökaivon lisäämisessä salaojitukseen 39 €/ha/v sekä säätösalaojituksessa yhdistettynä kasteluun153 €/ha. Oletuksella, että 10 t CO_2-ekv./ha/v päästövähennys on yleispätevä arvio kaikissa peltojen vettämistapauksissa joissa vedenpinta on noin 30 cm maanpinnan alapuolella ja viljely jatkuu, saadaan näiden vedenpinnanhallintajärjestelmien kustannusvaikuttavuudeksi; ojapadotus 14 €/t CO_2-ekv., säätösalaojitus 6 €/t CO_2-ekv., säätökaivon lisääminen olemassa olevaan salaojitukseen 4 €/t CO_2-ekv. ja säätösalaojitus yhdistettynä kasteluun 15 €/t CO_2-ekv. Näitä päästövähennyskustannuksia voidaan pitää hyvin alhaisina verrattuna muihin tutkimuksiin, joissa oletetaan tarve täysimittaiselle säätösalaojitusinvestoinnille tilanteessa, jossa turvepelto on ennestään avo-ojissa (esim. Purola & Lehtonen 2022, Rämö et al. 2025). Tällöin päästövähennyskustannukset vaihtelevat välillä 20-30 €/tCO_2-ekv. riippuen maatilan tuotantosuunnasta (vilja, lypsykarjatalous).

Taulukko 2. Turvepellon säätösalaojituksen arvioitu kustannusrakenne ja päästövähennys. Lähteet: Lehtonen ym. 2021, Laturi ym. 2022, Rämö ym. 2025.

Investointi €/ha	**Hoito-kustannus €/ha/v**	**Vuosi-kustannus €/ha/v**	**Viljelyhyöty €/v**	**Päästö-vähennys t CO_2-ekv./ ha/v**	***Kustannus-vaikuttavuus €/ t CO_2/ha/v**	**Lähde**
5 000	34	423[1]	285	5–10	14–27	Wejberg ym. 2024
4 500	70	295[2]	–	5–10	30–59	Laturi ym. 2022

¹ Wejberg ym. (2024) laskevat investoinnin vuosikustannuksen annuiteettimenetelmällä (10 vuotta, 5 % korko). Investointikustannus viljelijälle on 3000 €/ha (40 % investointituen jälkeen), josta muodostuu annuiteettina 389 €/ha/v. Kun tähän lisätään hoitotyö (34 €/ha/v), vuosikustannus ennen tukia ja viljelyhyötyjä on 423 €/ha/v. Laskelmassa esitetään lisäksi viljelyhyöty (285 €/ha/v), joka perustuu Hiirosen (2012) arvioihin salaojituksen tuottavuusvaikutuksista.

² Laturi ym. (2022) investointikustannus muutetaan vuositasolle korkokustannuksena (5 % investoinnista), jolloin 4500 €/ha investointi vastaa 225 €/ha/v. Kun tähän lisätään hoitotyö (70 €/ha/v), vuosikustannus on 295 €/ha/v. Kustannuslaskelmassa ei huomioida viljelyvaikutuksia, koska korotetun vedenpinnan viljelyn vaikutuksista satotasoihin ei ole riittävästi tutkimustietoa.

*Kustannusvaikuttavuus on: (Vuosikustannus-Viljelyhyöty)/Päästövähennys

Edellä esitetyssä tulee ottaa huomioon, että Wejberg ym. 2024 tapaukset perustuvat varsin optimistiseen oletukseen siitä, että toimet mahdollistavat riittävän vesienhallinnan viljelijän tarpeisiin nähden, kun viljelijä jatkaa viljelyä edelleen maataloustukikelpoisilla pelloilla. Märän turvepellon kuivuminen vaatii riittävän tehokkaan ojituksen, jolloin turvepellon märkänä pitämisen riskinä on sadonkorjuun tai muiden peltotöiden estyminen tai olennainen viivästyminen tulonmenetyksineen. Erityisesti on kuitenkin huomattava, että riittävän tiheäojavälisessä säätösalaojituksessa - mikäli se toimii riittävän tehokkaana kuivatuksena pellolle pääsemiseksi tavanomaisin maatalouskonein -

viljelijälle ei aiheudu pohjaveden pinnan nostosta ns vaihtoehtoiskustannusta, eli tuottojen menetystä tavanomaisen maataloustuotannon loppumisesta pellolla. Sen sijaan tilanteissa, joissa pellon käyttö tavanomaisessa maataloustuotannossa estyy pellon vettämisen seurauksena, viljeliälle aiheutuu vaihtoehtoiskustannusta eli tavanomaisen maataloustuotannon tuotto. Eri selvityksissä ja laskelmissa. kustannusvaikuttavuuden laskentatavoissa löytyy eroja, jotka päätyvät eri lähtöolettamuksien, esimerkiksi satohyödyn mukaan ottamisen, perusteella erilaisiin kustannusvaikuttavuuden arvioihin (Taulukko 2).

Kosteikkoviljelyn, eli jatkuvasti korkeaa pohjavedenpintaa (noin 5-10 cm maan pinnan alla) sietävien kasvien viljely, on arvioitu tuottavan suurimmat vuosittaiset vähennykset per hehtaari ja vähennysten on arvioitu olevan noin 22–32 t CO2-ekv./ha/v, kun vettämisen seurauksena turvemaapellon päästö on 2,8 t CO2-ekv./ha/v (IPCC 2014), lähtötason ollessa 25–35 t CO2-ekv./ha/v (Bianchi ym. 2021, Lehtonen ym. 2021, Laturi ym. 2022). Nämä arviot ovat linjassa Suomessa viime aikoina tehtyjen mittausten kanssa (Saarnio ym. 2025, Lång ym. 2024). Kosteikkoviljelyn perustamiskustannukset ovat tyypillisesti 2 000–5 000 €/ha ja ylläpitokustannukset 100–500 €/ha/v. Tulonmenetyksen suuruus riippuu lähtötilanteesta, eli siitä onko kyseessä maataloustukikelpoisten vai tukikelvottomien kasvien viljely, yksivuotisten kasvien viljely, nurmiviljely vai jo viljelystä poistettu lohko (Niemi ym. 2024, Miettinen ym. 2022, Lehtonen 2022, Chen ym. 2024).

Kosteikkoviljelyn kustannusvaikuttavuutta arvioitaessa on otettava huomioon, että kosteikkoviljelykasveja on useita erilaisia ja niiden tarve omalla tilalla (esim. ruokohelpi kuivikkeeksi) tai menekki ja markkinatilanne maatilan ulkopuolella on usein rajallinen ja useiden kasvien osalta hyvin epävarma. Tämän johdosta viljelyn tuottoja ei ole sisällytetty kaikkiin kustannuslaskelmiin. Investointikustannuksena käytetään säätösalaojituksen kustannuksia viljelijälle, 4 500 €/ha kun huomioidaan investointituki. Tämä on likimain samansuuruinen kuin esim. lintukannanhoitoon perustettujen kosteikkojen keskimääräinen kustannus (Kekkonen ym. 2026). Investointikustannus muutettuna vuositasolle viiden prosentin korkokannalla vastaa vuotuista kustannusta 225 €/ha/v. Hoitotyön kustannuksena käytetään 70 €/ha/v, jolloin toimenpiteen vuosikustannuksiksi muodostuu 295 €/ha/v (Laturi ym. 2022). Näin saadaan kustannusvaikuttavuudeksi ilman vaihtoehtoiskustannuksia noin 9–13 €/t CO_2-ekv. riippuen toteutuneesta päästövähennyksestä ja oletetuista satohyödyistä. Kosteikkoviljely, jossa pyritään korkeaan pohjaveden pinnan tasoon ja jossa saavutetaan selvästi suurempi hehtaarikohtainen päästövähennys kuin säätösalaojituksessa, on siten päästövähennyksen absoluuttiselta tasoltaan selvästi tehokkaampi, mutta samalla taloudellisesti huomattavasti riskialttiimpi toimenpide, koska kosteikkokasvien kysyntä on usein epävarmaa, eivätkä kaikki kosteikkokasvit ole maataloustukikelpoisia. Kustannusarvio 9–13 €/t CO_2-ekv. perustuen kosteikon suoriin investointi- ja hoitokustannuksiin, pätee siis tapauksiin, jossa maataloustukea ei menetä, tai jos sen menetys voidaan korvata likimain samansuuruisella ja pysyvällä (ei esim. 5 vuoden määräajaksi myönnetyllä) kosteikonhoitotuella.

VETTÄMISKELVOTTOMIEN TURVEPELTOJEN METSITYS JA VILJELYSTÄ POIS JÄTTÄMINEN

Turvepeltojen metsityksen päästövähennyspotentiaalista on useita arvioita, jotka eroavat toisistaan ennen kaikkea oletetun metsitysalan ja käytettyjen päästövähennyskertoimien osalta. Pienimmän arvion antaa Hiilineutraali Suomi 2035 -skenaariotyö, jossa tarkasteltiin erikseen WEM-perusuraa (nykytoimet, with existing measures) ja WAM-skenaarioita (lisätoimet, with additional measures). Hylättyjen turvepeltojen metsitys oli yksi WAM-toimi, jonka lisäpäästövähennys WEM-perusuraan verrattuna oli vain noin 0,01 Mt CO_2-ekv./v vuosina 2030–2040, koska metsityspinta-ala oli pieni suhteessa koko skenaariopakettiin (Maanavilja ym. 2021). Myös Maankäyttösektorin ilmastosuunnitelman kustannusarviossa (Laturi ym. 2022) metsitysala oli rajallinen: viljelystä poistuneilla turvemaapelloilla metsitys kattoi noin 8 500 ha. Tässä arviossa lyhyellä aikavälillä päästöt

kasvoivat: maaperän ja puuston yhteenlasketut päästöt kasvoivat keskimäärin jopa noin 0,6 t CO_2-ekv./ha/v ensimmäisen noin 20 vuoden aikana, mutta trendin arvioitiin kääntyvän pitkällä aikavälillä puuston kasvaessa.

Suuremman potentiaalin antaa Lehtosen ym. (2021) arvio, jossa vuosittainen turvepeltojen metsitysala vaihteli 514 ja 1 351 ha välillä. Arviossa käytettiin metsityksen jälkeisen ensimmäisen 15 vuoden ajanjaksolle päästövähennyskerrointa 9,8 t CO_2-ekv./ha/v ja seuraavalle 15-vuotiskaudelle 15,4 t CO_2-ekv./ha/v (maaperä ja puusto). Näillä oletuksilla turvepeltojen metsityksen päästövähennyspotentiaali olisi 0,28–0,73 Mt CO_2-ekv. vuonna 2035 (metsitettynä silloin yhteensä 5 140–13 510 ha) ja 1,80–4,72 Mt CO_2-ekv. vuonna 2050 (metsitettynä 12 850–33 775 ha), jos metsitys aloitetaan vuonna 2026.

Turvemaapeltojen metsityksen päästövähennysarvioissa käytetyt päästökertoimet perustuvat vähäiseen aineistoon. Jos puuston kasvun sitoma hiili otetaan huomioon, voidaan päästä lähelle hiilineutraalia tilannetta, kuten Lehtonen ym. (2021) arviossa aikavälillä 10–25 vuotta metsityksen jälkeen. Tätä tukevat 30-vuotiaassa pellolle perustetussa mäntymetsässä tehdyt mittaukset (Lohila ym. 2007). Toisaalta Maljanen ym. (2001) arvioivat, että puuston kasvu kompensoisi vain osan turpeen hajoamisen päästöistä, jotka olivat kolmella 1–23 vuotta aiemmin metsitetyllä kohteella 10–23 t CO2/ha/vuosi (Maljanen ym. 2010).

Metsityksen kustannuksista esitetyt arviot vaihtelevat samoin lähteittäin. Huan-Niemi ym. (2023) käyttivät turvemaapeltojen metsityksen investointikustannuksena noin 1 800 €/ha. Ilman tukia maanomistajan kustannus muodostuu kertaluonteisesta investointikustannuksesta (perustaminen ja hoito, esim. 1 800–2 900 €/ha) ja pitkäaikaisesta viljelytulon menetyksestä noin 530 €/ha/v (Huan-Niemi ym. 2023, Laturi ym. 2022). Jylhä ym. (2024) arvioivat turvepellon metsityskustannukseksi keskimäärin 4 400 €/ha ilman suunnittelukustannuksia; heidän laskelmassaan hiilidioksiditonni saataisiin turvemailla kuusella kiertoaikana sidotuksi 3,4 €:n metsitystuella (laskentakorko 3 %). Arviossa ei kuitenkaan otettu huomioon metsitetyn turvepellon maaperän päästöjä, joten koko ekosysteemiin sidottu hiilimäärä jää arvioitua pienemmäksi ja kustannusvaikuttavuus heikommaksi.

Yhdistämällä Lehtosen ym. (2021) päästövähennyskertoimet näihin kustannusarvioihin voidaan havainnollistaa toimen suuruusluokkaa hieman suuremmalla metsitysalalla. Jos metsitysalaksi oletetaan 2 000 ha/v, päästövähennyspotentiaali olisi 1,08 Mt CO_2-ekv. vuonna 2035 (metsitysala yhteensä 20 000 ha) ja 6,99 Mt CO_2-ekv. vuonna 2050 (metsitysala yhteensä 50 000 ha). Tällöin päästövähennyksen kustannus olisi 55,66–74,21 €/t CO_2-ekv. vuonna 2035 ja 21,47–28,63 €/t CO_2-ekv. vuonna 2050, jos metsityskustannus on 3 000–4 000 €/ha. Kustannus laskee ajan myötä, koska päästövähennys kertyy pidemmältä ajalta samalla kertaluonteisella investoinnilla.

Turvemaapellon käyttömuodon muuttuessa yksivuotisesta viljelystä käytöstä poistetuksi päästöt voivat pienentyä 20 t CO_2-ekv./ha/v ja monivuotisesta nurmiviljelystä luovuttaessa päästöt voivat pienentyä 10 t CO_2-ekv./ha/v (Maljanen ym. 2010, Lehtonen ym. 2021).

ENNALLISTAMINEN

Ennallistavan vettämisen päästövähennyspotentiaali vaihtelee lähtötilanteen mukaan. Esimerkiksi jos vetettävä pelto on ollut nurmiviljelyssä, päästövähennys on yli 20 t CO_2-ekv./ha/v, ja jos se on ollut yksivuotisten kasvien viljelyssä ja muutetaan ensin nurmelle ennen vettämistä, vähennys voi olla jopa yli 30 t CO_2-ekv./ha/v (Lehtonen ym. 2024). Kekkonen ym. (2019) soveltamien IPCC:n päästökertoimien perusteella vastaavat arviot ovat noin 24 t CO_2-ekv./ha/v nurmelta ja noin 34 t CO_2-ekv./ha/v yksivuotisviljelystä vettämiseen siirryttäessä.

Perustamiskustannuksiksi on arvioitu noin 2 500 €/ha, mikä viiden prosentin korkokannalla vastaa noin 125 €/ha/v (Lehtonen ym. 2024). Perustamiskustannukset voivat olla myös tätä suuremmat, noin 4 500 €/ha, kuten on toteutumien keskiarvo ns. Sotka-kosteikoissa (Kekkonen et al. 2026). Viljelijälle koituu investointikustannusten lisäksi tulonmenetyksiä viljelystä luopumisesta. Lisäkustannuksia voivat aiheuttaa vesitalouden suunnittelu sekä mahdolliset investoinnit lisäveden ohjaamiseksi kasvukaudella (Saarnio ym. 2025, Lehtonen ym. 2024). Kustannusvaikuttavuudeksi saadaan edellä kuvatuilla kustannuksilla ja päästövähennyksillä noin 4–6 €/t CO_2-ekv. Tässä ei ole kuitenkaan mukana vaihtoehtoiskustannusta eli tulonmenetyksiä viljelystä luopumisesta.

Parhaimmillaan, jos vetetään maataloustukien ulkopuolella olevia turvemaita, voidaan päästä myös vaihtoehtoiskustannukset mukaan lukien jopa alle 10 €/t CO2-ekv. päästövähennyskustannukseen, jos pellon tuottoarvo on vähäinen ja suorat vettämiskustannukset esim. ojia padottamalla ovat alhaiset, eikä viljelijälle koidu tulonmenetyksiä maataloustukien menettämisen vuoksi, eli pelto katsottaisiin edelleen tukikelpoiseksi jonkin tukikelpoisen kasvin kuten ruokohelven viljely vuoksi (Koljonen ym. 2017). Vastaavaan kustannukseen voidaan päästä myös pelloilla, joille maataloustukea ei makseta ja joilla vettämiskustannukset ovat alhaiset.

MUUT PÄÄSTÖVÄHENNYKSIIN JA KUSTANNUKSIIN VAIKUTTAVAT ASIAT

Edellä on lueteltu yksittäisten toimien vaikutuksia turvepeltojen päästöihin ja eri toimien päästövähennyskustannuksia. Ohjauskeinojen toteutustapa vaikuttavaa myös päästövähennyksien toteutumiseen. Siksi on haastavaa arvioida millaisiksi päästövähennykset muodostuvat tilanteissa, joissa useita eri keinoja käytettäisiin samanaikaisesti tai joissa eri maatalouden tuotantosuunnissa valittaisiin alueittain sopivimmat keinot. Lehtonen ym. (2024) tarkastelivat turvepeltojen käytön tiekartta -tutkimuksessa vuonna 2022 viljelykäytössä olleiden turvepeltojen päästövähennysmahdollisuuksia maakunnittain ja koko maassa yhteensä, kun käytettiin erilaisia soveltuvia keinoja maatalouden tuotantoa vähentämättä eri maatalouden tuotantosuunnissa maakunnittain. Tarkastelu tehtiin kahdessa eri muutospolussa, tuotantomahdollisuuksia painottavassa ja ympäristötavoitteita painottavassa muutospolussa. Eri keinot, säätösalaojitus, nurmipeitteisen osuuden lisääminen, ilmastokosteikot ja muut korkean pohjavedenpinnan kosteikot painottuivat eri tavalla kahdessa eri muutospolussa: Ympäristöpainotteisessa muutospolussa pysyvän vettämisen alaa oli 52 000 ha, säätösalaojituksen 26 000 ha (pysyvää tai osittaista pohjaveden pinnan nostoa yhteensä 78 000 ha alalla) ja pysyvän nurmen alaa (joka lasketaan turvepeltojen ns. ennallistamistoimeksi vaikka ei johtaisikaan pohjaveden pinnan nousuun tai päästövähennyksiin) 56 000 ha. Tuotantotavoitteita painottavassa skenaariossa vastaavat alat olivat 24 000 ha, 40 000 ha (pysyvää tai osittaista pohjavedenpinnan nostoa yhteensä 64 000 ha alalla) ja 52 000 ha. Nämä pinta-alat jakautuivat hyvin eri tavalla eri alueilla 2022 pellonkäytön ja eläintiheyksien mukaan. Näin toimien seurauksena ympäristöpainotteisessa muutospolussa aktiivisen viljelyn ulkopuolelle - eli pysyvästi vetetyksi alaksi tai pysyväksi nurmeksi - arvioitiin päätyvän 2022–2050 noin 90 000 ha ja tuotantomahdollisuuksia painottavassa muutospolussa noin 63 000 ha.

Hylättyjen peltoala todennäköisesti kasvaa, kun maatilojen lukumäärä vähenee. Hylättyjen peltojen alan lisäykseksi vuoteen 2050 mennessä arvioitiin turvepeltojen käytön tiekartassa vain 10 000–13 000 ha. Näistä turvepeltoja arvioitiin olevan vain noin 4 000 ha. Näiden arvioiden pohjana olivat todennäköisyyssimuloinnit, joissa maatiloja poistui tuotannosta 2000–2022 toteutuneen trendin mukaisesti, jolloin arvioitiin niiden peltolohkojen alaa, jotka jäävät yli 5 km päähän tilakeskuksesta. Näiden peltolohkojen joukosta noin 34 % oli keskimäärin turvepeltoja ja ne sijoittuivat pääosin Lappiin, Kainuuseen ja Pohjois-Pohjanmaalle. Hylätyksi pelloksi arvioitiin jäävän hyvin pieni osuus peltoalasta muissa maakunnissa (Lehtonen ym. 2024). Metsittämisellä oli hyvin vähäinen rooli tarkastelussa, koska reunaehtona pidettiin maatalouden tuotantoedellytysten turvaamista. Hylätyn pellon metsittämisessä toki saataisiin suurempi vähennys kasvihuonekaasupäästöissä yli 20 vuotta metsityksestä, mutta tätä ei huomioitu päästövähennysmahdollisuutena.

Ympäristötavoitepainotteisen muutospolun tapauksessa koko maan turvepeltojen kasvihuonekaasupäästöjen vähennykseksi laskettiin noin 2,2 Mt CO2-ekv. eli noin 28 % (herkkyysanalyysissä 18–28 %) 2024–2050 ja tuotantotavoitteita painottavassa muutospolussa 1,3 Mt CO2-ekv. eli noin 17 % (herkkyysanalyysissä 8–17 %) 2024–2050. Kokonaiskustannukseksi vuotta kohti laskettiin 19–47 milj. € (keskiarvo noin 35 milj. €) ympäristötavoitteisessa muutospolussa ja 15–33 milj. € (keskiarvo noin 25 milj. €) tuotantotavoitepainotteisessa muutospolussa. Kustannukseksi hiilidioksidiekvivalenttia päästövähennystonnia kohden turvepeltojen käytön muutoksista saatiin ympäristötavoitteita painottavassa muutospolussa 22,7 €/t CO2-ekv. (vaihteluväli 15,5–28,2 €/t CO2-ekv.). Vastaavasti tuotantotavoitteita painottavassa muutospolussa saatiin päästövähennyskustannukseksi 30,8 €/t CO2-ekv. (vaihteluväli 23,1–37,7 €/t CO2-ekv.). Nämä päästövähennyskustannukset ovat noin 20–40 % korkeampia, jos herkkyysskenaarioiden mukaisesti säätösalaojituksesta ja yksivuotisten kasvien viljelyn vähentämisestä turvepelloilla ei saadakaan täyttä tai ei lainkaan päästövähennystä verrattuna kasvihuonekaasuinventaarion kertoimilla laskettuun päästövähennykseen. Siinä tapauksessa kaikki muutospolkujen turvepeltojen käytön muutokset huomioiden päästövähennyskustannukset jäävät keskimäärin noin tasolle 30–40 €/t CO_2-ekv. (Lehtonen ym. 2024).

Turvepeltojen satoisuuteen vaikuttavat maaperän happamuus, vesitalous ja ravinnesuhteet vaihtelevat, vaikkakaan niistä ei ole kattavaa tilastointia. Vetettävillä heikkotuottosilla turvepelloilla päästövähennystoimenpiteiden tavoitetilana voidaan pitää joko viljelemättä jättämistä, märkää nurmea viljan viljelyn sijaan, kosteikkokasvien viljelyä tai ilmastokosteikkoa. Hyvätuottoisilla vettämiskelpoisilla turvepellolla olisi realistista pyrkiä joko märkään nurmeen viljan viljelyn sijaan, säästösalaojituksen hyödyntämiseen vesienhallinnassa, jolloin voidaan saavuttaa sekä päästövähennyksiä (sekä ilmaan että vesiin), että satohyötyjä (Myllys ym. 2025), tai kosteikkokasvien viljelyyn. Huonotuottoisilla, vettämiskelvottomilla turvemailla päästövähennystoimissa on mahdollista päästä tilaan, jossa viljelijä luopuu pellon viljelytoiminnasta tai metsittää pellon.

Maanomistajien odotusarvoon päästövähennystoiminnan korvauksesta vaikuttaa olennaisesti kuinka hyvätuottoisena he kokevat turvepeltonsa. Tällä hetkellä ei ole kuitenkaan tietoa, miten paljon ja missä päin heikkotuotteisia turvemaita on, minkä takia nykytiedon valossa on hyvin vaikea arvioida turvepeltojen päästövähennyspotentiaalin ja valtiolta tarvittavan tuen määriä. Joka tapauksessa turvepelloista 15 000–30 000 ha on ollut vuosittain kesannolla. Lisäksi maan keski- ja pohjoisosissa turvepelloista on nurmipeitteisiä 70–95 % (maan keskiarvo noin 65 %) riippuen alueesta (Turvepeltojen käytön tiekartta; Lehtonen ym. 2024). Turvepellot ovat pääosin nurmena myös kasvitiloilla, jotka eivät tarvitse nurmirehua omassa toiminnassaan. Tämä kertoo siitä, ettei läheskään kaikille turvepelloille ole suuressa osassa maata käyttöä kannattavassa ruuantuotannossa. Tällaiset turvepellot olisi yhteiskunnan ilmasto-, luonto- ja vesiensuojelutavoitteet huomioiden järkevämpää muuttaa kosteiksi turvepelloiksi kuin pitää pellot nykyiseen tapaan kuivatettuina suurina kasvihuonekaasupäästöjen lähteinä. Tähän voidaan päästä joko säätösalaojituksen keinoin tai pysyvästi märiksi pelloiksi padotuksen ja muun vesienhallinnan keinoin. Tällöin pelto säilyisi edelleen avoimena ja olisi myöhemmin käytettävissä viljelysmaana, jos sille ilmenee tarvetta, padotusta ja muuta vesienhallintaa purkamalla.

4.3.3 Ohjauskeinot

Turvemaapeltojen ilmastotoimien suoran talousohjauksen ydin muodostuu EU:n yhteisen maatalouspolitiikan (CAP, *Common Agricultural Policy*) pohjaisista investointituista ja hoitokorvauksista. Suomessa ei toistaiseksi ole erillistä, ilmastotoimen päästövähennykseen sidottua tukijärjestelmää, joka maksaisi turvemaapeltojen vähennyksistä suoraan tonniperusteisesti. Nykyiset CAP-tuet kohdentuvat ensisijaisesti vesiensuojeluun ja luonnon monimuotoisuuteen, ja ilmastovaikutus syntyy näin ollen

pääosin välillisesti. Ilmastotoimista pysyvä vettäminen voi joissain tapauksissa heikentää tukikelpoisuutta. Perustuki on Etelä-Suomessa (AB-alue) 141 €/ha, jonka lisäksi on mahdollista saada ekojärjestelmätukea 50 €/ha, Less Favoured Area, LFA-tukea 242 €/ha ja ympäristökorvauksen tukia 50–100 €/ha. Peltoalatukien kokonaismäärä vaihtelee viljelijän valintojen ja sitoumusten mukaan 450–550 €/ha, ja vettäminen voi nykysäännöin joissakin tapauksissa johtaa tukien menetykseen (Viitala ym. 2022).

Edellä mainituista CAP-instrumenteista investointituet madaltavat kynnystä säätökaivoihin, säätösalaojitukseen, vettämiseen ja kosteikkoviljelyinfrastruktuuriin. Investointitukien taso vaihtelee välillä 1 800–2 000 €/ha säätösalaojitukselle ja ilmastokosteikoille. Joissain tuissa vähimmäistukikelpoisuuden kriteerit ovat korkeat, asettaen esimerkiksi tukikelpoisen hankkeen minimikooksi 7 500 € (Wejberg ym. 2024, Laturi ym. 2022, Myllys ym. 2024). Hoitokorvaukset taas kattavat ylläpidon, joka on vesitaloustoimissa hinnaltaan noin 70–214 €/ha/v, ilmastokosteikoissa 400–500 €/ha/v ja nurmivaltaistamisessa noin 100–150 €/ha/v (Lehtonen 2022, Maanavilja ym. 2021, Laturi ym. 2022, Wejberg ym. 2024).

Nykyisten tukien täydennykseksi on esitetty tulospohjaista €/t CO_2-ekv.-palkkiota, eli teknologianeutraalia ja menetelmäriippumatonta tukea, jolla palkittaisiin verifioidut vähennykset. Mallilaskelmat viittaavat siihen, että tyypillisten kasvinviljelytilojen tapauksissa noin 10–20 €/t CO_2-ekv. ja kotieläintiloilla viimeistään 30 €/tCO_2-ekv. ohjaustaso riittää muuttamaan turvepeltojen ojitusratkaisuja ja käyttöä (Lehtonen ym. 2022, Rämö ym. 2025). EU:n pysyvää hiilenpoistoa, hiiliviljelyä ja hiilen varastointia tuotteisiin koskeva sertifiointikehys (EU) 2024/3012 (Carbon Removals and Carbon Farming (CRCF) Regulation; kts. Tietolaatikko 3) tarjoaa tähän potentiaalisen kehikon, mutta ei vielä toistaiseksi rahoitusta, jota tulee saataville sitten, kun vapaaehtoisilla hiilimarkkinoilla olisi riittävästi ostajia ja myyjiä (Lehtonen 2022, Lehtonen ym. 2024).

Kun turvepellon käyttöaste ja tuottavuus on ennestään alhainen, turvepeltoja voidaan vettää alhaisillakin kustannuksilla ja viljelijän tulonmenetyksillä (Wejberg ym. 2024, Rämö ym. 2025). Valtiolle vettäminen aiheuttaa aluksi kustannuksia, kun viljelijöille ja maanomistajille maksetaan ilmastokosteikon hoitopalkkiota ja perustamiskustannuksia. Nämä kustannukset ovat kuitenkin samaa suuruusluokkaa kuin tavanomaisen, turvemaita kuivana pitävän viljelyn nykyinen tukitaso (noin 500 €/ha vuodessa). Heikkotuottoisilla turvepelloilla, joilla on usein vähäinen merkitys maatilojen tulojen ja ruuantuotannon kannalta, vettäminen toisi vastineeksi vähennyksiä kasvihuonekaasupäästöihin ja vesistökuormitukseen ja voisi parantaa luonnon monimuotoisuutta (Lehtonen ym. 2024).

Maaperän kasvihuonekaasupäästöille asetettava päästövero ohjaa mallilaskelmien mukaan noin 12–20 €/t CO_2-ekv. tasolla, tilatyypistä ja turvemaaosuudesta riippuen, käynnistämään investoinnit säätösalaojitukseen. Vero voi toteutua ilman pysyviä tulonmenetyksiä viljelijöille etenkin, jos siihen yhdistetään tuotannosta riippumaton kertakorvaus ja investointituki, jolloin päästövähennyskustannus jää valtion maksettavaksi. Käytännön haasteet liittyvät turvemaiden tunnistamiseen, päästökertoimien epävarmuuteen ja hallinnolliseen toteutettavuuteen (Purola & Lehtonen 2022).

Taloudellisten kannustimien ja verojen rinnalla päästöjä voidaan hillitä myös sääntelyllä. Uudisraivauksen rajoittaminen ja maankäytön muutosmaksu ehkäisevät uusien päästölähteiden syntyä ja ohjaavat pinta-alaa pois riskikohteista; kaavoituksen ja vaikutusarvioinnin vahvistaminen hyödyntää olemassa olevaa infrastruktuuria (Kärkkäinen ym. 2020, Maanavilja ym. 2021). Erityisenä haasteena päästövähennysten toteutumiselle turvemaapelloilla on ollut uuden pellon raivauksen painottuminen turvemaille. Uuden turvemaan raivaus on hidastunut CAP-ohjelman GAEC (Good Agricultural and Environmental Conditions) 2 -ehdollisuusvaatimuksen (pysyvä nurmetus) myötä, mutta ei ole pysähtynyt. Vuosina 2024–2025 uutta turvemaata otettiin vuotuisesti käyttöön maatalousmaaksi keskimäärin 237 hehtaaria, mikä oli noin 37 % uuden maatalousmaan kokonaispinta-alasta (Helin ym.

2025). Turvemaiden osuus uusista lohkoista pysyy siis korkeana huolimatta ehdollisuusmuutoksista. Raivauspainetta voidaan osaltaan hillitä myös lannan prosessoinnin tutkimus-, kehittämis- ja innovaatiotoiminnan (TKI) tuella, joka voi vähentää lisälevitysalan tarvetta ja siten pellonraivauspainetta, joka kohdistuu karjatila-alueilla usein turvemetsiin (Kärkkäinen ym. 2020). CAP-järjestelmän rakenteellinen ongelma on, että pinta-alatuet kannustavat pitämään maatalouskäytössä myös heikkotuottoista turvemaata, koska maatalousmaasta luopuminen vähentää viljelijän saamia tukia (Helin ym. 2025, Ympäristöministeriö 2025).

Tietolaatikko 3. Euroopan unionin asetus vapaaehtoisista hiilimarkkinoista.

EU:n vapaaehtoiset hiilimarkkinat

Kotimaisten vapaaehtoisten hiilimarkkinoiden kehitystä ohjaa merkittävästi EU-sääntelyn kehittyminen. Asetus pysyvää hiilenpoistoa, hiiliviljelyä ja hiilen varastointia tuotteisiin koskevasta lainsäädännöstä (EU) 2024/3012 astui voimaan joulukuussa 2024.

Tämän CRCF (Carbon Removals and Carbon Farming, aiemmin myös Carbon Removal Certification Framework) -asetuksen tarkoituksena on luoda jäsenvaltioiden toimijoille vapaaehtoinen ja läpinäkyvä toimintamalli sertifioitujen hiiliyksiköiden tuottamiselle, laskentamenetelmille, seurannalle ja kaupankäynnille, sekä varmistaa sertifioitujen yksiköiden laatu ja pysyvyys. Komissio luo näin osaltaan puitteet hiilimarkkinoiden kehittymiselle määrittämällä sertifiointimenetelmät, tunnustamalla sertifiointijärjestelmät ja perustamalla EU-rekisterin yksiköille.

Sertifioidut yksiköt kirjataan rekisteriin, joka sisältää tiedon hiiliyksiköiden ominaisuuksista, omistajuudesta ja voimassaolosta. Sertifioituja yhden CO_2-ekv. suuruisia yksiköitä voidaan tuottaa erilaisin menetelmin, joiden tuottamien yksiköiden pysyvyydessä on eroja. Näistä AFOLU-sektorille keskeisiä ovat

1. **tuotteeseen varastoidun hiilen yksiköt**, joita tuottaa hiilen varastointi elinkaareltaan yli 35 vuotta kestäviin tuotteisiin, kuten puutuotteisiin
2. **hiiliviljelyn tai maaperäpäästöjen vähennysten yksiköitä,** joita tuotetaan parantamalla puuston tai maaperän hiilensidontaa tai vähentämällä maaperäpäästöjä. Toimia voivat olla esimerkiksi turvemaiden vettäminen ja joutomaiden metsittäminen.

Tuotetuilla sertifioiduilla yksiköillä voidaan käydä kauppaa EU:n alueella ja yksiköitä voidaan käyttää EU:n vuoden 2030 jälkeisten ilmastotavoitteiden tukena. Komissio voi tukea hiilenpoistohankkeiden menetelmäkehitystä, sekä hiilen talteenottoteknologian kehitystä rahoitusohjelmien kuten Horisontti Eurooppa -puiteohjelman ja innovaatiorahaston kautta.

Meneillään olevaan poliittiseen valmisteluun liittyy esimerkiksi yksiköiden rooli päästökauppajärjestelmässä, sekä kytkentä LULUCF-asetukseen ja siinä määritettyihin kansallisten tavoitteiden joustomahdollisuuksiin.

Mainittu GAEC-ehdollisuus muodostaa laajemminkin tukien perusuratason. Pysyvän kasvipeitteisyyden vaatimus, muokkausrajoitukset orgaanisilla mailla ja vähimmäistasot vesitalouden hallinnassa määrittävät tukien perusuratason. Vesitaloustoimissa tämä ehto kannattaisi sitoa vedenpinnan tavoitetasoon (noin 5–30 cm maanpinnan alapuolella) vaikuttavuuden varmistamiseksi (Viitala ym. 2022, Miettinen ym. 2022). Tämän perusuran ylittävä osuus päästövähennyksiä tuottaisi siten lisäisyyttä, joka voitaisiin puolestaan rahoittaa tulosperusteisilla €/t CO_2-ekv. -instrumenteilla.

Vedenpinnan tavoitetason ylläpito edellyttää tilakohtaista vesitalouden suunnittelua sekä säädettävää ja automatisoitua kuivatusta ja kastelua, koska kustannusvaikuttavuus riippuu vedenpinnan ylläpidosta erityisesti kuivina jaksoina (Wejberg ym. 2024). Mittauksen, raportoinnin ja varmentamisen (MRV)

kehittäminen vedenpinnalle ja kasvihuonekaasuvirroille alentaa hallintokuluja ja mahdollistaa tulospohjaisen ohjauksen laajentamisen (Lehtonen ym. 2024, Chen ym. 2024, Niemi ym. 2024, Wejberg ym. 2024). Vesilupaehdot puolestaan mahdollistavat vaatimukset vedenpinnan vähimmäistasosta ja rajoitukset lisäkuivatukselle riskialueilla.

Tietolaatikko 4. Jakeluvelvoitteen joustomekanismissa hyväksytyt vaihtoehtoiset päästövähennystoimet.

Jakeluvelvoitteen joustomekanismi

Jakeluvelvoitteella tarkoitetaan polttoaineenjakelijoille asetettua velvoitetta edistää uusiutuvien polttoaineiden ja uusiutuvan liikennesähkön käyttöä tieliikenteessä fossiilisten polttoaineiden sijaan. Jakeluvelvoitteen joustomekanismin (364/2025) tarkoituksena on mahdollistaa kustannustehokkaat hillintätoimet ja tuoda joustavuutta jakeluvelvoitteen toteuttamiseen.

Joustomekanismilla polttoaineen jakelija voi täyttää jakeluvelvoitteestaan enintään 5,5 % rahoittamalla Suomessa toteutettavia vaihtoehtoisia päästövähennystoimia, ensisijaisesti taakanjakosektorilla ja enintään yhden prosenttiyksikön osalta maankäyttösektorilla.

Energiavirasto voi joustomekanismiasetuksen mukaisesti hyväksyä vaihtoehtoiseksi päästövähennystoimeksi:

1. fossiilisen öljyn tai kaasun käytöstä luopumisen pientaloissa sekä kuntien, seurakuntien ja yhdistysten omistamissa rakennuksissa
2. muut kuin lämmitysmuodon muutosta koskevat fossiilisen energian käyttöä vähentävät energiatehokkuustoimet
3. sähkökäyttöisten työkoneiden hankinnan
4. metsityksen
5. metsälannoituksen
6. turvemaiden pohjavedenpinnan säätelyn ja nostamisen
7. ruokinnalliset keinot kotieläinten kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi
8. biohiilen käytön maanparannusaineena
9. metsien kiertoaikojen pidennyksen
10. muut kuin 1–9 kohdassa mainitut päästövähennysten, hiilensidonnan ja hiilivaraston ylläpitotoimet taakanjako- ja maankäyttösektorilla.

Energiavirasto valvoo joustomekanismin käyttöä. Energiavirasto ei lähtökohtaisesti hyväksy esimerkiksi biohiilen käyttöä maanparannusaineena, koska toimi ei näy Suomen kasvihuonekaasuinventaariossa eikä toimea tulkita voitavan tällöin laskea mukaan taakanjako- tai maankäyttösektorin toimeksi eikä näin myöskään joustomekanismia toteuttavaksi toimeksi (Energiavirasto 2026).

Joustomekanismi voi vauhdittaa turvemaiden ilmastotoimia. St1 ja Valio ilmoittivat toukokuussa 2026 perustavansa Ekviton Oy:n (Valio 2026). Yhteisyritys aikoo hyödyntää jakeluvelvoitteen joustomekanismia ja rahoittaa ensimmäisenä turvemaiden ennallistamista (Valio 2026).

Turvemaapeltojen ilmastotoimien tilannekuva on heikko. Maankäyttösektorin ilmastosuunnitelman (Maa- ja metsätalousministeriö 2026A) seurantataulukon mukaan keskeisten turvepeltotoimenpiteiden, kuten turvepeltojen nurmiviljely, vedenpinnan nostotoimet ja ilmastokosteikot, toteumatieto puuttuu kokonaan. Kattava ja luotettava turvemaiden ilmastotoimien tiedonkeruu ja tiedon julkiseksi saattaminen on perusedellytys sille, että toimet vaikutuksineen voidaan ottaa huomioon mm. kasvihuonekaasuinventaariossa. Vuonna 2025 turvepeltojen nurmet CAP-toimenpidettä ilmoitettiin vain

noin 2 200 hehtaarilla ja kuluvan ohjelmakauden kosteikkoinvestoinneista ainoastaan 5 kahdeksastakymmenestäkuudesta on ilmastokosteikkoja (Maa- ja metsätalousministeriö 2026A). Lisäksi turvepeltojen kosteikkotoimiin aiemmalla hallituskaudella osoitetut määrärahat on peruttu, mikä on heikentänyt toimeenpanoa edelleen. Julkisen rahoituksen vähentyessä uudeksi rahoituslähteeksi voi muodostua jakeluvelvoitteen joustomekanismi, jonka kautta polttoaineen jakelijat voivat rahoittaa myös turvemaiden pohjavedenpinnan nostoa (ks. tietolaatikko 4). EU:n ennallistamisasetus luo tulevaisuudessa uuden velvoitteen vettämispinta-alojen määrästä. Viljelyksessä olevista turvepelloista puolet on ennallistettava vuoteen 2050 mennessä, josta vähintään kolmannes vettämällä, ellei asetuksen sallimia joustoja käytetä, jolloin villjelyksessä olevien turvepeltojen sijasta vetetään hylättyjä peltoja, entisiä turvetuotantoalueita ja ojitettuja suometsiä (Lehtonen ym. 2024, Helin ym. 2025, Kekkonen ym. 2026). Suomen kansallisessa valmistelussa on korostettu ennallistamisasetuksen salliman liikkumavaran hyödyntämistä, vapaaehtoisuutta sekä mahdollisuutta toteuttaa osa turvemaiden vettämistoimista turvetuotantoalueilla ja ojitetuissa suometsissä (Maa- ja metsätalousministeriö 2026A). Tämä voi tarkoittaa sitä, että turvepeltojen vettäminen osana ennallistamissuunnitelmaa jää vähäiseksi (Maa- ja metsätalousministeriö 2026B). Kansallinen ennallistamissuunnitelma oli toimitettava komissiolle syyskuussa 2026, mutta Suomi sai tähän lisäaikaa ja ennallistamissuunnitelman luonnos toimitettiin komissiolle marraskuussa 2026. Komissiolla on kuusi kuukautta aikaa toimittaa palautetta luonnoksesta.

5 MAATALOUDEN ENERGIAN KÄYTTÖ

Maatalous aiheuttaa myös päästöjä, jotka raportoidaan maatalous- ja maankäyttösektoreiden ulkopuolella. Vaikutukset tulevat suurelta osin maatalouden suorasta ja epäsuorasta energiankäytöstä eli tuotantopanosten valmistuksesta. Näiden päästöjen suuruusluokka on pieni verrattuna maatalouden metaani-, dityppioksidi- ja hiilivarastovaikutuksiin. Maatalouden energiankäytön ilmastovaikutusten vähentäminen on mahdollista esimerkiksi aurinkoenergian ja sähköistymisen kautta.

5.1 NYKYTILA JA PÄÄSTÖJEN VÄHENTÄMISEN HAASTEET

Maatalouden energiankäyttöä voidaan tarkastella kahdesta suunnasta edeten: top-down lähestymistavassa koko maan energiankäyttö jaetaan sektoreille, bottom-up lähestymistavassa tarkastellaan yksittäisten tilojen energiankäyttöä ja skaalataan sitä kohti koko maan tasoa. Kasvihuonekaasuinventaariossa maa- ja metsätalouden työkoneiden päästöt ovat yhteensä 0,92 Mt CO_2 ja lisäksi tilojen lämmitys ja viljankuivaus tuottaa päästöjä 0,41 Mt CO_2. Lisäksi päästöjä syntyy sähköntuotannossa ja lämmityksessä käytetyn puubiomassan poltosta. Tiloilta kerättyjen tietojen skaalaaminen koko maan tasolle tuottaa noin 8–12 TWh energiankulutuksen, josta sähköä on 1,6 TWh, moottoripolttoöljyä 2,5 TWh, lämmityspolttoöljyä 1,1 TWh, metsä- ja peltobiomassoja 3,7 TWh, turvetta 0,5 TWh ja ostettua kaukolämpöä 0,8 TWh (SVT 2025). Suora energiankulutus jakautuu melko tasaisesti kasvintuotannon (42 %) ja kotieläintalouden (40 %) tuotantosuuntien maatilojen välille, loppuosuus energiasta (18 %) käytetään kasvihuonetuotannossa. Energiamuotojen käytössä on eroja toimialojen välillä. Kasvihuonetuotanto käyttää suuren osa sähköstä ja turpeesta, lämmityspolttoöljyä käytetään eniten kasvinviljelyssä (viljan kuivaus) ja kotieläintalous käyttää suoraan merkittävästi sähköä ja metsäbiomassoja. Suoran energiankäytön lisäksi kotieläintalouden merkitystä energian käytössä lisää se, että osa kasvinviljelyn piiriin luettavasta energiakäytöstä palvelee eläintuotantoa rehuviljelyn kautta.

Suurin osa suorasta energiankäytöstä tapahtuu kasvinviljelyssä liikkuvissa työkoneissa, mikä sisältää varsinaisten kasvinviljelytilojen lisäksi myös etenkin nautatilojen rehuketjun. Suurin osa epäsuorasta energiankäytöstä aiheutuu typpilannoitteiden valmistuksesta. Ammoniakin valmistuksen maailmanlaajuinen keskimääräinen nettoenergiantarve oli IEA:n (2021) mukaan noin 41 GJ ammoniakkitonnia kohti, mikä vastaa noin 13,8 kWh:ta ravinnetyppikiloa kohti. Tehokkaimmalla maakaasupohjaisella tuotantotekniikalla vastaava energiantarve oli noin 9,4 kWh/kg N. Luvut koskevat ammoniakin tuotantoa eivätkä sellaisinaan koko valmiin typpilannoitteen valmistus- ja toimitusketjua. Jos typpilannoitteen energiankulutukseksi arvioidaan noin 13 kWh/kg N,, se vastaa nykylannoitusmäärillä (159 000 t N/vuosi) noin 2,1 TWh. Suomessa ei valmisteta ammoniakkia, joten tämä kohdentuu ammoniakin tuotantomaan päästöinventaarioon (lähinnä Venäjälle, Tullin tuontitilastot 2026). Keskeisimmät päästöjen vähentämispotentiaalit liittyvät typpilannoituksen vähentämiseen (käsitelty luvussa 4.1. peltojen lannoitus), työkoneiden energiankulutuksen pienentämiseen esimerkiksi työtekniikan, traktoriteknologian tai sähköistämisen kautta, vähäpäästöisempiin polttoaineisiin, kuten biokaasu tai biodiesel, siirtymiseen, sekä polttoon perustumattomiin lämmitysvaihtoehtoihin, kuten lämpöpumput ja aurinkolämpö, siirtymiseen.

Merkittävimmät energiankäytön säästömahdollisuudet liittyvät järjestelmätason muutoksiin. Mikäli suomalaisen ruuantuotantojärjestelmän tuotanto muuttuu, se heijastuu myös alkutuotannon energiankäyttöön. Tuotannon supistuminen vähentää energiankulutusta, mutta toisaalta esimerkiksi siirtymä palkoviljoihin voi lisätä kuivausenergian kulutusta tuotettua yksikköä kohden huomattavasti. Jos

tuotanto halutaan pitää samana tai sitä halutaan kasvattaa esim. ruokaturvan varmistamiseksi, energiansäästössä jää jäljelle tehokkuuden parantamiseen tähtäävät keinot. Maataloudessa on ollut meneillään voimakas rakennemuutos, jossa maatilojen määrä on vähentynyt vuosien 2010–2025 välillä 33 % (19 658 kpl). Maatalouden fossiilisen energian käytön määrä ei kuitenkaan ole vähentynyt ja moottoripolttoöljyn kulutus on jopa kasvanut, koska tilakoon kasvu on lisännyt polttomoottori- ja sähkökäyttöisten koneiden käyttöä. Pitkällä aikavälillä maatilojen lukumäärän väheneminen voi johtaa myös konetyön käytön tehostumiseen tuotettua yksikköä kohden, mutta tämä ei ole varmaa peltorakenteen pirstaleisuuden ja suurten kuljetusetäisyyksien vuoksi.

Perushaasteena energiankäytössä on fossiilisen energian käyttö ja usein sen muuntaminen polttomoottoreissa heikolla hyötysuhteella liike-energiaksi. Maatalouden työkoneiden sähköistäminen on kuitenkin haastavaa. Esimerkiksi 100 kW:n traktori käyttää 10 tunnin työpäivän aikana 1000 kWh energiaa, mikä vaatisi 10 tonnin painoiset litiumakut. Tämä aiheuttaa merkittävän riskin maan tiivistymiselle ja oikeastaan koko traktorin voimansiirrolle. Paikallaan tapahtuvassa tai tilakeskuksen lähellä tapahtuvassa energiankäytössä mahdollisuudet sähköistämiselle ovat suurempia. Esimerkiksi rehun jakelu vaatii hetkellisesti suuria tehoja, mutta käyttöhetket ovat lyhyitä, jolloin akkujen koko pysyy maltillisena.

Energiankäytön vähentäminen ja vähäpäästöisimpiin polttoaineisiin siirtyminen ovat keskeisimmät keinot maatalouden energiaperäisten päästöjen vähentämiseksi. Polttoaineiden vaihdon osalta on huomattava se, että esimerkiksi biodieselin valmistus voi aiheuttaa huomattavia elinkaarisia päästöjä (ks. Tietolaatikko 2), jotka eivät näy suomalaisessa kasvihuonekaasuinventaariossa. Biometaani voi olla myös nousta merkittävään osaan maatalouden energiankäytössä. Suomessa on vireillä 41 biokaasulaitoshanketta, joiden suunniteltu tuotanto on yhteensä noin 1,7 TWh vuodessa (Suomen biokierto ja biokaasu 2026). Valtaosa uudesta tuotannosta olisi nesteytettyä biometaania. Suuri osa hankkeista perustuu maatalouden biomassoihin (Suomen biokierto ja biokaasu 2026), joten osa biometaanista voi tulla myös maatalouden ja sen työkoneiden käyttöön.

Tehokkuutta maatalouskoneiden energian käytössä voidaan kehittää huomattavasti. Ahokas ym. (2014) arvioivat, että melko yksinkertaisilla toimilla voitaisiin säästää 10–30 % energiasta työkoneiden käytössä ja viljankuivauksessa. Tämä arvio tehtiin ennen automaattiohjausta ja lämpöpumppujen teknologiakehitystä, joten nykypotentiaali voi olla selvästi suurempi.

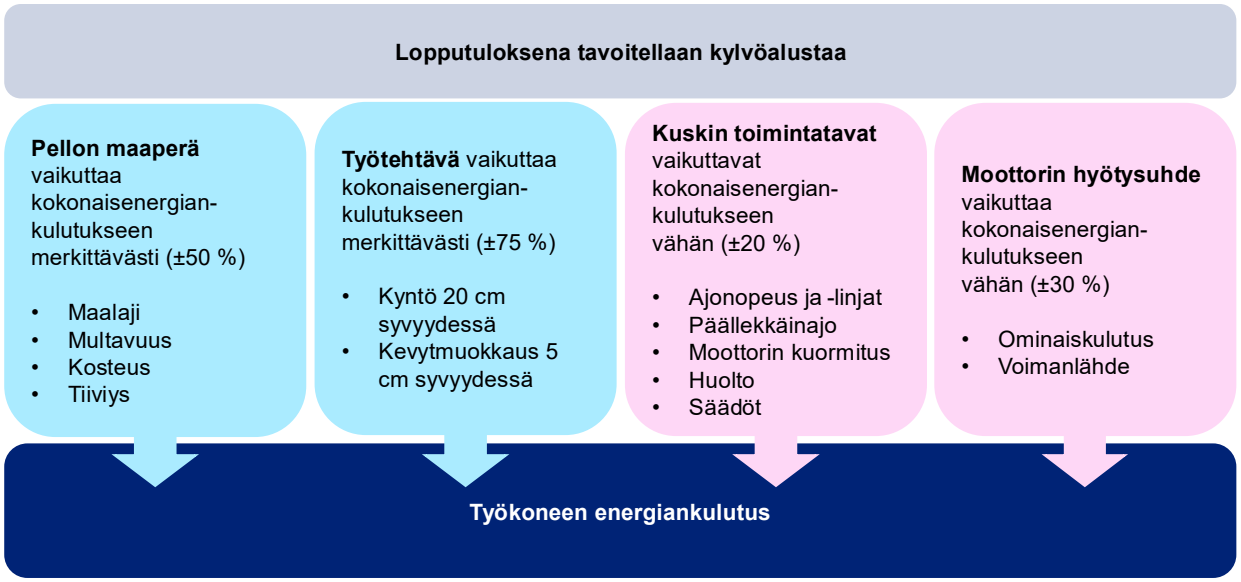
5.2 PÄÄSTÖVÄHENNYSARVIO JA KUSTANNUKSET

Keskeisimmät suoran energiankulutuksen vähentämiskeinot liittyvät suurimpiin energiankulutuskohteisiin: työkoneisiin, lämmitysöljyn käyttöön sekä kotieläintalouden tuotantorakennuksiin.

Uudemmilla dieseltraktoreilla hyötysuhde (g/kWh) voi olla noin 30 % parempi kuin vanhoilla traktoreilla ja siirtymä sähkötraktoreihin parantaisi hyötysuhdetta vielä huomattavasti lisää. Haasteena tekniikan uudistamiselle on työkoneiden vähäinen vuosikäyttömäärä. Traktoreita käytetään tiloilla keskimäärin 500 tuntia vuodessa, leikkuupuimureita alle 100 tuntia (Hulkkonen & Kaila 2021). Traktorit mitoitetaan 12 000–16 000 tunnin tekniselle käyttöiälle. Tämä tarkoittaa, että traktoreiden käyttöikä tiloilla on vuosikymmeniä ja että energiankulutuksen pienentämiseen tähtääviä suurempia investointeja tehdään harvoin.

Energiankulutusta voidaan vähentää olemassa olevalla työkonekalustolla tehostamalla ajotapoja, hyödyntämällä automaattiohjausta sekä keventämällä maanmuokkauksen ja rehunkorjuun menetelmiä (Kuva 6). Traktorin taloudellisella ajotavalla polttoaineenkulutusta voidaan vähentää noin 20 % (Ahokas 2013A). Myös työmenetelmän valitseminen mahdollisimman energiaa säästäväksi (ts. tilanpito,

viljelyjärjestelmät), voi vähentää energiankulutuksen murto-osaan (esim. suorakylvö vs. kyntöön perustuva muokkausketju). Lisäksi maaperän kunto ja esimerkiksi kosteusolosuhteet vaikuttavat selvästi etenkin muokkaukseen ja kylvöön liittyvään energiankulutukseen. Kuivan ja tiiviin maan muokkaus aiheuttaa noin kaksinkertaisen energiankulutuksen sopivan kostean ja kuohkeamman maan muokkaukseen verrattuna (Ahokas 2013a).



Kuva 6. Työkoneen energiankulutukseen vaikuttaa moni seikka varsinaisen traktorinmoottorin hyötysuhteen lisäksi. Keskeisimmät kokonaisenergiankulutukseen vaikuttavat tekijät ovat pellon maaperän ominaisuudet ja valittu työtehtävä. Kuskin toimintatavat ja moottorin hyötysuhde vaikuttavat kokonaisenergiankulutukseen vähemmän.

Kuten aiemmin mainittua, työkoneiden sähköistäminen olisi merkittävä parannus energiankulutukseen, mutta sen toteuttaminen on haastavaa maataloudessa, jossa työtä tehdään pitkäkestoisesti ja kaukana tilakeskuksesta. Esimerkiksi ensimmäiset massatuotantoon tulleet Fendt e100 Vario -traktorit kykenevät alle kahden tunnin jatkuvaan maksimitehon työhön (55 kW). Lisäksi työkoneen matala teho vastaa alinta kymmenystä Suomessa tällä hetkellä myydyistä koneista. 70 % myydyistä traktoreista on teholtaan kolminkertaisia tähän verrattuna ja nykyisten sähkötraktorien teho ei riitä raskaaseen maanmuokkaukseen tai rehunkorjuuseen. Eräs ratkaisu on siirtyä pienempiin, autonomisiin traktoreihin (esim. TraktorArvid Drever 120), joissa voidaan luopua ohjaamosta, mikä mahdollistaa vapaamman rakenteen ja suurempien akkujen sijoittelun.

Suurimmat päästövähennysmahdollisuudet peltotyötekniikassa löytyy työtekniikoiden valinnassa. Maan muokkauksessa kevytmuokkaukseen ja kyntöön perustuvien muokkausketjujen ero energiankulutuksessa voi olla noin 60 % (18 vs. 45 l/ha). Samoin rehun niitto- ja korjuuketjussa energiankulutus voi olla kuljetuksineen säilörehun kolmella korjuukerralla 45–88 l/ha tai kuivaheinän yhdellä korjuukerralla 20 l/ha, mutta vaihtelu tilojen ja järjestelmien välillä on suurta (Ahokas ym. 2013A). Työtekniikoiden soveltuvuus tilojen tuotantoon ja viljelyjärjestelmiin on kuitenkin tilannekohtaista. Potentiaalia energiansäästöön on, mutta sen käyttöönotto noin 40 000 maatilan yksilöllisissä kokonaisuuksissa on haastavaa.

Noin kolmasosa kasvintuotannon energiankäytöstä kuluu viljan kuivaukseen. Viljan kuivauksessa suurimmat säästöt voivat tulla siitä, että viljellään kasveja, jotka saadaan korjattua jo valmiiksi melko kuivina, esimerkiksi syysviljoja, lyhyen kasvukauden kasveja tai osaa öljykasveista). Suomen epävakaat sääolot ja pidemmän kasvukauden kasvien korkeampi satopotentiaali rajoittavat kuitenkin tätä mahdollisuutta. Lisäksi tämänhetkiset palkoviljat korjataan melko korkeassa kosteudessa, mikä lisää kuivaustarvetta. Jos kasvilaji ja korjuuajankohta on sidottu, energiaa voidaan säästää vaikuttamalla kuivaustekniikkaan. Viljan kuivaus tehdään nykyään lähes kokonaan lämminilmakuivauksella, mutta aiemmin laajemmin käytetty kylmäilmakuivaus säästäisi energiaa huomattavasti. Automaation ja valvonnan avulla tämän vaihtoehdon työläyttä voisi vähentää (esim. Viljakas-konsepti[2]), mutta käyttöönottoon haasteet liittyvät mm. viljan laadun varmistamiseen. Lämpötiloja nostamalla ja kuivureiden eristystä parantamalla voidaan vähentää polttoaineenkulutusta noin 10–30 %. Mikäli lämpötiloja nostetaan huomattavasti, tämä vaikuttaa viljelyjärjestelmään (rehuvilja vs. siemen vs. mallas) sekä vaatii kuivuritekniikan päivittämistä. Jos tavoitteena on tuottaa lähinnä rehuviljaa, viljan kosteus voidaan jättää suuremmaksi tuulettavassa varastosiilossa tai siirtyä murskesäilöntään, mikä poistaa kuivauksen tarpeen. Lämpöpumppuja on testattu viljankuivauksen tehostamiseksi talteen ottamalla poistoilmasta lämpöä, mutta haasteena on lämmönvaihtimien nopea likaantuminen poistoilman pölyisyydestä ja kosteudesta johtuen. Kokeissa lämpöpumput ovat vähentäneet energiankulutusta noin 30 %.

Lämmön talteenotolla voi olla laajemmin käyttöä eri tuotantorakennusten lämmityksessä. Nautataloudessa on siirrytty pitkälti kylmiin tuotantorakennuksiin, joissa lämmitystä on vain paikallisesti, mutta etenkin maidon jäähdytys kuluttaa paljon sähköenergiaa (Ahokas 2013B). Lämpöpumppujen avulla maidon jäähdytyksen energiaa voidaan käyttää lypsyjärjestelmän pesun tarvitseman kuuman veden tuottoon. Sika- ja siipikarjatalouden tuotantorakennukset ovat talvella lämmitettyjä ja kesällä jäähdytettyjä, mikä lisää energiankulutusta, mutta energiankäyttö perustuu pääosin uusiutuviin energianlähteisiin (Hietala ym. 2024, Usva ym. 2023). Toisaalta eläimet tuottavat runsaasti lämpöä ja tehokkailla lämmönvaihtimilla on lämmitysenergian määrää saatu pudotettua jopa 90 % (Ahokas 2013B).

5.3 OHJAUSKEINOT

Maataloudesta löytyy energiansäästökeinoja kolmella tasolla: viljelyjärjestelmät, uusi teknologia ja käytäntöjen päivitykset. Viljelyjärjestelmien tasolla ohjaus tapahtuu markkinatilanteen ja toisaalta tukien kautta. Siihen vaikuttaa keskeisesti palkoviljojen tuotantomäärän taso ja siitä seuraava tuotannon suuntaaminen. Maataloudessa kaluston käyttöaika on pitkä, joten investointeja tehdään pitkäjänteisesti.

Uusien teknologioiden käyttöönottoa voidaan vauhdittaa investointituilla, jotka ovat jo nyt merkittävä maatalouden rahoituskeino. Uuden teknologian käyttöönottoon liittyy aina riskejä ja usein ongelmat havaitaan vasta käytön aikana. Esimerkiksi erilaisten lämmönvaihtimien likaantumishaasteet ilmenevät vasta käytössä todellisissa olosuhteissa. Toisaalta esimerkiksi maanmuokkauksen vaikutukset satoisuuteen riippuvat voimakkaasti vuoden kasvuolosuhteista. Erilaiset kokeilutuet ja yhteiskehittämishankkeet mahdollistavat riskien jaon ja onnistuneen teknologian käyttöönoton.

Maataloudessa on monia energiansäästökeinoja, jotka eivät vaadi juurikaan investointeja vaan vain käytänteiden päivitystä. Esimerkiksi kuivureiden lisäeristys tai satelliittipaikannukseen perustuva ajo-

[2] https://viljakas.fi/

opastus ovat edullisia toimia, joiden käyttöönottoa rajoittaa lähinnä saatavilla oleva neuvonta ja tiedonvälitys.

Eräs keskeinen, mutta alihyödynnetty mahdollisuus on maatalousneuvonnan Neuvo-järjestelmän tarjoamat tilan energiasuunnitelmat. Useimmiten tiloilta löytyy yksittäisiä ”energiavuotoja” (Ahokas 2014), jotka käyttävät suhteettoman suuren osan energiasta. Nämä löytyvät, kun tilan energiankulutusta verrataan vastaavanlaisiin tiloihin. Sekä Ahokas (2014) että Kaustell ym. (2024) kannustivat korvaamaan sirpaleista yksityiskohtiin liittyvää tietoa tilatason sovellettavalla ja systeemisellä tiedolla. Tästä huolimatta energianeuvonta on edelleen alihyödynnettyä. Maatalouden neuvontaa käytettiin vuosina 2014–2020 vain 284 kertaa, kun kaikkiaan neuvontakäyntejä tehtiin Suomessa yhteensä 44 000 (MMM 2019). Muilla toimialoilla energianeuvonnalla ja energiansäästöllä on saatu vaikuttavia tuloksia aikaan (23–28 % energiansäästö yhteiskunnan tasolla, Motiva 2024), mikä kannustaa tämän toiminnan lisäämistä myös maataloudessa.

OSA II — METSÄTALOUS

6. METSÄNHOITO 51

6.1 NYKYTILA JA PÄÄSTÖJEN VÄHENTÄMISEN KEINOT 51

6.2 PÄÄSTÖVÄHENNYSARVIO JA KUSTANNUKSET 52

6.2.1 PÄÄSTÖVÄHENNYSTEN TOTEUTTAMISEN OHEISHYÖDYT 53

6.3 OHJAUSKEINOT 53

7 OJITETTUJEN TURVEMAAMETSIEN KÄSITTELY 56

7.1 NYKYTILA JA PÄÄSTÖJEN VÄHENTÄMISEN KEINOT 56

7.1.1 JAKSOLLINEN KASVATUS 56

7.1.2 JATKUVAPEITTEINEN KASVATUS 57

7.1.3 KOSTEIKKOMETSÄTALOUS 57

7.2 PÄÄSTÖVÄHENNYSARVIO JA KUSTANNUKSET 58

7.2.1 PÄÄSTÖVÄHENNYSPOTENTIAALI METSIKKÖTASOLLA 58

7.2.2 KANSALLINEN PÄÄSTÖVÄHENNYSPOTENTIAALI 59

7.2.3 TOTEUTUSALA 59

7.2.4 KUSTANNUKSET MAANOMISTAJALLE JA KANSALLINEN TOTEUTUSTAPA 59

7.2.5 PÄÄSTÖVÄHENNYSTEN TOTEUTTAMISEN OHEISHYÖDYT 60

7.3 OHJAUSKEINOT 60

8 METSÄNLANNOITUS 63

8.1 NYKYTILA JA PÄÄSTÖJEN VÄHENTÄMISEN KEINOT 63

8.1.1 KIVENNÄISMAAMETSIEN TYPPILANNOITUS 63

8.1.2 BOORILANNOITUS 63

8.1.3 TURVEMAAMETSIEN TUHKALANNOITUS 64

8.2 PÄÄSTÖVÄHENNYSARVIO JA KUSTANNUKSET 65

8.3 OHJAUSKEINOT 65

9 PUUSTON VARHAISKEHITYKSEN OHJAAMINEN 68

9.1 NYKYTILANNE JA PÄÄSTÖJEN VÄHENTÄMISEN KEINOT 68

9.1.1 JALOSTETTU VILJELYMATERIAALI JA UUDISTUSALAN MAANMUOKKAUS 68

9.1.2 LISÄÄ HIILINIELUA JÄTTÄMÄLLÄ TAIMIKOT HOITAMATTA 69

9.1.3 TAIMIKONHOIDON VIIVEIDEN POISTO 69

9.1.4 TAIMIKON HARVENNUKSESSA JÄÄVÄN PUUSTON TIHEYDEN NOSTO 70

9.1.5 PÄÄSTÖJEN VÄHENTÄMISEN HAASTEET 70
9.2 PÄÄSTÖVÄHENNYSARVIO JA KUSTANNUKSET 71
9.3 OHJAUSKEINOT 71

10 SÄÄSTÖPUUT JA KUOLLEEN PUUN HIILIVARASTON LISÄÄMINEN 73
10.1 NYKYTILA JA PÄÄSTÖJEN VÄHENTÄMISEN KEINOT 73
10.2 PÄÄSTÖVÄHENNYSARVIO JA KUSTANNUKSET 73
10.3 OHJAUSKEINOT 74

11 PUUTUOTTEET JA TUOTANTORAKENNE 75
11.1 NYKYTILA JA PÄÄSTÖJEN VÄHENTÄMISEN KEINOT 75
11.2 PÄÄSTÖVÄHENNYSARVIO JA KUSTANNUKSET 76
11.3 OHJAUSKEINOT 76

6 METSÄNHOITO

6.1 NYKYTILA JA PÄÄSTÖJEN VÄHENTÄMISEN KEINOT

Suomessa on vuosina 2019–2023 toteutetun valtakunnan metsien inventoinnin (VMI 13) mukaan metsätalousmaata noin 26,2 miljoonaa hehtaaria, josta noin 20,3 miljoonaa hehtaaria on metsämaata ja loput lähinnä kitu- tai joutomaata (Korhonen ym. 2024, Luonnonvarakeskus 2025A). Metsätalousmaasta kankaita on noin 16,8 miljoonaa hehtaaria ja soita noin 9,2 miljoonaa hehtaaria (Korhonen ym. 2024). Kasvihuonekaasuinventaariossa maankäyttösektori jakaantuu useisiin maankäyttöluokkiin, joista tämän luvun kannalta olennaisin on IPCC:n mukainen metsämaa (Forest Land) -luokka. Tätä luokkaa ei tule suoraan rinnastaa VMI:n kansallisen luokituksen metsämaahan. Vuoden 2024 inventaarion mukaan metsämaa -luokka oli kokonaisuudessaan 0,13Mt CO_2-ekv. suuruinen nettonielu (Kuva 2). Luokan sisällä kivennäismaiden kasvibiomassa muodosti 1,9 Mt:n, ja orgaanisten maiden kasvibiomassa 9,2 Mt:n suuruisen nielun. Lisäksi kivennäismaiden maaperän orgaaninen aineksen, kuolleen puun ja karikkeen yhteenlaskettu tase oli 0,7 Mt:n suuruinen nielu, kun taas orgaanisilla mailla vastaava tase oli 9,7 Mt:n päästö. (SVT 2026)

Metsien ilmastotoimista tehdyt tuoreet koosteet painottavat kiertoaikojen pidentämistä ja nykyistä kevyempiä harvennushakkuita keskeisinä hiilinielun kasvattamistoimina kivennäismailla (Seppälä ym. 2025B, Lintunen ym. 2026, Karhinen ym. 2026, Lounasheimo ym. 2026). Harvennushakkuiden lieventämistä ja metsien kasvattamista nykyistä runsaspuustoisempina suositellaan metsien taimivaiheen ja ensiharvennuksen jälkeen kehittymään valitulle puustolle. Kiertoajan pidentäminen ja metsien kasvattaminen runsaspuustoisempina ovat nousseet keskeisiksi tuloksiksi myös tutkimuksissa, joissa metsänomistajan tulojen nettonykyarvoa on maksimoitu hiilen sidonnan taloudelliset kannusteet huomioon ottaen. Kun puunmyyntitulojen oheen on oletettu metsänomistajan saavan tukea hiilen sitoutumisesta metsiinsä, metsänomistajan kannalta kannattavin metsänhoito muuttuu. Pihlaisen ym. (2014) optimointitulosten mukaan mäntymetsiköissä kiertoaika pitenee useita vuosikymmeniä jo varsin maltillisillakin hiilen hinnoilla (20 €/CO_2 tonni). Lisäksi harvennuksia muutetaan niin, että metsiä kasvatetaan tiheämpinä, jonka seurauksena metsiköissä on enemmän hiiltä. Myös optimaalinen istutustiheys kasvaa hiilen hinnan kasvaessa. Niinimäki ym. (2013) saivat samansuuntaisia tuloksia kuuselle, joskin kiertoajan pidentyminen oli maltillisempaa.

Jatkuvapeitteiseen metsänhoitoon siirtymistä on usein ehdotettu ilmastotoimena, mutta kivennäismailla tutkimuskirjallisuus ei ole asiasta yksimielistä. Poiminta- tai pienaukkohakkuisiin perustuva kasvatus pitää metsän jatkuvasti peitteisenä, jolloin vältetään avohakkuun jälkeinen hiilivaraston romahdus (Assmuth ym. 2018). Toisaalta jatkuvapeitteinen metsänhoito perustuu luontaiseen uudistumiseen, joka onnistuakseen vaatii riittävästi valoa metsän pohjakerrokseen ja täten riittävän harvaa puustoa. Tämä on yksi selitys sille, että Tahvosen ym. (2024) optimointikehikossa hiilen hinnoittelun lisäämisen myötä optimaalinen metsänhoitotapa muuttuu jatkuvasta kasvatuksesta kiertoaikametsätalouteen. Heidän tuloksissaan hiilen hinnan nostaminen kannustaa puuston tiheämpänä kasvattamiseen, mikä vähentää luontaista uudistumista ja täten jatkuvapeitteisen metsänhoidon edellytyksiä. Jatkuvapeitteinen metsänhoito turvemaametsissä ilmastotoimena on asia erikseen ja sitä käsitellään luvussa 7.

Hiilivaraston kasvattaminen metsässä on altis häiriöille, kuten myrsky- ja hyönteistuhoille, joiden riski kasvaa ilmastonmuutoksen seurauksena (Reyer ym. 2017). Pysyvyyden varmistaminen on yksi metsään sitoutuneen hiilen keskeisimmistä haasteista: varastoitunut hiili voi vapautua ilmakehään nopeasti, jos metsässä tapahtuu laaja häiriö, esimerkiksi metsän uudistaminen tai luontainen häiriö

kuten myrskytuho tai metsäpalo. Kivennäismailla erityisesti kuusimetsät ovat alttiita kirjanpainajakuoriaiselle, jonka leviäminen kiihtyy ilmaston lämmetessä (Seidl ym. 2017). Kokonaishiilivaraston kannalta olennaista on, mitä tapahtuu tuhoissa kuolleelle puustolle. Metsään jäävä kuollut puusto on itsessään hiilivarasto, jonka hajoaminen on hitaampaa kuin puusta valmistetuilla tuotteilla keskimäärin (Peltoniemi ym. 2023). Jos puusto häiriön jälkeen korjataan ja hyödynnetään, ovat vaikutukset metsien ja puutuotteiden hiilivarastoihin samanlaisia kuin tavanomaisissa avohakkuissa.

Juurikäävän torjumiseen käytettävä biologinen torjunta lisää kantojen ja niihin liittyvien paksujuurten hajotusnopeutta. Tämän merkitystä kokonaisuuden kannalta ei ole arvioitu, ei myöskään ureaan perustuvan menetelmän vaikutusta mahdollisiin dityppioksidipäästöihin todellisissa metsäolosuhteissa.

6.2 PÄÄSTÖVÄHENNYSARVIO JA KUSTANNUKSET

Kivennäismaiden metsänhoidon muutosten päästövähennyspotentiaalia voidaan arvioida mm. metsäsektorimallinnusten perusteella (Pohjola ym. 2018, Rautiainen ym. 2026, Assmuth ym. 2026). Nämä mallinnukset on tehty dynaamisella osittaistasapainomallilla FinFEP:illä (Lintunen ym. 2015), joka kuvaa Suomen toisiinsa kytkeytyneitä metsä- ja energiateollisuussektoreita sekä niiden taustalla olevia metsävaroja. Mallinnustarkasteluissa metsänomistajille maksetaan metsään sitoutuneen hiilen määrän perusteella hiilikorvausta, joka lisää metsän kasvattamisen ja säilyttämisen arvoa suhteessa hakkuutuloihin ja ohjaa näin omistajan optimointia kohti suurempaa hiilivarastoa sekä harvennusten keventämisen että päätehakkuun lykkäämisen kautta. Koska mallissa alueelliset hakkuumäärät ja puutavaralajien hinnat määräytyvät kysynnän ja tarjonnan tasapainottuessa, malli huomioi metsänhoidon muutoksiin liittyvän maansisäisen hakkuuvuodon riskin. Kustannustehokkuutta edistävällä metsien hiilipolitiikalla – yhtenäiseen hiilen hintaan perustuvalla, kattavasti sovelletulla hiilikorvauksella – Suomen metsien ja puutuotteiden nettonielua (kattaen sekä kivennäis- että turvemaat) voitaisiin näiden mallinnusten perusteella vahvistaa perusuraan verrattuna suuruusluokkaa 20–30 Mt CO_2 vuodessa, kun hiilen hintana on 15 €/t CO_2 (Assmuth ym. 2026, Rautiainen ym. 2026). Vaikutus on voimakkaimmillaan ensimmäisten parin vuosikymmenen aikana ja vaimenee tämän jälkeen jonkin verran, kun metsät lähestyvät uutta, pidempiä kiertoaikoja vastaavaa tasapainotilaa (Pohjola ym. 2018). Tämän suuruisena hiilikorvaus aiheuttaisi huomattavia muutoksia puumarkkinoilla, hakkuiden ja erityisesti päätehakkuiden vähentyessä ja kantohintojen noustessa etenkin ensimmäisinä vuosikymmeninä (Pohjola ym. 2018). Mallitarkastelut kuvaavatkin pikemminkin teknistaloudellista kuin poliittisesti realistista potentiaalia nielulisäyksiin.

Karhinen ym. (2026) arvioivat kiertoajan pidentämisen ja harvennushakkuiden lieventämisen hiilinieluvaikutuksia kirjallisuuden perusteella. Seuraavat kappaleet hyödyntävät heidän analyysiaan.

Hynysen ym. (2024) mallinnustuloksissa kiertoaikojen pidentäminen 10–15 vuodella lisäsi elävän puuston vuosittaista nielua Suomessa noin 4 Mt CO_2-ekv. ajanjaksolla 2021–2030. Vuoden 2030 jälkeen nielulisäys oli pienempi. Kun he lisäsivät mallinnuksessaan keinovalikoimaan kiertoaikojen pidentämisen lisäksi myös puuston tiheämpänä kasvattamisen harvennusmallit, elävän puuston nielu vahvistui vielä noin kolmella megatonnilla ollen siis yhteensä noin 7 Mt CO_2-ekv. ajanjaksolla 2021–2030. Vuoden 2030 jälkeen nielulisäys pysyi likimain ennallaan, ja vuoden 2040 jälkeen se kasvoi. Potentiaali voisi olla huomattavasti suurempikin, sillä näissä mallinnuksissa pidettiin kansallinen hakkuukertymä vakiona huolimatta kiertoaikojen pidentämisestä ja puuston tiheämpänä kasvattamisesta. On lisäksi huomionarvoista, että näissä mallinnustuloksissa on kuvattu vain elävän puuston hiilinielua, joten ne eivät kuvasta maaperähiilen kerrytyspotentiaalia.

Kiertoajan pidentämiselle ja puuston tiheämpänä kasvattamisen hiilinielupotentiaalille (maaperä mukaan lukien) esitettiin mallinnustuloksia myös metsien kasvun ja hiilinielujen vahvistamisen toimenpidepaketin vaikutusarviossa (Maa- ja metsätalousministeriö 2025). Tulosten mukaan puuston tiheämpänä kasvattamisen vuotuinen hiilinieluvaikutus lyhyellä aikavälillä (10 vuotta) oli 9,2 Mt CO_2-ekv. Kiertoaikojen pidentämisen 10–15 vuodella nieluvaikutus lyhyellä aikavälillä (10 vuotta) oli 2,2 Mt CO_2-ekv. jos hakkuumäärät pidettiin nykytasolla, ja 7,7 Mt CO_2-ekv. jos hakkuumäärät pienenivät 6,3 Mm^3 vuodessa.

Ekonomis-ekologisissa optimointitutkimuksissa tarkastellaan kiertoaikojen pidentämistä ja puuston tiheämpänä kasvattamista tyypillisesti samanaikaisesti. Tämä hankaloittaa näiden toimien kustannusvaikuttavuuksien arviointia erikseen. Karhinen ym. (2026) analysoivat laajasti tutkimuskirjallisuutta ja koostivat sen perusteella arvioksi kiertoajan pidentämisen kustannusvaikuttavuudesta noin 10 €/ t CO_2 (perustuen seuraaviin lähteisiin: Tahvonen & Parkatti, 2023, Nerg 2009, Hynynen ym. 2024A, Pohjola ym. 2006, Pihlainen ym. 2014, Niinimäki ym. 2013), ja puuston tiheämpänä kasvattamiselle noin 0 € / t CO_2 (perustuen seuraaviin lähteisiin: Pohjola ym. 2006, Ahtikoski ym. 2006). Pohjola ym. (2006) saivat tulokseksi negatiivisia kustannusvaikuttavuuksia puuston tiheämpänä kasvattamiselle männiköissä ja kuusikoissa käyttäen 3 % korkokantaa ja kiertoajan alkuun diskonttausta. Ahtikoski ym. (2006) saivat tuloksiksi nollan ympäristössä olevia kustannusvaikuttavuuksia eri puulajeilla, sekametsässä ja yhden puulajin metsissä käyttäen 3 % korkokantaa. Tuloksia tulkittaessa on otettava huomioon, että korkokannan vaikutus on merkittävä.

6.2.1 Päästövähennysten toteuttamisen oheishyödyt

Kivennäismaiden metsänhoidon muuttaminen hiilensidontaa lisäävään suuntaan tuottaisi positiivisia vaikutuksia myös metsäluonnon monimuotoisuuteen. Metsäsektorimallinnusta ekologisen tilan indeksiin yhdistävässä tutkimuksessa (Assmuth ym. 2026) havaittiin, että hiilikorvausten myötä metsien ikärakenne muuttuisi jonkin verran vanhempaan suuntaan, lahopuun määrä kasvaisi ja lehtipuiden kokonaistilavuus lisääntyisi. Muutokset parantaisivat monien näistä rakennepiirteistä riippuvien metsälajien elinympäristöjä (Koivula ym. 2022), mutta olisivat mittakaavaltaan melko maltillisia. Mallinnustulosten perusteella hiilitukijärjestelmän hyödyt monimuotoisuudelle olisivat suurimpia hyvä- ja keskituottoisilla kasvupaikoilla, mutta karuilla kasvupaikoilla parannukset jäisivät vähäisiksi.

6.3 OHJAUSKEINOT

Viimeaikaisissa tutkimuskoosteissa kivennäismaiden metsien ilmastotoimien kannustamiseen on noussut esiin erityisesti kaksi erilaista lähestymistapaa: hiilitukijärjestelmä ja hakkuukriteerien tiukentaminen metsälainsäädännössä (Lintunen ym. 2026, Karhinen ym. 2026, Lounasheimo ym. 2026, Soimakallio & Pihlainen 2023, Peltoniemi ym. 2023).

Hakkuukriteerien tiukentaminen metsälainsäädännössä voi tarkoittaa lakisääteisiä päätehakkuiden ikä- ja läpimittarajoja ja/tai harvennushakkuiden kriteerien tiukentamista. Lintusen ym. (2026) analysoimassa vaihtoehdossa asetettaisiin uudistushakkuille läpimitta- ja ikärajat samaan tapaan kuin vuoden 1997 maa- ja metsätalousministeriön päätöksessä (Maa- ja metsätalousministeriö 1997). Tämän tyyppinen rajoitus oli voimassa vuoden 2013 loppuun asti. Lakirajat määriteltäisiin hyödyntäen esimerkiksi metsänhoidon suosituksia ja rajat olisivat puulaji-, alue- ja kasvupaikkakohtaisia. Kasvatushakkuissa, eli harvennuksissa, jätettävän kasvatuskelpoisen puuston vähimmäismäärä määritetään valtioneuvoston asetuksessa (VNa 1308/2013), ja metsien kasvun ja hiilinielujen vahvistamisen toimenpidepaketissa (Maa- ja metsätalousministeriö 2025) pidetään lähtökohtaisesti mahdollisena tämän vähimmäismäärän korottamista. Energia- ja ilmastostrategiassa (Työ- ja elinkeinoministeriö 2026) on määritelty toimena metsälainsäädäntöön kasvatustiheyden osalta

valtioneuvoston asetuksen tarkistaminen. Tähän liittyvä hallituksen esitys 214/2026 annettiin eduskunnalle käsittelyyn 1.10.2026.

Hiilitukijärjestelmässä metsänomistajalle maksetaan korvaus sidotun hiilen määrän mukaan, mikä luo hänelle taloudellisen kannusteen kasvattaa metsiensä hiilivarastoa (Assmuth ym. 2024). Järjestelmä on tulosperusteinen ja metsänomistaja voi itse vapaasti valita keinot metsien hiilivaraston kasvattamiseen. Näitä keinoja voi olla esimerkiksi kiertoajan pidentäminen, harvennusten lykkääminen ja keventäminen, uudistamistiheyden kasvattaminen, lannoittaminen, metsitys ja metsänhävityksen välttäminen. Jos hiilitukijärjestelmä ulotetaan koskemaan myös puutuotteiden hiilivarastoja, syntyy kannustin tuottaa pitkäikäiseen käyttöön kelpaavaa puuta. (Lintunen ym. 2026).

Peltoniemi ym. (2023) simuloivat sekä hiilitukijärjestelmää että kiertoaikojen pidentämistä normiohjauksella ja saivat tulokseksi, että hiilitukijärjestelmän tuoma hiilinielun lisäys oli pysyvämpi, sillä se kannusti ylipäätään pitämään yllä hiilivarastoa myös harvennuksia muuttamalla. Heidän tarkastelemassaan normiohjausskenaariossa ei ollut mukana harvennuskriteerien tiukentamista, joten päätehakkuiden vähetessä harvennushakkuut lisääntyivät. Tällöin hiilinielu oli 15–20 vuoden päästä itse asiassa perusuraa pienempi, vaikka olikin sitä ennen suurempi.

Karhinen ym. (2026) vertailivat hiilitukijärjestelmää ja kiertoaikojen pidentämistä normiohjauksella useiden kriteerien avulla. Merkittävin ero on periaatteellinen, eli kenelle koituu lopulta kustannus hiilinielujen kasvattamisesta. Hiilitukijärjestelmässä metsänomistajalle maksetaan joko kaikesta metsän sitomasta hiilestä tai siitä hiilensidontamäärästä, joka ylittää puunmyyntitulojen kannalta optimaalisen perusuran hiilensidonnan (ns. lisäisyys, ks. Assmuth ym. 2024). Järjestelmän hiilensidonnan lisäisyyttä koskevista valinnoista riippuen metsänomistajien kokonaistulot kasvavat joko huomattavan paljon tai jonkin verran – vastaavasti kustannusrasite veronmaksajille on sitä suurempi, mitä vähemmän lisäisyyttä vaaditaan. Kiertoaikojen pidentäminen lainsäädännöllä taas aiheuttaa metsänomistajille kustannuksia, kun he joutuvat poikkeamaan puunmyyntitulojen kannalta optimaalisista hakkuupäätöksistä. Toisaalta Karhinen ym. (2026) arvioivat normiohjauksen käytännön toteutettavuuden helpoksi verrattuna hiilitukijärjestelmän käyttöönottoon. Hiilitukijärjestelmää käytännössä helpompi tapa korvata metsänomistajille päätehakkuun lykkääminen voisi olla HiiliMetso-malli (Tahvonen & Parkatti 2023), jossa sovitaan vain päätehakkuun lykkäämisestä korvausta vastaan, ilman tarvetta hiilitukijärjestelmän vaatimiin hiilitaseseurantoihin tai -mallinnuksiin. Harvennusten jättäminen ohjauksen ulkopuolelle voi kuitenkin aiheuttaa hakkuuvuodon päätehakkuista harvennuksiin (Peltoniemi ym. 2023).

Vapaaehtoiset hiilimarkkinat tarjoavat markkinapohjaisen mekanismin, jossa metsänomistajat voivat saada suoraa taloudellista kompensaatiota hiilivaraston kasvattamisesta ilman pakottavaa lainsäädäntöä. Vapaaehtoisia hiilimarkkinoita on kehitetty Suomessa ja maailmalla, ja niiden ennustetaan kasvavan merkittävästi tulevaisuudessa yritysten hiilineutraaliustavoitteiden ja ilmastonmuutokseen liittyvän tietoisuuden myötä (Laturi ym. 2023). Vapaaehtoisten hiilimarkkinoiden uskottavuus edellyttää kuitenkin useiden keskeisten periaatteiden toteutumista, esimerkiksi EU:n CRCF-asetuksen mukaisesti (Tietolaatikko 3).

Informaatio-ohjauksella kuten metsänhoitosuosituksilla on perinteisesti ollut merkittävä rooli käytännön metsänhoidon ohjaamisessa, ja metsänomistajien päätöksentekoon vaikuttaa vahvasti se, millaista tietoa he ovat saaneet metsäammattilaisilta. Suosituksilla on merkittävä käytännön ohjausvaikutus, vaikka ne eivät ole juridisesti sitovia, sillä metsäammattilaiset ja metsänhoitoyhdistykset pyrkivät noudattamaan niitä laajasti neuvontatyössään (Äijälä ym. 2019). Suositusten muutos toimii siis ohjauskeinona, joka välittyy neuvonnan kautta metsänomistajien päätöksiin. Ilmastonäkökulman järjestelmällinen integroiminen metsäsuunnittelutyökaluihin voi siten muuttaa metsänomistajien

käyttäytymistä. Tutkimukseen perustuvien metsänhoitosuositusten ja metsäsuunnittelutyökalujen soveltaminen voi vahvistaa puuston kasvua ja hiilinieluja. Metsäneuvonnan talousosaamisen vahvistaminen koulutusta ja laskentatyökaluja tarjoamalla parantaisi metsänomistajan mahdollisuuksia tehdä hyvin informoituja päätöksiä.

7 OJITETTUJEN TURVEMAAMETSIEN KÄSITTELY

7.1 NYKYTILA JA PÄÄSTÖJEN VÄHENTÄMISEN KEINOT

Suomen metsäojitettujen soiden pinta-ala on noin 4,7 miljoonaa hehtaaria, ja metsämaaksi tästä luetaan noin 4,1 miljoonaa hehtaaria (Korhonen ym. 2021A, Lång ym. 2022). Metsäojitettujen soiden maaperän päästöt vaihtelevat voimakkaasti kasvupaikan ravinteisuuden ja pohjaveden pinnan tason mukaan: runsasravinteisten ojitettujen suometsien maaperä on hiilen päästölähde, kun taas niukkaravinteiset ovat hiilinieluja (Ojanen ym. 2013). Maaperän CO_2-päästöt kasvavat pohjaveden pinnan laskiessa syvälle (Ojanen & Minkkinen 2019), ja kunnostusojitus ylläpitää ja lisää turpeen hajoamisesta syntyviä kasvihuonekaasupäästöjä (Ojanen & Minkkinen 2020). Turpeen hajoaminen johtaa pysyvään hiilivaraston pienenemiseen, kun taas puuston kasvun lisääntyminen on vain väliaikainen hiilivaraston lisäys (Lång ym. 2022). Turvemaametsien osuus metsätalouden kokonaispäästöistä on suuri, joten niiden käsittelytapavalinta on keskeinen ilmastopoliittinen kysymys.

Runsasravinteisia metsäojitettuja soita on Suomessa lähes 1,9 miljoonaa hehtaaria, joista noin 0,4 miljoonaa hehtaaria on varttuneita kasvatusmetsiä tai uudistuskypsiä metsiä. Näillä kohteilla maaperän kasvihuonekaasupäästöt ovat suurimmat ja samalla päästövähennyspotentiaali on merkittävin. Turvemaametsät sijoittuvat erityisesti Pohjois-Pohjanmaalle, Kainuuseen, Lappiin ja Pohjois-Karjalaan (Lehtonen ym. 2023), ja näillä alueilla suometsien puutuotannollinen merkitys on myös korkein. Pääosan runsasravinteisista metsäojitetuista soista muodostavat ojitetut korvet, joiden on suurimmat hehtaarikohtaiset päästövähennysmahdollisuudet ovat Etelä- ja Länsi-Suomessa johtuen puuston ikäluokkarakenteesta ja maaperän ravinteisuudesta. Tämä tarkoittaa, että ilmastohyödyt ja metsänhoidon muutosten vaikutukset puuntuotantoon ja aluetalouteen keskittyvät voimakkaasti alueille, joissa on varttuneita kuusivaltaisia korpia, mikä on otettava huomioon ohjauskeinojen suunnittelussa. Koko Suomen tasolla siirtyminen jatkuvapeitteiseen metsänkasvatukseen ojitetuissa korvissa siirtäisi osan hakkuista kivennäismaametsiin ja toisi noin 1–1,3 miljoonan tonnin päästövähennyksen vuoteen 2035 mennessä vaikka hakkuut pysyisivät nykyisellä tasolla (Lehtonen ym. 2023). Valtaosa tästä päästövähennyksestä toteutuisi puuston lisääntyneen kasvun seurauksena ja maaperäpäästöjen muutos oli vähäinen, koska puuston määrän ja sen haihduttaman veden määrää pienentämällä ei yksistään voi merkittävästi nostaa pohjavedenpintaa, jolla olisi maaperäpäästöjä pienentävä vaikutus. Pohjavedenpinnan korkeuden nostamista osittaisella patoamisella tulisi testata, koska se on potentiaalinen keino vähentää merkittävästi ojitettujen turvemaametsien maaperän hiilidioksidipäästöjä (Sarkkola ym. 2012; Ojanen ym. 2013).

7.1.1 Jaksollinen kasvatus

Perinteisessä jaksollisessa, eli avohakkuisiin perustuvassa, metsänhoidossa suurimmat ympäristöhaitat syntyvät uudistamisvaiheessa. Avohakkuun jälkeen puuston haihdunta lakkaa lähes kokonaan ja pohjaveden taso nousee voimakkaasti (Marcotte ym. 2008), mikä voi lisätä maaperän metaani- ja dityppioksidipäästöjä useiden vuosien ajaksi (Mäkiranta ym. 2010, Korkiakoski ym. 2019). Lisäksi uudistamisvaiheen ojitus- ja maanmuokkaustoimenpiteet tuottavat uusia kasvittomia turvepintoja, jotka voivat olla huomattavia päästölähteitä (Tikkasalo ym. 2025, Martinez-Garcia ym. 2025). Avohakkuun jälkeen myös hiilidioksidipäästöt kasvavat, kun puuston hiilinielu poistuu ja turpeen sekä hakkuutähteiden hajoaminen tuottaa hiilidioksidia. Kun pohjaveden pinta on korkeammalla kuin ennen hakkuuta, voivat vanhan turpeen hajoaminen hidastua ja sen tuottamat hiilidioksidipäästöt laskea

(Korrensalo ym. 2026), mutta avohakkuualan kokonaispäästöt ovat suuremmat kuin ennen hakkuuta (Korkiakoski ym. 2019).

Jaksollisessa kasvatuksessa varttuneen metsän puusto haihduttaa vettä voimakkaasti laskien pohjaveden syvälle (Hökkä ym. 2008), mikä altistaa paksun turvekerroksen hapelle ja kiihdyttää hiilidioksidipäästöjä (Ojanen & Minkkinen 2019). Avohakkuisiin perustuvassa metsänhoidossa vesitaloutta säädellään kunnostusojituksella, mutta ne paitsi kuivattavat turvetta entisestään, lisäksi aiheuttavat merkittävää kuormitusta vesistöihin (Nieminen ym. 2017), ja ravinteikkailla turvemailla maaperän hiilidioksidipäästöt ylittävät tyypillisesti uuden karikkeen hiilensidonnan (Ojanen ym. 2013). Lisäksi liiallinen kuivatus voi heikentää puiden kasvua, kun kuivien jaksojen aikana vedensaanti on rajoitettua (Szejner ym. 2026).

7.1.2 Jatkuvapeitteinen kasvatus

Jatkuvapeitteisessä metsänhoidossa puusto säätelee pohjaveden tasoa haihduntansa kautta edellyttäen, että hakkuissa jätetään riittävästi puustoa (Leppä ym. 2020, Juutinen ym. 2021). Tämä mahdollistaa kunnostusojitusten vähentämisen tai välttämisen kokonaan (Lehtonen ym. 2023). Huomioitavaa kuitenkin on, että jatkuvapeitteisessäkin metsänkasvatuksessa pyritään puuston hyvälle kasvulle riittävään maaperän kuivatukseen, joten kuivatuksen myötä lisääntyvät turpeen hiilidioksidipäästöt ovat merkittävä riski erityisesti runsasravinteisilla kohteilla. Biotalouden kasvutavoitteet lisäävät painetta hyödyntää turvemaametsien puuvaroja, mutta samanaikaisesti ilmastotavoitteet edellyttävät ympäristöhaittojen vähentämistä (Nieminen ym. 2018). Käytännön kokemusta jatkuvapeitteisestä metsänhoidosta oli 2020-luvun alussa vähän (Juutinen ym. 2021), mutta menetelmää on sittemmin hyödynnetty ensin suurien metsänomistajien toimesta ja metsäammattilaisten kouluttautumisen myötä jatkuvapeitteinen kasvatus voi olla mahdollinen myös yksityismetsänomistajille.

7.1.3 Kosteikkometsätalous

Hiljattain on tuotu esiin mahdollisuutta viedä ojitettujen suometsien hoitoa kuivatukseen perustuvista käytännöistä kohti kosteikkometsätaloutta (Väänänen ym. 2025). Kosteikkometsätalous (engl. *Paludisilviculture*, vrt. kosteikkoviljely *Paludiculture*) on turvemaiden metsätalouden muoto, jossa vedenpinnan tasoa pidetään korkeammalla kuin ojitetuissa suometsissä perinteisesti, mutta puuntuotantoa harjoitetaan edelleen taloudellisesti kannattavasti. Tällöin turpeen hupeneminen ja ojitetulle suolle tyypillinen vesistökuormitus voidaan saada pysäytettyä tai huomattavasti hidastumaan. Kosteikkometsätaloudessa tavoitellaan noin -30 cm vedenpinnantasoa kasvukauden aikana. Yhtäältä vertailukohtana on ojittamattomien korpien ja rämeiden vedenpinnantaso, jossa puuston haihdutus pitää vedenpinnantason maanpinnan alapuolella. Toisaalta taustalla on lisääntyvä tutkimustieto siitä, että monissa tapauksissa vedenpinnantasoa voidaan nostaa ilman, että puun kasvu loppuu ja puuston nielu menetetään. Kun vedenpinta on 40 cm:n syvyydessä, puuston kasvu ei hyödy lisäkuivatuksesta, vaan päinvastoin puusto voi kärsiä kuivuudesta (Hökkä ym. 2025, Sarkkola ym. 2012). Myöskään 25 cm:n syvyydessä oleva vedenpinta ei vähentänyt puuston kasvua (Hökkä ym. 2025), ja Pelkosen (1975,1976) mukaan puuston kasvu ei häiriinny siitä, jos kasvukauden ulkopuolella vedenpinta nousee lähelle maanpintaa. Tuhkalannoitus tukee puuston kasvattamista märemmissä olosuhteissa, ja sillä saatu kasvuvaste on ollut suurempi juuri märemmissä suometsissä (Palvi ym. 2026). Puuston kasvuvasteesta kosteikkometsätaloudessa tarvitaan kuitenkin lisää kokeellista tutkimusta.

Kosteikkometsätalouteen siirtyminen voisi kuviotasolla tarkoittaa maantieteellisestä sijainnista, kasvupaikasta ja turvekerroksen paksuudesta riippuen erilaisia muutoksia (Väänänen ym. 2025). Pohjois-Suomessa kunnostusojitusten välttäminen tai suorittaminen minimimitoituksella nostaisi

vedenpintaa, tuhkalannoitukset ylläpitäisivät puuston kasvua, ja erityisesti runsasravinteisissa kohteissa jatkuvapeitteiseen metsänhoitoon siirtyminen vähentäisi päästöjä vesiin ja ilmaan. Etelä-Suomen runsasravinteisissa ja paksuturpeisissa kohteissa vedenpinnan nostaminen edellyttäisi jatkuvapeitteiseen metsänhoitoon siirtymisen lisäksi usein aktiivisia toimia ojien tukkimiseksi tai veden johtamiseksi kohteelle. Tehokas kasvihuonekaasu- ja vesistöpäästöjen vähentäminen ja luonnon tilan parantaminen edellyttäisivät kuitenkin myös kuvio- ja tilarajojen ylittämistä eli valuma-aluekohtaisia toimia.

7.2 PÄÄSTÖVÄHENNYSARVIO JA KUSTANNUKSET

7.2.1 Päästövähennyspotentiaali metsikkötasolla

Ojitettujen turvemaametsien kasvihuonekaasupäästöt syntyvät pääosin turpeen hajoamisesta hapellisissa olosuhteissa. Mitä syvemmälle pohjavesi lasketaan esimerkiksi ojituksella, sitä paksumpi turvekerros altistuu hapelle, sitä enemmän hiilidioksidia vapautuu. Empiirisen mallinnuksen (Ojanen ja Minkkinen 2019) mukaan turvemaan maaperä on nettohiilidioksidipäästölähde, kun pohjavesi on yli 10 cm pinnan alapuolella ravinteikkailla kasvupaikoilla. Dityppioksidin päästöt riippuvat sekä vedenpinnan tasosta että kohteen ravinteisuudesta siten, että päästöt kasvavat vedenpinnan ollessa syvällä erityisesti runsasravinteisilla kohteilla (Minkkinen ym. 2020).

Shanin ym. (2021) simulaatioissa turvekerroksen hiilidioksidipäästöjen mediaani vaihteli jatkuvapeitteisen metsänhoidon skenaarioissa välillä 5,5–23,5 t CO_2-ekv./ha/v riippuen hakkuiden voimakkuudesta ja pohjaveden tasosta. Kevyillä hakkuilla, joissa puusto piti pohjaveden syvällä, turpeen hiilidioksidipäästöt olivat korkeimmillaan. Voimakkaiden hakkuiden jälkeen vastaavasti puuston haihdutus pieneni ja pohjaveden pinta nousi, pienentäen turpeen hiilidioksidipäästöjä, mutta samanaikaisesti metaanipäästöt kasvoivat. Metaanipäästöt olivat kuitenkin merkittäviä vain voimakkaimmissa hakkuuskenaarioissa, joissa pohjaveden pinta nousi alle 29 cm syvyyteen. Useimmissa jatkuvapeitteisen metsänhoidon skenaarioissa ekosysteemi toimi metaaninieluna (Ojanen ym. 2010, Shanin ym. 2021).

Metsikkötason simuloinneissa jatkuvapeitteisessä metsänhoidossa, jossa hakkuun jälkeinen pohjapinta-ala pidetään vähintään tasolla 8–10 m^2/ha, puuston haihdunta pitää pohjaveden pinnan sopivalla tasolla ilman kunnostusojituksen tarvetta (Juutinen ym. 2021, Shanin ym. 2021). Tällöin metsän hiilen nettoprimärituotanto oli 0,4–0,6 kg C/m^2/vuosi, ja ekosysteemin nettohiilituotanto (net ecosystem production in terms of carbon, NEP-C) noin 0,2 kg C/m^2/vuosi, eli metsäekosysteemi toimi hiilinieluna hakkuista huolimatta. Leppä ym. (2020) mukaan jatkuvapeitteisessä kasvatuksessa pohjaveden pinta pysyy keskimäärin 5–15 cm korkeammalla kuin avohakkuun ja kunnostusojituksen yhdistelmässä, mikä tuottaa merkittävän eron turpeen hajoamisnopeudessa. Verrattuna kivennäismaihin, metsänhoitotavan valinnalla ilmaston kannalta on turvemailla huomattavasti suurempi merkitys, koska puuston käsittely kytkeytyy suoremmin maaperän kasvihuonekaasupäästöihin (Lundmark ym. 2016, Kellomäki ym. 2019).

Johdettu hehtaarikohtainen päästövähennyspotentiaali on suuruusluokaltaan 5–10 t CO_2-ekv./ha/v runsasravinteisilla kohteilla. Arvio perustuu maaperän päästöjen erotukseen jatkuvapeitteisen ja kiertoaikametsätalouden välillä (Shanin ym. 2021, Ojanen & Minkkinen 2019; 2020). On kuitenkin huomattava, että kokonaisten kiertoaikojen pituisia jatkuvapeitteistä ja kiertoaikametsätaloutta vertailevia mallinnuksia ei ole riittävästi (Lång ym. 2022). Empiirisiä pitkäaikaistuloksia metsänkasvatukseen soveltuvilta kohteilta on vähän, ja tulokset ovat herkkiä oletuksille mm. puulajikoostumuksesta, harvennusvoimakkuudesta, ja turvekerroksen ominaisuuksista. Shanin ym. (2021) tulokset perustuvat mallinnukseen yhdeltä koealalta, ja Leppä ym. (2020) tutkimus kattoi

rajallisen määrän kohteita ja lyhyen aikajakson. Kokeellista evidenssiä vaikutuksista koko kiertoajan pituiselta ajanjaksolta ei ole saatavilla.

7.2.2 Kansallinen päästövähennyspotentiaali

Lehtonen ym. (2023) arvioivat kansallisella tasolla, että avohakkuiden välttäminen ravinteikkailla ojitetuilla turvemailla (CCF-skenaario, Continuous Cover Forestry) tuotti nykyisillä hakkuutasoilla noin 0,7–1,3 Mt CO_2-ekv./vuosi suuremman hiilinielun koko Suomen metsille verrattuna nykyiseen metsänhoitoon (BAU, Business As Usual). Ero syntyi pääosin siitä, että CCF-skenaariossa avohakkuualueiden pinta-ala pieneni ja puuston hiilinielu pysyi vahvempana. Lisäksi osa turvemaiden hakkuista siirtyi kangasmaille, kuitenkin siten että kokonaishakkuumäärä Suomessa ei eronnut eri skenaarioiden välillä. Kansallisella tasolla voidaan saada pienemmät kasvihuonekaasupäästöt siten, että ojitettujen soiden avohakkuita rajoitetaan ja hakkuut lisääntyvät kangasmailla, mutta kuitenkin siten että kokonaishakkuumäärä ei muutu. Alueellisesti ilmastohyödyt keskittyivät voimakkaasti alueille, joilla on merkittäviä ravinteikkaiden ojitettujen turvemaametsien pinta-aloja ja korkeita hakkuumahdollisuuksia: Keski-Suomeen, Lappiin, Pohjois-Pohjanmaalle ja Pohjois-Karjalaan (Lehtonen ym. 2023). Alueilla, joilla ravinteikkaita ojitettuja turvemaita on vähän, eroja BAU- ja CCF-skenaarioiden välillä ei juuri havaittu. Tämä alueellinen vaihtelu on keskeistä ohjauskeinojen kohdentamisessa.

7.2.3 Toteutusala

Suomessa on ojitettua suometsää yhteensä noin 4,7 miljoonaa hehtaaria, josta puuntuotannossa on noin 4,1 miljoonaa hehtaaria (Korhonen ym. 2021A, Lång ym. 2022) ja näistä noin 400 000 ha on reheviä korpia, jotka ovat tulossa lähitulevaisuudessa päätehakkuiden piiriin (Lehtonen ym. 2023). Ilmastotoimien toteutusalan kannalta keskeistä on kasvupaikkajakauma: runsasravinteisia ruoho- ja mustikkaturvekankaita on lähes 2 miljoonaa hehtaaria, ja ne painottuvat Etelä-Suomeen (Lång ym. 2022). Juuri näillä kasvupaikoilla maaperän kasvihuonekaasupäästöt ovat suurimmat, ja vedenpinnan nostolla saatavat ilmastohyödyt realisoituvat nopeimmin (Ojanen ym. 2013). Paksuturpeiset kohteet, joilla turpeen hajoaminen aiheuttaa suurimmat maaperän kasvihuonekaasupäästöt ja joilla kunnostusojitusten ilmastovaikutus on erittäin merkittävä, esiintyvät kaikilla kasvupaikkatyypeillä, mutta ovat erityisen yleisiä varputurvekankailla (Ojanen ym. 2010, Lång ym. 2022). Metsätalousmailla ojitetuista alueista 10–20 % on jäänyt puuntuotannon näkökulmasta heikkotuottoisiksi (Schneider & Päivinen 2020, Salmivaara ym. 2026), ja näiden alueiden ennallistamisesta puuntuotannolliset menetykset jäisivät pienimmiksi.

Teknisesti toteutettavissa olevan ennallistamispotentiaalin ja käytännössä toteutuvan ennallistamisalan välillä on kuitenkin kuilu, sillä ennallistamistoimenpiteiden kohdentamista rajoittavat muun muassa maanomistusrakenne, suometsätalouden jatkuvuus sekä käytettävissä olevat resurssit. Yhdeksi lisävaihtoehdoksi onkin esitetty metsätaloudesta hallitusti luopumisen toimintamalli. Tässä mallissa ei tehdä kunnostusojituksia, vaan metsänkasvatusta jatketaan nykyisten ojitusten mahdollistama aika ja suo jätetään sen jälkeen itsekseen ennallistumaan (Lång ym. 2022). Tämä mallin merkitys korostuisi erityisesti niillä laajoilla pinta-aloilla, joilla välitöntä ennallistamistarvetta ei ole, mutta joilla kunnostusojitusten jatkaminen ei ole ilmastomielessä perusteltua.

7.2.4 Kustannukset maanomistajalle ja kansallinen toteutustapa

Taloudellisia analyyseja metsänhoitokäsittelyn vaikutuksesta on vielä vähän, ja tulokset ovat osittain eri suuntaisia, riippuen muun muassa lähtöoletuksista. Juutinen ym. (2021) arvioivat jatkuvapeitteisen metsänhoidon selvästi paremmaksi kuin avohakkuuperusteisen metsänhoidon: kolmen prosentin

korkokannalla paras jatkuvapeitteinen skenaario tuotti 11 607 €/ha nettonykyarvon, kun avohakkuuperusteinen metsänhoito jäi 6 193 €/ha tasolle. Tämä tarkoittaisi, ettei toimenpide aiheuta maanomistajalle nettokustannusta, vaan tuottaa taloudellista hyötyä. Toisaalta Ahtikoski ym. (2025) päätyivät päinvastaisiin tuloksiin. Merkittävimmät erot selittyivät Juutisen ym. (2021) oletuksella metsän heterogeenisesta alkutilasta sekä Ahtikosken ym. (2025) geneettisen jalostushyödyn huomioimisella. Taloudellinen vertailu riippuu siis olennaisesti paitsi korkokannasta myös muun muassa maantieteellisestä sijainnista, kasvupaikasta ja metsän alkutilasta. Merkittävimpänä suorana kustannussäästönä jatkuvapeitteisessä metsänhoidossa avohakkuisiin verrattuna on kunnostusojituksen välttäminen, mikä tuottaa paitsi suoria kustannussäästöjä niin myös ympäristöhyötyjä vesistökuormituksen ja kasvihuonekaasupäästöjen vähenemisenä.

Kosteikkometsätalouteen siirtymisen osalta tutkimustietoa kustannuksista ei juurikaan ole, mutta jatkuvapeitteisen metsänhoidon kustannukset liittyvät näihin osittain, koska jatkuvapeitteinen metsänhoito on yksi keskeisistä työkaluista kosteikkometsätaloudessa. Lisäkustannuksia voi seurata, jos puuston kasvu hidastuu korkeamman vedenpinnan seurauksena. Koska monet kohteet Etelä-Suomessa ovat tällä hetkellä hyvin voimakkaasti kuivatettuja (ojat 80–100 cm), maltillisempi kuivatus saattaisi paikoin jopa lisätä kasvua, erityisesti kuivien kesien aikana (Väänänen ym. 2025). Suoria kustannuksia seuraisi suunnittelusta, mahdollisesta tuhkalannoituksesta ja Etelä-Suomessa aktiivisen vedenpinnan noston edellyttämistä toimista.

7.2.5 Päästövähennysten toteuttamisen oheishyödyt

Jatkuvapeitteiseen metsänhoitoon siirtymisellä turvemailla on ilmastohyötyjen ohella useita merkittäviä oheishyötyjä, joiden rahallinen arvo on toistaiseksi puutteellisesti tunnettu. Kunnostusojituksen välttäminen vähentää merkittävästi turvemailta huuhtoutuvaa kiintoaine-, ravinne, ja humuskuormitusta vesistöihin (Nieminen ym. 2017; 2018). Turvemaiden ojitukset ovat Suomessa yksi merkittävimmistä metsätalouden vesistökuormituksen lähteistä, joten kunnostusojituksista luopuminen tuottaisi laaja-alaisia vesiensuojelullisia hyötyjä erityisesti alueilla, joilla turvemaametsien osuus valuma-alueista on suuri.

Jatkuvapeitteinen kasvatus ylläpitää turvemaametsien rakenteellista monimuotoisuutta ja pienilmastoa jaksollista kasvatusta paremmin (Peura ym. 2018). Avohakkuiden välttäminen turvemailla säilyttää myös suoekosysteemien vesitaloutta lähempänä luonnontilaa, mikä hyödyttää suolajistoa. Soiden ojitus on vähentänyt niiden pinta-alaa sekä heikentänyt soiden rakenteellista ja toiminnallista laatua, ja yli puolet kaikista suoluontotyypeistä on arvioitu uhanalaisiksi (Kaakinen ym. 2018, Lång ym. 2022). Toisaalta jatkuvapeitteisen kasvatuksen monimuotoisuusvaikutukset riippuvat käsittelyn voimakkuudesta ja tarkasteltavasta lajiryhmästä (Peura ym. 2018), joten yksiselitteistä yleistystä ei voida tehdä metsänkäsittelyn vaikutuksesta. Kosteikkometsätalous voi mahdollistaa myös ainakin yleisten ojittamattoman suometsän lajien elinolosuhteet, ja siten parantaa luonnon monimuotoisuuden tilaa, joskaan ei yhtä voimakkaasti kuin täysi ennallistaminen.

Jatkuvapeitteinen kasvatus tuottaa yleisesti parempia maisema-arvoja kuin avohakkuisiin perustuva metsänhoito (Pukkala 2016, Koivula ym. 2020). Turvemailla tämä hyöty korostuu erityisesti alueilla, joilla metsillä on virkistyskäyttöarvoa.

7.3 OHJAUSKEINOT

Metsänhoito turvemailla on tällä hetkellä varsin löyhästi säädeltyä ottaen huomioon sen huomattavat haitalliset vaikutukset vesistöjen tilaan ja maaperäpäästöihin. Nykyiseen vesilakiin sisältyy periaatteessa ojituksen luvanvaraisuus, mutta koska tämä koskee vain poikkeuksellisen laajoja hankkeita, suurin osa ojituksista, mukaan lukien uudis- ja kunnostusojitus ja ojitusmätästys, etenevät

ojitusilmoituksen teolla Lupa- ja valvontavirastoon ilman ennakollista ympäristövalvontaa ja mahdollisuutta lupaehtojen asettamiseen (Pappila 2016, Halonen ym. 2020). Maanmuokkaukseksi luettavilta toimenpiteiltä kuten naveromätästykseltä ei vaadita edes ilmoitusta. Suometsien maaperän liiallista kuivattamista, ja siihen liittyviä päästöjä, voitaisiin vähentää sääntelemällä ojittamista nykyistä kattavammin, esimerkiksi kieltämällä uudisojitus ja tuomalla kunnostusojitukseen aitoa luvanvaraisuutta (Väänänen ym. 2025, Lintunen ym. 2026). Ojituksen aiheuttamien haittojen hinnoittelu ja ojituksille asetettava maksu olisi vaikuttava keino ohjata ojitusta. Lisäksi lainsäädännöllä ja esimerkiksi valuma-aluekoordinaattorien työn avulla voitaisiin edistää maanomistajarajat ylittävää vesienhallinnan suunnittelua valuma-aluetasolla (Sarkkola ym. 2010, Väänänen ym. 2025).

Turvemaiden uudisojituksen sääntelylle olisi myös muita ajankohtaisia tarpeita. EU:n uusiutuvan energian direktiivin (EU) 2018/2001 mukaan vuoden 2008 jälkeen uudisojitetuilta turvemailta kerätty maatalouden ja metsätalouden biomassa ei täytä kestävyyskriteerejä eikä sitä siten myöskään voida pitää nollapäästöisenä energiantuotannossa (Viitala ym. 2022, s. 45). Käytännössä tätä määräystä ei kuitenkaan valvota Suomessa, koska turvemaiden uudistusojituksista ei ole olemassa paikkatietoa. Viitala ym. (2022, s. 45) ovat esittäneet yhteenvedon uudistusojitusten laajuudesta metsätaloudessa 2000-luvulla.

Valtio on historiallisesti tukenut uudis- ja kunnostusojituksia merkittävillä taloudellisilla panostuksilla; julkisen tukirahan osuus toteutuneista kokonaiskustannuksista oli 1970- ja 1980-luvulla tehdyissä ojituksissa 90 % luokkaa (Ollonqvist 2004). Tukijärjestelmää on kuitenkin pikkuhiljaa uudistettu: vuoden 1997 jälkeen valtio ei ole myöntänyt tukia uudisojituksen toteutukseen (pl. täydennysojitusta) ja vuodesta 2024 alkaen ei myöskään kunnostusojitusten toteutukseen, mutta vesienhallinnansuunnittelua tuetaan edelleen (Viitala ym. 2022, s. 43–44). Vuonna 2024 voimaan tulleessa metsätalouden kannustejärjestelmässä (Metka) maanomistajat voivat saada tukea suometsien kokonaisvaltaisten hoitosuunnitelmien laatimiseen, jossa on tarkoitus sovittaa yhteen puuntuotannon edellytysten parantaminen, vesiensuojelu, ilmastonmuutoksen hillintä, monimuotoisuuden turvaaminen ja elinympäristöjen tilan parantaminen. Tukea voidaan edelleen myöntää myös kunnostusojituksen suunnitteluun, mukaan lukien uusien ojien suunnitteluun (täydennysojitus). Vuoden 2024 kesästä lähtien haettavissa ollutta tukea suometsien hoitosuunnitelmiin on käytetty hyvin vähän (Suomen metsäkeskus, n.d.; 2026A).

Jatkuvapeitteinen metsänhoito turvemailla yhdistää parhaimmillaan taloudellisen kannattavuuden ja ilmastohyödyt, joskin kannattavuusvertailu jaksolliseen kasvatukseen nähden riippuu olennaisesti kasvupaikasta, metsikön alkutilasta ja laskentaoletuksista. Nykyisestä metsätalouden kannustejärjestelmästä maksettavista tuista merkittävimmän osan muodostavat taimikon ja nuoren metsän hoidon tuet, ja koska näitä hyödynnetään ennen kaikkea jaksollisessa metsänkasvatuksessa, näiden voidaan ajatella vääristävän metsänomistajan valintaa jaksollisen ja jatkuvapeitteisen metsänhoidon välillä (Viitala ym. 2022). Voisikin ajatella perustelluksi, että metsätalouden kannustejärjestelmästä tuettaisiin myös siirtymää jatkuvapeitteiseen metsänhoitoon sellaisissa tilanteissa, joissa sillä olisi suometsien kokonaisvaltaisen hoitosuunnitelman perusteella merkittäviä hyötyjä ulkoisvaikutusten hallinnassa (ks. Viitala ym. 2023).

Hiilen hinnoittelu esimerkiksi hiilitukijärjestelmän avulla ohjaisi metsänhoitoa kevyempien hakkuiden suuntaan (Pihlainen ym. 2014, Pohjola ym. 2018). Turvemailla tällaiset puuston hiilivarastoa kasvattavat muutokset voisivat jaksollisen metsänhoidon puitteissa ainakin teoriassa lisätä maaperäpäästöjä lisäämällä puuston tuottamaa maaperän kuivatusta, olettaen että ojituksen intensiteetti säilyisi ennallaan (Assmuth ym. 2024). Tuoreen sektoritason mallinnustutkimuksen mukaan kyseinen vaikutusreitti ei kuitenkaan heikentäisi kansallisen hiilitukijärjestelmän ilmastohyötyjä merkittävissä määrin (Rautiainen ym. 2026). Toisaalta jos hiilitukijärjestelmä kannustaisi

metsänomistajia lykkäämään päätehakkuuta ja jatkamaan sen sijaan yläharvennuksia jatkuvapeitteisen metsänhoidon mallilla (Assmuth ym. 2018), maaperäpäästöt runsasravinteisista suometsistä todennäköisesti vähentyisivät.

Toistaiseksi toimivaa hiilimarkkinamekanismia turvemaametsien hoitoon ei ole olemassa. Vapaaehtoisten päästökompensaatiomarkkinoiden kehittäminen voisi tarjota uusia mahdollisuuksia rahoittaa ilmastotoimia (Lång ym. 2022). Näiden mahdollisuuksien kannalta kiinnostava on vuonna 2024 hyväksytty pysyvää hiilenpoistoa, hiiliviljelyä ja hiilen varastointia tuotteisiin koskeva EU:n sertifiointikehys (kts. CRCF-tietolaatikko luvussa 4.3), johon sisältyy myös maaperäpäästöjen vähentäminen (Asetus (EU) 2024/3012).

Päästövähennysten pysyvyys on otettava huomioon ohjauskeinojen suunnittelussa: turpeeseen varastoitunut hiili voi vapautua myöhemmin, mikäli alue ojitetaan uudelleen. Ohjauskeinojen tulisi siten sisältää mekanismeja, jotka turvaavat saavutettujen päästövähennysten pitkäaikaisen pysyvyyden.

8 METSÄNLANNOITUS

8.1 NYKYTILA JA PÄÄSTÖJEN VÄHENTÄMISEN KEINOT

Metsänlannoitus on yksi harvoista metsänhoitotoimenpiteistä, jolla voidaan suhteellisen nopeasti ja ennustettavasti lisätä puuston kasvua erityisesti kivennäismaiden typpirajoitteisissa metsissä ja ravinnepuutoksista kärsivillä turvemailla. Ilmastohyödyt syntyvät pääasiassa puuston kasvun ja maaperän hiilen kertymisen kautta, ja ne ylittävät useimmiten lannoitteiden valmistukseen ja lannoitukseen liittyvät kasvihuonekaasupäästöt (Lehtonen ym. 2021). Esimerkiksi typpilannoitus 150 kg ha^{-1} typpeä keskinkertaisella kasvupaikalla sitoo lannoituksen vaikutusaikana runkopuun kasvunlisäykseen hiilidioksidia yli 3000 kg ha^{-1} ja maaperään noin 1500 kg ha^{-1}, kun lannoitteen tuotannossa, kuljetuksessa ja levityksessä vapautuu noin 400 kg ha^{-1} hiilidioksidia (Lehto & Ilvesniemi 2023). Kivennäismaiden kasvatuslannoitukset ja turvemaiden tuhkalannoitukset tyypillisesti edistävät puiden järeytymistä, mikä voi lisätä tukkipuuosuutta, mutta myös mahdollistaa kiertoajan lyhentämisen ja siten vähentää kiertoajan keskimääräistä puuston hiilivaraston kokoa. Saavutetun lisäkasvun ja lisääntyneen tukkipuuosuuden johdosta metsänlannoitus on ollut ainakin vuoteen 2022 saakka metsänomistajille taloudellisesti kannattava investointi (Lehto & Ilvesniemi 2023).

8.1.1 Kivennäismaametsien typpilannoitus

Suomessa kivennäismaiden metsissä puuston kasvua rajoittaa useimmiten typen saatavuus. Typpilannoitus voi lisätä havupuumetsiköiden vuotuista kasvua Etelä-Suomen kivennäismailla 1–2 m^3 ha^{-1} (Lehto & Ilvesniemi 2023). Vaikutus kestää männiköissä ainakin 7 vuotta ja kuusikoissa muutaman vuoden pidempään, joten yhteensä kertalannoitus voi lisätä tukkipuun määrää keskimäärin 10–20 m^3/ha^{-1} (Hedwall ym. 2014, Lehto & Ilvesniemi 2023, Palvi ym. 2025). Pohjois-Suomessa lisäys on noin kolmanneksen pienempi (Lehto & Ilvesniemi 2023).

Kivennäismailla typpilannoituksen on todettu paitsi lisäävän puuston kasvua, myös kasvattavan maaperään kertyvän hiilen määrää (Mäkipää ym. 1998, Lehto & Ilvesniemi 2023). Typpilannoitus lisää puiden kasvua ja sen myötä myös karikevirtaa puustosta maahan, jolloin hiilisyöte maaperään kasvaa (Palvi ym. 2025, Ťupek ym. 2025). Typpilannoitus muuttaa myös maaperän toimintaa: maaperässä sienirihmaston määrä lisääntyy ja myös kuolleen sienirihmaston massa kasvaa, mikä lisää maaperän orgaanisen aineksen pysyvyyttä (Adamczyk et al. 2025). Hiilisyötteen lisääntyminen ja samanaikainen muutos maaperän orgaanisen aineksen pysyvyydessä johtaa siihen, että maaperän hiilivarasto kasvaa vaikka orgaanisen aineksen määrään suhteutettu hiilidioksidivuo maaperästä ilmakehään säilyy ennallaan (Ťupek ym. 2025).

Typpilannoitus tarjoaa merkittäviä mahdollisuuksia hiilinielujen vahvistamiseen, mutta siihen liittyy myös riskejä ja rajoitteita. Ravinteiden huuhtoutumisriski vesistöihin edellyttää huolellista kohdevalintaa, lannoitteen määrän säätelyä ja lannoituksen ajoitusta. Lisäksi typpilannoitus voi lisätä N_2O-päästöjä kosteilla ja viljavilla mailla, mutta mittaukset ovat osoittaneet lannoitettujen kangasmetsien N_2O-päästöjen olevan hyvin pieniä (Ťupek ym. 2025, Adamczyk ym. 2025; Luonnonvarakeskus 2026B).

8.1.2 Boorilannoitus

Typen jälkeen kivennäismaametsissä on seuraavaksi useimmin puutetta boorista (Lehto & Ilvesniemi 2023). Turvemailla ja hyväkasvuisilla lehtomaisilla kankailla boorinpuutos voi olla merkittävin ravinneongelma, koska typpeä on yleensä hyvin saatavilla. Kivennäismailla boorilannoituksen vaikutus

puuston tilavuuskasvuun on määrällisesti pienempi kuin typpilannoituksen. Lannoitusvaikutus alkaa hitaammin, mutta voi kestää jopa 20 vuotta (Vartiainen ym. 2025). Toisaalta boorilannoitus ehkäisee kasvuhäiriöitä ja turvaa puun laatua. Boorinpuutoksen aiheuttamat kasvuhäiriöt aiheuttavat tukkipuun osuuden pienenemistä ja kuitupuun osuuden kasvua.

Tarpeenmukainen boorilannoitus on metsänomistajalle yleensä kannattava investointi ja siihen saa myös tukea. Boorilannoituksia tehtiin vuonna 2025 ennätyksellisen paljon, noin 12 000 hehtaarin alalla (Metsäkeskus 2026), pääosin kuusivaltaisissa taimikoissa. Selvästi eniten sitä on tehty Pohjois-Savossa ja Pohjois-Karjalassa, mutta boorin puutetta on myös muissa osissa maata kuten Pohjois-Suomessa. Rannikkoseuduilla boorista ei yleensä ole puutetta kivennäismailla, koska sitä kulkeutuu luontaisena laskeumana mereltä.

8.1.3 Turvemaametsien tuhkalannoitus

Tuhkalannoituksissa käytetään energialaitoksilla pääosin puun poltosta syntyvä tuhkaa, jonka ravinnekoostumus on yleensä sopiva turvemaiden lannoituksiin sellaisenaan tai booria lisäten. Tuhkalannoituksessa hyödynnetään siis energiatuotannon sivuvirtoja ja se on siten kiertotaloutta parhaimmillaan.

Viime vuosina puutuhkalannoitusta on toteutettu noin 10 000 hehtaarilla; vuonna 2025 vain 6 200 hehtaarilla (Metsäkeskus 2026). Tuhkalannoituksen vaikutus kestää turvemailla usein pitkään, hidasliukoisen rakeistetun tuhkan vaikutus jopa 30–40 vuotta (Moilanen ym. 2002, Hökkä ym. 2012). Lannoituksen jälkeisen, vuotuisen runkopuun kasvunlisäyksen on arvioitu olevan 2–4 m^3/ha riippuen kohteesta ja lannoituksen määrästä (Hökkä ym. 2024, Moilanen ym. 2015). Tuhkalannoitus lisää puuston kasvua erityisesti paksuturpeisilla, runsastyppisillä kohteilla, joilla tyypillisesti kasvua rajoittaa fosforin ja kaliumin puutos. (Moilanen ym. 2010). Lisäksi kasvun suuruuteen ja kestoon vaikuttavat kohteen maantieteellinen sijainti ja hydrologia (Hökkä ym. 2024).

Tuhkalannoituksen vaikutusmekanismi perustuu ravinnepuutoksien korjaamisen lisäksi maaperän fysikaalisten ja kemiallisten ominaisuuksien parantamiseen. Tuhkan sisältämä kalkki ja magnesium vähentävät turvemaan happamuutta, jolloin orgaanisen maan kyky sitoa ja luovuttaa ravinteita kasvien käyttöön paranee (Arvidsson ja Lundkvist 2003; Ingerslev ym. 2014). Tuhka voi parantaa maaperän ominaisuuksia kuten huokoisuutta, ilmavuutta ja vedenpidätyskykyä, mikä tukee puiden kasvua (Demeyer ym. 2001). Lisäksi tuhka voi lisätä orgaanisen aineksen hajotusta, mikä lisää myös typen saatavuutta kasveille (Mortensen ym. 2020; Johansen ym. 2021), mutta toisaalta lisää maaperän kasvihuonekaasupäästöjä. Nämä muutokset voivat parantaa puiden ravinteidenottokykyä ja ravinnetasapainoa, jolloin puuston kasvu ja karikevirta maahan lisääntyy. Lisäksi lannoituksen jälkeinen kasvanut puuston ja maaperän haihdutus voi laskea vedenpintaa noin 5–10 cm, minkä on ehdotettu korvaavan ojien kunnostustarpeen (Ernfors ym. 2010, Maljanen ym. 2006). Näin tuhkalannoituksella voidaan myös epäsuorasti vähentää kunnostusojituksista syntyviä negatiivisia ympäristövaikutuksia, kuten ravinteiden ja sedimentin huuhtoutumista sekä tästä johtuvia välillisiä kasvihuonekaasupäästöjä (Härkönen ym. 2023, Miettinen ym. 2020).

Huonona puolena tuhkalannoituksen kiihdyttämä turpeen hajotus voi lisätä hiilidioksidin vapautumista ilmakehään (Ojanen ym. 2019). On kuitenkin arvioitu, että runsasravinteisilla kasvupaikoilla tuhkalannoituksen positiivinen vaikutus puuston hiilivaraston kasvuun on lyhyellä aikavälillä suurempi kuin maaperän lisääntynyt päästö (Ojanen ym. 2019). Toisaalta heikkotuottoisilla kasvupaikoilla maaperän päästöt voivat lisääntyä jopa enemmän kuin puuston hiilinielu (Maljanen ym. 2025). Talousmetsissä puusto on vain väliaikainen hiilivarasto ja tuhkalannoituksella aikaansaatu puuston nopeampi kasvu voi johtaa lyhyempään kiertoaikaan, mikä pienentää puuston kiertoajan

keskimääräistä hiilivarastoa. Tuhkalannoituksen ilmastovaikutukset turvemailla ovat osin epävarmoja, sillä koko kiertoajan yli ulottuvia tarkasteluja tuhkalannoituksen vaikutuksista ojitetun turvemaametsän kasvihuonekaasutaseeseen ei ole tehty.

8.2 PÄÄSTÖVÄHENNYSARVIO JA KUSTANNUKSET

Typpilannoitusta toteutettiin 2010-luvulla keskimäärin 32 000 hehtaarilla vuodessa ja vuosina 2020–2025 lannoituspinta-ala on ollut keskimäärin 51 000 hehtaaria vuodessa (Luonnonvarakeskus, 2026C). Lisäämällä vuosittaista typpilannoitusalaa 30 000 hehtaarilla on arvioitu saavutettavan 10 vuodessa noin 0,45 milj. m^3 vuosittainen kasvun lisäys ja tällainen lannoitus lisäisi puuston vuosittaista hiilinielua kymmenen vuoden kuluttua 0,51 Mt CO_2-ekv. (Lehtonen ym. 2021). Arvio sisältää vain muutoksen puuston hiilinielussa – ei mahdollisia maaperävaikutuksia eikä siten myöskään kaikkia kasvihuonekaasuja. Typpilannoituksen tiedetään kasvattavan maaperän hiilivarastoa ja vaikutukset muihin kasvihuonekaasupäästöihin ovat pieniä (Ťupek ym. 2025, Adamczyk ym. 2025), joten maaperävaikutusten voidaan olettaa olevan selvästi hiilinielua lisääviä.

Boorilannoituksen hiilinieluvaikutusta ei ole tutkittu. Lisääntyneen puun kasvun ohella boorilannoitus vaikuttaa puun laadun paranemisen kautta, joka välillisesti lisää puun käyttömahdollisuuksia ja vaikuttaa puutuotteiden hiilinieluun.

Eri turvemaatyyppien vaste tuhkalannoitukselle vaihtelee paljon. Jos oletetaan, että tuhkalannoitus kohdentuisi paksuturpeisille soille (mäntyvaltaisille mustikka- ja puolukkaturvekankaille), joissa sen kasvuvaste on tutkimusten mukaan korkein, ja vuotuista tuhkalannoitusalaa lisättäisiin 30 000 hehtaarilla ensimmäisten viiden vuoden ajaksi ja sitten vuotuinen tuhkalannoitusala kasvaisi 100 000 hehtaariin, saataisiin 15 vuodessa aikaan noin 0,227 milj. m^3 vuosittainen lisäkasvu verrattuna tilanteeseen, jossa tuhkalannoitusta ei lisätä (Lehtonen ym. 2021). Näin laaja tuhkalannoitus vahvistaisi puuston vuosittaista hiilinielua noin 0,28 Mt CO_2 (Lehtonen ym. 2021). Tämä tarkoittaisi käytännössä vuotuisten tuhkalannoitusalojen kymmenkertaistamista viime vuosien tasosta ja 15 vuoden aikana tuhkalannoitettaisiin yhteensä peräti 1,3 miljoonaa hehtaaria ja se maksaisi noin 360 miljoonaa euroa, josta metsänomistajien osuus olisi kaksi kolmasosaa eli 240 miljoonaa euroa (Viitala ym. 2022, Lehtonen ym. 2022), mikä edellyttää erittäin suuria investointeja. Riittävän hyvälaatuista puuntuhkaa ei välttämättä ole saatavilla tämän tavoitteen toteuttamiseksi.

Edellä esitetyt arviot tuhkalannoituksen ilmastohyödyistä eivät sisällä maaperävaikutuksia tai muita kasvihuonekaasuja kuin hiilidioksidin. Tuhkalannoitusten lisäämistä ilman näiden tekijöiden vaikutusten arviointia voidaan pitää selvästi puutteellisena lähestymistapana. Tyypillisiltä turvemaiden lannoituskohteilta (mustikkaturvekangas Mtkg II, puolukkaturvekangas Ptkg II) ei ole olemassa lainkaan tuhkalannoituksen pitkäaikaisvaikutuksia (> 10 vuotta) käsitteleviä tutkimuksia, jotka ottaisivat huomioon kasvihuonekaasutaseen kokonaisuudessaan, ja kuusikoiden osalta tietoa on vielä vähemmän.

8.3 OHJAUSKEINOT

Kivennäismaiden typpilannoitus on oikein ajoitettuna ja kohdennettuna yksi metsätalouden kannattavimpia investointeja metsänomistajalle (Lehto & Ilvesniemi 2023). Siksi kivennäismaiden typpilannoitusta ei ole tuettu valtion varoista 1990-luvun alun jälkeen.

Boorilannoituksen yksityistaloudellisesta kannattavuudesta ei ole tutkimustuloksia, mutta oikeilla kohteilla se on yksityistaloudellisesti kannattavaa puun laadun paranemisen kautta (Lehto & Ilvesniemi 2023). Boorilannoituksen tukemista on perusteltu lähinnä investoinnin pitkällä odotusajalla. Toisaalta

boorilannoituksilla ja sen tuella ei tulisi paikata sitä, että boorin puutos voi johtua myös hakkuutähteiden liiallisesta tai toistuvasta keräämisestä energiakäyttöön.

Myös turvemaiden tuhkalannoitus on oikein kohdennettuna maanomistajalle yksityistaloudellisesti kannattava toimenpide. Turvemaiden männiköissä tuhkalannoitus voi tuottaa maanomistajalle 20 vuoden aikana 5–10 prosentin sisäisen koron ilman tukia (Lauhanen ym. 1997, Moilanen 2009, Moilanen ym. 2015). Valtion tukea turvemaiden tuhkalannoituksiin on myönnetty yksityismetsänomistajille 1990-luvun puolivälistä lähtien. Kun Suomi on hakenut Euroopan komissiolta hyväksyntää tälle kansalliselle tukimuodolle, on tukea perusteltu ravinnetasapainon korjaamisella, resilienssillä ja hiilinielun vahvistamisella sekä investoinnin pitkällä odotusajalla samaan tapaan kuin taimikonhoidon ja nuoren metsän tukien kohdalla (Euroopan komissio 2023). Tosin tuhkalannoituksen taloudelliset tuotot saattavat realisoitua jo vuosikymmenen tai kahden kuluessa.

Yksi helpoimmista ja kustannustehokkaimmista keinoista ylläpitää ja lisätä hiilensidontaa sekä kivennäismaa- että turvemaametsissä saattaa olla se, että luovutaan kokopuukorjuusta ja latvusmassan keräämisestä, koska niiden takia kohteilta poistuu merkittäviä määriä typpeä ja niukkoja ravinteita kuten booria ja kaliumia (Smolander ym. 2023). Hakkuutähteiden toistuva korjuu harvennuksissa vähentää puuston kasvua pitkällä aikavälillä keskimäärin 4–13 prosenttia puulajista ja ajanjaksosta riippuen; männyllä 4–8 prosenttia ja kuusella 5–13 prosenttia (Helmisaari ym. 2011). Hakkuutähteen korjaaminen uudistushakkuun jälkeen puolestaan vähentää kivennäismaan männyn ja kuusen taimikoiden pohjapinta-alan kasvua keskimäärin 5–6 prosenttia ensimmäisen 10 vuoden aikana (Jacobsen ym. 2000). Kuusikoissa vähenemä oli ensimmäisellä 5-vuotiskaudella 2 prosenttia mutta jälkimmäisellä jo 9 prosenttia. Tutkijat arvelivat kehityksen jatkuvan myös 10 vuoden tarkastelujakson jälkeen.

Hakkuutähteiden korjuun kielteisistä vaikutuksista huolimatta Metka-tukia voidaan taimikon ja nuorten metsien hoidon tuen yhteydessä myöntää pienpuun korjuuseen, ja jopa kokopuukorjuuseen. Pienpuun ja hakkuutähteiden korjuun tavoitteena on osin korvata fossiilisia polttoaineita puunpoltolla. Korjuussa kuitenkin poistetaan metsästä hitaasti hajoavaa puuainesta, ja siten vähennetään metsään jäävää hiiltä ravinteiden poiston lisäksi.

Typpi, fosfori, kalium ja boori eivät ole ainoita ravinteita, joista metsissä on puutosta, mutta tätä ei ole toistaiseksi selvitetty kattavasti. Rikkilaskeumien vähennyttyä rikinpuutosta esiintyy, ja magnesiumin ja kuparin niukkuutta on löytynyt. Hakkuutähteiden mukana poistuu myös näitä. Lannoitusta voidaan tulevaisuudessa tarvita nykyistä useammilla ravinteilla.

Myös vapaaehtoisilla sertifiointijärjestelmillä voidaan vaikuttaa metsien kasvua ja hiilinielua vahvistavaan ravinteiden saatavuuteen. PEFC-metsäsertifiointi (Programme for the Endorsement of Forest Certification) velvoittaa jättämään *uudistushakkuukohteille* 30 prosenttia hakkuutähteistä mahdollisimman tasaisesti (PEFC 2024, kohta 8.2). *Kasvatushakkuukohteilla* se sallii kokopuun korjuun lukuun ottamatta kohteita, joissa kuusen osuus runkoluvusta on ennen harvennusta yli 75 prosenttia. FSC-metsäsertifiointi (Forest Stewardship Council) on hieman tätä tiukempi, koska se edellyttää, että *kaikessa* energiapuun korjuussa jätetään vähintään 30 % hakkuutähteestä tasaisesti jakautuneena (FSC 2023, kohta 10.11.4). Hakkuutähteiden keräystä ja kokopuun korjuuta voidaan molempien sertifiointien mukaan tehdä kuivahkoilla kankailla ja niitä viljavammilla kivennäismailla ja vastaavilla turvemailla.

PEFC-sertifioinnin mukaan jopa boorinpuutoksesta kärsivissä kuusikoissa latvusmassaa voidaan korjata tai tehdä kokopuun korjuuta, “*jos metsikön puuston ravinnetasapaino turvataan boorilannoituksella*”. Valtion boorilannoituksiin suuntaaman tuen tehokkaan käytön kannalta asetelmaa voidaan pitää ongelmallisena. Päätehakkuissa ongelmallista on myös ajoitus, sillä boorilannoitus olisi

tarpeen jopa vasta kymmeniä vuosia myöhemmin, kasvatusmetsävaiheessa. Lisäksi muistakin ravinteista todennäköisesti tulee puutetta toistuvan hakkuutähteiden poiston vuoksi.

Lannoituksen ilmastovaikutuksia on tarkasteltava myös elinkaarinäkökulmasta. Lannoitteiden valmistus ja kuljetus aiheuttavat kasvihuonekaasupäästöjä, jotka on suhteutettava metsissä saavutettuun lisäiseen hiilensidontaan. Käytetyt raaka-aineet ja valmistusprosessit vaikuttavat lannoitteiden valmistuksen ja kuljetuksen päästöjen suuruuteen, joskaan nämä eivät ole kokonaisuuden kannalta merkittäviä.

9 PUUSTON VARHAISKEHITYKSEN OHJAAMINEN

9.1 NYKYTILANNE JA PÄÄSTÖJEN VÄHENTÄMISEN KEINOT

Metsänuudistamisen jälkeen metsä on pitkään päästölähde, koska puuston hiilivarasto kasvaa hitaasti ja maaperän päästöt jatkuvat. Maaperän hiilivarasto palautuu hakkuuta edeltävälle tasolle vasta vuosikymmenien päästä (Menichetti ym. 2025). Uudistamisen jälkeen elinvoimaisen täystiheän taimikon muodostumisen ja varhaiskehityksen vauhdittaminen vaikuttaa positiivisesti perustettavan metsän hiilivaraston kasvunopeuteen. Tässä luvussa käydään läpi puuston varhaiskehityksen vaikutuksia puuston hiilivarastoon, mikä vaikuttaa olennaisesti metsän kokonaispäästöihin.

9.1.1 Jalostettu viljelymateriaali ja uudistusalan maanmuokkaus

Metsänuudistamisen tavoitteena on saada aikaan kustannustehokkaasti hyvin kasvava täystiheä taimikko. Maanmuokkaus, joka soveltuu uudistamiskohteelle ja uudistamisessa käytettävälle puulajille ja menetelmälle, lisää taimien elossa säilymistä ja kasvua (Sikström ym. 2020). Puuston hiilivarasto 17–25 vuotta uudistamisesta on maanmuokkauksen aikaansaaman kasvunlisäyksen myötä keskimäärin suurempi kuin ilman maanmuokkausta kuten äestystä tai mätästystä. Sen sijaan maaperän hiilivarastoon maanmuokkauksella ei havaittu olevan merkittävää vaikutusta (Mjöfors ym. 2017, Strömgren ym. 2026).

Maanmuokkausmenetelmien muutoksella saatavat potentiaaliset puuston biomassan ja hiilivaraston lisäykset lienevät lähivuosikymmenien kuluessa varsin niukat eikä vaikutuksia arvioida tässä tarkemmin. Sen sijaan hakkaamattomaan tilanteeseen verrattuna maaperän hiilivarasto pienenee uudistamishakkuun ja metsänuudistamisen jälkeen (Johannesson ym. 2025), kunnes uusi puusukupolvi on varttunut ja kasvillisuuden tuottama karikemäärä on jälleen suurempi kuin maaperän orgaanisen aineksen hajotessa vapautuva hiilimäärä (Menichetti ym. 2025).

Puuston kasvua voidaan edistää valitsemalla kasvupaikalle sopivia puulajeja ja käyttämällä jalostettua siemenmateriaalia taimituotannossa ja männyn metsäkylvössä. Jalostetun siemenen käytön vaikutukset hiilensidontaan tulevat näkyviin vuosikymmenien viiveellä (Hynynen ym. 2024B). Männyn laajasti käytössä olevalla ensimmäisen polven jalostetulla siemenviljelyaineistolla saatavaksi keskikasvun lisäykseksi kiertoaikana on arvioitu yli 10 % metsikkösiemenaineistoon verrattuna ja pidemmälle jalostetulla 1,5-polven aineistolla vastaava tuotoslisäys olisi yli 20 % (Haapanen ym. 2016). Mallitarkasteluissa jalostetulla siemenellä uudistettujen männiköiden puuston tilavuuden keskikasvu kiertoajan aikana on 10–27 % jalostamattomia männiköitä suurempi riippuen jalostetun siemenen alkuperästä (Haapanen ym. 2016, Hynynen ym. 2024B). Kuusen ensimmäisen polven siemenviljelysaineiston keskimääräinen runkotilavuus 22–30 vuoden ikäisissä kuusen jälkeläiskokeissa on noin 20 % suurempi kuin jalostamattomilla vertailuerillä (Haapanen 2020).

Jalostetun siemenen käytön vaikutukset hiilensidontaan jäävät kuitenkin ensimmäisten vuosikymmenien aikana varsin pieniksi, sillä taimikoiden hiilivaraston kasvu on alussa hyvin hidasta. Heinonen ym. (2018) ovat arvioineet, että jos jalostettua materiaalia (kasvunlisäys 10 %) käytettäisiin 30 vuoden aikana noin 4,4 milj. hehtaarilla, niin saman aikajakson aikana saavutettava puuston lisäkasvu olisi vain noin 0,1 milj. m^3 vuodessa. Jalostettujen viljelymetsien aikaansaama kasvunlisäys alkaa merkittävästi vaikuttaa puuntuotannon metsien kokonaiskasvuun 2030-luvulta alkaen, jolloin vuotuinen lisäkasvu ylittää 1 milj. m^3 ja 2050-luvulla saavutetaan 5 milj. m^3 kasvunlisäys (Hynynen ym.

2024B). Tämä sillä edellytyksellä, että jalostetun materiaalin käyttö on tulevaisuudessa nykyisellä tasolla.

9.1.2 Lisää hiilinielua jättämällä taimikot hoitamatta

Taimikonhoidolla pyritään ohjaamaan metsikön kehitystä siten, että kasvatettavan puulajin taimikko hyödyntää kasvupaikan tuotoskyvyn tehokkaasti ainespuun tuotantoon. Nykyisin suositeltu menetelmä on hoitaa taimikot kahdessa vaiheessa, varhaisperkauksella ja taimikonharvennuksella. Taimikonhoidon tavoitteena on tehostaa tukkipuun tuotantoa niin, että kasvu keskittyy kasvatettavan puulajin hyvälaatuisiin puihin. Tietoisella poikkeamisella nykyisistä metsänhoitosuosituksista on mahdollista kasvattaa hiilinieluja, jos taimikoita kasvatetaan tiheämpinä. Tiheät, hoitamattomat taimikot sitovat hiiltä tehokkaammin puustoon ja tuottavat runsaammin kariketta vahvistaen maan hiilivarastoa. Hoitamattomien taimikoiden kasvu kuitenkin kohdistuu suureksi osaksi puuaineeseen, jota ei pystytä hyödyntämään puunjalostuksessa tehokkaasti (Huuskonen ym. 2020). Suurin puuntuotos saavutetaan, kun metsiä ei harvenneta lainkaan (Assmann 1970). Tämä kuitenkin sillä varauksella, että taimikoiden hoitamattomuus ja metsien kasvattaminen ilman harvennuksia ei lisää metsätuhoja.

Huuskosen ym. (2020) tutkimuksen mukaan lyhyellä tai keskipitkällä (0–30 vuotta) aikavälillä taimikonhoito ei lisää runkopuun tuotosta. Heidän tuloksensa perustuvat valtakunnan metsien inventoinnin (VMI 11) taimikonhoitoon tulossa oleville taimikoille Motti-ohjelmistolla tehtyihin ennusteisiin. Ennusteet laadittiin taimikonhoitovaiheesta eteenpäin kolmella taimikonhoitoskenaariolla: 1) taimikonhoitoa ei tehdä (EiTH), 2) varhaisperkaus ja taimikonharvennus tehdään ajallaan (TH) ja 3) taimikonhoidon toteutusmäärä vastaa nykytasoa (NYK). Muu metsänhoito ja hakkuut toteutettiin metsänhoitosuositusten mukaisesti kaikissa skenaarioissa.

Vuonna 2035, eli 15 vuoden kuluttua laskelman lähtökohdasta, skenaarioissa tarkasteltujen taimikoiden keskimääräinen tilavuus olisi EiTH-skenaariossa 49 m^3/ha, NYK-skenaariossa 43 m^3/ha ja TH-skenaariossa 38 m^3/ha. Eli metsiköissä, joita ei ole taimikkovaiheessa hoidettu, tilavuus on keskimäärin noin 11 m^3/ha korkeampi kuin taimikkovaiheessa hoidetuissa puustoissa.

Jos oletetaan, että uudistushakkuiden määrä säilyisi ja taimikoita syntyisi vuosien 2015–2024 keskiarvon tasolla, 164 000 ha vuodessa, runkopuun kokonaismäärä vuonna 2035 olisi kaikissa vuodesta 2020 lähtien kasvatetuissa taimikoissa EiTH-skenaariossa 71 milj. m^3, NYK-skenaariossa 60 milj. m^3 ja TH-skenaariossa 53 milj. m^3. Nykyiseen taimikonhoidon toteutustasoon verrattuna kaikkien taimikoiden hoitaminen ajallaan johtaisi 7 milj. m^3 pienempään runkopuun varastoon vuoteen 2035 mennessä ja taimikoiden hoitamatta jättäminen 11 milj. m^3 suurempaan varastoon. VMI13 mukaan puuston kokonaistilavuus Suomessa on 2 505 milj. m^3, joten taimikonhoidon toteutuksen vaikutus kokonaistilavuuteen vuoteen 2035 mennessä olisi joitain promilleja. Kokonaistilavuuden pienet erot osoittavat, että taimikonhoidossa tehdyillä valinnoilla on marginaalinen vaikutus puuston hiilinieluun.

9.1.3 Taimikonhoidon viiveiden poisto

Jos taimikoita hoidetaan, niin kaksivaiheinen taimikonhoito edesauttaa kasvatettavan tavoitepuuston tilavuuden ja hiilensidonnan maksimointia. Jo taimikon varhaisperkaus noin metrin pituisessa kuusentaimikossa parantaa kuusten läpimitan kasvua 20–30 % (Uotila & Saksa 2014). Kuusentaimikon toinen taimikonhoito eli taimikonharvennus suositellaan tehtäväksi 3–4 metrin pituudessa. Männikössä taimikonharvennuksen aikaistaminen 6 metrin pituudesta 3 metrin pituuteen nostaa runkopuutilavuutta tai ainespuukertymää 10–25 % ensiharvennukseen mennessä (Varmola & Salminen 2004, Huuskonen & Hynynen 2006).

Taimikonhoidon seurauksena kasvu keskittyy metsässä pitkään säilyvään tuotantopuustoon, eikä 10–12 m pituusvaiheessa tehtävään hoitamattoman nuoren metsän kunnostuksessa maahan kaadettaviin tai bioenergiaksi korjattaviin puihin, joiden hiilivarasto vapautuu nopeasti ilmakehään.

Taimikonhoidon ajoituksen tehostamisen vaikutusta puuntuotokseen on tehty karkea arvio (Lehtonen ym. 2021). Taimikonhoitoja oletetaan nykytilanteessa viivästyvän ihanteellisesta ajankohdasta vuosittain 30 000 hehtaaria. Jos nämä kohteet hoidettaisiin 6 metrin pituuden sijaan 3 metrin pituudessa, puuston tilavuus nousisi 13 m^3/ha ensiharvennukseen mennessä (Huuskonen & Hynynen 2006). Tämä johtaa siihen, että 15 vuoden kuluttua vuonna 2035 puuston kasvu on lisääntynyt arviolta noin 0,25 milj. m^3 ja vastaavasti hiilinielu on lisääntynyt noin 0,31 Mt CO_2. Laskelma ei huomioi taimikonhoidossa kaadettavan puuston hajoamisesta johtuvia eroja.

9.1.4 Taimikon harvennuksessa jäävän puuston tiheyden nosto

Puuston hiilivaraston kasvua on mahdollista nopeuttaa poikkeamalla suositelluista taimikoiden kasvatustiheyksistä. Nykyisin taimikot kasvatetaan tyypillisesti 1 600–2 200 rungon hehtaaritiheyksillä, joilla tavoitellaan hyvää ainespuun tuotantoa ja sen kannattavuutta. Metsätalouden kannustejärjestelmän (Metka-tuki) ehtojen mukaan, kun kasvatettavien puiden keskipituus hoitotyön jälkeen on 3–8 metriä, taimikossa saa olla hoidon jälkeen enintään 2 500 runkoa hehtaarilla. Vastaavasti yli 8 metrisessä havupuutaimikossa saa olla enintään 1 500 runkoa hehtaarilla ja lehtipuutaimikossa enintään 1 300 runkoa hehtaarilla (Valtioneuvosto 1021/2023).

Kasvatustiheyden nostaminen männyn ja kuusen taimikoissa parantaa puuston tilavuuskasvua (Pettersson 1992; 1993, Varmola ym. 2004, Huuskonen & Hynynen 2006). Esimerkiksi Petterssonin (1992, 1993) mukaan taimikon tiheyden nostaminen 1 800:sta 2 500–3 500:aan nostaa puuston runkopuutilavuutta ensiharvennukseen mennessä 7–20 m^3/ha. Huuskosen & Hynysen (2006) mukaan vastaava taimikonharvennuksen jälkeisen tiheyden korotus lisää ensiharvennuskertymää 25–50 m^3/ha. Huomioitavaa on myös, että riittävän aikaisin hoidettu ja tiheäksi jätetty puusto saattaa tuottaa suuremman ensiharvennuskertymän kuin hoitamaton, ylitiheä taimikko.

Lehtonen ym. (2021) ovat tehneet karkean laskelman taimikoiden kasvatustiheyden nostamisen vaikutuksista. Jos edellä mainittu taimikoiden kasvatustiheyden korotus nostaisi ensiharvennusvaiheen puuston tilavuutta 15 m^3/ha, kohteita olisi 100 000 hehtaaria vuodessa, taimikonharvennuksesta ensiharvennukseen kuluisi 25 vuotta ja puusto kasvaisi tiheyden noston vaikutuksesta lineaarisesti ensiharvennukseen saakka, niin tiheyden nosto lisäisi runkopuuvarantoja 7,2 milj. m^3 15 vuoden aikana. Olettaen, että tiheyttä nostettaisiin 50 000 hehtaarilla vuosittain ja se nostaisi puuston tilavuutta ensiharvennukseen mennessä 15 m^3/ha tai 7,5 m^3/ha nousisi puuston kokonaistilavuus 15 vuoden aikana vastaavasti 3,6 milj. m^3 tai 1,8 milj. m^3. Siten taimikoiden tiheyden noston vaikutus puuston kokonaistilavuuteen olisi noin promillen luokkaan eli saavutettavissa oleva puuston hiilivaraston kasvu olisi marginaalinen. Edellä esitetty tulos taimikoiden hoitamattomuudesta (EiTH-skenaario) kertoo myös taimikoiden kasvatustiheyden korottamisen mahdollisuuksista vaikuttaa metsiköiden hiilensidontaan.

9.1.5 Päästöjen vähentämisen haasteet

Uudistamis- ja varhaiskehitysvaiheessa hiilinielua on mahdollista lisätä, kun 1) lisätään metsänuudistamisvaiheessa viljelyä, jossa käytetään jalostettua viljelymateriaalilla, 2) aikaistetaan taimikonharvennusta muutamalla vuodella ja 3) lisätään taimikonharvennuksessa kasvamaan jäävän puuston tiheyttä tai 4) jätetään taimikot tyystin hoitamatta, mikä lisää taimikoiden kasvatustiheyttä.

Metsänviljelyn osuuden lisäämistä, eli jalostetun viljelymateriaalin käytön lisäämistä, luontaisen uudistamisen kustannuksella ei suositella, koska luontainen uudistaminen on kustannustehokas

menetelmä sille soveltuvilla kasvupaikoilla (Tapio 2026). Metsänviljelymateriaalin jalostusaste vaihtelee puulajeittain, mutta on jo nyt melko korkea (Hynynen ym. 2024b). Jalostusaste kohoaa, kun siirrytään käyttämään seuraavan (korkeamman) sukupolven siemenviljelysten siementä.

Jos puuston hiilivarastoa kasvatetaan siten että taimikonhoitoa ei tehdä lainkaan tai kasvamaan jäävien puiden tiheyttä nostetaan seuraavan 30 vuoden aikana, niin on odotettavissa, että uudistamispuulajin taimia kuolee tai vaurioituu lehtipuuston kilpailun seurauksena. Lisäksi ensiharvennuspoistuma on pieniläpimittaista energiapuuta, kasvatettavan puuston järeytyminen hidastuu, myöhemmät harvennukset ja päätehakkuu viivästyvät ja koko kiertoajan tukkipuusaanto alenee (Huuskonen ym. 2020). Näiden syiden takia taimikonhoito on kannattava toimenpide metsänomistajalle ja siitä luopuminen aiheuttaa taloudellisia tappioita. Lisäksi kauden lopulla Suomessa olisi suuret pinta-alat nuoren metsän kunnostuskohteita, joiden kuntoon saattamisen haasteena on konekaluston ja osaavien tekijöiden rajallisuus. Taimikoiden hoitamattomuus vähentää tukkipuun kertymää. Taimikonhoidon puute johtaisi nykytaimikoissa seuraavan 80 vuoden ajanjakson aikana noin 80 milj. m^3 (23 %) alhaisempaan tukkipuukertymään verrattuna nykyistä vastaavaan taimikonhoidon tasoon (Huuskonen ym. 2020). Vastaavasti jos taimikonhoito toteutettaisiin ajallaan, tukkipuukertymä olisi 34 milj. m^3 (8 %) suurempi kuin nykyisellä taimikonhoidon tasolla. Taimikoiden hoitamattomuudella voisi olla huomattavia haittavaikutuksia metsätalouteen ja -teollisuuteen. Järeällä puulla on keskeinen merkitys hiilen varastoitumisessa pitkäkestoisiin puutuotteisiin. Taimikoiden hoitamatta jättäminen voi kasvattaa puuston hiilivarastoa, mutta se olisi vaikea yhteensovittaa talousmetsien kasvatuksen muiden tavoitteiden kanssa.

9.2 PÄÄSTÖVÄHENNYSARVIO JA KUSTANNUKSET

Taimikonhoidon toteuttamatta jättämisen tai taimikonhoidon aikaistamisen ja kasvatustiheyden lisäämisen vaikutus kokonaistilavuuteen vuoteen 2035 mennessä olisi joitain promilleja. Tämä osoittaa, että taimikonhoitovaiheessa tehdyillä valinnoilla on marginaalinen vaikutus puuston hiilinieluun. Sitä vastoin taimikonhoito parantaa puunkasvatuksen kannattavuutta. Pääsääntöisesti taimikonhoito on metsänomistajalle kannattava toimenpide. Huuskosen ym. (2020) mukaan taimikonhoito kannattaa tehdä vielä 3–4 %:n korkovaatimuksella. Saksan ym. (2021) kylvömännikölle ja istutuskuusikolle tehtyjen laskelmien mukaan taimikonhoito on kannattavaa vielä yli 4,5 %:n korkokannalla.

Taimikoiden kasvattaminen metsänhoidon suosituksia selvästi tiheämpänä hidastaa puiden järeytymistä ja siten heikentää tukki- ja kuitupuun tuotannon kannattavuutta. Korkea kasvatustiheys pienentää poistettavien puiden keskikokoa ja siten nostaa ensiharvennuksen kuutiokohtaisia yksikkökustannuksia. Tämä ei ole suotuisaa metsänomistajalle eikä puuta korjaavalle yritykselle. Siksi taimikoiden ja nuorten metsien laajamittainen nykyistä tiheämpänä kasvattaminen todennäköisesti edellyttäisi korvauksia hiilensidonnan tehostamisesta, jotta se olisi metsänomistajille taloudellisesti järkevää. Taimikoiden nykyistä tiheämmät kasvatusasennot eivät ole suositeltavia ilman perusteellisia selvityksiä muutosten vaikutuksista koko puuntuotanto ja -jalostusketjussa.

9.3 OHJAUSKEINOT

Metsälain mukaan uudistamishakkuun jälkeen metsänomistajalla on velvollisuus perustaa elinvoimainen taimikko maantieteellisestä sijainnista riippuen viimeistään 10–25 vuoden kuluessa. Taimikon aikaansaamiseksi tehtävät perustamistoimenpiteet on kuitenkin saatettava loppuun kolmen vuoden kuluessa velvoitteen aiheuttaneen puunkorjuun päättymisestä. Uudistamisvelvoitteen täyttymisen jälkeen metsänomistajalla ei ole taimikon hoitovelvoitetta.

Metsänomistajia on jo pitkään kannustettu ripeään uudistamiseen ja oikea-aikaiseen taimikonhoitoon metsänhoidon suosituksilla, ym. informaatio-ohjauksella sekä Kemera/Metka-tuella. Myös puuraaka-

ainemarkkinat ohjaavat metsänhoitoa niin, että metsänomistajan on kannattavaa pyrkiä tuottamaan järeää, korkea-arvoista puuraaka-ainetta. Markkinaohjaus kannustaa siten metsänuudistamistoimiin ja taimikonhoitoon, joilla ohjataan kasvupaikan puuntuottokyky parhaiten tuottavien puuyksilöiden kasvuun. Näistä ohjauskeinoista huolimatta taimikonhoito viivästyy ja viivästymiseen on haastava vaikuttaa (Haltia 2020). Koska taimikkovaiheessa puuston biomassa on pieni, voidaan taimikonhoidolla vaikuttaa varsin rajallisesti metsien hiilivaraston kokoon ja hiilinieluun.

10 SÄÄSTÖPUUT JA KUOLLEEN PUUN HIILIVARASTON LISÄÄMINEN

10.1 NYKYTILA JA PÄÄSTÖJEN VÄHENTÄMISEN KEINOT

Lahopuut, sekä kuolleet pystypuut että maahan kaatuneet, varastoivat hiiltä metsään jätettyinä vuosikausia. Lahopuuta syntyy luonnonpoistuman myötä, mutta myös aktiivisin toimin tekopökkelöiden muodossa sekä hakkuissa metsään jätettyjen runkopuiden ja korjattujen puiden latvaosien myötä. Vuonna 2025 metsiin jäi noin 16 miljoonaa kuutiometriä uutta kuollutta runkopuuta, josta puolet oli hakkuutähteiden runkopuuta ja puolet luontaisesti kuollutta runkopuuta (Luonnonvarakeskus 2026D). Kuolleen puuston keskitilavuus on kasvanut viimeisimmissä inventoinneissa ja 2020-luvun alkupuolella (VMI13- ja VMI13/14-aineistoissa) pystypuiden keskitilavuus metsämaalla on ollut yli 2 m^3/ha ja maapuiden hieman alle 5 m^3/ha. Nämä kuolleen puun syötteet tukevat maaperän orgaanisen aineksen, kuolleen puun ja karikkeen kasvihuonekaasutasetta, jonka nettohiilinielu on kivennäismailla heikentynyt 10 Mt CO_2:sta alle 1 Mt CO_2:een vuodesta 2000 vuoteen 2024 (SVT 2026).

Säästöpuiden ja tekopökkelöiden avulla voidaan lisätä kuolleen puun määrää. Jos hakkuussa korjaamisen sijaan puu jätetään metsään, ylläpitää se metsikön hiilivarastoa. Hiilitase vahvistuu, jos hakkuita ei kasvateta muissa metsissä. Säästöpuiden kuoltua niihin varastoitunut hiili säilyy metsässä lahopuun muodossa. Lahopuun hiilivarastoa voidaan ylläpitää myös vähentämällä kuolleiden pystypuiden korjuuta ja välttämällä maapuiden murskaantumista hakkuiden yhteydessä. Saariston ym. (2020) arvion mukaan järeän lahopuuston tilavuus pieneni hakkuiden yhteydessä alle kolmasosaan. Jos tätä lahopuuston hajoamisnopeutta kiihdyttävää murskautumista hakkuiden yhteydessä voidaan hillitä, olisi sillä suotuisa vaikutus lahopuuston hiilivaraston kehitykseen.

Lahopuuston määrän kasvattamisella olisi merkittäviä metsäluonnon monimuotoisuushyötyjä, jotka voidaan nähdä näiden toimien positiivisina sivuvaikutuksina.

10.2 PÄÄSTÖVÄHENNYSARVIO JA KUSTANNUKSET

Luonnonpoistuman voimistamisen vaikutuksia maaperän hiilinieluun on tarkasteltu MELA- ja Yasso07-malleja hyödyntäen (Lehtonen ym. 2021). Tarkastelussa noin 7 milj. m^3 luonnonpoistuman tasoa korotettiin pysyvästi 50 % ja 100 % vuodesta 2020 lähtien. Maltillisemman ja voimakkaamman korotuksen myötä kangasmaiden hiilinielu voimistui 1,3 ja 2,5 Mt CO_2 vuoteen 2035 mennessä ja heikkeni siitä eteenpäin ollen vuonna 2060 0,8 ja 1,6 Mt CO_2 voimakkaampi kuin vertailutapauksessa. Luvuista voidaan arvioida, että luonnonpoistumasyötteen nieluvaikutus on ensin n. 0,36 t CO_2/m^3 ja laskien siitä 25 vuodessa tasoon 0,23 t CO_2/m^3. Vastaavan suuruusluokan vaikutusta voitaneen arvioida myös lahopuun tuhoamisen välttämiselle.

Kustannukset muodostuvat vähentyneistä puunmyyntituloista, kun puuta ei korjata myyntiin vaan jätetään säästöpuuksi tai tekopökkelöksi. Hakkuiden yhteydessä korjaamatta jätetyt kuolleet puut aiheuttavat myös tulonmenetystä ja lahopuun murskaamisen välttäminen voi nostaa korjuukustannuksia. Ilmava-raportissa (Lehtonen ym. 2021) tehdyn mallilaskelman perusteella voidaan karkeasti arvioida, että vuotuinen kuution luonnonpoistuman lisäys voimistaa vuotuista nielua keskimäärin noin 0,3 t CO_2 neljänkymmenen vuoden tarkasteluhorisontilla. Metsänomistajan kustannus säästöpuista ja tekopökkelöistä perustuu menetettyyn puunmyyntituloon eli puun hakkuuarvoon. Puun arvo riippuu puulajista sekä puun järeydestä ja laadusta. Karkeasti arvioiden puun kuutiohinta vaihtelee

energiapuun ja ainespuun pystykauppahintojen välillä, viime vuosien hintatasoilla n. 20–80 €/m^3. Tällöin hiilensidonnan kustannukseksi saadaan 70–270 €/t CO_2.

10.3 OHJAUSKEINOT

Lahopuun määrä talousmetsissä on lisääntynyt erityisesti eteläisessä Suomessa (Korhonen ym. 2024), kun metsiin on jäänyt metsänhoitosuositusten mukaisesti säästöpuuryhmiä ja kuolleita pysty- ja maapuita ei ole hakkuissa murskattu tai korjattu polttopuuksi. Informaatio-ohjauksella ja metsänhoitosuositusten mukaisella metsänhoidolla voidaan edelleen lisätä kuolleen puun määrää ja hiilivarastoa talousmetsissä. Lisäksi kuolleen puun hiilivarastoa ovat lisänneet metsänomistajan ja puunostajan väliset sopimukset tekopökkelöiden ja metsänhoitosuosituksia laajempien säästöpuuryhmien jättämisestä metsään. Metsänomistaja voi päättää jättää metsään tavoitteidensa mukaisen säästöpuumäärän tai kolopesijöitä suosivia pökkelöitä ilman korvausta menetetyistä puunmyyntituloista. Vaihtoehtoisesti ostaja voi maksaa korjatusta puusta korotettua hintaa saavuttaakseen omien vastuullisuusraportoinnissa seurattavat tavoitteet lahopuumäärien kasvusta.

Metsäsertifiontijärjestelmät ohjaavat niihin sitoutuneita metsänomistajia jättämään metsään säästöpuuryhmiä ja välttämään kuolleiden pysty- ja maapuiden tuhoutumista hakkuiden yhteydessä. Sertifiointivaatimukset asetetaan sertifiointijärjestelmän osapuolien kesken ja vaatimusten muuttaminen on suhteellisen pitkä prosessi. Sertifiointijärjestelmistä FSC:llä (2023) on korkeammat vaatimukset säästöpuumäärästä kuin PEFC:ssä (2024). Jos aiempaa suurempi osa metsänomistajista päättää liittyä FSC sertifiointiin, niin se lisää säästöpuumääriä ja sitä kautta pidemmällä aikavälillä myös lahopuun hiilivarastoa.

Lahopuun määrään ja hiilivarastoon voidaan vaikuttaa myös asettamalla velvoittavat säästöpuumäärät metsälakiin (Lintunen ym. 2026). Esimerkiksi metsänhoitosuositusten mukaisten säästöpuumäärien sisällyttäminen metsälain vaatimuksiin lisäisi kuolleen puuston hiilivarastoa sitä mukaa kun säästöpuuryhmän puut kuolisivat ja jäisivät metsään lahoamaan. Laki- ja sertifiointirajat ylittävät säästöpuumäärät olisivat lisäisiä keinoja kasvattaa metsien kuolleen puun hiilivarastoa ja niitä voitaisiin tukea rahallisesti liittämällä ne hiilikorvausten piiriin.

11 PUUTUOTTEET JA TUOTANTORAKENNE

11.1 NYKYTILA JA PÄÄSTÖJEN VÄHENTÄMISEN KEINOT

Puutuotteiden hiilinielu tarkoittaa puutuotteiden hiilivaraston kasvua ja se suuruus arvioidaan vuosittain kansallisessa kasvihuonekaasuinventaariossa (SVT 2026). Lähtötietoina käytetään kansallisia ja FAOSTAT:in julkaisemia tuotantotilastoja, ja metodologia noudattaa IPCC:n ohjeistusta (IPCC 2006, Hamberg ym. 2016, Statistics Finland 2025 luku 6.11; Tietolaatikko 5). Suomen kasvihuonekaasuinventaariossa puutuotteet ovat olleet nielu koko tarkastelujaksolla 1990–2024 paitsi vuonna 2009, jolloin finanssikriisiä seurannut taloudellinen taantuma vähensi voimakkaasti metsäteollisuustuotteiden kysyntää ja tuotantoa. Puutuotenielu on vaihdellut -6,8 ja 1,6 Mt CO_2-ekv. välillä. Koko tarkasteluajan keskiarvo on ollut -3,6 Mt CO_2-ekv. ja vuosina 2020–2024 noin -2,4 Mt CO_2-ekv.

Tietolaatikko 5. Puutuotteiden hiilinielun laskenta.

Puutuotteiden hiilinielu

Puutuotteiden hiilinielu koostuu paperi- ja kartonkituotteiden, puulevyjen ja sahatavaran hiilivaraston muutoksista eli varaston lisäyksistä ja poistumista.

Varaston muutosta arvioidaan Suomessa IPCC:n laskentaohjeiden (IPCC 2019C) ns. tuotantomenetelmän (”product in use”) mukaisella yhtälöllä. Menetelmän lähtötietona on puutuotteiden hajoamisnopeus, joita kuvataan hajoamisyhtälössä tuotteiden puoliintumisaikojen avulla. Nämä puoliintumisajat yhdessä hajoamisnopeutta kuvaavan yhtälön kanssa tuottavat kulloisenkin tuotteista vapautuvan hiilimäärän.

Tuotteiden hiilivaraston muutoksen arviointiin tarvitaan myös tieto hiilivaraston alkutilasta ja vuosittain varastoon tulevasta hiilimäärästä. Varastoon tulevan hiilimäärä saadaan hajoamisyhtälön ja eri vuosien puuvirtojen ja niistä valmistettujen tuotteiden hajoamisnopeuksien avulla. Poistumat varastosta ovat tilastollisia ja perustuvat aikanaan valmistettujen puutuotteiden puoliintumisaikoihin.

Puoliintumisajalla tarkoittaa sitä, että puutuotteen sisältämästä hiilestä puolet vapautuu ilmakehään 35 vuodessa. Suomessa puutuotenielun merkittävin komponentti on sahatavara, mutta lyhyen puoliintumisajan ja suuren tuotantovolyymin paperituotteet (ml. kartonki) aiheuttavat myös merkittävää tuotannon määrän muutoksista johtuvaa vaihtelua puutuotenielussa.

Suomessa puutuotteiden puoliintumisajoille käytetään IPCC:n (2019C) oletusarvoja:

- 2 vuotta paperituotteille (ml. kartonki).
- 25 vuotta levytuotteille.
- 35 vuotta sahatavaralle.

Puutuotteiden varaston lisäyksiin lasketaan kaikki Suomessa tuotetut puutuotteet, eli myös maasta viedyt puutuotteet lasketaan Suomen puutuotenieluun. Jos Suomessa valmistettavien tuotteiden jakauma säilyy samana, voi puutuotteiden hiilinielua kasvattaa vain tuotantomääriä ja hakkuita lisäämällä. Hakkuissa korjatun puun biomassasta yli puolet käytetään energiantuotantoon ja vain alle puolet päätyy tuotteisiin. **Siirtymällä valmistamaan suhteessa enemmän pitkäikäisempiä puutuotteita, puutuotenielua voidaan kasvattaa, vaikka hakkuut vähenisivät**.

Puuraaka-aineeseen perustuvan tuotannon ohjaaminen pitkäikäisiin puutuotteisiin on puutuotenielun näkökulmasta hyödyllistä (Brunet-Navarro ym. 2017). Jos systeemirajausta laajennetaan niin sanottuihin korvausvaikutuksiin, ilmastovaikutukset vaativat laajemman tarkastelun (Sathre & O'Connor 2010). Korvausvaikutuksilla tarkoitetaan sitä, että puuperäisillä raaka-aineilla ja tuotteilla korvataan fossiilisia. Eräs tapa voimistaa puutuotenielua olisi pidentää puutuotteiden elinikää käyttämällä tuotteita pidempään tai pidentämällä niiden elinkaarta kierrättämällä. Näillä ei kuitenkaan ole vaikutusta kasvihuonekaasuinventaarion tuloksiin, jollei puoliintumisaikaoletuksia samalla päivitetä vastaamaan muuttunutta tilannetta. Paperi- ja kartonkituotteiden kierrätysasteet ovat EU-alueella korkeita (EPRC 2025) mutta pitkäaikaisten puutuotteiden matalia (Cristóbal Garcia ym. 2024).

Puutuotteiden oletetusta hajoamisprosessista johtuen muutokset puutuotteiden tuotantomäärissä johtavat ajallisesti kehittyviin nielutasoihin. Esimerkiksi, jos sahatavaroiden hiilivarastoon ohjautuu vuosittain miljoona tonnia hiilidioksidia, sahatavaran vuotuinen hiilinielu on aluksi miljoona tonnia, mutta laskee siitä hitaasti niin, että 35 vuoden puoliintumisajan jälkeen nielu on enää puolet tästä. Vastaavasti, jos miljoona tonnia hiilidioksidia ohjautuukin vuosittain pysyvästi paperituotteiden sijasta sahatavaraan, niin puutuotteiden vuotuinen hiilinielu voimistuu kymmenessä vuodessa 0,8 miljoonaan tonniin, josta se laskee hitaasti sahatavaran puoliintumisnopeuden määräämällä tahdilla. Jos tämä suhteutetaan muutoksiin puutuotteiden tuotantoon käytettävässä puun määrässä, pysyvä miljoonan raakapuukuution vuotuinen ohjautuminen paperituotteiden sijasta sahatavaraksi johtaa samanlaiseen ajalliseen kehitykseen, ja vuotuisen nielun muutos on suurimmillaan 0,25–0,3 miljoonaa tonnia hiilidioksidia vuodessa.

11.2 PÄÄSTÖVÄHENNYSARVIO JA KUSTANNUKSET

Puutuotteiden valmistuksen lisääminen tuotejakauman säilyessä samana kasvattaa puutuotteiden nielua, mutta heikentää metsien nettonielua. Koska negatiivinen ilmastovaikutus metsien kautta on suurempi kuin positiivinen puutuotteiden kautta (Seppälä ym. 2019, Soimakallio ym. 2021, Peltoniemi ym. 2023), keskitymme tässä puutuoteportfolion muutoksiin olettaen hakkuumäärien pysyvän ennallaan. Miljoonan kuution pysyvä muutos puutuotteiden valmistuksen ohjautumisessa tuottaisi ajassa kehittyvän muutoksen puutuotenielussa, joka on olisi kymmenen vuoden jälkeen suurimmillaan 0,25–0,3 Mt CO_2. Päästövähennyksen potentiaalia määräytyy siis suhteessa puutuotteiden valmistuksen ohjautumisen suuruuteen. Teoreettinen potentiaali on tilanteessa, jossa kaikki kuiduttavan teollisuuden käyttämä puu ohjautuisi pitkäkestoisiin tuotteisiin. Käytännössä tuotemarkkinat ja metsänkäsittely rajoittavat mahdollisuuksia lisätä pitkäkestoisten puutuotteiden määrää. Näiden mahdollisuuksien arviointi on vaikeaa.

Tuoteportfolion muuttamisesta aiheutuu puuta jalostavalle teollisuudelle kustannuksia, mutta jos muutokselle on markkinaehtoista kysyntää, siitä koituvat kustannukset katetaan tuotteista saaduilla myyntituloilla. Puutuotteiden valmistuksen nopea muutos aiheuttaisi kuitenkin talouteen shokin, jossa sellu-, paperi- ja kartonkiteollisuuden tuotanto vähenisi. Shokin vaikutuksia lieventäisi samanaikainen tuotannonlisäys puutuoteteollisuudessa. Käytännössä suuret ja nopeat muutokset metsäteollisuuden tuoteportfoliossa eivät yleensä ole mahdollisia muun muassa tuotannon pääomavaltaisuuden takia.

11.3 OHJAUSKEINOT

Puun ohjautumista pitkäkestoisiin tuotteisiin voidaan kannustaa muuttamalla suhteellisia tuottajahintoja. Lintunen & Uusivuori (2016) näyttivät, että kun metsien hiilensidontaa tuetaan varastonmuutosten perusteella, puutuotteiden valmistusta tulisi kattavassa ilmastopolitiikassa tukea niiden hiilivarastojen laatuun perustuen. Vastaavasti jos tuetaan vain metsien hiilensidontaa, kohdistuisi kattavassa ilmastopolitiikassa puun käytölle päästömaksu, joka olisi sitä pienempi, mitä parempi hiilivarasto

tuotteista muodostuu. Jos metsien hiilensidonta ei ole ohjauksen piirissä, päästömaksun avulla voitaisiin ohjata puunkäyttöä puutuotenielun kannalta edullisesti luoden samalla kannustimet vähentää hakkuita. Kustannusneutraali ratkaisu voitaisiin puolestaan rakentaa niin, että nopeasti hiilen vapauttavat käytöt kuten energia, selluntuotanto sekä paperi- ja kartonkituotteiden valmistus olisivat päästömaksun piirissä, kun taas pitkäkestoiset tuotteet olisivat tuen piirissä.

Myös muita kuin taloudellisiin kannustimiin ja hinnoitteluun perustuvia ohjauskeinoja voidaan laatia puutuotenielun voimistamiseksi. Koska nielupotentiaali riippuu pitkäkestoisten tuotteiden kysynnästä, voidaan ilmastotoimena edistää näiden markkinoiden kehittämistä ja kasvattamispyrkimyksiä. Lisäksi kerran otetun puumateriaalin käyttöä tulisi jatkaa ensimmäisen materiaalikäyttökerran jälkeen mahdollisesti moneen kertaan ennen polttamista. EU:n biotalousstrategia, kiertotalousstrategia ja ilmastopolitiikka tukevat edellä esitettyjä ajatuksia, minkä takia pitkäikäisten tuotteiden ja kierrätysratkaisujen kysynnän kasvattamista tulisi tukea EU:n yhteisen politiikkasääntelyn ratkaisujen avulla. Jos ja kun asiassa edetään, tulee muutokset pystyä myös päivittämään kasvihuonekaasuinventaarioiden laskentaoletukseen puutuotenielun vahvistumisen esille saamiseksi.

Usein esitetty toimenpide puutuotenielun kasvattamiseksi on puurakentamisen toimintaedellytysten parantaminen päävientimarkkinoilla ja Suomessa. Positiivisen ilmastovaikutuksen takaamiseksi kotimaassa metsien runkopuuhakkuiden ei tulisi kuitenkaan kasvaa samaan aikaan (Seppälä ym. 2019). Muutoksen kannalta on myös olennaista se, kuinka paljon pieniläpimittaista puuta voitaisiin ohjata polton ja kuiduttavan teollisuuden sijaan puurakentamiseen ja muuhun pitkäaikaiseen käyttöön ja kuinka paljon metsänkäsittelyssä voitaisiin suosia järeän puun tuottamista kuitupuun sijaan.

OSA III – MAANKÄYTÖN MUUTOKSET

12 METSÄKADON VÄLTTÄMINEN 79
12.1 NYKYTILA JA PÄÄSTÖJEN VÄHENTÄMISEN HAASTEET 79
12.2 PÄÄSTÖVÄHENNYSARVIO JA KUSTANNUKSET 79
12.3 OHJAUSKEINOT 80

13 SUOJELUALUEIDEN PERUSTAMINEN 82
13.1 NYKYTILA JA PÄÄSTÖJEN VÄHENTÄMISEN KEINOT 82
13.2 PÄÄSTÖVÄHENNYSARVIO JA KUSTANNUKSET 83
13.3 OHJAUSKEINOT 84

14 ENNALLISTAMINEN KOSTEIKOKSI 85
14.1 NYKYTILA JA PÄÄSTÖJEN VÄHENTÄMISEN KEINOT 85
14.2 PÄÄSTÖVÄHENNYSARVIO JA KUSTANNUKSET 86
14.3 OHJAUSKEINOT 87

15 TURVETUOTANTOALUEIDEN JATKOKÄYTTÖ 88
15.1 NYKYTILA JA PÄÄSTÖJEN VÄHENTÄMISEN KEINOT 88
15.2 PÄÄSTÖVÄHENNYSARVIO JA KUSTANNUKSET 88
15.3 OHJAUSKEINOT 89

12 METSÄKADON VÄLTTÄMINEN

12.1 NYKYTILA JA PÄÄSTÖJEN VÄHENTÄMISEN HAASTEET

Metsäkadolla tarkoitetaan metsän raivaamista muuhun maankäyttöön, kuten maanviljelyyn, yhdyskunta- tai liikennerakentamiseen (Lehtonen ym. 2021, Assmuth ym. 2022). Metsämaata siirtyi muihin maankäyttöluokkiin 2000-luvulla vuosittain peräti 20 000 hehtaaria ja 2010-luvulla noin 15 000 hehtaaria (Tilastokeskus 2021), mutta viime vuosina vuosittainen metsäkatoala on ollut alle 10 000 hehtaaria (Lehtonen ym. 2021). Metsänraivausalasta noin 56 % liittyy rakentamiseen ja noin kolmannes maatalouteen (Lehtonen ym. 2021), mutta päästöjen osalta pellonraivauksen osuus on suurempi johtuen turvemaapeltojen suurista päästöistä. Vuosina 2021–2024 metsäkadosta aiheutui vuosittain noin 2,8 milj. t CO_2-ekv. kasvihuonekaasupäästöt (SVT 2026), mikä vastasi noin 5 % Suomen kokonaisnettopäästöistä sisältäen LULUCF-sektorin.

Pellonraivauksen tapauksessa metsäkatoa edistävät useat peltomarkkinoiden huonoon toimintaan ja maataloustukijärjestelmään liittyvät tekijät, ja siksi pellon raivaaminen näyttäytyy muita pellonhankintamuotoja houkuttelevampana tilan toimintaa laajennettaessa. Rakentamisen osalta metsäkadon taustalla ovat muuttoliike yhtäältä kaupunkeihin ja toisaalta niitä ympäröiville haja-asutusalueille, liikenne- ja energiainfrastruktuurin kehittäminen sekä kaivokset ja maa-ainesten otto. Lähivuosina on odotettavissa, että uusiutuvan energian voimaloiden ja sähkön siirtoinfran rakentaminen muodostuu entistä merkittävämmäksi metsäkadon ajuriksi.

Metsäkato kasvattaa nettopäästöjä sekä välittömästi että pitkälle tulevaisuuteen, joten tällä hetkellä toteutuva metsäkato vaikeuttaa Suomen ilmastotavoitteisiin pääsemistä myös tulevaisuudessa. Metsäkadosta aiheutuvan ilmastohaitan suuruuteen vaikuttaa puuston lähtötilanne ja kasvupaikka, maaperätyyppi, vallitseva metsänhoitotapa sekä uusi maankäyttömuoto. Pellonraivauksen hehtaarikohtainen kokonaisilmastohaitta on turvemaalla suurten maaperäpäästöjen takia moninkertainen kivennäismaahan nähden, ja siksi etenkin suometsien raivaamista pelloiksi olisi tärkeää ehkäistä (Assmuth ym. 2022).

Metsäkadon minimoimisen haasteet liittyvät vaihtoehtoiskustannuksiin ja hyväksyttävyyteen. Toimijat raivaavat metsämaata muuhun käyttöön tyypillisesti siksi, että raivattavasta maasta saadaan suurempi taloudellinen hyöty uudessa käytössä. Jos metsän siirtämistä muuhun maankäyttöön hillitään hinnoittelemalla metsäkadon yhteiskunnalle aiheuttamia haittoja, yksityistaloudellisesti tuottoisampi käyttö voi jäädä kokonaan toteutumatta, liiketoiminnan laajeneminen voi estyä tai liiketoiminnan kannattavuus voi vähentyä.

12.2 PÄÄSTÖVÄHENNYSARVIO JA KUSTANNUKSET

Metsäkadon välttämisen päästövähennyspotentiaalia on arvioitu skenaariolaskelmiin perustuen (mm. Lehtonen ym. 2021). Metsäkatopinta-alat, eli metsästä rakennetuksi maaksi sekä maatalousmaaksi muuttuneet alat kivennäis- ja turvemaalla, arvioitiin laskelmissa vuosille 2025–2050. Kun laskelmissa oletettiin, että metsäkato puolitetaan ja vuotuinen metsäkatopinta-ala on keskimäärin 6 140 ha, keskimääräiseksi vuosittaiseksi päästövähennyspotentiaaliksi vuosina 2025–2050 saatiin skenaariosta ja turvemaiden osuudesta riippuen 1,0–1,5 Mt CO_2-ekv. Jos metsäkatoa onnistutaan hillitsemään erityisesti turvemailla, niin vältetään suometsästä raivattavan turvepellon suuret maaperäpäästöt. Päästövähennysten lisäksi metsäkadon torjunta tuottaa merkittäviä hyötyjä luonnon monimuotoisuuden turvaamiselle.

Metsäkadon välttämisen kustannukset muodostuvat ennen kaikkea toimijoiden vaihtoehtoiskustannuksista maankäytön muutosten jäädessä toteutumatta. Mallinnustyön (henkilökohtainen tiedonanto: Pesu ym. 2026) perusteella voidaan karkeasti arvioida, että vuosittaisen metsäkatoalan puolittamisen vaihtoehtoiskustannuksen tasoksi noin 17,5 miljoonan euroa, kun metsäkatoalan vähennys toteutettaisiin metsäkatomaksun kannustamana siellä missä se on edullisinta. Jos oletetaan metsäkatoalan vähennyksen kohdistuvan suunnilleen vastaavasti kuin Lehtosen ym. (2021) skenaariolaskelmissa, päästövähennyksen yksikkökustannus on tasoa 11,6–17,5 € / t CO_2, eli varsin edullinen. Yksikkökustannus voi olla vieläkin matalampi, jos metsäkadon väheneminen onnistuttaisiin kohdistamaan juuri sinne, missä metsäkadon aiheuttamat päästöt ja nieluvähenemät ovat suurimmat – esimerkiksi sitomalla metsäkatomaksun suuruus arvioituihin ilmastovaikutuksiin (Assmuth ym. 2022).

12.3 OHJAUSKEINOT

Tutkimuskirjallisuudessa ja selvityksissä on toistuvasti ehdotettu metsäkadon hillitsemiseksi metsäkatomaksua tai maankäytönmuutosmaksua (Ollikainen ym. 2014, Assmuth ym. 2022). Kyseessä on taloudellinen ohjauskeino, jolla ainakin osa metsäkadon aiheuttamista ulkoishaitoista tuotaisiin mukaan maankäytön muutoksia koskevaan yksityiseen päätöksentekoon. Tässä mielessä metsäkatomaksu on eräs haittaverotuksen muoto. Metsäkatomaksun etu on sen kyky vähentää metsäkatoa kustannustehokkaasti; se sallisi edelleen maankäytön muuttamisen silloin, kun tästä seuraa merkittäviä taloudellisia hyötyjä (esimerkiksi uusiutuvan energian investoinnit ja muut rakennushankkeet), mutta kannustaisi toimijoita etsimään metsäpinta-alaa säästäviä vaihtoehtoja. Metsäkatomaksulla kerättäisiin samalla varoja valtiolle tai paikallishallinnolle, joten se tukee julkista taloutta.

Metsäkatomaksun suuruuden määräytymiseen on useita mahdollisia vaihtoehtoja. Maksun suuruus voi periaatteessa perustua laskennalliseen ilmastohaittaan (Assmuth ym. 2022), laskennalliseen luontohaittaan (Pesu ym. 2025), tai näiden yhdistelmään. Toisaalta maksun voisi toteuttaa hyvinkin yksinkertaisena hehtaarikohtaisena tasasummana tai asettamalla aiheutettuun päästöön perustuen turvemaille korkeampi metsäkatomaksu kuin kivennäismaille. Mallinnustyön mukaan 6000 euron hehtaarikohtainen maksu puolittaisi vuosittaiset metsäkatohehtaarit Suomessa ja tuottaisi julkiselle taloudelle noin 43,6 miljoonaa euroa (henkilökohtainen tiedonanto: Pesu ym. 2026).

Vuonna 2024 virkamiestyönä arvioitiin maankäytönmuutosmaksun käyttöönoton vaikutuksia (Maa- ja metsätalousministeriö 2024). Vaikutusarvioinnin mukaan 5000 euron suuruisen hehtaarikohtaisen maksun päästövähennyspotentiaali yhdessä muiden ohjauskeinojen kanssa olisi 0,7–0,9 miljoonaa tonnia CO_2-ekv. vuodessa, ja maksu tuottaisi valtiolle vuosittain noin 30 miljoonaa euroa. Ohjausvaikutus olisi merkittävämpi pellonraivauksesta kuin rakentamisesta aiheutuvan metsäkadon hillitsemisessä. Toimeenpano aiheuttaisi jonkin verran hallinnollisia kustannuksia ja voisi edellyttää tietojärjestelmien täydentämistä ja kehittämistä.

Metsäkato tulee maatalousmaiden osalta jossain määrin vähentymään, kun EU:n metsäkatoasetusta (2023/1115) aletaan soveltamaan pääosin 30.12.2026 alkaen. Suomessa asetus rajoittaa lähinnä nautakarjan laiduntamista sellaisilla alueilla, jotka ovat olleet metsää ennen 30.12.2020. Nurmirehun tai viljarehun tuotantoa näillä alueilla se ei kuitenkaan kiellä, koska ne eivät kuulu asetuksen tuotteiden piiriin. Koska EU:n metsäkatoasetus on rajattu koskemaan vain nautalihakarjan tuotantorakennusten ja laiduntamisen aiheuttamaa metsäkatoa, se on täysin riittämätön hillitsemään metsäkatoa Suomessa ja tämän vuoksi tarvitaan kansallisia ohjauskeinoja.

Metsäkatoa voidaan pyrkiä vähentämään myös maankäytön suunnittelun ja kaavoituksen keinoin. Tällöin kunnat ja maakunnat tekisivät kaavoitusratkaisuja, jotka tiivistäisivät maankäyttöä ja ohjaavat rakentamista pois sellaisilta alueilta, joissa maankäytön muutos aiheuttaa suuria päästöjä ja nieluvähenemiä. Metsäkatomaksuun verrattuna heikkoutena voivat olla metsäkadon vähentämisen suuremmat vaihtoehtoiskustannukset, koska kaavoitus ei systemaattisesti huomioi toimijoiden tulonmenetyksiä eikä näin kohdista vähennyksiä sinne, missä ne olisivat edullisimpia. Mallinnustyön perusteella metsäkadon välttäminen esimerkiksi vastikään asemakaavoitetuilla alueilla aiheuttaisi hehtaaria kohti monikymmenkertaisen vaihtoehtoiskustannuksen hehtaarikohtaiseen metsäkatomaksuun verrattuna (henkilökohtainen tiedonanto: Pesu ym. 2026). Lisäksi ongelmana on puutteellinen kattavuus: tiettyjen kuntien toteuttama kunnianhimoinen metsäkadon estäminen kaavoituksella voi johtaa rakentamisen vuotamiseen toisten kuntien alueelle ja maaseudulle, jolloin tosiasialliset päästöt eivät vähene. Kuntatason maankäytön suunnittelu ja kaavoitus olisikin parasta yhdistää vastaaviin toimiin maakuntatasolla sekä koko maan kattavaan metsäkadon hinnoitteluun.

13 SUOJELUALUEIDEN PERUSTAMINEN

13.1 NYKYTILA JA PÄÄSTÖJEN VÄHENTÄMISEN KEINOT

Suomen metsämaasta oli vuoden 2025 alussa lakisääteisesti suojeltua 1,4 milj. ha eli 6,9 % pinta-alasta. Suojelu painottui Pohjois-Suomeen, jossa pinta-alaosuus oli 10,6 %, kun se Etelä-Suomessa oli 3,9 %. Lakisääteisten suojelualueiden ja talousmetsien monimuotoisuuskohteiden yhteispinta-ala oli noin 3,0 miljoonaa hehtaaria, mikä vastaa 13 prosenttia metsä- ja kitumaan pinta-alasta. Etelä-Suomessa tämä osuus oli 5,7 % ja Pohjois-Suomessa 20,3 % (Luonnonvarakeskus 2025B).

Metsätalouskäytön ulkopuolella olevat metsät kerryttävät hiilivarastoaan. Käsittelemättömien metsien hiilivarasto on keskimäärin suurempi kuin metsätalouskäytössä olevan metsän (Mäkipää ym. 2011). Suojellussa metsässä hiiltä kertyy sekä puuston biomassaan että lahopuustoon ja maaperään. Suojeluun siirrettyjen metsien hiilinielu kuitenkin heikkenee puuston ikääntyessä (Seppälä ym. 2026). Metsien keskimääräinen bruttokasvu on korkeimmillaan rehevillä mailla 35 vuoden iässä ja karuimmilla mailla hieman myöhemmin. Luonnonpoistuman lisääntyminen ja metsien vanheneminen vähentävät suojeltujen metsien elävän puuston hiilinielua pitkällä aikavälillä. Vanhoissa suojelumetsissä bruttokasvu on talousmetsien kasvua alhaisempi, mutta syntyvät järeät lahopuut ja maaperä varastoivat hiiltä tehokkaammin kuin keskimääräiset puutuotteet tällä hetkellä (Mehtätalo 2023). Luonnolliset häiriöt, kuten tuuli- ja hyönteistuhot tai metsäpalot voivat pienentää elävän puuston hiilivarastoa. Kuolleen puun lahoaminen metsässä kestää vuosikymmeniä. Metsään jäävään runkopuuhun varastoitunut hiili vapautuu ilmakehään hitaammin kuin korjatun ja tuotteiden valmistukseen käytetyn runkopuun hiilivarasto.

Metsätalouskäytön päättymisen ja metsän suojelun myötä, maanomistaja ei pysty enää saamaan puunmyyntituloja suojelualalta. Tämä vaihtoehtokustannus on merkittävä erityisesti runsaspuustoisten hakkuukypsien metsien tapauksessa. Suomessa viime vuosien aikana metsien suojelua on rahoitettu julkisin varoin metsänomistajien vapaaehtoisuuteen perustuvassa METSO-ohjelmassa, jossa yksityisellä metsänomistajalla on mahdollisuus saada täysi korvaus pysyvästä suojelusta. Metsänomistajat ovat suojelleet metsiä myös omalla päätöksellään ilman julkista rahoitusta. Lisäksi suojelualueita on perustettu ja voidaan perustaa esimerkiksi kuntien tai yritysten rahoituksella kompensoimaan rakentamisen tai muun toiminnan aiheuttamaa luontokatoa ja hiilinielumenetyksiä.

Suojelun keskeinen ero muihin tarkasteltuihin toimiin on, että sen pääasiallinen tarkoitus ei ole hiilensidonta vaan metsäluonnon monimuotoisuuden turvaaminen ja parantaminen. Hiilensidonta on nähtävissä monimuotoisuustoimen lisähyödyksi. Hiilensidontahyötyä kuitenkin heikentää se, että suojellun alan hakkuiden poistuessa markkinoilta hakkuupaine siirtyy talouskäyttöön jääneisiin metsiin. Hyötyjen heikkenemisen määrää se, kuinka hakkuupaine realisoituu maan sisäiseksi hakkuuvuodoksi.

EFDM[3]-mallilla (Packalen ym. 2014) tehtyjen skenaariolaskelmien mukaan metsä- ja kitumaan noin 5 prosentin lisäsuojelu kokonaispinta-alasta lisäsi uudistushakkuita talousmetsissä. Tämän seurauksena nuorten metsien kokonaispinta-ala kasvoi verrattuna skenaarioon, jossa suojelupinta oli nykytasolla. Laskelmissa lisäsuojelu toteutettiin tarkasteluajan alussa ja vuotuinen hakkuukertymätavoite oli 72,4 miljoonaa kuutiometriä vuosina 2016–2051. Erilaiset lisäsuojeluvaihtoehdot kasvattivat puuston kokonaistilavuutta. Lisäsuojelua sisältävissä skenaarioissa kuitenkin myös uudistushakkuiden pinta-

[3] European Forestry Dynamics Model

alaa kasvoi, minkä takia kokonaistilavuus kasvoi vähemmän kuin skenaariossa, jossa oletuksen oli nykyinen suojelutaso (Kärkkäinen & Koljonen 2023).

MELA-ohjelmistolla (Hirvelä ym. 2017) tehtyjä skenaariolaskelmia on hyödynnetty arvioitaessa lisäsuojelun vaikutuksia hakkuumahdollisuuksiin. EU:n biodiversiteettistrategian vaikutusten arviointia varten tehdyissä, suurimman ylläpidettävän energia- ja ainespuun hakkukertymä mukaisissa MELA-laskelmissa runkopuun vuotuinen hakkuukertymä pieneni lisäsuojeluskenaariosta riippuen 1–2 tai 7–11 miljoonaa kuutiometriä vuosina 2016–2045 verrattuna laskelmaan, jossa oletuksena oli nykyinen suojelu. Lisäsuojeluskenaarioissa puuntuotannon ulkopuolella tai rajoitetussa puuntuotannossa oli 16–20 % metsämaan pinta-alasta (Kniivilä ym. 2022). Kniivilän ym. (2026) tekemien MELA-laskelmien mukaan luontotyyppien ennallistamiseen tähtäävät toimet laaja-alaisilla metsäisillä luontotyypeillä (boreaaliset luonnonmetsät, puustoiset suot, lehdot ja harjumetsät) pienensivät runkopuun vuotuisia suurimman ylläpidettävissä olevan hakkuukertymäarvion mukaisia runkopuun hakkuukertymiä skenaariosta riippuen 2–4 tai 7–9 miljoonaa kuutiometriä suhteessa perusuraan 30 vuoden tarkastelujakson aikana. Laskelmissa oletuksena oli lisäsuojelun lisäksi luontotyyppikohtaisia muutoksia metsänkäsittelyissä (esim. puustoisilla soilla jatkuvaa kasvatusta). Kaikkien edellä esiteltyjen MELA-laskelmien mukaan lisäsuojelu vähensi hakkuumahdollisuuksia, mutta lisäsi puuston runkotilavuutta. Suojeluskenaarioita verrattiin MELA-ohjelmistolla tehdyissä analyyseissä suurimpaan ylläpidettävissä olevaan hakkuutasoon, joka on selvästi tähän mennessä toteutuneita hakkuita suurempi, joten suojeluskenaarioiden miljoonia kuutioita pienemmät hakkuut ovat lähellä tähänastisia toteutuneita hakkuita. Laskelmien tulokset ja laskelmiin liittyvät oletukset on raportoitu tarkemmin edellä mainituissa julkaisuissa.

13.2 PÄÄSTÖVÄHENNYSARVIO JA KUSTANNUKSET

Ilmava-raportissa (Lehtonen ym. 2021) esitettiin valtakunnan metsien inventoinnin (VMI12) aineiston perusteella puuston biomassan ero metsissä, joita ei ole käsitelty 30 vuoteen ja jotka ovat olleet käsittelyjen piirissä. Laskennan perusteella tuoreilla ja lehtomaisilla kankailla biomassan määrä on kasvanut keskimäärin 1 t/ha/v 30 vuoden siirtymäjakson aikana. Tämä vastaa 1,8 t CO_2/ha vuotuista lisänielua. Tämän arvion perusteella, 100 000 hehtaarin suojelu johtaisi 0,18 Mt CO_2 vuotuiseen lisänieluun 30 vuoden ajan. Päästövähennyksen määrä riippuu siis suoraan suojeltavan alueen laajuudesta.

Edellä esitetty suurusluokka-arvio on melko karkea ja jättää huomiotta maaperän hiilivaraston kertymisen. Tutkimukset antavat viitteitä, että maaperän hiilivarasto on suurempi luonnontilaisissa metsissä verrattuna talousmetsiin (Tamminen & Ilvesniemi 2012). Lisäksi luonnontilaisena kehittyvässä suojellussa metsässä lahopuun hiilivarasto on suurempi kuin talousmetsissä.

Suojelun kustannukset syntyvät siitä, että suojelun myötä metsänomistaja menettää puunmyyntitulot suojellulta alalta. Päätehakkuujäreyden saavuttaneen uudistuskypsän metsän arvo koostuu puunmyyntituloista ja paljaan maan arvosta, mitkä asettuvat tyypillisesti 10 000–25 000 €/ha välille puunhinnoista ja puuston määrästä riippuen. Suojelun myötä sidotulle hiilidioksiditonnille voidaan karkeasti arvioida kustannuksen suuruusluokka seuraavasti: Ilmava-raportin arviossa hehtaarin suojeluala sitoisi 30 vuoden siirtymäjakson aikana keskimäärin 55 t CO_2. Metsikön arvon ollessa esim. 15 000 euroa, metsänomistajan taloudellisen menetyksen kattava kertakorvaus suojelusta tarkoittaisi siis n. 270 €/t CO_2 hiilen sidonnan kustannusta. Edellä esitetylle arvojen vaihteluvälille 10 000–25 000, kustannukset ovat 180–450 €/t CO_2, jos käytetään keskimääräistä hiilensidonta-arviota. Hiilensidonnan potentiaali korreloinee positiivisesti metsikön arvon kanssa, joten vaihteluväli voi olla liian laaja. Joka tapauksessa on kyse suuruusluokka-arviosta. Koska suojelun pääasiallinen tarkoitus on metsäluonnon

monimuotoisuuden vahvistaminen, kustannuksista vain osan voidaan tulkita kohdistuvan ilmastotoimille.

13.3 OHJAUSKEINOT

Metsien suojelupinta-alan lisääminen onnistuu, jos suojelualueiden perustamiseen löytyy yksityistä tai julkista rahoitusta. METSO-suojeluohjelmaan tarjotaan huomattavasti enemmän luontoarvoiltaan korkeatasoisia kohteita, kun käytettävissä olleella rahoituksella on voitu hankkia. METSO-rahoituksen lisääminen vaikuttaisi suoraan suojelupinta-alan kasvattamiseen. METSO-ohjelman lisäksi metsien suojelua voisi lisätä rahoitusinstrumenteilla, joissa kaikilla suojelualueiden perustamisesta kiinnostuneilla maanomistajilla olisi yhtäläiset mahdollisuudet tarjota luontoarvoiltaan korkeatasoisia kohteita rahoitettavaksi ja maanomistajien tarjoukset kilpailutettaisiin, jolloin suojelun keskimääräiset kustannukset voisivat laskea ja käytettävissä olevalla resurssilla saataisiin perustettua enemmän tai runsaspuustoisempia suojelualueita.

Metsien suojelua voi lisätä myös yksityisellä rahoituksella. Esimerkiksi yritysten vastuullisuusohjelmiin voi kuulua yrityksen toiminnan negatiivisten ilmasto- ja luontovaikutusten hyvittäminen perustamalla luonnon monimuotoisuutta ja hiilinieluja ylläpitäviä suojelualueita. Suojelualueita on perustettu myös yksityisten ihmisten testamenttilahjoituksilla, säätiöiden rahoituksen avulla sekä yksityisellä yritysten tai henkilöiden rahoituksella. Yksityistä rahoitusta metsien suojeluun voi kannustaa verovähennyksin. Myös kunnat voivat lisätä suojelualueita siirtämällä omistamiaan tai ostamiaan metsäalueita suojeluun kompensoidakseen maankäytön muutosten aiheuttaa luontokatoa ja hiilinielumenetyksiä. Esimerkiksi Espoon kaupunki kompensoi rakentamisen aiheuttamaa metsäkatoa suojelemalla rakennettua aluetta kolme kertaa suuremman metsäalueen ja suojelun myötä kasvava metsän hiilinielu on suurempi kuin rakennetulla alueella menetetty (Järveläinen ym. 2024). Suurien hankkeiden ympäristövaikutusten arvioinnissa voisi velvoittaa arvioimaan mikä on riittävän suuri suojelualue, jolla aiheutetut haitalliset ilmasto- ja luontovaikutukset tulisivat kompensoitua. Normiohjauksella tulisi velvoittaa haittaa aiheuttavat toimijat maksamaan aiheuttamastaan haitasta tai kompensoimaan haitta lupaviranomaisen katselmoimin ja hyväksymin keinoin. Luonnonsuojelulaki (09/2023) raamittaa vapaaehtoisen ekologisen kompensaation toteutusta ja luonnonarvomarkkinoita pyritään vauhdittamaan niin kansallisesti kuin EU:ssakin (Ympäristöministeriö 2026). Markkinapohjaisella luonnonsuojelulla voi olla myönteisiä ilmastovaikutuksia päästövähennysten ja hiilinielujen vahvistumisen kautta.

14 ENNALLISTAMINEN KOSTEIKOKSI

14.1 NYKYTILA JA PÄÄSTÖJEN VÄHENTÄMISEN KEINOT

Ennallistamisen ekologisena lähtökohtana on turvemaan vesitalouden palauttaminen, jolla pyritään korjaamaan ojitusten suoluontotyypeille aiheuttama ekologinen heikentyminen ja siitä seurannut lajiston monimuotoisuuden väheneminen (Kaakinen ym. 2018). Hydrologian palauttaminen edellyttää ojien tukkimista sekä kokonaisvaltaista valuma-aluesuunnittelua, sillä yksittäisen suo-osan tila kytkeytyy aina laajempaan suoyhdistymään ja sen valuma-alueeseen. Toimien yhteensovittaminen valuma-aluetasolla onkin keskeinen edellytys sekä ekologisen vaikuttavuuden että kasvihuonekaasupäästövähennysten kannalta (Aapala ym. 2025, maa- ja metsätalousministeriö 2026A).

Kosteikkojen päästöt ja nielut sisällytetään LULUCF-sääntelyn piiriin vuodesta 2026 alkaen, mikä avaa mahdollisuuden hyödyntää kosteikkojen ennallistamisesta syntyviä nieluja täysimääräisesti Suomen kasvihuonekaasuinventaariossa (Leinonen ym. 2021). Tämä luo merkittävän ohjauskeinon suometsien ja entisten turvetuotantoalueiden vettämistoimenpiteille osana maankäyttösektorin päästövähennyspolkua. Ennallistamistoimiin kuuluva turvemaapeltojen vettäminen on käsitelty erikseen luvussa 4.3. Turvemaan pellot.

EU:n ennallistamisasetus velvoittaa jäsenvaltiot ennallistamaan ensisijaisesti maatalouskäytössä olevia ojitettuja turvemaita, joista 30 % on ennallistettava vuoteen 2030, 40 % vuoteen 2040 ja 50 % vuoteen 2050 mennessä. Myös turvetuotantoalueet voidaan laskea mukaan näihin tavoitteisiin. Lisäksi muiden ojitettujen turvemaiden, kuten ojitettujen suometsien, uudelleenvettäminen voidaan laskea mukaan tavoitteiden saavuttamiseen, kuitenkin enintään 40 prosentin osuuteen asti kokonaistavoitteesta (Regulation (EU) 2024/1991, Article 11(4)). On kuitenkin toistaiseksi tulkinnanvaraista, mitkä toimenpiteet (aktiivinen ennallistaminen, kunnostusojituksista luopuminen vai jatkuvapeitteiseen kasvatukseen siirtyminen) lasketaan ennallistamiseksi asetuksen tarkoittamassa mielessä (Räsänen ym., 2023).

Metsäojitettujen soiden osalta ennallistamispotentiaali on huomattava. Suomen metsäojitettujen soiden kokonaispinta-ala on noin 4,7 miljoonaa hehtaaria, joista noin 800 000 hehtaaria on arvioitu puuntuotannollisesti kannattamattomiksi (Salmivaara ym. 2026). Jos kriteerinä pidetään taloudellista kannattavuutta, turhien ojitusten määrän on arveltu olevan selvästi suurempi (Viitala ym. 2023). Ennallistamispotentiaalia lisää edelleen se, että vaikka ojitetulla suolla olisi taloudellisesti kannattavaa kasvattaa ensimmäinen puusukupolvi, päätehakkuun jälkeen kasvatusta ei korkeiden investointikustannusten (uudistaminen, lannoitus, kunnostusojitus) takia enää välttämättä kannata jatkaa.

Turvetuotantoalueiden tarkkaa pinta-alaa ei tunneta, mutta eri arvioiden mukaan se olisi Suomessa nyt noin 30 000–42 300 ha (ks. Luku 15.1; Statistics Finland 2025, Bioenergia ry 2026). Kekkosen ym. (2024) mukaan turvetuotannon piirissä ollut ala on 111 602 ha, joka sisältää sekä aktiivisen että passiivisen turpeennostoalan, mutta myös jo jatkokäyttöön siirtyneet entiset turvesuot. Nykyisin tuotannossa olevista tai tuotantoon suunnitelluista turvetuotantoalueista olisi arviolta noin 10 000–12 000 ha vettämiskelpoisia (Lehtonen ym. 2021, Kekkonen ym. 2024).

Kosteikoksi ennallistamiseen liittyy haasteita, sillä kosteikkosuunnitteluun liittyvä osaaminen ja tiedonvälitys vaativat vahvistamista. Tärkeimmille turvemaavaltaisille valuma-alueille tarvitaan riittävät henkilöresurssit, ja vuoden 2026 aikana otetaan käyttöön kosteikkoluotsi-malli, joka kytkeytyy olemassa oleviin valuma-aluekohtaisiin yhteistyöryhmiin (Maa- ja metsätalousministeriö 2026A). Malli pyrkii varmistamaan, että ennallistamistoimet etenevät koordinoidusti eri toimijoiden välillä ja että tavoitteiden saavuttaminen on seurattavissa sekä kansallisella että alueellisella tasolla.

14.2 PÄÄSTÖVÄHENNYSARVIO JA KUSTANNUKSET

Ojitettujen suometsien ennallistamisen päästövähennysvaikutus riippuu keskeisesti suon ravinteisuudesta. Lehtonen ym. (2021) raportissa ravinnerikkaiden ojitettujen suometsien ennallistamisen todettiin tuottavan merkittävän ilmastohyödyn. Päästöt vähenisivät 4,66 t CO_2-ekv./ha/v, kun ravinteikas suo muuttuu takaisin luonnontilaiseksi (Lehtonen ym. 2021). Karujen, vähäravinteisten suometsien ennallistaminen sen sijaan lisää kasvihuonekaasupäästöjä 2,08 t CO_2-ekv./ha/v, sillä metaanin tuotanto käynnistyy turpeessa ja puuston hiilensidonta lakkaa ennallistamistoimien yhteydessä, jolloin ilmastohyödyt realisoituvatkin näillä alueilla vasta vuosikymmenten tai jopa satojen vuosien aikajänteellä (Lehtonen ym. 2021).

Laine ym. (2024) vahvistavat ravinteisuuden merkityksen ja tarkentavat kuvaa ennallistamispolun valinnan vaikutuksesta. Käytetyt ennallistettujen soiden päästöarviot eivät perustu suoriin mittauksiin ennallistetuista soista, vaan luonnontilaisten soiden pitkän aikavälin hiilenkertymänopeuksiin ja kirjallisuusarvoihin, mikä on merkittävä ja tunnistettu epävarmuustekijä. Pelkän maaperän kasvihuonekaasutaseen perusteella mallinnettu ravinteikkaan ojitetun suometsän ennallistaminen kuusikkokorveksi vastaisi noin 2,5 t CO_2-ekv./ha/v päästövähennystä 16 vuoden aikajänteellä ja noin 3,3 t CO_2-ekv./ha/v päästövähennystä 100 vuoden aikajänteellä (Laine ym. 2024). Nämä luvut ovat samaa suuruusluokkaa kuin Lehtosen ym. (2021) raportoima 4,66 t CO_2-ekv./ha/v, joskin laskentamenetelmät ja oletukset poikkeavat toisistaan. Karujen suometsien osalta kaikki tarkastellut ennallistamispolut johtivat päästöjen kasvuun, vahvistaen Lehtosen ym. (2021) havaintoja.

Launiainen ym. (2025) lisäsivät tarkasteluun puuston hiilivaraston, hakkuutähteiden hajoamisen sekä puutuotteiden hiilen vapautumisen. Tulosten mukaan ennallistamistoimi, jossa ennallistettava runsasravinteinen suo säilytetään puustoisena, voi tuottaa välittömän päästövähennyksen. Ravinteisen suon ennallistaminen puuttomaksi suoksi johtaisi sen sijaan päästöjen kasvuun. Karujen suometsien ennallistaminen johtaa myös Launiaisen ym. (2025) mukaan päästöjen kasvuun kaikissa tarkastelluissa tilanteissa.

Ennallistamisen kustannukset vaihtelevat huomattavasti hankkeesta ja kohteen ominaispiirteistä riippuen. Suomen metsäkeskukselle tehdyn tietopyynnön hankeaineiston perusteella (7 hanketta, yhteensä noin 178 ha) pinta-alapainotettujen nettokustannusten keskiarvo oli noin 829 €/ha. Yksittäisten hankkeiden hehtaarikohtaiset kustannukset vaihtelivat noin 320 €:sta (laaja, 100 ha:n ojitusalue) aina noin 2 474 €:on (pienialainen korpihanke). Suurilla yhtenäisillä kohteilla kustannusvaikuttavuus on selvästi parempi kuin pienillä, hajallaan olevilla kohteilla, joilla esimerkiksi kuljetuskustannukset ja suunnittelutyö nostavat hehtaarikohtaisia kuluja merkittävästi (Suomen metsäkeskus, 2026B). Kun käytetään kirjallisuudessa raportoituja runsasravinteisten soiden ennallistamisella saavutettavia maaperän päästövähennyksiä (2,5–4,66 t CO_2-ekv./ha/v, Lehtonen ym 2021, Laine ym. 2024), lasketaan saavutetuksi päästövähennykseksi ennallistamista seuraavien 20 vuoden vähentyneet päästöt ja oletetaan ennallistamisen kustannukseksi 830 €/ha (Metsäkeskus 2024) saadaan päästövähennyksen hinnaksi 9–17 €/t CO_2-ekv. ja onnistuneen ennallistamisen myötä päästövähennys jatkuu 20 vuoden jälkeenkin, minkä alentaa yksikkökustannusta.

Turvetuotannosta poistuneilla alueilla maaperä on usein merkittävä kasvihuonekaasujen lähde ja ennallistaminen vettämällä on ilmastovaikutuksiltaan tehokas toimenpide, jolla päästövähennys on peräti 9,40 t CO_2-ekv./ha/v, kun hiilidioksidipäästöt loppuvat ja maaperä muuttuu hiilinieluksi (Lehtonen ym. 2021). Vettämisen kustannukset turvetuotantoalueilla maansiirtojen ja patojen avulla on arvioitu olevan 500–1000 € hehtaaria kohden, ja potentiaalisten rahkasammalsiirtoistutusten kustannukset ovat 5 000–10 000 € hehtaaria kohden. Näin ollen päästövähennyskustannus on 53–106 €/ t CO_2 ekv ilman

siirtoistutuksia ensimmäisen vuoden osalta, mutta yksikkökustannus laskee nopeasti ajan myötä ennallistamisen edetessä, jos lisätoimenpiteitä ei tarvita.

Lehtonen ym. (2021) tarkastelivat ojitettujen suometsien ja turvetuotantoalueiden ennallistamisen päästövähennyspotentiaalia kahdessa skenaariossa. Skenaariossa 1, jossa ojitettuja suometsiä ennallistetaan 5 000 ha vuodessa ja turvetuotantoalueita 800 ha vuodessa, keskimääräinen vuosittainen päästövähennys olisi ollut 0,24 Mt CO_2-ekv. ajanjaksolla 2021–2035. Kumulatiivinen päästövähennys olisi 2,4 Mt CO_2-ekv. vuonna 2035 (ennallistettuna 50 000 ha suometsiä ja 8 000 ha turvetuotantoalueita), jos ennallistaminen aloitettaisiin vuonna 2026. Skenaariossa 2 pinta-alat olivat puolet pienempiä, joten kumulatiivinen päästövähennys olisi myös puolet pienempi.

14.3 OHJAUSKEINOT

Suometsien ja turvetuotantoalueiden ennallistamisen ohjauskeinot voidaan jakaa sääntelyyn perustuviin, taloudellisiin ja hallinnollisiin välineisiin. EU:n ennallistamisasetus (2024/1991) luo velvoittavan kehyksen ojitettujen turvemaiden ennallistamiselle, ja LULUCF-sääntelyn laajentuminen kosteikkoihin vuodesta 2026 alkaen avaa mahdollisuuden hyödyntää ennallistamisesta syntyviä nieluja täysimääräisesti Suomen kasvihuonekaasutaseessa.

Taloudellisista ohjauskeinoista keskeisimmän roolin ovat toistaiseksi kantaneet julkiset hanketuet. Turvetuotannosta poistuneiden alueiden vettämistä on edistetty Hiilestä kiinni -hankekokonaisuudessa, jossa kehitettiin myös työkaluja ja toimintamalleja jatkokäytön suunnitteluun, ja Euroopan unionin perustaman Oikeudenmukaisen siirtymän rahaston (Työ- ja elinkeinoministeirö 2022) kautta eri maakunnissa ohjelmakauden 2021–2027 aikana. Ojitettujen suometsien ennallistaminen on puolestaan toteutunut pääasiassa Metsähallituksen luonnonhoitohankkeiden ja EU LIFE -rahoituksen kautta. Päästövähennyksiä tuottavien ennallistamisten rahoituslähde voi tulevaisuudessa järjestyä myös vapaaehtoisen hiilikaupan kautta (ks. Tietolaatikko 3) tai luonnonarvomarkkinoiden kautta.

Hallinnollisella tasolla keskeinen haaste on toimien koordinointi valuma-aluetasolla. Vuoden 2026 aikana koordinointia resurssoidaan käynnistämällä kosteikkoluotsi-toiminta, joka kytkeytyy olemassa oleviin valuma-aluekohtaisiin yhteistyöryhmiin (Maa- ja metsätalousministeriö 2026A). Kokonaisuutena nykyinen ohjauskeinopaketti on edistänyt ennallistamista erityisesti suojelualueilla, mutta yksityismaiden laajamittainen ennallistaminen edellyttää vielä maanomistajille kohdennettuja taloudellisia kannustimia ja selkeitä toimintamalleja (Kekkonen ym. 2024).

15 TURVETUOTANTOALUEIDEN JATKOKÄYTTÖ

15.1 NYKYTILA JA PÄÄSTÖJEN VÄHENTÄMISEN KEINOT

Turvetuotannon maaperäpäästöt ovat Suomessa keskimäärin 16,14 t CO_2-ekv./ha/v (Statistics Finland 2025). Turvetuotannon pinta-ala on viime vuosina vähentynyt voimakkaasti: esim. vuonna 2010 tuotannossa oli noin 78 100 ha ja vuonna 2022 noin 37 600 ha (Aro ym. 2023). Sen jälkeen tuotantoala on edelleen pienentynyt ja vuonna 2024 se oli Bioenergia ry:n (2026) mukaan noin 30 000 ha. Toisaalta kansallisen kasvihuonekaasuinventaarion raportissa vuoden 2023 pinta-alaksi arvioitiin tilastojen perusteella 42 300 ha (Statistics Finland 2025). Vapautuakseen ympäristöluvan velvoitteista turvetuottaja lannoittaa tuhkalla turpeennostosta vapautuneen suonpohjan ja jättää sen kasvittumaan luontaisesti, jos alue ei heti siirry jatkokäyttöön (Matila & Alatalo 2023). Jos turpeennostosta vapautunut alue jää kasvipeitteettömäksi ja turvepintaiseksi suonpohjaksi, sen maaperäpäästö on keskimäärin 10,13 t CO_2-ekv./ha/v (Statistics Finland 2025). Suonpohjat siirtyvät jatkokäyttöön yleensä nopeasti. Vuonna 2018 turvetuottajille tehdyn kyselyn perusteella 75 % suonpohja-alasta oli metsitetty tai metsittynyt luontaisesti (Bioenergia ry 2019). Laasasenahon ym. (2023) kyselytutkimuksen mukaan 71 % maanomistajista suosi metsitystä turvesoiden uutena maankäyttömuotona.

Turvetuotannosta vapautunut alue sopii metsitettäväksi yleensä aina, kun se on kuivatettavissa tavallisilla ojilla. Jos näin ei ole, kosteikkojen rakentaminen tai ennallistaminen suoekosysteemiksi ovat sopivia vaihtoehtoja (ks. Luku 14). Parhaat metsityskohteet ovat ohutturpeisia (turpeen paksuus enintään 30–40 cm), sillä niillä puiden juuret yltävät turpeen alla olevaan pohjamaahan ja saavat sieltä kivennäisravinteita (Aro 2000). Näissä olosuhteissa puulajivalikoima on laajin ja määräytyy pohjamaan ominaisuuksien perusteella (Aro ym. 2023). Metsitysvaiheessa suositellaan puutuhkalannoitusta taimikon varhaiskehityksen turvaamiseksi. Paksuturpeisilla (turvetta yli 40 cm) alueilla metsitykseen sopivat puulajit ovat mänty ja hieskoivu, ja ne saattavat tarvita puuston myöhemmässä kehitysvaiheessa jatkolannoituksen tuhkalla (Aro ym. 2023).

Kun metsityksen edellytyksenä on suonpohjan kuivattaminen ojituksella, jatkuu pintaturpeen hajoaminen ja metsitetyn alueen maaperän suhteellisen suuret kasvihuonekaasupäästöt. Puuston varttuessa maaperän hiilivarasto kasvaa juurten kasvun ja kariketuotannon myötä, ja kasvava puusto sitoo vähitellen enemmän hiiltä, jolloin metsitetystä alueesta voi tulla hiilen nielu jo ensimmäisen 20 vuoden aikana (Hytönen ym. 2018, Buzacott ym. 2025, Maanavilja ym. 2026).

Turvetuotantoon käytetyt alueet sopivat hyvin myös aurinkovoimaloiden perustamiseen (esim. Laasasenaho & Lauhanen 2022, Ikkala ym. 2025, Allonen ym. 2026) ja maankäytöstä maksettava korvaus voi ylittää muista jatkokäyttömuodoista saatavat tulot (Jylhä ym. 2026). Aurinkovoimaloita suunnitellaan lähinnä ojituksella kuivatetuille suonpohjille, jolloin maaperän päästöt jatkuvat. Maaperän päästöjen vähentämiseksi suonpohjille rakennettavien aurinkovoimaloiden maaperä tulisi pitää kosteana ja mahdollisuuksien mukaan sallia matalan pintakasvillisuuden kehittyminen (Pukkala ym. 2025, Ikkala ym. 2026). Lisäksi suonpohjia ei tulisi käyttää peltoviljelyyn ja jo maatalouskäytössä olevia suonpohjia tulisi metsittää tai vettää kosteikoiksi, jotta entisten turvetuotantoalueiden maankäytön päästöjä voitaisiin vähentää.

15.2 PÄÄSTÖVÄHENNYSARVIO JA KUSTANNUKSET

Lehtonen ym. (2021) laskivat suonpohjan metsitykselle (maaperä ja puusto) päästövähennyskertoimet 15 vuoden jaksoille: 0–15 vuotta keskimäärin 7,8 ja 16–45 vuotta 10,8 t CO_2-ekv./ha/v turpeennostosta

vapautuneeseen paljaaseen suonpohjaan verrattuna. Näillä kertoimilla ja turvetuotannosta vuosittain vapautuvaksi arvioidun pinta-alan (235–617 ha) perusteella päästövähennys oli 0,01–0,04 Mt CO_2-ekv./v vuoteen 2035 asti (metsityspinta-ala yhteensä 2350–6170 ha, kumulatiivinen päästövähennyspotentiaali 0,10–0,64 Mt CO_2-ekv.) ja 0,03–0,07 Mt CO_2-ekv./v vuosina 2035–2050 (Lehtonen ym. 2021). Tällöin toteutunut metsityspinta-ala olisi 5875–15 425 ha ja päästövähennyspotentiaali yhteensä 0,63–2,65 Mt CO_2-ekv. vuonna 2050. Laasasenaho ym. (2023) tutkimuksen metsitysskenaariossa turvetuotannosta vapautuneen metsitetyn suonpohjan keskimääräinen päästövähennys oli noin 8,9 t CO_2-ekv./ha/v turvetuotantoon verrattuna. Korhonen ym. (2021B) esittivät metsityksen päästövähennyskertoimiksi 8,4 (vertailuna suonpohja) ja 13,94 (turvetuotanto) t CO_2-ekv./ha/v ensimmäiselle 20 vuodelle. 21 vuodesta eteenpäin päästövähennyskerroin olisi 16,6 t CO_2-ekv./ha/v turvetuotantoon verrattuna (Statistics Finland 2025).

Jos oletetaan, että vuoden 2024 tuotantopinta-alasta puolet (15 000 ha) metsitetään vuoteen 2035 mennessä niin, että vuotuinen metsitysala on 1 500 ha ja päästövähennysarvioinnissa käytetään Korhosen ym. (2021) raportoimia kertoimia ensimmäiselle 20 vuodelle metsityksen jälkeen täydennettynä kasvihuonekaasuinventaarion kertoimilla (Statistics Finland 2025) vuosien 2046–2050 osalta (verrattuna turvetuotantoon), niin päästövähennyspotentiaali olisi 1,15 Mt CO_2-ekv. vuonna 2035 ja 4,35 Mt CO_2-ekv. vuonna 2050. Lehtosen ym. (2021) arvioimaa vuosittaista metsitysalaa oletettiin riittävän vuoteen 2050 asti, mutta suurimmalla 1500 ha/v metsitystahdilla suonpohjien metsitys päättyisi vuoteen 2035, mutta päästöjen väheneminen tietysti jatkuisi puuston varttuessa. Kaikki päästövähennysarviot laskettiin tässä raportissa olettaen, että metsitys aloitetaan vuonna 2026.

Turvetuotantoalueiden metsityksessä metsityksen ja taimikonhoidon kustannus on noin 2000 €/ha (Lauhanen ym. 2025), kun tavoitteena on männyn ainespuun kasvatus. Jos suonpohjan ojitusta kunnostetaan, alue lannoitetaan puutuhkalla ja metsitetään luontaisesti hieskoivulle, metsityskustannus olisi noin 800 €/ha (Lauhanen ym. 2025). Kun nämä kustannukset jaetaan tasaisesti tarkasteltavalle ajanjaksolle, olisi keskimääräinen päästövähennyksen kustannus 4,44–25,07 €/t CO_2-ekv. metsitysmenetelmästä, päästövähennyskertoimesta, perusurasta ja tarkasteluajanjakson pituudesta riippuen.

Metsitys pienentää vesistökuormitusta, lisää luonnon monimuotoisuutta ja vaikuttaa maisemakuvaan myönteisesti turvetuotantoon verrattuna (Aro ym. 2023). Suonpohjalle kehittyvä kasvillisuus houkuttelee paikalle muitakin eliölajeja. Jylhän ym. (2026) tutkimuksessa hieskoivubiomassan tuotannon ympäristövaikutukset entisillä turvesoilla olivat niin ilmaston, vesien rehevöitymisen, maaperän happamoitumisen kuin fossiilisten resurssien kulutuksen osalta selvästi pienemmät kuin peltokasvien tuotannossa.

15.3 OHJAUSKEINOT

Turvetuotantoalueiden metsitystä voidaan tukea samoilla instrumenteilla kuin muita metsityskohteita. Metsitystuki ja mahdollinen hoitopalkkio voidaan mitoittaa lähelle samoja tasoja kuin turve- ja kivennäismaapeltojen metsityksessä, eli kertaluonteisesti noin 1 800–2 900 €/ha, jolloin valtion vastuulle jää merkittävä osa maanomistajien investointikustannuksista (Huan-Niemi ym. 2023, Laturi ym. 2022). Turvetuotannosta vapautuneiden suonpohjien metsittämistä tuettiin valtion varoista vuosina 2021–2023 (1114/2020). Tuolloin metsitystuki oli 1000–1500 €/ha, jonka lisäksi oli mahdollista saada hoitopalkkiota 900 €/ha (103/2021). Toisaalta sekä runkopuun (Aro ym. 2020, Lauhanen ym. 2025) että bioenergiapuun kasvattaminen (Jylhä ym. 2015, 2026) voivat olla maanomistajalle taloudellisesti kannattavia vaihtoehtoja ilman metsitystukeakin.

Laasasenaho ym. (2023) korostavat, että maanomistajat pitävät metsitystä parhaana jatkokäyttömuotona turvetuotannon jälkeen, joten ohjauskeinojen tehtävä on pikemminkin poistaa käytännön esteitä (investointiriski, epävarmuus päästökertoimista) kuin muuttaa täysin kielteinen asenne (Laasasenaho ym. 2023). Käytännössä tämä tarkoittaa metsitystuen lisäksi selkeitä jälkihoitovelvoitteita ympäristöluvissa: metsitys voidaan nostaa ensisijaiseksi vaihtoehdoksi niillä kohteilla, jotka eivät sovellu vettämiseen, kosteikoiksi tai uusiutuvan energian hankkeisiin (Laasasenaho ym. 2023, Laine-Petäjäkangas ym. 2023, Maanavilja ym. 2026). Suurin päästövähennyspotentiaali olisi vettämisen ja metsityksen yhdistävällä toimenpiteellä, joka onnistuessaan minimoisi maaperän päästöt heti ja tuottaisi kosteissa oloissa kasvavaa puubiomassaa, jonka hiilivarasto kasvaisi kiertoajan edetessä. Kokemukset tällaisen metsityksen toteutuksesta ja tutkimus päästöjen kehityksestä vielä puuttuu.

Maanavilja ym. (2021) ja Laturi ym. (2022) korostavat, että julkisen rahoituksen kohdentamisessa on tärkeää priorisoida toimenpiteitä, joiden kustannus per vältetty CO_2-tonni on alhainen. Turvepohjaisten maiden toimet, mukaan lukien turvetuotantoalueiden metsitys, asettuvat tässä vertailussa yleensä halpojen toimien joukkoon (noin 20 €/t CO_2-ekv.), kun taas useat kivennäismaiden toimet ja maatalouden metaanitoimet ovat selvästi kalliimpia (Maanavilja ym. 2021, Laturi ym. 2022).

Neuvonnalla ja informaatio-ohjauksella voidaan tukea maanomistajien päätöksentekoa turvetuotantoalueiden jatkokäytössä, esimerkiksi tarjoamalla selkeitä vertailuja metsityksen, peltokasvien viljelyn, kosteikkojen, kosteikkoviljelyn ja uusiutuvan energiantuotannon ilmasto- ja talousvaikutuksista (Laasasenaho ym. 2023, Jylhä ym. 2026, Maanavilja ym. 2026).

OSA IV – PÄÄSTÖVÄHENNYSTEN JA NIELUJEN VAHVISTAMISEN TOTEUTUSPOLUT

16 TOTEUTUSPOLUT MERKITTÄVIMPIIN PÄÄSTÖVÄHENNYKSIIN 92
16.1 TURVEPELTOJEN PÄÄSTÖVÄHENNYSTEN TOTEUTUSPOLUT 93
16.1.1 VILJELYKÄYTÖSSÄ OLEVAT TURVEPELLOT 94
16.1.2 VILJELYSTÄ POISTUNEET HYLÄTYT TURVEPELLOT 95
16.2 METSÄKADON HIDASTAMISEN TOTEUTUSPOLKU 97
16.3 METSIEN HIILINIELUN VAHVISTAMISEN TOTEUTUSPOLKU 98
16.3.1 OHJAUSKEINOT 98
16.3.2 KUSTANNUKSET 101
16.3.3 SAAVUTETTAVAT PÄÄSTÖVÄHENNYKSET 101
16.4 TURVEMAAMETSIEN PÄÄSTÖVÄHENNYSTEN TOTEUTUSPOLKU 102
16.4.1 OHJAUSKEINOT 102
16.4.2 KUSTANNUKSET 105
16.4.3 SAAVUTETTAVAT PÄÄSTÖHYÖDYT 105

16 TOTEUTUSPOLUT MERKITTÄVIMPIIN PÄÄSTÖVÄHENNYKSIIN

Luvuissa 3–15 on esitetty maankäyttösektorin eri osa-alueiden päästövähennysten ja nettohiilitaseen vahvistamistapoja sekä niiden toteutuksen mahdollisuuksia, esteitä, kustannusnäkökohtia ja ohjauskeinoja. Esitetyistä toimenpiteistä valittiin tarkempaan tarkasteluun ne, joilla saavutettavissa merkittävimpiä päästövähennyksiä kustannusvaikuttavin keinoin (Taulukko 3).

Taulukko 3. Maankäyttösektorin keskeisten ilmastotoimien kustannusvaikuttavuus.

Päästövähennystoimi	**Kustannusvaikuttavuus €/t CO_2-ekv.**	**Lähde**
Turvepeltojen päästövähennystoimet*		
Hylätyn turvepellon ennallistaminen vettämällä	10	Luku 4.3.2
Kosteikkoviljely, vettäminen ja viljely kannattavasti	9–13	Wejberg ym. 2024, Laturi ym. 2022, Luku 4.3.2
Säätösalaojitus, märkyyden säätely ja viljely kannatavasti	14–59	Wejberg ym. 2024, Laturi ym. 2022, Saarnio ym. 2026; Luku 4.3.2
Metsäkadon hillintä	12–18	Assmuth ym 2022, Luku 12.2
Metsien hiilinielun kasvattaminen		
Kuusivaltaisten suometsien jatkuvapeitteinen kasvatus	0	Juutinen ym. 2021, Luku 7.2.4
Kangasmetsien kasvattaminen runsaspuustoisempina	0	Pohjola ym. 2006, Ahtikoski ym. 2006, Luku 6.2
Kiertoajan pidentäminen	10	Karhinen ym. 2026, Luku 6.2

**Turvepeltojen päästövähennystoimien suhteen on syytä huomioida seuraavaa. Hylätyn turvepellon ennallistamisessa ei ole huomioitu vaihtoehtoiskustannusta eli menetettyjä tuottoja ilman ennallistamista, joita hylätyllä pellolla ei juurikaan ole. Vaihtoehtoiskustannus eli menetetyt tuotot ja vältetyt kustannukset ilman säätösalaojitusta, on kuitenkin mukana säätösalaojituksen laskelmassa, mutta ei kuitenkaan kosteikkoviljelyn laskelmassa. Eli kosteikkoviljelyn vaihtoehtoiskustannus voi olla 9-13 €/tCO_2-ekv. jos pellolla ei ole juuri lainkaan käyttöä muden kuin kosteikkokasvien viljelyssä, ja jos viljellään maataloustukikelpoisia kosteikkokasveja. Kosteikkoviljelyn päästövähennyskustannukset ovat viljelijälle korkeammat, jos kosteikkokasvi ei ole maataloustukikelpoinen, tai jos pellolla voidaan viljellä kannattavasti jotain kasvia ilman kosteikon perustamista. Maataloustukikelpoisuudella ei ole merkitystä valtion näkökulmasta silloin, jos viljelijän menettämä maataloustuki korvautuu lähes kokonaan kosteikon hoitopalkkiolla.*

Luvuissa 16.1–16.4 esitetään priorisoitujen toimenpiteiden toteutukseen suositeltavia ohjauskeinoja ja arvioita niillä saavutettavista päästövähennyksistä ja kustannuksista. Tässä yhteydessä tuodaan esiin mahdollisia toteutuspolkuja päätöksenteon pohjaksi. Analyysissä otetaan huomioon, että yksittäisten päästövähennys- tai nielun vahvistustoimien onnistuminen mahdollisimman laajalla vaikuttavuudella edellyttää useammassa tapauksessa erilaisten politiikkatoimien samanaikaista toimeenpanoa. Kyse on ohjauskeinokokonaisuudesta, jossa osa muutosta vauhdittavista toimista voivat olla markkinalähtöisiä ja osa julkishallinnollisia. On kuitenkin huomioitava, että julkinen ohjaus on tärkeää myös markkinalähtöisissä ratkaisuissa.

Tukipolitiikan muuttamisen periaatteena tulisi olla tulosperusteisuus: ilmastolle haitallinen toiminta rajataan tukien ulkopuolelle ja ilmastovaikutuksiltaan myönteisiä tukia lisätään. Politiikkatoimen vaikuttavuus voi jäädä olemattomaksi, jos samaan aikaan tukipolitiikka ohjaa toimijoiden valintoja päästöjä lisäävään suuntaan. Tukipolitiikan muutos tulisi pystyä tekemään samaan aikaan kun luodaan vapaaehtoisia hiilikorvausjärjestelmiä, jotka omalta osaltaan kanavoivat maanomistajien ilmastotyölle myös muuta kuin julkista rahoitusta. Lukuisat yritykset ja kunnat ovat valmiit maksamaan todennetuista päästö-/nieluyksiköistä omien ilmastotavoitteidensa saavuttamiseksi kompensoimalla niillä jäljellä olevia päästöjä.

Tarkasteltaviin toteutuspolkuihin valituilla kokonaisuuksilla on:

1. merkittävä päästövähennys- tai nielun vahvistamispotentiaali vuosiin 2030, 2035 tai 2050 mennessä;
2. hyvä kustannusvaikuttavuus;
3. kohtuulliset kustannukset: ne ovat toimijoille edullisia ja jopa taloudellisesti kannattavia ilman ulkopuolista tukea;
4. ilmastovaikutusten lisäksi muita merkittäviä hyötyjä.

Tällä perusteella tarkasteltaviksi kokonaisuuksiksi valikoituivat **turvepeltojen päästövähennykset, metsäkadon hillintä, metsien hiilinielun vahvistaminen ja turvemaametsien päästövähennykset**. Käymme läpi näiden kokonaisuuksien toteutuspolkuja seuraavissa alaluvuissa.

16.1 TURVEPELTOJEN PÄÄSTÖVÄHENNYSTEN TOTEUTUSPOLUT

Turvepohjaisten peltojen hiilidioksidipäästöt olivat noin 7,0 miljoonaa CO_2 tonnia ja dityppioksidipäästöt noin 1,4 miljoonaa tonnia hiilidioksidiekvivalenttina vuonna 2024. Turvemaapeltojen korkea hehtaarikohtainen päästö merkitsee, että vähennyspotentiaali hehtaaria kohti on suuri verrattuna muihin maatalouden toimiin. Turvepeltojen päästöjen hillitsemiseen on kustannustehokkaita keinoja (luku 4.3).

Päästöjen vähentämismahdollisuuksia on sekä viljelystä poistuneilla turvepelloilla että viljelykäytössä olevilla turvepelloilla, ja niille soveltuvat ohjauskeinot ovat erilaisia. Suurin päästövähennyspotentiaali liittyy viljelykäytössä oleviin peltoihin, joita suurin osa turvemaapelloista on.

Alueellinen turvepeltojen päästövähennyskatselmointi on välttämätön vaihe, jotta turvepeltojen potentiaaliset päästövähennystoimet ja alueiden omistajien halukkuus toimia asioiden eteen pystytään arvioimaan. Aluetason lähtötiedot tarvitaan varsinaisten ohjauskeinojen käyttöönoton suunnittelun tueksi. Parhaimpaan lopputulokseen päästään, jos päästövähennystoiminta pystytään paketoimaan koko peltoalueen kattavaksi, johon alueen kaikki maanomistajat saadaan mukaan ja joka johtaa valmiuteen saada tuloja kansallisista tulosperusteisista tuista tai esim. EU:n CRCF säätelyn mukaisesta hiilikaupasta (Tietolaatikko 3, luku 4.3).

Vaikka turvepeltojen vettämiselle on olemassa teoreettisesti huomattava päästövähennyspotentiaali, käytännön toteutus vaikuttaa eri tutkimuksissa kertyneen kokemuksen mukaan edellyttävän huolellista teknistä suunnittelua aluetasolla sekä tietenkin riittäviä resursseja siihen ja lopulta myös toteutukseen (Kekkonen ym. 2026). Erityisesti kohteiden hydrologinen kokonaisuus ja ympäröivien alueiden kuivatusratkaisut määrittävät sen, onko vettäminen toteutettavissa käytännössä vai jääkö tuo potentiaali lähinnä laskennalliselle tasolle.

Kertyneiden kokemusten mukaan on erittäin tärkeää tunnistaa laajat, yhtenäiset aluekokonaisuudet, joilla olisi sekä riittävät hydrologiset edellytykset että merkittävää ilmasto- ja ympäristövaikutusten potentiaalia mahdollisesti useista yksittäisistä kohteista. Vaikuttavimmat kohteet olisivat todennäköisesti

useita vetettäviä turvepeltolohkoja sisältäviä laajoja alueita, joiden toteutus kuitenkin vaatisi kaikkien maanomistajien sitoutumista. Vaikka näiden kohteiden toteutus voi olla vaativaa ja resursseja edellyttävä prosessi, niiden potentiaalinen vaikuttavuus mm. ennallistamisasetuksen ja ilmastopolitiikan näkökulmista olisi huomattava, ja tällaisiin kohteisiin tarttuminen voisi olla todella vaikuttavaa. Tämän vuoksi olisi tarvetta alueellisille, esim. kunta- tai seutukunta- tai valuma-aluetason ennallistamis- ja päästövähennyskatselmuksille, joissa määriteltäisiin, miltä osin, missä määrin ja missä sijainneissa turvepeltoja voitaisiin vettää niin, että se olisi hydrologisesti mahdollista ja niin, että maanomistajien kesken ei syntyisi ristiriitoja pohjaveden pinnan nostamisesta. Tällaisten kohteiden löytäminen avaisi mahdollisuuksia osallistua vapaaehtoisille hiili- ja luonnonarvomarkkinoille. Tämä puolestaan toisi hyötyä erityisesti heikkotuottoisten ja eri syistä vajaasti maataloudessa hyödynnettyjen turvepeltojen omistajille ja viljelijöille.

16.1.1 Viljelykäytössä olevat turvepellot

Viljelykäytössä olevien turvepeltojen (290 000 ha) päästövähennysmahdollisuudet vaihtelevat suuresti eri tuotantosuuntien maatiloilla. Osa turvepelloista on heikkosatoisia ja ennestään vähäisessä tuotantokäytössä. Suurimmat mahdollisuudet ovat maatiloilla, joilla ei ole kotieläimiä tai muuta tarvetta pitää kaikkia peltoja jatkuvasti aktiivisessa tuotantokäytössä. Tehokkaimpiin päästövähennystoimiin eli pohjaveden pinnan nostoon eli vettämiseen voi kuitenkin olla mahdollisuuksia kaikkien tuotantosuuntien tiloilla.

Vettämiseen soveltuvia turvepeltoja on arvioitu olevan yhteensä 120 000–130 000 ha. Näistä noin puolet on sellaisia peltoja, joilla turvemaalajin osuus peltolohkon alasta on yli 67 % ja turvekerroksen paksuus yli 60 cm sekä peltolohkon koko yli 0,3 ha. Tällaiset turvepellot olisivat todennäköisesti soveltuvimpia kustannusvaikuttavaan vettämiseen.

VAPAAEHTOINEN HIILIKORVAUSJÄRJESTELMÄ

Vapaaehtoisuuteen perustuvat ohjauskeinot edellyttävät valtiolta ja/tai kunnilta alueellisen turvepeltojen katselmointikustannusten ja hiilikorvausjärjestelmän perustamis- ja ylläpitokustannusten kattamista sekä osallistumista toimenpiteiden toteuttamisen taloudelliseen tukemiseen eri tavoilla. Viimeksi mainittu summa riippuu hyvin pitkälle siitä, minkälainen kunnianhimo päästövähennyksille halutaan asettaa, minkälaisella tietopohjalla ja kustannustasolla muutosta pystytään toteuttamaan ja kuinka vapaaehtoiset hiilimarkkinat toimivat tulevaisuudessa.

Vaikka viljelykäytössä olevien turvepeltojen päästötaso on nykyisin korkea (noin 8,4 Mt vuodessa), sen vähenemisen määrä ajan suhteen on vaikeasti arvioitavissa edellä esitettyjen syiden takia. Turvepeltojen tiekartassa (Lehtonen ym. 2024) on päädytty ympäristötavoitteisessa muutospolussa noin 2,2 Mt päästövähennykseen vuoteen 2050 mennessä, kun maataloustuotannon kokonaistuotanto voitaisiin silti säilyttää likimain ennallaan. Tämä on mahdollista, koska vapaaehtoiset kannustetut toimet otetaan käyttöön ensi sijassa maatiloilla, joilla turvepeltojen käytön muutokset eivät aiheuta merkittävää haittaa tai kustannusten nousua maataloustuotannolle, tai lupaehtojen rikkomista kuten eläintiheyden nousua, ja hyödynnetään hyvin erilaiset mahdollisuudet pellonkäytön muutoksiin sekä erityistoimiin kuten säätösalaojitukseen.

Tässä yhteydessä tehty hyvin karkea arvio on, että päästövähennys voisi olla 1,5–2 Mt jo vuoteen 2035–2040 mennessä. Tätä selvästi suurempi päästövähennys johtaa tilanteeseen, jossa maatalouden rakenteita jouduttaisiin ohjaamaan vahvasti uudella tavalla kohti kasvispainotteisempaa tuotantoa ja vähenevää kotieläintuotantoa, mikä vähentäisi pellon tarvetta.

Jos valtio joutuisi tukemaan suoraan turvepeltojen päästövähennyksiä vapaaehtoisen hiilimarkkinan ja elintarviketeollisuuden toimien ohella keskimäärin 20–30 euroa per päästövähennystonni, kustannukset olisivat 2 Mt päästövähennyksen seurauksena valtiolle yhteensä 40–60 miljoonaa euroa eli hyvin halpa siihen nähden mitä muutoin pitäisi päästövähennysyksiköistä maksaa tulevaisuudessa. Lisäksi saataisiin muita hyötyjä, kuten vesistökuormituksen väheneminen ja hyödyt luonnon monimuotoisuudelle (Myllys ym. 2024, Lehtonen ym. 2024),

TURVEPELTOJEN KANSALLINEN PÄÄSTÖOIKEUSKAUPPA

Kokonaan toinen lähestymistapa aktiivisessa viljelykäytössä olevien turvepeltojen tehokkaisiin päästövähennystoimiin ja ennen kaikkea vettämiseen on niiden – tai kaikkien maatalouden kasvihuonekaasupäästöjen - vieminen päästöoikeuskaupan piiriin (Euroopan komissio 2023). Tällöin yhteiskunta asettaisi vähitellen vuosien aikana alenevan ylärajan sallittujen päästöjen kokonaismäärälle, jolloin viljelijät ja maanomistajat kävisivät keskenään kauppaa päästöoikeuksilla. Silloin heikkotuottoiset ja maataloustuotannolle vähämerkitykselliset vettämiskelpoiset turvepellot, joilla päästövähennysten saavuttaminen on edullisinta, vetettäisiin päästövähennysten myynnin kannustamana jopa ilman muita erillisiä kannustimia vettämiseen. Ajan myötä vähennettyjen päästöoikeuksien tuoma kustannusrasitus maataloudelle voidaan kompensoida muuta kautta ilman että viljelijöiden tulotaso tai kannustin päästövähennyksiin heikkenee. Ohjauskeinoa on käsitelty yksityiskohtaisesti liitteessä 2.

Todennäköisesti kansallisen päästöoikeuskaupan vaikuttavuus vuoden 2030 turvepeltoihin jäisi vaatimattomaksi sen käyttöönoton vaatiman viiveen takia. Vuoden 2035 osalta tilanne olisi toinen. Riippuen toteutuksesta ja valtion tarpeesta saada päästövähennyksiä lopputulos voisi olla selvästi parempi kuin vapaaehtoisen lähestymistavan lopputulos vuoteen 2035 mennessä.

Päästöoikeuskauppa on uusi menetelmä ja sen käyttöönotto vaatii huolellista valmistelua. Näin jotta sen käyttöönotto johtaa maanomistajien näkökulmasta palkitsevaan toimintaan vaarantamatta suomalaisen maataloustuotannon edellytyksiä. Kansallinen turvepeltojen päästökauppa tulisi myös sovittaa yhteen vapaaehtoisiin hiilimarkkinoihin (Tietolaatikko 3) ja edessä olevaan EU:n 2030 jälkeiseen ilmastoarkkitehtuuriin.

16.1.2 Viljelystä poistuneet hylätyt turvepellot

Hylättyjen turvepeltojen, joita on noin 60 000 ha, vaikuttavin päästövähennyskeino on vettäminen, johon voidaan kannustaa julkisin tuin, luomalla päästövähennyksiin ohjaava päästökauppa (liite 2) tai rahoittamalla toimia vapaaehtoisten hiilimarkkinoiden avulla (Tietolaatikko 3). Jos turvepelto on vettämiskelpoinen ja pohjaveden pinta voidaan nostaa 5–10 cm syvyydelle maan pinnasta, voidaan saavuttaa 12–15 t CO_2-ekv./ha päästövähennys verrattuna tilanteeseen, jossa pohjavedenpinta on 50 cm syvyydessä (Kekkonen ym. 2022; hylätyn turvepellon päästö on noin 15–18 t CO_2-ekv./ha ja vetetyn turvepellon noin 2–3 t CO_2-ekv./ha). Hiilikorvausjärjestelmän tarjoama korvaus (esim. 5–15 €/ t CO_2 eli noin 60–225 €/ha/v, ottaen huomioon, että korvaus voi olla alhainen transaktiokustannukset huomioiden) voisi tarjota varteenotettavan vaihtoehdon maanomistajille. Jos hiilimarkkinoilla hinta on riittävän edullinen, korvaushyötyjä maksavat asiakkaat ovat valmiit sijoittamaan toimintaan pitkäjänteisesti, kun varmistetaan sopimukseen päästövähennyksen riittävä kesto.

Hylättyjen turvepeltojen kohteet ovat hyvin tiedossa maakunnittain (Kekkonen ym. 2026). Ulkopuolisen asiantuntijan tekemä toteutettavuuskatselmointi tarvitaan kuitenkin tunnistamaan potentiaaliset kohteet vapaaehtoisille hiilimarkkinoille. Samalla informoidaan maanomistajille tarjottava mahdollisuus ja saadaan käsitys maanomistajien halukkuudesta toimia asian eteen. Itse hiilikorvausjärjestelmä pitää sisällään tarkemmat menettelyt uskottavien päästövähennysten arvioinnille. Hiilikorvausjärjestelmän,

joka perustuu joko kansalliseen ja/tai EU:n CRCF-järjestelmään (Tietolaatikko 3 ja Liite 1), voidaan olettaa toimivan operatiivisella tasolla vuodesta 2028 alkaen.

SAAVUTETTAVAT PÄÄSTÖHYÖDYT

Noin viidennes eli 12 000 ha hylättyjä peltoja on arvioitu vettämiskelpoiseksi (Kekkonen ym. 2026). Tässä yhteydessä karkeana arviona on, että vuoteen 2030 mennessä vetettävät alat saavuttavat noin 10 % potentiaalista, vuoteen 2035 mennessä vetettäviä peltoja on jo 33 % kohteista ja vuoteen mennessä 2050 noin 90 % potentiaalista. Tällöin päästövähennykset (noin 13 t CO_2/ha/v) olisivat vuonna 2030 noin 0,02 Mt, vuonna 2035 noin 0,05 Mt ja vuonna 2050 noin 0,14 Mt.

Hylätyt turvepellot, jotka eivät ole vettämiskelpoisia, ovat mahdollisia metsityskohteita, joille on jo valmisteltu tukijärjestelmä. Metsitys ilman vettämistä tuottaa noin 3 CO_2 t/ha/v enemmän päästöjä hylättyyn peltotilanteeseen nähden ensimmäisten 20 vuoden aikana ja nettoilmastohyötyjä saadaan vasta kun metsityksestä on kulunut yli 20 vuotta eli vuoden 2050 jälkeen (noin 13 CO_2 t/ha/v). Jos vettämiskelvottomien turvepeltojen (48 000 ha) metsittäminen alkaisi vuonna 2028 ja etenisi 4000 ha vuosivauhdilla, lisäisi se päästöjä vuonna 2030 noin 0,02 Mt, vuonna 2035 noin 0,06 Mt ja vuonna 2050 noin 0,0 Mt. Kun aikaa kuluisi yli 20 vuotta metsityksestä, 48 000 hehtaarin metsityksen tuottama päästövähennys suhteessa alkutilanteeseen kasvaisi vähitellen tasolle 0,6 Mt CO_2-ekv. vuoteen 2070 mennessä.

PÄÄSTÖVÄHENNYSTEN TOIMEENPANO

Valmisteltu metsitystuki (Maa- ja metsätalousministeriö 2026C) tulisi ilmastonäkökohdat huomioiden suunnata ensisijaisesti kivennäismaille eikä turvepelloille. Viljelyksestä poistuneet vettämiskelpoiset turvepellot tulisi muuttaa ensisijaisesti kosteikoiksi, mikä tukee myös ennallistamisasetuksen toteuttamista, ja metsitystä tulisi käyttää vain viimesijaisena vaihtoehtona, silloinkin pyrkien turpeen hajoamista hillitsevään märkyyteen.

Vettämiskelpoiset hylätyt pellot tarjoavat päästöjen vähentämistoiminnassa lopputilan, ilmastokosteikon, joka vastaa myös ennallistamisasetuksen toimeenpanon tarpeisiin. Yhdistämällä nämä kaksi tarvetta saadaan myös synergiaetuja valtion talouteen.

Turvepeltojen metsitys voidaan myös yhdistää vettämiseen, jolloin märässä maassa kasvavien puulajien (hieskoivu, tervaleppä, paju) metsityksellä saavutetaan päästövähennyksiä jo istutustoiminnan alusta lähtien, koska turpeen päästöt vähenevät heti kuten kosteikon perustamisessa.

Luvituskäytäntöjä tiukentamalla on mahdollista hillitä maankäytön muutoksista syntyviä päästöjä hylätyillä turvepelloilla. Käytäntöjä ja viranomaisten ohjeistusta tulisi kehittää etenkin tilanteissa, jossa suunnitellun maankäytön muutoksen vuoksi hylätyn turvepellon päästöt pysyvät nykyisellä tasollaan tai jopa nousevat. Yksi viljelykäytöstä poistuneiden turvepeltojen vaihtoehtoinen käyttömuoto on aurinkovoimalakenttä. Hyvä toimintatapa olisi, että luvitusprosessin aikana voimalan omistaja sitoutuu vähentämään päästöjä esim. vettämällä aurinkopaneelikentän turvepellon tai hyvittämään aiheuttamansa päästöjen vähentämispotentiaalin menetyksen jollakin muulla tavalla (hiilikompensaatiovelvoite lupaehdossa).

Toinen vaihtoehto on maankäytön muutosmaksu, jonka suuruus asetettaisiin kohdekohtaisen tai toimenpidekohtaisen keskimääräisen päästövaikutuksen hinnoittelun perusteella. Esimerkiksi hylätyn turvepellon päästöjen säilyessä tai lievästi kasvaessa 15 t CO_2-ekv./ha/v päästöhinnalla 50 €/t CO_2-ekv. Päästöhaitan eli maankäyttömaksun hinta olisi 750 €/ha/v, jota maksettaisiin niin pitkään kun päästöjä aiheuttaa ja hinta tarkistettaisiin määrävälein vastaamaan päästöjen määrää ja markkinoilla määräytyvää hintaa.

Valtion tulee joka tapauksessa luoda EU:n CRCF-asetuksen mukaiset kansalliset järjestelyt (Tietolaatikko 3 ja Liite 1), mikä palvelee muitakin hiilimarkkinakohteita kuin turvepeltojen päästöjen vähentämistä. Hylättyjen turvepeltojen päästövähennyskustannukset sekä perustamis- ja ylläpitokustannukset tulevat osaksi myytävien päästövähennysyksiköiden hintaa vapaaehtoisessa hiilimarkkinassa.

16.2 METSÄKADON HIDASTAMISEN TOTEUTUSPOLKU

Metsäkadon aiheuttamat päästöt ovat edelleen noin 2,4 Mt vuodessa, vaikka metsän raivaaminen muuhun maankäyttöön, kuten maanviljelyyn, yhdyskunta- tai liikennerakentamiseen on hidastunut edellisten vuosikymmenien vauhdista (SVT 2026). Jatkossa uusiutuvan energian tuotanto- ja siirtoinfrastruktuurin laajentuminen voi muodostaa merkittävän uuden metsäkadon ajurin. Metsien raivaaminen muuhun maankäyttöön lisää merkittävästi päästöjä sekä välittömästi että vuosikymmeniksi eteenpäin, kun raivatun alan osalta menetetään metsä- ja puutuotenielu ja lisätään maaperäpäästöjä erityisesti turvemailla. Metsityksellä aikaansaatavat päästövähennykset ja hiilinielut ovat puolestaan niin pieniä ja hitaasti toteutuvia että niillä ei voi kompensoida metsäkadon aiheuttavaa päästöjen lisääntymistä.

Uuden turvepellon raivaamisen ehkäisy tulisi olla turvepeltojen päästöjen vähentämisessä ykkösprioriteetti. Jokainen nyt raivattu pelto aiheuttaa vuosikymmeniksi eteenpäin päästöjä, joiden kompensointi ja niihin kohdistuvat tulevaisuuden päästövähennystoimet maksavat yhteiskunnalle huomattavasti enemmän kuin pellon maatalouskäyttö tuottaa viljelijälle ja yhteiskunnalle (Assmuth ym. 2022).

Nykyisellään metsäkadon ilmasto- ja luontovaikutukset eivät näy maanomistajan päätöksenteon kannustinympäristössä eikä niitä siksi oteta johdonmukaisesti huomioon. Keskeinen ohjauskeino tämän korjaamiseksi on maankäytön muutosten hinnoittelu (maankäytön muutosmaksu), joka vähentää ilmaston kannalta haitallisten maankäytön muutosten kannattavuutta. Metsäkadon torjunnalla on lisäksi merkittäviä hyötyjä monimuotoisuudelle ja vesistöille.

Ilmaston kannalta haitallisinta on turvemaametsien raivaaminen muuhun käyttöön. Maankäytön muutosmaksulle vaihtoehtoinen tapa hinnoitella tästä aiheutuva haitta on turvemaiden kattava päästöoikeuskauppa. Uusien turvepeltojen raivaamista voidaan hillitä myös elintarviketeollisuuden vastuullisuusraportoinnin osana, kun ne ilmastotavoitteisiinsa päästäkseen pyrkivät vähentämään runsaasti päästöjä aiheuttavien peltojen käyttöä raaka-ainetuotannossaan.

TULOT VALTIOLLE JA SAAVUTETTAVAT PÄÄSTÖVÄHENNYKSET

Maankäytön muutosmaksun idea on tuoda ainakin osa metsäkadon ulkoishaitoista osaksi maanomistajan päätöksentekoa. Maksu sallii maankäytön muutoksen silloin, kun siitä seuraa merkittäviä taloudellisia hyötyjä, mutta kannustaa etsimään metsäpinta-alaa säästäviä vaihtoehtoja. Koska maanomistaja tekee päätöksen itse omien kustannustensa ja hyötyjensä pohjalta, metsäkadon vähennys saadaan aikaan kustannustehokkaasti. Metsäkadolle määrättävä maksu myös tuottaa julkiselle vallalle tuloja. Mallinnuksen perusteella noin 6 000 euron hehtaarikohtainen maksu puolittaisi vuotuiset metsäkatohehtaarit ja tuottaisi julkiselle taloudelle noin 43,6 milj. euroa (Pesu ym. 2026, henkilökohtainen tiedonanto); virkamiesarviossa 5 000 euron maksun päästövähennyspotentiaaliksi muiden keinojen ohella arvioitiin 0,7–0,9 Mt CO_2-ekv. vuodessa ja verotuloiksi noin 30 milj. euroa vuodessa (Maa- ja metsätalousministeriö 2024). Ohjausvaikutus on suurempi pellonraivaukseen kuin rakentamiseen. Viiden tuhannen euron ylittävät hehtaarikohtaiset maankäytön muutosmaksut jo todennäköisesti lopettaisivat uuden turvepellon raivaamisen lähes kokonaan. Kasvukeskuksissa ja

suurissa hankkeissa maan arvo on niin korkea, että maksu tyypillisesti lähinnä keräisi tuloja julkiselle vallalle ja lisäksi jonkin verran ohjaisi metsäpinta-alaa säästävämpään maankäyttöön.

PÄÄSTÖVÄHENNYSTEN TOIMEENPANO

Metsäkadosta perittävä maksu voitaisiin toteuttaa haittaverona tai hallinnollisena maksuna. Toimeenpano olisi järkevää kytkeä olemassa oleviin viranomaismenettelyihin kuten metsänkäyttöilmoitusten käsittelyyn, ja pyrkiä toteuttamaan valvonta kaukokartoituksen avulla. Toimeenpano voidaan aloittaa yksinkertaisemmassa muodossa, hehtaarikohtaisella tasasummamaksulla, tai maaperätyyppiä koskevan paikkatietopohjan salliessa kivennäismaa–turvemaa-jaottelulla, ja tarkentaa myöhemmin huomioimaan mallinnettuja ilmasto- ja monimuotoisuusvaikutuksia. Käyttöönotossa on syytä hallita ennakoivan raivauksen riski, eli se, että tulevaa ohjausta koskeva keskustelu voi kiihdyttää raivausta ennen maksun voimaantuloa. Toimeenpano vaatii myös resursseja neuvontaan, valvontaan ja hallintoon. Maankäytön muutosten hinnoittelun ohella on tärkeää edistää maataloustukipolitiikalla peltomarkkinoiden toimivuutta ja pellon sujuvaa siirtymistä aktiiviviljelyn lopettaneilta laajentaville maatalousyrittäjille, koska tämä osaltaan vähentää tarvetta pellonraivaukselle.

16.3 METSIEN HIILINIELUN VAHVISTAMISEN TOTEUTUSPOLKU

Metsien hiilinielua vahvistavia toimia ovat mm. kiertoaikojen pidentäminen kivennäismailla, harvennusten intensiteetin alentaminen kivennäismailla, jalostettujen siemen- ja taimialkuperien käyttö, taimikonhoidon suorittaminen ajallaan, kasvatus- ja terveyslannoitukset, uudisojituksista luopuminen ja kunnostusojitusten välttäminen, jatkuvapeitteinen kasvatus turvemailla, runkopuun ja kuolleen puun energiakäytön vähentäminen ja hakkuutähteiden hyödyntämisen vähentäminen, säästöpuumäärän lisäys, sekä metsäkadon välttäminen ja metsittäminen (Lintunen ym. 2026). Saavutettavan hiilinielun suuruus riippuu siitä, kuinka laajasti näitä nielujen vahvistamistoimia pystytään ottamaan käyttöön ja mille tasolle metsien hakkuut asettuvat samanaikaisesti. Metsien ilmastotoimista tehdyt tuoreet koosteet painottavat kiertoaikojen pidentämistä ja harvennushakkuiden lieventämistä keskeisinä hiilinielun kasvattamistoimina kivennäismailla (Seppälä ym. 2025B, Lintunen ym. 2026; Karhinen ym. 2026, Lounasheimo ym. 2026) niiden suuren ilmastovaikutuspotentiaalin, hyvän kustannusvaikuttavuuden ja suhteellisen nopeasti vuoteen 2035 mennessä saavutettavien tulosten ansiosta. Nämä toimet laajasti toteutettuina myös lähtökohtaisesti pienentävät Suomen vuosittaisia hakkuumääriä.

16.3.1 Ohjauskeinot

Metsien ilmastotoimiin voidaan kannustaa tai velvoittaa eri keinoin. Käyttöön voidaan ottaa ilmastotoimiin kannustavia tukia tai päästöjä vähentäviä veroja, luoda hiilinieluyksiköille toimiva vapaaehtoinen markkina, asettaa velvoittavaa lainsäädäntöä sekä antaa koulutusta ja neuvontaa. Käytännössä näiden yhdistelmä olisi vaikuttava ja toteuttamiskelpoisin. Seuraavassa esitellään eri lähestymistavat ensin erikseen, ja sitten esitetään niiden yhdistelmälle mahdollinen toteutuspolku.

HIILINIELUA VAHVISTAVIEN KÄYTÄNTÖJEN KIRJAAMINEN METSÄLAKIIN

Metsälakiin voidaan kirjata velvoitteita metsänhoidon toimenpiteisiin, jotka vahvistavat hiilinielua. Tällaisia toimenpiteitä ovat esimerkiksi hakkuukriteerien tiukentaminen ja säästöpuumäärän lisäys. Hakkuukriteerien tiukentaminen metsälainsäädännössä voi tarkoittaa lakisääteisiä päätehakkuiden ikä- ja läpimittarajoja sekä harvennushakkuiden kriteerien tiukentamista. Lintusen ym. (2026) analysoimassa vaihtoehdossa asetettaisiin uudistushakkuille läpimitta- ja ikärajat samaan tapaan kuin vuoden 1997 maa- ja metsätalousministeriön päätöksessä (Maa- ja metsätalous ministeriö 1997). Lakirajat määriteltäisiin hyödyntäen esimerkiksi metsänhoidon suosituksia ja rajat olisivat puulaji-, alue-

ja kasvupaikkakohtaisia. Uudistushakkuiden lakirajojen asettamisesta ei ole annettu hallituksen esitystä. Kasvatushakkuissa (eli harvennuksissa) jätettävän kasvatuskelpoisen puuston vähimmäismäärän nostamiseksi on sen sijaan jo tehty esitys. Kesällä 2026 lausuntokierroksella olleessa luonnoksessa hallituksen esitykseksi laiksi metsälain muuttamisesta ja siihen liittyvistä asetusluonnoksista määriteltiin metsikön kasvatuskelpoisen puuston määrä sekä tasaikäisrakenteisen metsän kasvatushakkuun jälkeen että eri-ikäisrakenteisen metsän kasvatushakkuun jälkeen Suomen eri alueille. Säästöpuiden osalta Lintunen ym. (2026) ehdottavat lainsäädäntöön lisättäväksi vaatimukset riittävästä säästöpuumäärästä (ml. hyvin suuret ja vanhat puut) pääpuulajeittain, kasvupaikoittain ja ilmastovyöhykkeittäin. Tällä olisi ilmastovaikutuksen lisäksi myös merkittävä luonnon monimuotoisuutta edistävä vaikutus. Turvemaiden osalta on tärkeää tarkastella myös ojituksia koskevaa lainsäädäntöä, ja tätä analysoidaan seuraavassa luvussa.

VAPAAEHTOISET HIILIMARKKINAT

Vapaaehtoiset hiilimarkkinat tarjoavat markkinapohjaisen mekanismin, jossa metsänomistajat voivat saada suoraa taloudellista kompensaatiota hiilivaraston kasvattamisesta ilman pakottavaa lainsäädäntöä. Vapaaehtoisia hiilimarkkinoita on kehitetty Suomessa ja maailmalla, ja niiden ennustetaan kasvavan merkittävästi tulevaisuudessa yritysten hiilineutraaliustavoitteiden ja ilmastonmuutokseen liittyvän tietoisuuden myötä (Laturi ym. 2023). Vapaaehtoisten hiilimarkkinoiden uskottavuus edellyttää kuitenkin useiden keskeisten periaatteiden toteutumista, esimerkiksi EU:n CRCF-asetuksen mukaisesti (Euroopan komissio 2025) (Tietolaatikko 3). Vapaaehtoisten hiilimarkkinoiden haasteena on se, että useat metsät jäävät ilmasto-ohjauksen ulkopuolelle, ellei oteta täydentäviä ohjauskeinoja käyttöön.

HIILITUKIJÄRJESTELMÄ

Metsien hiilen sidonnasta tai varastoinnista palkitseva hiilitukijärjestelmä, joka rahoitettaisiin julkisin varoin, olisi yksin riittävä ohjauskeino kannustamaan metsien ilmastotoimiin. Hiilitukijärjestelmässä metsänomistajalle maksetaan korvaus sidotun hiilen määrän mukaan, mikä luo hänelle taloudellisen kannusteen kasvattaa metsiensä hiilivarastoa (Assmuth ym. 2024). Järjestelmä on tulosperusteinen ja metsänomistaja voi itse vapaasti valita keinot metsien hiilivaraston kasvattamiseen. Näitä keinoja voivat olla esimerkiksi kiertoajan pidentäminen, harvennusten lykkääminen ja keventäminen, uudistamistiheyden kasvattaminen, lannoittaminen, metsitys ja metsänhävityksen välttäminen. Jos hiilitukijärjestelmä ulotetaan koskemaan myös puutuotteiden hiilivarastot, syntyy kannustin tuottaa pitkäikäiseen käyttöön kelpaavaa puuta. (Lintunen ym. 2026).

Hiilitukijärjestelmä on ympäristötaloustieteen perusperiaatteiden mukainen ohjauskeino, jossa positiivisesta ulkoisvaikutuksesta (hiilen sidonta ja varastointi) palkitaan (Pigou 1920). Haasteina tässä järjestelmässä ovat sen helposti korkeiksi nousevat valtiontaloudelliset kustannukset, sekä hiilen sidonnan ja varastoinnin haastava monitorointi ja verifiointi. Kustannuksiin voi tuoda helpotusta useilla erilaisilla keinoilla. Hiilen vapautumisesta puuaineksesta on perusteltua periä maksu samaan tapaan kuin fossiilisten polttoaineidenkin polton yhteydessä. Tämä maksu noudattaisi aiheuttaja maksaa -periaatetta ja vähentäisi hiilitukijärjestelmän nettokustannuksia. Hiilitukijärjestelmässä on tarkoituksenmukaista maksaa palkkiota vain lisäisestä hiilensidonnasta. Tämä tarkoittaa, että perusmetsänhoidossa sitoutuvasta hiilestä ei maksettaisi korvausta, vaan vain siitä hiilestä, joka sitoutuu tämän perusuran mukaisen hiilen lisäksi. Perusuraksi voidaan määrittää esimerkiksi metsälakiin vietyjen harvennus- ja päätehakkuukelpoisuuskriteerien mukainen metsänhoidon käsittelyketju. Hiilitukijärjestelmän yksityiskohtia selvitetään maa- ja metsätalousministeriön rahoittamassa hankkeessa syksyllä 2026-keväällä 2027.

Hiilitukijärjestelmää olisi todennäköisesti haastavaa toimeenpanna nopeasti kaikkiin metsiin, ja vaihtoehto on liittymisen vapaaehtoisuus. Tällöin metsänomistaja liittyy siihen, jos kokee liittymisen

tuovan hänelle kokonaisuudessaan enemmän hyötyä kuin haittaa. Kuitenkin useat metsänomistajat voivat haluta jäädä järjestelmän ulkopuolelle. Näin käy esimerkiksi, jos järjestelmän perusurana käytetään metsänhoidon suosituksia ja perusuraa pienemmästä hiilen sitoutumisesta seuraa maksuja. Tällöin järjestelmän ulkopuolelle jäävät metsänomistajat, jotka eivät halua kasvattaa metsiään runsaspuustoisempina tai pidempään kuin metsänhoidon suosituksen mukaisissa metsänkäsittelyketjuissa. Hiilikorvauksen taso vaikuttaa järjestelmään liittymisen kannusteisiin. Vapaaehtoisella järjestelmällä saadaan mukaan vain osa metsänomistajista, ellei oteta täydentäviä ohjauskeinoja käyttöön.

HiiliMetso-malli voisi olla hiilitukijärjestelmää käytännössä helpompi tapa korvata metsänomistajille päätehakkuun lykkääminen (Tahvonen & Parkatti 2023). Mallissa sovitaan vain päätehakkuun lykkäämisestä korvausta vastaan, ilman tarvetta hiilitukijärjestelmän vaatimiin hiilitaseseurantoihin/ -mallinnuksiin. On kuitenkin tärkeää, että ilmasto-ohjauksella pyritään sekä päätehakkuiden että harvennusten muutoksiin ilmastoystävällisempään suuntaan. Jos kohdistetaan huomio vain päätehakkuisiin ja jätetään harvennukset ohjauksen ulkopuolelle, seurauksena voi olla hakkuuvuoto päätehakkuista harvennuksiin (Peltoniemi ym. 2023).

HIILINIELUN VAHVISTAMISEN TOIMEENPANO

Metsien hiilinielun vahvistamisessa on tarkoituksenmukaista tarkastella vaiheittain kehittyvää ohjauskeinokokonaisuutta. Lainsäädännön kiristämisessä kasvatushakkuiden osalta on jo edettykin. Seuraavaksi tulisi luoda suunnitelma ohjauskeinopaketin kehittämisestä metsänielujen saamiseksi vuoden 2035 hiilineutraalisuuden edellyttämälle tasolle.

Ensimmäisessä vaiheessa tulisi arvioida, kuinka kokonaisuuden eri ohjauskeinot tulee valita ja muotoilla, jotta nielua saadaan kasvatettua kansallisten tavoitteiden kannalta riittävästi. Tässä vaiheessa tulisi ensinnäkin valmistella lakimuutokset metsien hiilinielun vahvistamiseksi metsänhoidon keinoin. Tämä sisältää perusteet päätehakkuiden järeyskriteerien, säästöpuumäärän sekä ojitusten sääntelyn asettamiselle. Osana seuraavan METKA-kauden valmistelua on syytä selvittää METKA-tukien uudelleensuuntaamisen mahdollisuuksia nykyistä enemmän metsien hiilinielua tukevaan suuntaan.

Yksityisen rahoituksen ohjaamiseksi metsien ilmastotoimiin tulee vahvistaa kansallista osaamista vapaaehtoisten hiilimarkkinoiden täysimääräiseksi hyödyntämiseksi. Tässä tulee hyödyntää tällä hetkellä nopeasti kehittyvää EU:n CRCF-sertifiointikehikkoa (Tietolaatikko 3). Lisäksi tulee selvittää yksityistä ja julkista rahoitusta yhdistävien blended finance –tyyppisten rahoitusmallien soveltuvuutta metsien hiilinielujen kannustamiseen. Valtiontalouden kannalta on tarkoituksenmukaista kehittää myös aiheuttaja maksaa -tyyppistä hinnoittelua, joka toisi myös osaltaan rahoituspohjaa hiilinielutukien maksamiseen. Tässä selkeimmät metsiin liittyvät keinot ovat puunpolton verotus (esimerkiksi metsähakkeeseen kohdistuen) ja maankäytön muutosmaksu.

Ensimmäisessä vaiheessa tulisi myös pilotoida hiilitukijärjestelmää, jotta sen käytännön toimivuudesta voidaan saada riittävästi tietoa. Pilotin rakentamisessa hyödynnetään käynnissä olevan (ja keväällä 2027 valmistuvan) selvityshankkeen tuottamaa tietopohjaa.

Toisessa vaiheessa olisi mahdollista ottaa käyttöön vapaaehtoinen hiilitukijärjestelmä, joka kannustaisi metsänomistajia nielua vahvistaviin toimiin kustannustehokkaasti. Rahoitusta järjestelmään tulisi esimerkiksi METKA-tukien uudelleenkohdentamisesta. Uudistettu lainsäädäntö, joka määrittäisi kriteerit päätehakkuiden järeydelle, harvennushakkuille, säästöpuumäärille ja ojitukselle, toisi kansallisesti kaikkiin metsiin velvoittavaksi ilmastokestävyyden perustason. Vapaaehtoiset hiilimarkkinat ohjaavat

toimiin yksityistä rahoitusta CRCF-sertifiointikehikon puitteissa ja kansallisen neuvontainfrastruktuurin tukemana.

Kolmannessa vaiheessa arvioidaan metsien nielukehityksen valossa ohjauskeinopaketin kehittämistarpeita. Arvioinnin perusteella voidaan säätää tukien ja maksujen tasoa, sekä lainsäädännön tiukkuutta. Merkittävässä nieluvajetilanteessa voidaan myös harkita hiilitukijärjestelmän bonus-malus-version kaikille metsänomistajille pakolliseksi asettamista tai järeämpien ohjauskeinojen, kuten hakkuukiintiöiden asettamista.

Ohjauskeinoilla, joilla vaikutetaan hakkuiden määrään, on suhteellisen voimakas vaikutus metsien hiilinieluun: yksi vähennetty miljoonaa kuutiometriä runkopuuhakkuita vuodessa lisää metsien nieluja noin 1,4–1,9 miljoonaa CO_2-tonnia vuodessa (Kalliokoski ym. 2019, Koljonen ym. 2024, Mosley ym. 2025, Lintunen ym. 2026).

16.3.2 Kustannukset

Metsälakimuutosten suorat vaikutukset valtiontalouskustannuksiin ovat maltilliset. Kansallisessa ilmasto- ja energiastrategiassa (Työ- ja elinkeinoministeriö 2026) arvioitiin metsälainsäädännön muutosten rahoitustarpeeksi miljoona euroa vuodessa vuosina 2026–2029. Kyseisiin muutoksiin strategiassa sisältyi kasvatustiheysvaatimusten tarkistamisen lisäksi taimikon perustamisilmoituksen, sekä uudistumis- tai taimettumisilmoituksen vaatimuksen lisääminen metsälakiin. Strategiassa arvioitiin myös informaatio-ohjauksen lisäämisen vuosittaisiksi rahoitustarpeiksi 5 miljoonaa euroa vuosille 2026 ja 2027 ja 2,5 miljoonaa euroa vuosille 2028–2029.

Valtiontalouskustannukset hiilitukijärjestelmästä riippuvat useista valinnoista järjestelmän suhteen. Pakollisessa järjestelmässä on enemmän metsänomistajia tukea saamassa kuin vapaaehtoisessa järjestelmässä. Hiilikorvauksen suuruus vaikuttaa suoraan järjestelmän kustannuksiin. Tärkeitä järjestelmän nettokustannusten kannalta ovat myös valinnat perusurasta (johon verrattuna lisäisyys määritetään), sekä mahdolliset maksut metsänomistajalta valtiolle perusuraa pienemmästä hiilen sitoutumisesta. Lintunen ym. (2026) arvioivat, että jos tavoitteena olisi nielun vuosittainen voimistuminen 5 miljoonalla tCO_2:lla ja siihen päästäisiin korvaamalla nielulisäyksiä hinnalla 10 €/tCO_2, hiilitukijärjestelmästä koituisi kuluja vähintään 50 miljoonaa euroa vuodessa. Hakkuuvuoto järjestelmän ulkopuolisiin metsiin kuitenkin heikentää järjestelmän kustannusvaikuttavuutta. Lisäksi puun kantohinnat todennäköisesti nousisivat järjestelmän seurauksena, jolloin hiilikorvauksen kannustavuus hakkuiden keventämiseen ja lykkäämiseen voi heiketä. (Lintunen ym. 2026).

16.3.3 Saavutettavat päästövähennykset

Metsänhoidon muutosten päästövähennyspotentiaalia on arvioitu erilaisten mallinnusten perusteella. Dynaamisella osittaistasapainomalli FINFEP:illä (Lintunen ym. 2015) on tarkasteltu metsänomistajille maksettavan hiilikorvauksen vaikutuksia metsien hiilinieluun. Mallitulosten mukaan Suomen metsien ja puutuotteiden nettonielua voitaisiin vahvistaa kattavasti sovelletulla hiilikorvauksella jopa 20–30 Mt CO_2 vuodessa ensimmäisten parin vuosikymmenen aikana, kun hiilen hintana on 15 €/t CO_2 (Assmuth ym. 2026, Rautiainen ym. 2026). Jos hiilikorvauksen piirissä ovat vain osa metsänomistajista, on nieluvaikutus pienempi. Hynynen ym. (2024A) mallinsivat Motti-ohjelmistoa hyödyntäen pidennettyä kiertoaikaa ja puuston tiheämpänä kasvattamista soveltavia metsänkasvatusmalleja ja saivat niiden avulla ajanjaksolla 2021–2030 tulokseksi 7 Mt CO_2-ekv. vuotuisen nielulisäyksen kun hakkuutaso pidettiin muuttumattomana. Vuoden 2030 jälkeen nielulisäys pysyi likimain ennallaan, ja vuoden 2040 jälkeen se kasvoi. Toisaalta MELA-mallilla tehdyssä KEITO WAM-skenaarion mallinnuksessa kiertoaikojen pidennyksellä ja puuston tiheämpänä kasvattamisella nielu pienentyi. Ristiriitaiset tulokset

antavat aihetta täydentäviin tutkimuksiin ja esimerkiksi MELA-mallin lähtöaineiston muodostaminen on havaittu tarpeelliseksi.

Samoin kuin hiilitukijärjestelmän kustannukset, myös saavutettavat päästövähennykset riippuvat useista järjestelmään liittyvistä valinnoista. Päästövähennykset ovat sitä suurempia, mitä anteliaampi on korvaus lisähiilensidonnasta. Pakollinen järjestelmä toisi toimien piiriin useampia metsänomistajia ja lisäisi päästövähennyksiä. Järjestelmän ollessa varsin säädettävä, onkin hedelmällisempää tarkastella päästövähennysten määrää käytännön toimenpiteistä, joihin järjestelmä kannustaisi. Sama pätee lakimuutoksiin, joissa vaatimusten tiukkuus määrittää sen, kuinka täysimääräisesti esimerkiksi kiertoaikojen pidentämisen tai harvennusten keventämisen päästövähennyspotentiaali saadaan hyödynnettyä.

MUITA PÄÄSTÖJEN VÄHENTÄMISEEN LIITTYVIÄ NÄKÖKULMIA

Hiilitukijärjestelmällä olisi tutkimuksen mukaan positiivisia vaikutuksia myös metsäluonnon monimuotoisuuteen. Assmuth ym. (2026) mallinnustulosten mukaan metsien ikärakenne muuttuisi jonkin verran vanhempaan suuntaan, lahopuun määrä kasvaisi ja lehtipuiden kokonaistilavuus lisääntyisi. Muutokset parantaisivat täten näistä rakennepiirteistä riippuvien metsälajien elinympäristöjä (Koivula ym. 2022), mutta olisivat mittakaavaltaan melko maltillisia. Suomen ilmasto-, luonto- ja vesistötavoitteisiin kannustavia ohjauskeinoja tulisikin ajatella kokonaisuutena, sillä ohjauskeinoilla on synergiaetuja useisiin eri tavoitteisiin (Lintunen ym. 2026).

16.4 TURVEMAAMETSIEN PÄÄSTÖVÄHENNYSTEN TOTEUTUSPOLKU

Suomessa ojitettuja suometsiä (turvemaametsiä) on noin viidennes (4,7 miljoonaa hehtaaria) metsäpinta-alasta. Niistä aiheutuu merkittäviä päästöjä, joiden odotetaan kasvavan ilmaston lämmetessä. Turvemaametsillä on lähitulevaisuudessa pinta-alaosuuttaan merkittävämpi rooli metsätaloudessa, koska ojitettujen suometsien puusto on varttunut hakkuujäreyteen ja aiemmat hakkuut ovat painottuneet kivennäismaille, joten niissä on nyt suometsiä vähemmän hakkuumahdollisuuksia. Tässä tilanteessa ei ole yhdentekevää, että kuinka suometsissä tapahtuvat metsähoitotoimet pystytään toteuttamaan nettopäästöjen minimoinnin näkökulmasta.

Turvemaametsissä päästövähennystoimet on perusteltua kohdentaa ensisijaisesti runsasravinteisiin, paksuturpeisiin ja varttuneisiin ojitettuihin metsiin, joissa maaperän päästöt ja lähivuosien hakkuupaine ovat suuria (Lehtonen ym. 2023, Lång ym. 2022, Ojanen ym. 2013). Toteutusvaihtoehdot muodostavat toisiaan täydentävän kokonaisuuden: avohakkuiden ja tarpeettoman kunnostusojituksen välttäminen, siirtyminen jatkuvapeitteiseen metsänhoitoon, tarpeettoman kuivatuksen välttäminen ja siirtyminen kohti kosteikkometsätaloutta sekä metsätaloudesta luopuminen tai ennallistaminen heikkotuottoisilla kohteilla (Lång ym. 2022, Viitala ym. 2023, Salmivaara ym. 2026, Väänänen ym. 2025). Yhtä valtakunnallista käsittelymallia ei kuitenkaan voida soveltaa kaikkialle, sillä ilmastovaikutus, metsätaloudellinen kannattavuus ja toteutettavuus riippuvat kasvupaikasta, puuston rakenteesta, turvekerroksesta, alueen hydrologiasta ja maanomistajien tavoitteista (Juutinen ym. 2021, Ojanen & Minkkinen 2019, Shanin ym. 2021).

16.4.1 Ohjauskeinot

LAINSÄÄDÄNNÖN KEHITTÄMINEN JA TUKIEN UUDISTAMINEN TULOSPERUSTEISIKSI

Metsänhoito turvemailla on tällä hetkellä varsin löyhästi säädeltyä ottaen huomioon sen huomattavat haitalliset vaikutukset vesistöjen tilaan ja maaperäpäästöihin (Heiskanen ym. 2020). Nykyiseen vesilakiin sisältyy ojituksen luvanvaraisuus, jos ojituksella on merkittäviä haitallisia vaikutuksia kuten vesistön tilan huononeminen, luonnon kauneuden väheneminen tai tulvariskin kasvu. Kuitenkin suurin

osa ojituksista, mukaan lukien uudis- ja kunnostusojitus ja ojitusmätästys, etenevät ojitusilmoituksen teolla Lupa- ja valvontavirastoon ilman ennakollista ympäristövalvontaa ja mahdollisuutta lupaehtojen asettamiseen (Pappila 2016, Halonen ym. 2020). Maanmuokkaukseksi luettavilta toimenpiteiltä kuten naveromätästykseltä ei vaadita edes ilmoitusta. Suometsien maaperän liiallista kuivattamista, ja siihen liittyviä päästöjä, voitaisiin vähentää sääntelemällä ojittamista nykyistä kattavammin, esimerkiksi kieltämällä uudisojitus ja tuomalla kunnostusojitukseen aitoa luvanvaraisuutta (Väänänen ym. 2025, Lintunen ym. 2026).

Realistisin lähivuosien toteutuspolku perustuu kohdennettuun ohjauskeinoyhdistelmään. Suometsien hoitosuunnitelmat tulisi ottaa nykyistä laajempaan käyttöön ja laatia suo- tai osavaluma-alueen mittakaavassa niin, että niissä tunnistetaan jatkuvapeitteiseen kasvatukseen, ennallistamiseen, kunnostusojituksen välttämiseen ja vedenpinnan hallintaan soveltuvat kuviot (Väänänen ym. 2025). Suunnittelutukea tulisi täydentää neuvonnalla, paikkatietopohjaisella kohdentamisella ja alueellisella koordinaatiolla, koska yksittäisen kuvion ratkaisu voi epäonnistua, jos ympäröivä ojaverkosto ylläpitää liian voimakasta kuivatusta (Sarkkola ym. 2010, Väänänen ym. 2025). Nykyinen Metka-järjestelmä tarjoaa tähän käyttökelpoisen lähtökohdan, mutta sen kannustimia olisi perusteltua suunnata nykyistä selvemmin ilmasto- ja vesistöhyötyjä tuottaviin käsittelyihin (Viitala ym. 2022, 2023). Lisäksi suunnittelualueen tulisi kattaa sekä maatalous- että metsätalouskäytössä olevat turvemaa-alueet, jotta vesitalouden ohjaus olisi mahdollista, monihyötyistä ja kustannusvaikuttavaa. Koska tähänastisilla kannustimilla laajojen turvemaa-alueiden kokonaisvaltainen suunnittelu ja esimerkiksi EU:n CRCF regulaation (Liite 1) mukaiseen hiilikauppaan valmistautuminen ei ole edennyt, tulisi suunnittelua ja toteutusta pilotoida yhteistyössä maanomistajien kanssa julkisin varoin esimerkiksi Metsäkeskuksen tai tutkimusorganisaatioiden koordinoimissa hankkeissa.

Vapaaehtoista ohjausta voidaan vahvistaa määräaikaisella siirtymätuella, joka korvaisi suunnittelusta, osaamisesta, mahdollisesta tuhkalannoituksesta, ojien patoamisesta ja hakkuutavan muutoksesta aiheutuvia lisäkustannuksia (Juutinen ym. 2021, Viitala ym. 2023, Väänänen ym. 2025). Tuen tulisi olla kohdekohtainen ja mielellään tulosperusteinen: korvaus sidottaisiin esimerkiksi avohakkuun ja kunnostusojituksen välttämiseen, sovittuun pohjaveden tavoitetasoon tai pitkäaikaiseen käsittelysitoumukseen. Vapaaehtoiset hiili- ja luontoarvomarkkinat voivat myöhemmin täydentää julkista rahoitusta, mutta ne eivät vielä yksin muodosta riittävän varmaa toimeenpanokanavaa (Laine ym. 2023, Lång ym. 2022). Maaperäpäästöjen mittaamisen työläys, vertailutason määrittely, lisäisyys ja päästövähennysten pysyvyys edellyttävät yhtenäisiä menetelmiä, seurantaa ja riippumatonta varmennusta (Laine ym. 2023).

Erityisesti turvemaiden kuivatukseen tarvitaan sääntelyn tarkentamista. Uudisojituksen kieltäminen, kunnostusojituksen ja täydennysojituksen nykyistä kattavampi ilmoitus- tai lupamenettely sekä maanmuokkauksen kuivatusvaikutusten huomioon ottaminen ehkäisisivät uusien päästöjen syntymistä (Halonen ym. 2020, Pappila 2016, Väänänen ym. 2025). Sääntely olisi kustannustehokkainta kohdistaa tilanteisiin, joissa kuivatus ei ole puuntuotannollisesti välttämätöntä tai joissa ympäristöhaitat ovat ilmeisen suuret. Jos vapaaehtoiset toimet eivät johda riittävään muutokseen, runsasravinteisille paksuturpeisille kohteille voidaan harkita avohakkuuta ja voimakasta kuivatusta rajoittavia vähimmäisvaatimuksia. Velvoittava ohjaus olisi kuitenkin valmisteltava ennakoitavasti ja yhdistettävä kohtuullisiin siirtymäaikoihin sekä tarvittaessa korvauksiin, jotta maanomistajien oikeusturva ja hyväksyttävyys säilyvät ja samalla vesialueiden omistajien asemaa vahvistetaan. Ojituksen tarkoituksenmukainen ja yhteiskunnan nykyiset tavoitteet huomioiva säätely on valmisteltava huolellisesti ja vesilakia on tarkasteltava uudestaan sekä säädösten että niiden nykyisen tulkinnan osalta.

VAPAAEHTOISET HIILIMARKKINAT

Vapaaehtoiset hiilimarkkinat voisivat täydentää julkisia ohjauskeinoja rahoittamalla sellaisia turvemaametsien hoitotavan muutoksia, jotka eivät toteutuisi ilman ilmastoyksiköistä saatavaa tuloa (Laine ym. 2023, Lång ym. 2022). Mahdollisia hankkeita olisivat erityisesti avohakkuun ja kunnostusojituksen välttäminen, jatkuvapeitteiseen kasvatukseen tai pidennettyyn kiertoaikaan siirtyminen, ojien osittainen patoaminen sekä kosteikkometsätalous ja soiden ennallistaminen (Väänänen ym. 2025). Markkinoiden ohjausvaikutus riippuu korvauksen suhteesta maanomistajan vaihtoehtoiskustannukseen: pienikin korvaus voi muuttaa taloudellisesti parasta ratkaisua kohteessa, jossa eri metsänkäyttövaihtoehtojen kannattavuudet ovat lähellä toisiaan, mutta esimerkiksi uudistuskypsässä metsikössä avohakkuun lykkääminen voi edellyttää huomattavasti suurempaa ja pitkäaikaista korvausta (Juutinen ym. 2021).

Metsänhoidon kannalta markkina suosisi todennäköisesti ensivaiheessa helposti määriteltäviä puustohiileen perustuvia toimia, kuten hakkuiden lykkäämistä ja hakkuuvoimakkuuden pienentämistä. Turvemailla pelkkä puustohiilen lisääminen ei kuitenkaan takaa parasta ilmastotulosta, koska runsas puusto voi haihdunnan kautta pitää pohjaveden syvällä ja ylläpitää turpeen hajoamista (Ojanen & Minkkinen 2019, Shanin ym. 2021). Ilmastoyksikön laskennan tulisi siksi kattaa samassa vertailussa puuston ja maaperän hiilitaseet sekä maaperän metaani- ja dityppioksidipäästöjen muutokset (Shanin ym. 2021). Parhaiten turvemaiden erityispiirteisiin vastaisi tulosperusteinen menetelmä, jossa hyvitys määräytyy todennetun kokonaisilmastovaikutuksen perusteella ja jossa metsänkäsittelyä sekä vedenpinnan tasoa tarkastellaan yhtenä kokonaisuutena. Haasteena tässä lähestymistavassa on ilmastovaikutusten todentaminen käytännössä, eli miten kohteiden tuloksellisuutta tarkastellaan ja seurataan. Todentamisen perustana voisi olla kattavat mittaukset pohjaveden korkeudesta, edustava otos kasvihuonekaasumittauksia ja puuston seuranta kaukokartoitusaineistojen perusteella. Ilmastoyksiköiden uskottavuus edellyttää lisäisyyttä, luotettavaa vertailutasoa, mitattavuutta, riippumatonta todentamista, pysyvyyttä ja kaksoislaskennan välttämistä (Laine ym. 2023). Lisäisyys voi olla vaikea osoittaa kohteilla, joilla jatkuvapeitteinen kasvatus on maanomistajalle jo taloudellisesti paras vaihtoehto tai joissa toimenpide toteutuu julkisen tuen tai sääntelyn vuoksi. Toimenpiteen pysyvyyteen liittyy turvemailla erityinen riski: ojien avaaminen uudelleen tai myöhempi avohakkuu voi kumota aiemmin saavutetun hyödyn. Sopimusten olisi oltava riittävän pitkäaikaisia ja sisällettävä seurantaa, riskipuskuri sekä selkeät vastuut tilanteisiin, joissa päästövähennys jää toteutumatta tai palautuu myöhemmin ilmakehään (Laine ym. 2023).

EU:n vapaaehtoinen hiilenpoistojen ja hiiliviljelyn sertifiointikehys (CRCF) luo yhteisiä laatu-, seuranta- ja raportointivaatimuksia hiilenpoistoille ja maaperäpäästöjen vähennyksille (Euroopan parlamentti & Euroopan unionin neuvosto, 2024; Tietolaatikko 3). Vuonna 2026 hyväksytyt hiiliviljelyn menetelmät kattavat muun muassa turvemaiden ja muiden eloperäisten maiden vettämisen ja ennallistamisen sekä metsityksen, kun taas turvemaametsien jatkuvapeitteisen kasvatuksen soveltuminen sertifioitavaksi riippuu menetelmien myöhemmästä kattavuudesta ja kansallisesta toimeenpanosta (Euroopan komissio, 2024). Kehys voi vähentää ostajien epävarmuutta ja mahdollistaa ryhmäsertifioinnin, joka jakaa pienten metsänomistajien hanke-, mittaus- ja varmennuskustannuksia. Aluetasolla tehty soiden kestävän käytön ja päästövähennysten suunnittelu luo pohjaa maanomistajien osallistumiselle EU-säädösten mukaiseen hiilikauppaan. Käytännössä markkinan laajeneminen jää silti riippumaan hyväksytyistä menetelmistä, yksiköiden kysynnästä ja siitä, millaisia ilmastoväittämiä ostajat voivat niiden perusteella tehdä.

Ilmastovaikutusten näkökulmasta vapaaehtoinen markkina voi nopeuttaa kustannustehokkaimpien kohteiden käyttöönottoa ja tuoda metsänomistajille uuden tulovirran, mutta se ei takaa ennalta määrättyä kansallista päästövähennysmäärää. Alhaiset yksikköhinnat, suuret transaktiokustannukset ja

epävarmuus maaperäpäästöjen laskennasta voivat rajata markkinan lähinnä suuriin tai useista tiloista koottuihin hankkeisiin (Laine ym. 2023).

16.4.2 Kustannukset

Valtion suorimmat kustannukset syntyisivät kohdevalinnasta, valuma-aluetason suunnittelusta, neuvonnasta, seurannasta ja mahdollisista siirtymä- tai tulosperusteisista tuista. Kustannustasoa ei voida luotettavasti arvioida nykyisen tietopohjan perusteella, sillä jatkuvapeitteisen kasvatuksen ja avohakkuisiin perustuvan metsänhoidon suhteelliset kannattavuudet vaihtelevat tutkimusten välillä (Ahtikoski ym. 2025, Juutinen ym. 2021). Kaikille hehtaareille maksettava tasatuki olisi siksi tehoton. Julkinen rahoitus tulisi kohdentaa ensisijaisesti kohteille, joilla arvioitu päästövähennys on suuri suhteessa korvaustarpeeseen ja joilla saavutetaan samanaikaisesti vesistö- tai monimuotoisuushyötyjä (Lång ym. 2022).

Kustannuksia voidaan rajoittaa hyödyntämällä nykyistä Metka-hallintoa, metsäsuunnittelun tietojärjestelmiä ja olemassa olevia vesiensuojelu- ja ennallistamisohjelmia (Viitala ym. 2022). Julkisen talouden kannalta edullisimpia ovat toimet, jotka korjaavat nykyisiä kannustinvääristymiä ja vähentävät tulevia menoja: kunnostusojitusten välttäminen säästää toteutuskustannuksia, ja vesistökuormituksen väheneminen pienentää tarvetta myöhemmille kunnostustoimille (Juutinen ym. 2021, Nieminen ym. 2017).

16.4.3 Saavutettavat päästöhyödyt

Jatkuvapeitteiseen kasvatukseen siirtymisen kansallinen päästövähennyspotentiaali on nykyisillä hakkuutasoilla suuruusluokaltaan noin 0,7–1,3 Mt CO_2-ekv./vuosi verrattuna avohakkuisiin perustuvaan metsänhoitoon (Lehtonen ym. 2023). Runsasravinteisilla kohteilla johdettu hehtaarikohtainen potentiaali on noin 5–10 t CO_2-ekv./ha/v, mutta arvioon liittyy huomattavaa epävarmuutta (Ojanen & Minkkinen 2019, Shanin ym. 2021). Vaikutus syntyy sekä puuston hiilinielun säilymisestä että maaperäpäästöjen vähenemisestä; näiden suhteellinen osuus riippuu hakkuuvoimakkuudesta ja vedenpinnan kehityksestä (Lehtonen ym. 2023, Shanin ym. 2021). Kosteikkometsätalous ja ojien osittainen patoaminen voivat kasvattaa maaperään kohdistuvaa hyötyä, mutta niiden valtakunnallista päästövähennystä ei nykyisellä tutkimustiedolla voida arvioida luotettavasti (Väänänen ym. 2025).

Toteutuksen aikajänne on päästöhyötyjen kannalta olennainen. Nopeimmin vaikuttavat avohakkuiden ja tarpeettomien kunnostusojitusten välttäminen kohteilla, jotka ovat lähivuosina tulossa päätehakkuun piiriin (Lehtonen ym. 2023). Ennallistamisen ja aktiivisen vedenpinnan noston hyödyt voivat olla suuret, mutta toteutusala kasvaa hitaammin suunnittelun, omistusrakenteen ja hydrologisten riippuvuuksien vuoksi (Lång ym. 2022, Väänänen ym. 2025). Vuoteen 2030 mennessä realistinen vaikutus perustuisi todennäköisesti pääosin metsänhoitotavan muutokseen ja suunniteltujen ojitusten karsimiseen; vuoteen 2035 ja sen jälkeen valuma-aluetason kosteikkometsätalous- ja ennallistamiskokonaisuudet voisivat muodostaa merkittävämmän lisän.

VAIKUTUKSET PUURAAKA-AINEEN TARJONTAAN JA HAKKUIDEN VUOTAMINEN

Turvemaametsiin kohdistuvien toimien vaikutus puuraaka-aineen tarjontaan riippuu ratkaisevasti siitä, rajoitetaanko hakkuumäärää vai muutetaanko ensisijaisesti hakkuutapaa. Jatkuvapeitteiseen kasvatukseen siirtyminen kuusivaltaisissa turvemaametsissä voi lisätä tukkipuun osuutta hakkuukertymässä. Kun kuusivaltaisissa ojitetuissa turvemaametsissä siirrytään jatkuvapeitteiseen kasvatukseen ja koko maan hakkuumäärä säilytetään ennallaan, lisääntyy Suomen metsien vuosittainen hiilinielu noin 1 Mt CO_2-ekv./v vaikka osa hakkuista siirtyy kivennäismaille (Lehtonen ym 2023). Muutos vahvistaa erityisesti puuston hiilinielua ja turvemaiden maaperäpäästöt muuttuvat vain

vähän, koska maaperän päästöjä vähentävä pohjaveden pinnan nousu jää pieneksi. Vaikutus vedenpinnan korkeuteen jää vähäiseksi.

TURVEMAAMETSIEN PÄÄSTÖVÄHENNYSTEN TOIMEENPANO

Kokonaisuutena kustannustehokkain ja realistisin etenemistapa olisi vaiheittainen. Ensin ehkäistään lisäpäästöjä poistamalla uudisojituksen ja tarpeettoman kunnostusojituksen kannustimet sekä kohdentamalla neuvonta varttuneisiin runsasravinteisiin turvemaametsiin (Lehtonen ym. 2023, Viitala ym. 2022). Toiseksi tuetaan jatkuvapeitteiseen kasvatukseen siirtymistä ja valuma-aluetason hoitosuunnittelua siellä, missä toimenpide voidaan toteuttaa vähäisin tulonmenetyksin (Juutinen ym. 2021, Viitala ym. 2023, Väänänen ym. 2025). Kolmanneksi toteutetaan aktiivista vedenpinnan nostoa, kosteikkometsätaloutta tai ennallistamista kohteilla, joissa puuntuotannollinen merkitys on pienempi, mutta ilmasto- ja muut ympäristöhyödyt ovat suuria ja maanomistajat voidaan sitouttaa pitkäaikaiseen ratkaisuun (Lång ym. 2022, Väänänen ym. 2025). Vaikuttavuus edellyttää samalla seurantaa ja mekanismia, jolla ohjausta voidaan kiristää tai kohdentaa uudelleen, jos vapaaehtoinen toimeenpano jää tavoitellusta tasosta.

MUITA PÄÄSTÖJEN VÄHENTÄMISEEN LIITTYVIÄ NÄKÖKULMIA

Turvemaametsien toimilla on huomattavia oheishyötyjä: kunnostusojituksen ja voimakkaan maanmuokkauksen vähentäminen pienentää kiintoaine-, ravinne- ja humuskuormitusta, jatkuva puusto ylläpitää maisemaa ja pienilmastoa, ja vedenpinnan nostaminen voi parantaa suoluonnon tilaa (Nieminen ym. 2017, 2018, Peura ym. 2018). Nämä hyödyt puoltavat kohdentamista valuma-alueille, joilla samasta toimenpiteestä saadaan useita tavoitteita palveleva vaikutus (Väänänen ym. 2025). Kustannustehokkuutta ei siten tule arvioida pelkän ilmastotonnin hinnan perusteella, vaan suhteessa ilmasto-, vesi-, luonto- ja virkistyshyötyjen kokonaisuuteen.

17 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Maa- ja metsätaloudessa sekä maankäytössä voidaan kustannusvaikuttavasti vähentää päästöjä ja vahvistaa hiilinieluja. Turvemaapeltojen vettäminen, metsäkadon hillitseminen sekä metsien hiilivaraston kasvattaminen hakkuita vähentävillä ja metsänkasvua lisäävillä metsänhoidon muutoksilla ovat merkittävimmät keinot, joilla voidaan saavuttaa EU:n toisen velvoitekauden (2026–2030) maankäyttösektorin velvoite ja kasvattaa maankäyttösektorin nettonielua kansallisen vuoden 2035 hiilineutraaliustavoitteen saavuttamiseksi. Ilmastopolitiikan ohjauskeinokokonaisuus uudistaa maatalouden, metsätalouden ja maankäytön rakenteita ja luo uusia ansaintamahdollisuuksia valtiolle ja maanomistajille.

Maatalous- ja maankäyttösektorilla on useita hyödyntämättömiä kustannusvaikuttavia päästövähennysmahdollisuuksia, jotka tulee ottaa käyttöön ripeästi. Viivyttely kasvattaa kuilua Suomen ilmastotavoitteiden ja niiden toteutumisen välillä. Tavoitteet voidaan saavuttaa kotimaisin toimin vähentämällä päästöjä, estämällä niitä lisäävää toimintaa ja vahvistamalla hiilinieluja. Maatalouden ja maankäyttösektorin nettopäästövähennysten toteuttamiseksi tarvitaan laajasti erilaisia menetelmiä sekä kokoelma ohjauskeinoja ohjaamaan kustannusvaikuttavien menetelmien käyttöönottoon. Käytettävissä olevien resurssien suuntaamisessa on huomioitava toimien kustannusvaikuttavuus, jotta panoksilla saavutetaan mahdollisimman suuri ilmastohyöty. Kustannusvaikuttavuudessa tulee huomioida, että monet maankäyttösektorin päästöjä vähentävät ja nieluja vahvistavat toimenpiteet ovat monihyötyisiä tuottaen päästövähennyksiä, turvaten monimuotoisuutta ja vähentäen vesistökuormitusta. Siksi toimenpide, joka on kallis pelkästään päästövähennystä kohden laskettuna, voi olla taloudellisesti perusteltu, kun myös sen hyödyt luonnon monimuotoisuudelle ja vesistöille otetaan huomioon. Esimerkiksi ojitetun turvemaa-alueen käytön ilmastoviisas suunnittelu voi luoda alueen, jolla turvepeltojen maaperän päästöjä vähennetään vettämällä ja maanomistaja saa tuloja päästövähennyksistä, suometsien kasvatuksen taloudellista kannattavuutta parannetaan välttämällä ojitusta ja siirtymällä jatkuvapeitteiseen kasvatukseen ja vesistöjen tilaa parannetaan toteuttamalla vesiensuojelukosteikko.

Maankäyttösektorin ohjaus on tähän asti perustunut pääosin vapaaehtoisiin keinoihin, eikä se ole riittänyt ohjaamaan kehitystä ilmastotavoitteiden mukaiseksi. Lakisääteisiä ja lupaperusteisia ohjauskeinoja päästöjen vähentämiseksi on käytössä vähän. Maatalouden nykyinen tukijärjestelmä ei ole ohjannut tavoitteensa mukaisesti ympäristökuormituksen tehokkaaseen vähentämiseen ja tilojen kannattavuuden vahvistumiseen, joten on ilmeistä, että tukia on kohdennettava uudelleen. Tulosperusteisten tukien käyttöönotto parantaisi myös maatilojen valmiutta toteuttaa päästövähennyksiä, joilla voi tulevaisuudessa saada tuloja kehittyviltä hiilimarkkinoilta. Julkisten tukien määrä tulee asettaa tasolle, joka kannustaa muita tahoja, kuten yrityksiä ja kuntia, rahoittamaan päästövähennyksiä. Turvetuotantoalueiden jatkokäyttöön ja metsitykseen suunnattujen tukien ehdot tulee asettaa siten, että ne ohjaavat vähentämään turvemaiden maaperäpäästöjä vettämällä ja ennallistamalla.

Kasvihuonekaasupäästöjä lisäävä toiminta tulee rajata tukien ulkopuolelle ja päästöjen vähentämiseen pitää ohjata lainsäädännöllä ja lupamenettelyillä sekä tulosperusteisilla tuilla, joiden suuruus määräytyy tuotettujen päästövähennysten mukaisesti. Turvemaiden ojituksen ja maankäytön julkinen ohjaus ei ole riittävää suhteutettuna siihen, kuinka paljon kasvihuonekaasupäästöjä ja muuta ympäristökuormitusta ne aiheuttavat. Metsäojitukset toteutetaan nykyisin ilman lupaharkintaa, vaikka vesilain mukaan merkittävää ympäristöhaittaa aiheuttavat ojitukset ovat luvanvaraisia. Toisaalla päästöjä vähentävän vettämisen ja ennallistamisen esteitä lupaprosesseista ja tukipolitiikasta tulee poistaa. Maankäytön muutosmaksu hillitsisi metsäkadon aiheuttamia kasvihuonekaasupäästöjä, luontokatoa ja vesistökuormitusta hinnoittelemalla aiheutetun haitan.

Hiilinieluja voidaan vahvistaa ohjaamalla metsien hoitoa ja metsien käyttöä lainsäädännöllä. Metsälainsäädäntöön tarvitaan nykykäytäntöihin verrattuna suurempaa hiilivarastoa ylläpitävät kynnysarvot päätehakkuukelpoisen puuston järeydelle. Näistä kynnysarvoista poikkeaminen pitäisi sanktioida, jotta metsälailla olisi tarvittava ohjausvaikutus.

Nettopäästövähennysten syntymistä voidaan tukea myös kehittämällä päästövähennysten varmentamista ja raportointia, sekä metsänomistajien neuvontaa kehittämällä laskentatyökalujen tarjonnan ja neuvontapalvelujen taloudellisen osaamisen vahvistamisen kautta. Informaatio-ohjaus päätöksentekijää tukevan datan ja järjestelmien käyttöönoton avulla voi edistää ilmastoviisaiden toimintatapojen omaksumista. Maatalous- ja maankäyttösektorin päästöjä seurataan kasvihuonekaasuinventaariossa ja tulevaisuudessa myös vapaaehtoisen hiilikaupan rekistereissä. Myös yrityksissä ja arvoketjuissa toimialoittain seurataan päästöjen kehitystä tuotteittain ja yritysten tasolla. Seurannan luotettavuuden ja yhdenmukaisuuden varmistamiseksi tarvitaan mittauksia ja menetelmäkehitystä, joka varmistaa, että uusien toimien vaikutus kasvihuonekaasupäästöihin tulee raportoinnin piiriin. Toimenpiteiden päästövaikutusten luotettava seuranta auttaa myös arvioimaan ja tarvittaessa uudelleensuuntaamaan ilmastotoimien kohdentamista yrityksissä, alueilla ja koko maassa. Päästöjen seuranta luo myös pohjan ilmastotoimien rahoitukselle ja tuottaa tietoa säätelyn vaikutuksista.

Suomen maatalouden ja peltojen käytön päästöt ovat vuosikymmenien ajan pysyneet korkeina ja jopa kasvaneet, vaikka monet päästövähennyskeinot ovat hyvin kustannusvaikuttavia ja tuottaisivat nopeasti päästövähennyksiä. Merkittävimmät peltojen käytön päästövähennykset luodaan turvepeltoja vettämällä. Lisäksi kivennäismaapelloilla voidaan saavuttaa viljelykäytäntöjä muuttamalla yhteishyötyjä maaperän hiilivaraston kasvamisessa ja maan kasvukunnon parantamisessa. Lannoitusta tarkentamalla ja typensitojakasvien monipuolisemmalla ja laajamittaisemmalla hyödyntämisellä voidaan vähentää ostolannoitteita maatiloilla. Lannan varastointia ja lannan käsittelyä kehittämällä ja lantaravinteiden kierrätystä lisäämällä mm. biokaasun ja lannan jakeistamisen keinoin voidaan niin ikään vähentää ostolannoitteita, jolloin fossiilienergialla sidotun typen ja fosforikaivoksista louhitun fosforin käyttöä ja huuhtoumia vesistäihin voidaan vähentää. Samalla vähenee Suomen ruuantuotannon riippuvuus tuontipanoksista, niiden hinnoista ja saatavuudesta. Nautojen metaanipäästöjä voidaan vähentää ruokinnan lisäainein ja tuottavuutta parantamalla. Ruokavaliomuutoksilla voidaan luoda edellytyksiä merkittäville päästövähennyksille. Maatalouden energiankäytön päästövähennyksiin voidaan kannustaa investointituilla ja tehostetulla neuvonnalla, jotka mahdollistavat kaluston päivittämisen vähäpäästöisemmäksi.

Ilmastokestävässä ruokajärjestelmässä maatalouden datan hallinta ja hyödyntäminen ovat keskeisiä tekijöitä. Maatalousyrittäjien tehokkaammaksi kehitetty tiedonhallinta tukee tuotantoprosessin päätöksentekoa, parantaa tuottavuutta ja kannattavuutta ja vahvistaa maatalousyritysten asemaa arvoketjussa. Dataa tulee hyödyntää läpinäkyvästi ja oikeudenmukaisesti, ja sen avulla syntyvä arvo on jaettava reilusti kannustaen maatalousyrittäjiä kestävään tuotantoon. Tämä edellyttää, että maatalousyrittäjät säilyttävät määräysvallan omaan dataansa ja voivat hyödyntää sitä turvallisesti yhteistyössä muiden toimijoiden kanssa oman liiketoimintansa sekä ruokajärjestelmän vastuullisuuden ja kilpailukyvyn kehittämiseksi. Ilmastotavoitteiden saavuttaminen edellyttää koko ruokajärjestelmän yhteistä kehittämistä. Tämä tarkoittaa, että kestävyysnäkökulmien tulee ohjata ja muuttaa maatalousyrittäjien lisäksi myös kuluttajien valintoja sekä ennen kaikkea markkinatoimijoiden toimintatapoja.

Metsien hiilitaseelle keskeistä ovat elävän biomassan lisäksi maaperäpäästöt, joiden kasvuun ovat vaikuttaneet etenkin 2010-luvulta alkaen lisääntyneet hakkuut ja ojitettujen turvemaametsien maaperäpäästöt. Korkea hakkuutaso on myös pienentänyt elävän puuston hiilivarastoa eli heikentänyt

puuston hiilinielua. Koska Suomen metsien hiilinielu on käytännössä kadonnut olemattomiin, on sitä vahvistettava määrätietoisesti, jotta kansalliset tavoitteet ja EU-velvoitteet voidaan saavuttaa. Metsien keskeiset nettopäästövähennykset liittyvät metsänhoitokäytäntöjen muuttamiseen ja metsäkadon estämiseen, joita molempia voidaan ohjata lainsäädäntöä päivittämällä sekä ottamalla käyttöön taloudellisia ohjauskeinoja.

Potentiaalisista laajasti sovellettavista ja kustannusvaikuttavista uusista toimista, kuten sekametsien kasvattaminen nykyistä kevyemmin harvennuksin, turvemaiden ennallistamisesta ja kosteikkometsityksestä (turvepeltojen vettäminen ja metsittäminen märässä kasvavilla hieskoivulla ja tervalepällä), tarvitaan toteutuksen tueksi myös lisätutkimusta ja käytännön toteutuksen neuvontaa sekä kasvihuonekaasuinventaarion menetelmäkehitystä, joka varmistaa, että toimin saavutetut päästövähennykset näkyvät myös kansallisessa kasvihuonekaasuinventaariossa.

Maatalouden ja maankäyttösektorin ilmastotoimia vauhdittamaan tarvitaan lähivuosina mittavia muutoksia kansalliseen ja EU:n yhteiseen maatalouspolitiikkaan, tukien kohdentamiseen, päästöjen ja nielujen hinnoitteluun ja markkinoihin sekä neuvontaan ja koulutukseen. Erityisesti taloudelliset ohjauskeinot, jotka muuttavat toimintaa laajasti ja nopeasti ovat tarpeen, jotta asetetut ilmastotavoitteet saavutetaan kustannustehokkaasti.

Kattavan ja kustannusvaikuttavan toimenpidekokonaisuuden valmistelu on käynnistettävä viipymättä ja sisällytettävä seuraavaan hallitusohjelmaan tarkoituksenmukaisten rahoitusinstrumenttien kanssa. Kustannusvaikuttavimpia toimia, kuten hylättyjen turvepeltojen vettämistä, tulee pilotoida käytännön mittakaavassa ja tuottaa niiden laajentamista tukevaa hyvien käytäntöjen ohjeistusta sekä mittausaineistoa vaikuttavuudesta. Kustannusvaikuttavimpien toimien käyttöönottoa on edistettävä ripeästi ja toimien toteutukseen on sitouduttava pitkäjänteisesti. Lainsäädännössä tarvittavat muutokset tulee tehdä viipymättä ja taloudellisten ohjauskeinojen (ml. tukijärjestelmien muutokset ja vapaaehtoinen hiilikauppa) käyttöönottoa on edistettävä kansallisesti EU:n säädösten puitteissa niin että maanomistajien valmius osallistua hiilikauppaan paranee. Maatalouden ja maankäyttösektorin päästöjä vähentävät muutokset metsätaloudessa ja ruokajärjestelmässä tuottavat tuloksia tulevien vuosikymmenien aikana (Lehtonen ym. 2026). Jos maankäyttösektorin ja maatalouden päästövähennysmahdollisuudet jätetään käyttämättä, tarvitaan hiilineutraaliuden saavuttamiseen enemmin hiilinieluja lisääviä toimia, joista hakkuita vähentävillä toimilla on keskeinen merkitys. Lisäksi jää saavuttamatta EU:n LULUCF-asetuksessa Suomelle asetettu maankäyttösektorin velvoite vuosille 2026–2030, minkä seurauksena Suomi voi päätyä hankkimaan muualla todennettuja metsien hiilinieluyksiköitä tai kiristämään seuraavilla sopimuskausilla muiden sektoreiden päästövähennystavoitteita hyvittääkseen maankäyttösektorin poikkeaman sovituista tavoitteista.

18 LÄHTEET

Aapala, K., Similä, M. & Kuhmonen, A. (toim.) 2025. Soiden ennallistamisopas. Metsähallituksen luonnonsuojelujulkaisuja. Sarja A 260. Metsähallitus, Luontopalvelut, Helsinki. ISBN 978-952-377-152-9. Saatavilla: https://julkaisut.metsa.fi/wp-content/uploads/sites/2/2025/09/a260_alku.pdf

Adamczyk, B., Adamczyk, S., Tupek, B. … & Mäkipää, R. (2025). Nitrogen fertilisation of boreal forest soil increases soil carbon pool through elevated microbial necromass formation but also modifies tree secondary metabolism, Soil Biology and Biochemistry, Volume 209, 2025, 109917, ISSN 0038-0717, https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2025.109917.

Agriculture and Agri-Food Canada (2024) Reducing emissions from fertilizer. Available at: https://agriculture.canada.ca/en/environment/fertilizers-and-pesticides/reducing-emissions-fertilizer.

AHDB (2026) Nutrient Management Guide (RB209). Agriculture and Horticulture Development Board. Maaliskuun 2026 päivitys koskee oppaan osia 1–4. [ahdb.org.uk]

Ahokas (toim.) (2013A) Polttoaineen kulutus peltotöissä. Maatalous-metsätieteellisen tiedekunnan julkaisuja. 978-952-10-8885-8 http://hdl.handle.net/10138/135917

Ahokas, J. (Toimittaja) (2013B). *Energian kulutus ja säästö karjataloudessa*. Helsingin yliopisto, Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta. Saatavilla: https://researchportal.helsinki.fi/fi/publications/energian-kulutus-ja-s%C3%A4%C3%A4st%C3%B6-karjataloudessa/

Ahokas. J. (toim.) (2014). Maatilojen energiankäyttö. Enpos-hankkeen tulokset. Helsingin yliopisto, Maataloustieteiden laitoksen julkaisu 15: 1-142. http://hdl.handle.net/10138/40241

Ahtikoski, A., Horne, P., & Kokko, K. (2006). Hiilinielujen ja biodiversiteetin turvaamisen ohjauskeinojen yhteensovittaminen. Julkaisussa: Valsta, L., Ahtikoski, A., Horne, P., Karttunen, K., Kokko, K., Melkas, E., Mononen, J., Pingoud, K., Pohjola, J., & Uusivuori, J. (2006). Puu ilmastonmuutoksen hillitsijänä – Loppuraportti (Tutkimusraportteja 39). Helsingin yliopisto, Metsäekonomian laitos. https://www.mv.helsinki.fi/home/valsta/carbon/hiililoppuraportti-final.pdf

Ahtikoski, A., Siipilehto, J., Repola, J., Hökkä, H., Lehtonen, M., Kärkkäinen, K., & Hynynen, J. (2025). Financial comparison between rotation forestry (RF) and continuous cover forestry (CCF) on spruce-dominated peatlands. *Scandinavian Journal of Forest Research*, *40*(2), 116-127. https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2025032420579

Akiyama, H., Yan, X., Yagi, K., (2010). Evaluation of effectiveness of enhanced-efficiency fertilizers as mitigation options for N2O and NO emissions from agricultural soils: meta-analysis. Glob. Change Biol. 16, 1837–1846. https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.02031.x

Allonen, O., Laatikainen, M. & Sutinen, H. (2026). Keski-Pohjanmaan turvesoiden hiilivarasto ja eri jatkokäyttömuotojen potentiaalit – Turvetuotantoalueet kestävään käyttöön (TURKE) -hankkeen raportti. Geologian tutkimuskeskus, Tutkimustyöraportti 27/2026, 16 sivua, 5 kuvaa ja 1 taulukko. https://tupa.gtk.fi/raportti/arkisto/27_2026.pdf

Antošovský, J., Škarpa, P., Ryant, P., (2025). The effect of nitrification inhibitor on the yield and quality of *Triticum aestivum* L. and *Brassica napus* L. – A long-term experiment. Field Crops Res. 328, 109906. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2025.109906

Arndt, C., Hristov, A. N., Price, W. J., McClelland, S. C., Pelaez, A. M., Cueva, S. F., Oh, J., Dijkstra, J., Bannink, A., Bayat, A. R., Crompton, L. A., Eugene, M., Enahoro, D., Kebreab, E., Kreuzer, M., McGee, M., Martin, C., Newbold, C. J., Reynolds, C. K.,Yu, Z. (2022). Full adoption of the most effective strategies to mitigate methane emissions by ruminants can help meet the 1.5 °C target by 2030 but not 2050. Proceedings of the National Academy of Sciences, 119(20), e2111294119. https://doi.org/10.1073/pnas.2111294119

Aro, L. (2000). Root penetration of Scots pine and silver birch on cut-away peatlands. Teoksessa: Rochefort, L. & Daigle, J.-Y. (toim.). Sustaining Our Peatlands. Proceedings of the 11th International Peat Congress, Quebec City, Canada, August 6-12, 2000, Volume II: 932–936.

Aro, L., Ahtikoski, A. & Hytönen, J. (2020). Profitability of growing Scots pine on cutaway peatlands. Silva Fennica vol. 54 no. 3 article id 10273. 18 s. (https://doi.org/10.14214/sf.10273)

Aro, L., Jylhä, P., Järvenranta, K., Matila, A., Ramstadius, U., Ronkainen, T., Räsänen, A., Silvan, N., Silvenius, F., Virkajärvi, P., Wall, A. & Tolvanen, A. (2023). Turvetuotannosta poistuvien alueiden jatkokäytön vaihtoehdot Suomessa

sekä arvio niiden ympäristö- ja talousvaikutuksista. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 120/2023. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 71 s. http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-853-9

Arvidsson, H. & Lundkvist, H. (2003). Effects of crushed wood ash on soil chemistry in young Norway spruce stands, Forest Ecology and Management, Volume 176, Issues 1–3, 2003, Pages 121-132, ISSN 0378-1127, https://doi.org/10.1016/S0378-1127(02)00278-5.

Assmann, E. (1970). The Principles of Forest Yield Study: Studies in the organic production, structure, increment and yield of forest stands. Pergamon Press, 506 s.

Assmuth, A., Autto, H., Halonen, K. M., Haltia, E., Huttunen, S., Lintunen, J., ... & Uusivuori, J. (2024). Forest carbon payments: A multidisciplinary review of policy options for promoting carbon storage in EU member states. *Land Use Policy*, *147*, 107341. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2024.107341

Assmuth, A., Lintunen, J., Wejberg, H., Koikkalainen, K., Uusivuori, J. & Miettinen, A. (2022). Metsäkadon ilmastohaitta ja hillinnän ohjauskeinot Suomessa. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 31/2022. Luonnonvarakeskus. http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-409-8

Assmuth, A., Rautiainen, A., Pohjola, J., Hyyrynen, M., Pihlainen, S., & Lintunen, J. (2026). Biodiversity implications of forest carbon payments. *Canadian Journal of Forest Research*, *56*, 1-16. https://doi.org/10.1139/cjfr-2025-0184

Assmuth, A., Rämö, J., & Tahvonen, O. (2018). Economics of size-structured forestry with carbon storage. *Canadian Journal of Forest Research*, *48*(1), 11-22. https://doi.org/10.1139/cjfr-2017-0261

Ayanfe, N.,Tapio, I., Ahvenjärvi, S., Rinne, M., Sairanen, A. & Bayat, A. R. (2025). Can high-lipid concentrates offset the high enteric methane production caused by high-forage diets fed to lactating dairy cows?, Journal of Dairy Science, Volume 108, Issue 8, 2025, Pages 8350-8366, ISSN 0022-0302. https://doi.org/10.3168/jds.2024-26108

Basche, A.D., Miguez, F.E., Kaspar, T.C., Castellano, M.J., 2014. Do cover crops increase or decrease nitrous oxide emissions? A meta-analysis. J. Soil Water Conserv. 69, 471–482. https://doi.org/10.2489/jswc.69.6.471

Bianchi, A., Larmola, T., Kekkonen, H., Saarnio, S., & Lång, K. (2021). Review of greenhouse gas emissions from rewetted agricultural soils. Wetlands, 41, 91. https://doi.org/10.1007/s13157-021-01507-5

Bioenergia ry (2019). Turvetuotannosta poistuneet suonpohjat ovat jo hiilinieluja – metsitys tärkein jälkikäyttömuoto. Bioenergia ry, tiedote 8.3.2019.

Bioenergia ry (2026). Tietopankki. https://www.bioenergia.fi/tietopankki/turve/. Viitattu 21.4.2026.

Boleman, C. & Dromgoole, D.A., (2007). Result Demonstration: A Method That Works.

Brunelle, T., Chakir, R., Carpentier, A., Dorin, B., Goll, D., Guilpart, N., Maggi, F., Makowski, D., Nesme, T., Roosen, J., Tang, F.H.M., (2024). Reducing chemical inputs in agriculture requires a system change. Commun. Earth Environ. 5, 369. https://doi.org/10.1038/s43247-024-01533-1

Brunet-Navarro, P., Jochheim, H. & Muys, B., (2017). The effect of increasing lifespan and recycling rate on carbon storage in wood products from theoretical model to application for the European wood sector. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 22(8), pp.1193-1205.

Butterbach-Bahl, K., Baggs, E.M., Dannenmann, M., Kiese, R., Zechmeister-Boltenstern, S., (2013). Nitrous oxide emissions from soils: how well do we understand the processes and their controls? Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci. 368, 20130122. https://doi.org/10.1098/rstb.2013.0122

Buzacott, A. J. V., Laasasenaho, K., Lauhanen, R., Minkkinen, K., Ojanen, P., Adhikari, G., Jokelainen, L., Päkkilä, L., Marttila, H. & Lohila, A. (2025). Afforestation-Related Fertilisation Quickly Turns Barren Cutaway Peatland Into a Carbon Dioxide Sink. Global Change Biology 31, e70644. https://doi.org/10.1111/gcb.70644

Castellano, M.J., Archontoulis, S.V., Helmers, M.J., Poffenbarger, H.J., Six, J., 2019. Sustainable intensification of agricultural drainage. Nat. Sustain. 2, 914–921. https://doi.org/10.1038/s41893-019-0393-0

Chantigny, M. H., Bittman, S., Larney, F. J., Lapen, D., Hunt, D. E., Goyer, C., & Angers, D. A., 2019. A multi-region study reveals high overwinter loss of fall-applied reactive nitrogen in cold and frozen soils. Canadian Journal of Soil Science, 99(1), 22-37. https://doi.org/10.1139/CJSS-2018-0151

Chen, C., Lemke, N., Loft, L., & Matzdorf, B. (2024). Transformation of peatland management toward climate targets in Europe. Ecosystem Health and Sustainability, 10, Article 0239. https://doi.org/10.34133/ehs.0239

Cristóbal García, J., Caro, D., Foster, G., Pristerà, G., Gallo, F., Tonini, D. Techno-economic and environmental assessment of construction and demolition waste management in the European Union, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2024, doi:10.2760/721895, JRC135470.

Danish Technological Institute 2024. SmartField: An Innovation Platform for N_2O Mitigation in Danish Agriculture. Available at: https://www.dti.dk/projects/smartfield/an-innovation-platform-for-n2o-mitigation-in-danish-agriculture/45988.

Darusman, T., Murdiyarso, D., & Impron. (2023). Effect of rewetting degraded peatlands on carbon fluxes: a meta-analysis. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, *28*, 10. https://doi.org/10.1007/s11027-023-10046-9

De Notaris, C., Abalos, D., Mikkelsen, M.H., Olesen, J.E., 2022. Potential for the adoption of measures to reduce N2O emissions from crop residues in Denmark. Sci. Total Environ. 835, 155510. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155510

Demeyer, A., Voundi Nkana, J.C. & Verloo, M. G. (2001) Characteristics of wood ash and influence on soil properties and nutrient uptake: an overview, Bioresource Technology, Volume 77, Issue 3, 2001, pages 287-295, ISSN 0960-8524, https://doi.org/10.1016/S0960-8524(00)00043-2.

DNS-Firmenich (2026). Making methane reduction more affordable: new Bovaer® pricing from 1 January 2027. Email 6.10.2026.

EFSA Panel on Additives and Products or Substances used in Animal Feed (FEEDAP). (2021). Safety and efficacy of a feed additive consisting of 3-nitrooxypropanol (Bovaer® 10) for ruminants for milk production and reproduction. EFSA Journal, 19(11), 6905. https://doi.org/10.2903/j.efsa.2021.6905

Energiavirasto 2026. Jakeluvelvoiteohje 2477/702/2021. Versio 7. 23.3.2026. https://energiavirasto.fi/documents/11120570/103079467/Jakeluvelvoiteohje.pdf/7316f5d4-d6bc-643d-d07c-8729a30f57f7?t=1774272032838 Viitattu 25.8.2026

Engels, C., Kirkby, E., White, P., 2012. Chapter 5 - Mineral Nutrition, Yield and Source–Sink Relationships, in: Marschner, P. (Ed.), Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants (Third Edition). Academic Press, San Diego, pp. 85–133.

EPRC. 2025. Monitoring Report 2024. European Declaration on Paper Recycling 2021-2030. European Paper Recycling Council (EPRC). https://www.cepi.org/wp-content/uploads/2025/07/EPRC-Monitoring-Report-2024.pdf

Ernfors, M., Sikström,U., Nilsson, M., & Klemedtsson, L. (2010) Effects of wood ash fertilization on forest floor greenhouse gas emissions and tree growth in nutrient poor drained peatland forests, Science of The Total Environment, Volume 408, Issue 20, 2010, Pages 4580-4590, ISSN 0048-9697, https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.06.024 .

Etana, A. & Håkansson, I., 1994. Swedish experiments on the persistence of subsoil compaction caused by vehicles with high axle load. Soil Tillage Res., Subsoil Compaction by High Axle Load Traffic 29, 167–172. https://doi.org/10.1016/0167-1987(94)90053-1

Eurofins (2026). Viljavuuspalvelu, Tilastotiedot, 2016–2020. Verkkosivu, vierailtu 10/2026 https://tuloslaari.fi/index.php?id=41

Euroopan komissio (2023). State Aid SA.106581 (2023/N) – Finland Temporary Forestry Incentive Scheme. C(2023) 5465 final. https://ec.europa.eu/competition/state_aid/cases1/202448/SA_106581_104.pdf

Euroopan komissio (2023). Pricing agricultural emissions and rewarding climate action in the agri-food value chain. ISBN 978-92-68-09110-4 doi: 10.2834/200. Saatavilla (viitattu 13.10. 2026): https://climate.ec.europa.eu/document/download/996c24d8-9004-4c4e-b637-60b384ae4814_en?filename=Pricing

Euroopan komissio. (2025). Carbon Removals and Carbon Farming (CRCF). https://climate.ec.europa.eu/eu-action/carbon-removals-and-carbon-farming_en

Euroopan komissio (2026/893). Komission täytäntöönpanoasetus jäsenvaltioiden kasvihuonekaasujen nettopoistumia koskevien vuotuisten raja-arvojen vahvistamisesta kaudelle 2026-2029 Euroopan parlamentin ja neuvoston asetuksen (EU) 2018/841 mukaisesti. Euroopan unionin virallinen lehti. 27.4.2026. http://data.europa.eu/eli/reg_impl/2026/893/oj

Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EU) 2021/1119 puitteiden vahvistamisesta ilmastoneutraaliuden saavuttamiseksi sekä asetusten (EY) N:o 401/2009 ja (EU) 2018/1999 muuttamisesta (eurooppalainen ilmastolaki). Euroopan unionin virallinen lehti L 243/1. 30.06.2021. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=CELEX%3A32021R1119&qid=1774262767835

Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EU) 2023/1115, annettu 31 päivänä toukokuuta 2023, tiettyjen metsäkatoon ja metsien tilan heikkenemiseen liittyvien hyödykkeiden ja tuotteiden asettamisesta saataville unionin markkinoilla ja viennistä unionista sekä asetuksen (EU) N:o 995/2010 kumoamisesta (ETA:n kannalta merkityksellinen teksti. ELI: http://data.europa.eu/eli/reg/2023/1115/2026-09-18

Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EU) 2024/1991 luonnon ennallistamisesta ja asetuksen (EU) 2022/869 muuttamisesta. Euroopan unionin virallinen lehti 29.7.2024.

Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EU) 2024/3012, annettu 27 päivänä marraskuuta 2024, pysyvää hiilenpoistoa, hiiliviljelyä ja hiilen varastointia tuotteisiin koskevasta unionin sertifiointikehyksen perustamisesta. PE/92/2024/REV/1. ELI: http://data.europa.eu/eli/reg/2024/3012/oj

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi (EU) 2018/2001, annettu 11 päivänä joulukuuta 2018, uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian käytön edistämisestä (uudelleenlaadittu) (ETA:n kannalta merkityksellinen teksti.) PE/48/2018/REV/1. ELI: http://data.europa.eu/eli/dir/2018/2001/oj

Euroopan parlamentti ja neuvosto. (2018). Asetus (EU) 2018/841 maankäytöstä, maankäytön muutoksesta ja metsätaloudesta aiheutuvien kasvihuonekaasupäästöjen ja poistumien sisällyttämisestä vuoteen 2030 ulottuviin ilmasto- ja energiapoliittisiin puitteisiin (LULUCF-asetus). Euroopan unionin virallinen lehti.

Eurostat (2026). Gross nutrient balance. Eurostat Data Browser, dataset aei_pr_gnb. Data coverage 1985–2023. Saatavilla: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/aei_pr_gnb/default/table?lang=en

Evans, C. D., Peacock, M., Baird, A. J., Artz, R. R. E., Burden, A., Callaghan, N., Chapman, P. J., Cooper, H. M., Coyle, M., Craig, E., Cumming, A., Dixon, S., Gauci, V., Grayson, R. P., Helfter, C., Heppell, C. M., Holden, J., Jones, D. L., Kaduk, J., Levy, P., Matthews, R., McNamara, N. P., Misselbrook, T., Oakley, S., Page, S. E., Rayment, M., Ridley, L. M., Stanley, K. M., Williamson, J. L., Worrall, F., & Morrison, R. (2021). Overriding water table control on managed peatland greenhouse gas emissions. *Nature*, *593*, 548–552. https://doi.org/10.1038/s41586-021-03523-1

FEFAC (2023) Use of rapeseed fat (methane emissions). Feed Economic Technical Measures Database. https://fefac.eu/pages/sustainable-animal-feeding-strategies/ruminants/use-of-rapeseed-fat-methane-emissions/

Ferrari, M., Bertin, V., Bolla, P.K., Valente, F., Panozzo, A., Giannelli, G., Visioli, G., Vamerali, T., 2025. Application of the full nitrogen dose at decreasing rates by foliar spraying versus conventional soil fertilization in common wheat. J. Agric. Food Res. 19, 101602. https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101602

FSC 2023. Suomen metsänhoidon FSC-standardi. FSC-STD-FIN-02-2023-FI. FSC Finland. https://fi.fsc.org/fi-fi/metsanhoidon-fsc-standardi

Garnsworthy, P., Difford, G., Bell, M., Bayat, A., Huhtanen, P., Kuhla, B., Lassen, J., Peiren, N., Pszczola, M., Sorg, D., Visker, M., & Yan, T. (2019). Comparison of methods to measure methane for use in genetic evaluation of dairy cattle. Animals, 9(10), 837. https://doi.org/10.3390/ani9100837

Grossel, A., Nicoullaud, B., Bourennane, H., Lacoste, M., Guimbaud, C., Robert, C., Hénault, C., 2016. The effect of tile-drainage on nitrous oxide emissions from soils and drainage streams in a cropped landscape in Central France. Agric. Ecosyst. Environ. 230, 251–260. https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.06.015

Guerrero, A., Mouazen, A.M., 2021. Evaluation of variable rate nitrogen fertilization scenarios in cereal crops from economic, environmental and technical perspective. Soil Tillage Res. 213, 105110. https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105110

Guinguina, A. 2026. Developing optimal methane mitigation strategy for milk production by animal breeding, unpublished. TIA.

Haapanen, M. (2020). Performace of genetically improved Norway spruce in one-third rotation-aged progeny trials in southern Finland. Scandinavian journal of forest research. 35:2020. https://doi.org/10.1080/02827581.2020.1776763

Haapanen, M., Hynynen, J., Ruotsalainen, S., Siipilehto, J. & Kilpeläinen, M-L. (2016). Realised and projected gains in growth, quality and simulated yield of genetically improved Scots pine in southern Finland. European Journal of Forest Research 135: 997–1009. https://doi.org/10.1007/s10342-016-0989-0.

Hallituksen esitys 178/2026. Hallituksen esitys eduskunnalle laiksi metsityksen määräaikaisesta tukemisesta annetun lain muuttamisesta. Saatavilla: https://www.eduskunta.fi/asiat-ja-aanestykset/valtiopaivaasiat/HE%20178%2F2026%20vp

Hallituksen esitys 214/2026. Hallituksen esitys eduskunnalle laiksi metsälain muuttamisesta. 14.10.2026 https://www.eduskunta.fi/asiat-ja-aanestykset/valtiopaivaasiat/HE%20214%2F2026%20vp

Halonen, L. Pappila, M. Similä, J. (2020). Metsätalouden vesistövaikutukset ja niiden sääntely soilla ja turvemailla. Ympäristöpolitiikan ja -oikeuden vuosikirja 2020 (XIII), 55–125. https://www.edilex.fi/ymparistopolitiikka_ja_oikeus/218040002

Haltia, E. 2020. Metsänomistaja metsänsä hoitajana. Luonnonvarakeskus 1.8.2020. https://www.helsinki.fi/assets/drupal/s3fs-public/migrated-research-group-pages/pt5/files/179568-ehaltia-metsanhoito-15-9-2020.pdf.

Hamberg, L., Henttonen, H. M. and Tuomainen, T. 2016. Puusta valmistettujen tuotteiden hiilivaraston muutoksen laskenta kasvihuonekaasuinventaariossa: Menetelmäkehitys Suomen kasvihuonekaasuinventaarioon. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 73/2016. Luonnonvarakeskus (Luke). Available: http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-340-6

Han, Z., Walter, M.T., Drinkwater, L.E., 2017. N2O emissions from grain cropping systems: a meta-analysis of the impacts of fertilizer-based and ecologically-based nutrient management strategies. Nutr. Cycl. Agroecosystems 107, 335–355. https://doi.org/10.1007/s10705-017-9836-z

Haney, R.L., Haney, E.B., Smith, D.R., Harmel, R.D., White, M.J., 2018. The soil health tool—Theory and initial broad-scale application. Appl. Soil Ecol. 125, 162–168. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.07.035

Hedwall, P. O., Gong, P., Ingerslev, M., & Bergh, J. (2014). Fertilization in northern forests – biological, economic and environmental constraints and possibilities. *Scandinavian Journal of Forest Research*, *29*(4), 301–311. https://doi.org/10.1080/02827581.2014.926096

Heikkinen, J., Keskinen, R., Kostensalo, J., Nuutinen, V., 2022. Climate change induces carbon loss of arable mineral soils in boreal conditions. Glob. Chang. Biol. 28, 3960–3973. https://doi.org/10.1111/gcb.16164

Heikkinen, J., Keskinen, R., Regina, K., Honkanen, H., Nuutinen, V., 2021. Estimation of carbon stocks in boreal cropland soils-methodological considerations. Eur. J. Soil Sci. 72, 934–945. https://doi.org/10.1111/ejss.13033

Heikkinen, J., Ketoja, E., Nuutinen, V., Regina, K., 2013. Declining trend of carbon in Finnish cropland soils in 1974–2009. Glob. Change Biol. 19, 1456–1469.

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

Heiskanen, M., Bergström, I., Kosenius A.-K., Laakso, T., Lindholm, T., Mattsson, T., Mäkipää, R., Nieminen, M., Ojanen, P., Rankinen, K., Tolvanen, A., Viitala, E.-J. & Peltoniemi, M. 2020. Suometsien hoidon tuet ja niiden ilmasto-, vesistö- ja biodiversiteettivaikutukset : Kestävän metsätalouden määräaikaisen rahoituslain (Kemeralain) mukaisten tukien tarkastelu. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 27/2020. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 81 s. https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-953-8

Helgadóttir, Á., Suter, M., Gylfadóttir, T.Ó., Kristjánsdóttir, T.A., Lüscher, A., 2018. Grass–legume mixtures sustain strong yield advantage over monocultures under cool maritime growing conditions over a period of 5 years. Ann. Bot. 122, 337–348. https://doi.org/10.1093/aob/mcy074

Helin, J., Hyyrynen, M., Sillasto, E., Lehtonen, H., Lång, K., & Heikkinen, J. (2025). Arvio CAP:n vaikutuksista maatalouden ilmastonmuutoksen hillintään (ILMA). Väliraportti 2025. Arviointeja ja selvityksiä 2025:8. Maa- ja metsätalousministeriö. https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-366-599-6

Helmisaari, H.-S., Holt Hanssen, K., Jacobson, S., Kukkola, M., Luiro, J., Saarsalmi, A., Tamminen, P. & Tveite, B. 2011. Logging residue removal after thinning in Nordic boreal forests: Long-term impact on tree growth. Forest Ecology and Management 261: 1919–1927. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.02.015

Hietala, S., Heusala, H., Katajajuuri, J. M., Järvenranta, K., Virkajärvi, P., Huuskonen, A., & Nousiainen, J. (2021). Environmental life cycle assessment of Finnish beef–cradle-to-farm gate analysis of dairy and beef breed beef production. Agricultural Systems, 194, 103250. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103250

Hietala, S., Usva, K., Vieraankivi, ML. et al. (2024). Environmental sustainability of Finnish pork production: life cycle assessment of climate change and water scarcity impacts. *Int J Life Cycle Assess* 29, 483–500. 2024. https://doi.org/10.1007/s11367-023-02258-7

Hietala, S., Vikki, K., Reinikainen, A. et al. Environmental and social life cycle assessment of milk—the effect of leguminous feed crops in dairy cow diets on sustainability. Int J Life Cycle Assess 31, 33 (2026). https://doi.org/10.1007/s11367-026-02568-6

Higgins, S., Keesstra, S. D., Kadziuliene, Ž., Jordan-Meille, L., Wall, D., Trinchera, A., Spiegel, H., Sandén, T., Baumgarten, A., Jensen, J. L., Hirte, J., Liebisch, F., Klages, S., Löw, P., Kuka, K., De Boever, M., D'Haene, K., Madenoglu, S., Özcan, H., … Chenu, C. (2023). Stocktake study of current fertilisation recommendations across Europe and discussion towards a more harmonised approach. *European Journal of Soil Science*, 74(5), e13422. https://doi.org/10.1111/ejss.13422

Hill, S.B. & MacRae, R.J., 1996. Conceptual Framework for the Transition from Conventional to Sustainable Agriculture. J. Sustain. Agric. 7, 81–87. https://doi.org/10.1300/J064v07n01_07

Hirvelä, H., Härkönen, K., Lempinen, R. & Salminen, O. 2017. MELA2016 Reference Manual. Natural Resources Institute Finland (Luke). 547 p. ISBN: 978-952-326-358-1 (Online). ISSN 2342-7639 (Online). URN: http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-358-1

Holzknecht, A., Land, M., Dessureault-Rompré, J., et al. (2025). Effects of converting cropland to grassland on greenhouse gas emissions from peat and organic-rich soils in temperate and boreal climates: A systematic review. Environmental Evidence, 14, 1. https://doi.org/10.1186/s13750-024-00354-1

Huan-Niemi, E., Huttunen, S., Paloviita, A., Puupponen, A., Lehtonen, H., & Niemi, J. 2023. Action-oriented knowledge for sustainable management of organic soils in Finnish agriculture. *Agricultural and Food Science, 32*(1), 36–49. https://doi.org/10.23986/afsci.120743

Huhtanen, P. & Huuskonen, A. (2020). *Modelling effects of carcass weight, dietary concentrate and protein levels on the CH_4 emission, N and P excretion of dairy bulls fed grass silage-based diets.* Agricultural and Food Science, 29, 180–192. https://doi.org/10.23986/afsci.9568

Huhtanen, P. 2024, Predicting responses to 3-NOP supplementation in dairy cows, Valion sisäinen raportti. Luonnonvarakeskus, Jokioinen.

Huhtanen, P., Astaptsev, A. & Nousiainen, J. (2022). *Methane production inventory between 1960–2020 in the Finnish dairy sector and the future mitigation scenarios.*Agricultural and Food Science, 31(1), 1–11. https://doi.org/10.23986/afsci.113752

Huhtanen, P., Cabezas-Garcia, E. H., Utsumi, S. & Zimmerman, S. (2015). Comparison of methods to determine methane emissions from dairy cows in farm conditions. Journal of Dairy Science 98: 3394–3409. https://doi.org/10.3168/jds.2014-9118

Hulkkonen & Kaila (2021) Maatalouskoneiden kunnossapitokäytännöt. https://urn.fi/URN:ISBN:978-951-788-472-3

Huuskonen S. & Hynynen J. (2006). Timing and intensity of precommercial thinning and their effects on the first commercial thinning in Scots pine stands. Silva Fennica 40(4), article id 320. https://doi.org/10.14214/sf.320

Huuskonen, A., Hietala, S., Hyvönen, J., Leinonen, I., & Manni, K. (2023). Environmental impacts and animal performance of finishing bulls fed different silage-based total mixed rations. Livestock Science, 268, 105166. https://doi.org/10.1016/j.livsci.2023.105166

Huuskonen, A., Hietala, S., Pesonen, M., & Manni, K. (2025). Effects of replacing timothy silage by red clover silage on environmental impacts, growth performance and carcass traits of finishing beef bulls. Livestock Science, Volume 299, 2025, 105755, ISSN 1871-1413, https://doi.org/10.1016/j.livsci.2025.105755

Huuskonen, S., Haikarainen, S., Sauvula-Seppälä, T., Salminen, H., Lehtonen, M., Siipilehto, J., Ahtikoski, A., Korhonen, KT. & Hynynen, J. (2020). Benefits of juvenile stand management in Finland—impacts on wood production based on scenario analysis, Forestry: An International Journal of Forest Research, Volume 93, Issue 3, April 2020, Pages 458–470, https://doi.org/10.1093/forestry/cpz075

Hynynen, J., Haikarainen, S., Huuskonen, S. Lehtonen, M., Repola, J., Salminen, H., Siipilehto, J. (2024A). Pidennetyn kiertoajan vaikutukset metsien hiilensidontaan ja puuntuotantoon. Tapio. https://tapio.fi/wp-content/uploads/2024/11/Hynynen_PIKMA_loppuwebinaari_FIN.pdf

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. ja Tikkasalo, O.-P. (2024B). Synteesiraportti: Metsien kasvun lisäämisen keinot ja vaikutukset. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 92/2024. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 52 s. http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-985-7.

Hytönen, J., Aro, L. & Jylhä, P. 2018. Biomass production and carbon sequestration of dense downy birch stands on cutaway peatlands. Scandinavian Journal of Forest Research 33(8): 764–771. https://doi.org/10.1080/02827581.2018.1500636

Hyvönen, T., Heliölä, J., Koikkalainen, K., Kuussaari, M., Lemola, R., Miettinen, A., Rankinen, K., Regina, K., & Turtola, E. (2020). *Maatalouden ympäristötoimenpiteiden ympäristö- ja kustannustehokkuus (MYTTEHO)*. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 12/2020. Luonnonvarakeskus. https://mmm.fi/documents/1410837/3476612/MYTTEHO_Loppuraportti_Luke-luobio_12-2020.pdf

Härkönen, L. H., Lepistö, A., Sarkkola, S., Kortelainen, P. & Räike, A. (2023) Reviewing peatland forestry: Implications and mitigation measures for freshwater ecosystem browning, Forest Ecology and Management, Volume 531, 2023, 120776, ISSN 0378-1127, https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.120776.

Hökkä, H., Ahtikoski, A., Sarkkola, S. & Väänänen, P. (2024). Ash fertilization increases long-term timber production in drained nitrogen-poor Scots pine peatlands. *Canadian Journal of Forest Research*. 54(10): 1142-1154. https://doi.org/10.1139/cjfr-2024-0003

Hökkä, H., Palviainen, M., Stenberg, L., Heikkinen, J. ja Laurén, A. (2025). Changing Role of Water Table and Weather Conditions in Diameter Growth of Scots Pine in Drained Peatlands. Canadian Journal of Forest Research 55: 1–12. https://doi.org/10.1139/cjfr-2024-0011.

Hökkä, H., Repola, J. &Moilanen, M (2012) Modelling volume growth response of young Scots pine (Pinus sylvetris) stands to N, P, and K fertilization in drained peatland sites in Finland. Canadian Journal of Forest Research, 42, https://doi.org/10.1139/x2012-086

Hökkä, H., Repola, J., & Laine, J. (2008). Quantifying the interrelationship between tree stand growth rate and water table level in drained peatland sites within Central Finland. *Canadian Journal of Forest Research*, *38*(7), 1775-1783. https://doi.org/10.1139/X08-028

IEA (2021) Ammonia Technology Roadmap: Towards more sustainable nitrogen fertiliser production. Paris: International Energy Agency. Julkaistu 11.10.2021. Saatavilla: https://www.iea.org/reports/ammonia-technology-roadmap (29.10. 2026)

Ikkala, L., Allonen, O. & Maanavilja, L. 2025. Aurinkoenergiaa vetetyille turvemaille - Haastattelutuloksia REPower-CEST-hankkeesta. Geologian tutkimuskeskus, Tutkimustyöraportti 1/2025. 16 sivua, 2 kuvaa ja 2 taulukkoa. https://urn.fi/URN%3ANBN%3Afi%3Agtk-1.2.246.563.1.127036

Ikkala, L., Allonen, O., Maanavilja, L., Sutinen, H., Auri, J., Mattbäck, S. & Turunen, J. 2026. Aurinkoenergiaa vetetyille turvemaille – Paikallisia ja alueellisia tarkasteluja REPower-CEST-hankkeessa. Geologian tutkimuskeskus, Tutkimustyöraportti 26/2026, 31 sivua, 14 kuvaa, 2 taulukkoa ja 5 liitettä. https://tupa.gtk.fi/raportti/arkisto/26_2026.pdf

Ilmastolaki. (423/2022). http://data.finlex.fi/eli/sd/2022/423/ajantasa/2024-12-19/fin

Ingerslev, M., Hansen, M., Pedersen, L. B. & Skov, S. (2014). Effects of wood chip ash fertilization on soil chemistry in a Norway spruce plantation on a nutrient-poor soil, Forest Ecology and Management, Volume 334, 2014, Pages 10-17, ISSN 0378-1127, https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.08.034.

Inselsbacher, E., Hinko-Najera Umana, N., Stange, F.C., Gorfer, M., Schüller, E., Ripka, K., Zechmeister-Boltenstern, S., Hood-Novotny, R., Strauss, J., Wanek, W., 2010. Short-term competition between crop plants and soil microbes for inorganic N fertilizer. Soil Biol. Biochem. 42, 360–372. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2009.11.019

IPCC. (2006). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Hayama: IPCC and IGES. https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/

IPCC. (2014). 2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands. Hiraishi, T., Krug, T., Tanabe, K., Srivastava, N., Baasansuren, J., Fukuda, M., & Troxler, T. G. (Eds.). IPCC https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/wetlands/ .

IPCC (2019a). Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. IPCC, Switzerland. Saatavilla: https://www.ipcc.ch/report/2019-refinement-to-the-2006-ipcc-guidelines-for-national-greenhouse-gas-inventories/

IPCC (2019b) 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use. Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change. Saatavilla (viitattu 13.10. 2026): IPCC 2019 Refinement, https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/index.html

IPCC. (2019c). 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Calvo Buendia, E., Tanabe, K., Kranjc, A., Baasansuren, J., Fukuda, M., Ngarize, S., Osako, A., Pyrozhenko, Y., Shermanau, P. and Federici, S. (toim.). IPCC, Switzerland. https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/index.html

ISO (2006). ISO 14040:2006 Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework. International Organisation for Standardisation.

Jacobson, S., Kukkola, M., Mälkönen, E. & Tveite, B. 2000. Impact of whole-tree harvesting and compensatory fertilization on growth of coniferous thinning stands. Forest Ecology and Management 129: 41–51. https://doi.org/10.1016/S0378-1127(99)00159-0

Joensuu, K., Hietala, S. & Usva, K. (2023) Nautakarjatuotteiden viennin ja tuonnin muutosten osalta skenaarioiden vaikutukset globaalisti ilmastovaikutukseen, vesijalanjälkeen, luonnon monimuotoisuuteen, happamoitumiseen ja rehevöitymiseen. Julkaisussa: Huuskonen, A. (toim.). Suomen kotieläintuotannon tulevaisuuskuvat ja yhteiskunnalliset vaikutukset. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 11/2023. Luonnonvarakeskus. Helsinki. s. 10–23. http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-614-6

Johannesson, C-F.; Ilvesniemi, H., Kjønaas,O. J., Larsen, K. S., Lehtonen, A., Nordén, J., Paré, D., Silvennoinen, H., Stendahl, J., Stupak, I., Vesterdal, L. & Dalsgaard, L. (2025). Decadal decline in forest floor soil organic carbon after clear-cutting in Nordic and Canadian forests, Forest Ecology and Management, Volume 586, 2025, 122668, ISSN 0378-1127, https://doi.org/10.1016/j.foreco.2025.122668.

Johansen, J. L., Nielsen, M. L., Vestergård, M., Mortensen, L. H., Cruz-Paredes, C., Rønn, R., Kjøller, R., Hovmand, M., Christensen, S., & Ekelund, F. (2021). The complexity of wood ash fertilization disentangled: Effects on soil pH, nutrient status, plant growth and cadmium accumulation. *Environmental and Experimental Botany*, *185*, Article 104424. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2021.104424

Jordan-Meille, L., Denoroy, P., Dittert, K., Cugnon, T., Quemada, M., Wall, D., Bechini, L., Marx, S., Oenema, O., Reijneveld, A., Liebisch, F., Diedhiou, K., Degan, F. and Higgins, S. (2023) 'Comparison of nitrogen fertilisation recommendations of West European countries', European Journal of Soil Science, 74(6), e13436. https://doi.org/10.1111/ejss.13436

Juutinen, A., Shanin, V., Ahtikoski, A., Rämö, J., Mäkipää, R., Laiho, R., Sarkkola, S., Laurén, A., Penttilä, T., Hökkä, H., & Saarinen, M. (2021). Profitability of continuous-cover forestry in Norway spruce dominated peatland forest and the role of water table. *Canadian Journal of Forest Research*. **51**(6): 859-870. https://doi.org/10.1139/cjfr-2020-0305

Jylhä, P., Aro, L., Knuuttila, M., Lötjönen, T., Ukonmaanaho, L. & Wejberg, H. (2026). Turvetuotantoalueiden jatkokäyttö: Kannattavuus, aluetalous- ja ympäristövaikutukset. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 11/2026. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 78 s. https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-419-157-9

Jylhä, P., Huuskonen, S., Ahtikoski, A., Hytönen, J. & Aro, L. (2024). Mänty, kuusi, raudus- ja hieskoivu kivennäismaa- ja turvepeltojen metsityksessä – puuntuotos, hiilensidonta ja yksityistaloudellinen kannattavuus. Metsätieteen aikakauskirja 2024-24001. Tutkimusartikkeli. 26 s. https://doi.org/10.14214/ma.24001

Jylhä, P., Hytönen, J. & Ahtikoski, A. (2015). Profitability of short-rotation biomass production on downy birch stands on cut-away peatlands in northern Finland. Biomass and Bioenergy 75: 272–281. https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2015.02.027

Järveläinen, M., Pihlainen, S., Karhu, K., Österberg, N. & Mäkipää, R. (2024) Forest conservation as a CO2 offset measure: a case of an urban development project in Finland. Front. Environ. Sci. 12:1379630. doi: 10.3389/fenvs.2024.1379630

Kaakinen, E., Kokko, A., Aapala, K., Autio, O., Eurola, S., Hotanen, J.P., Kondelin, H., Lindholm, T., Nousiainen, H., Rehell, S., Ruuhijärvi, R., Sallantaus, T., Salminen, P., Tahvanainen, T., Tuominen, S., Turunen, J., Vasander, H. & Virtanen, K. (2018). Suot. Teoksessa: Kontula, T. & Raunio, A. (toim.). Suomen luontotyyppien uhanalaisuus 2018.

Luontotyyppien punainen kirja. Osa 1 tulok set ja arvioinnin perusteet. Suomen ympäristö 5/2018: 117–170. Saatavissa: http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-11-4816-3

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. https://www.ilmastopaneeli.fi/aineistot-ja-raportit/#2019.

Karhinen, S., Pihlainen, S., Meriläinen, T., Pohjola, J., Auvinen, K., & Berger, M. (2026). Näkökulmia päästövähennystoimien kustannusvaikuttavuuteen ja ohjauskeinoihin Suomessa. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 13/2026. Suomen ympäristökeskus. https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-11-5841-4

Kaustell, K., Aro, K., Jaakkonen, A.-K., Kapuinen, P., Latukka, A., & Lötjönen, T. (2024). Synteesiraportti: Suomen maataloustuotannon energiankulutus (Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 66/2024). Luonnonvarakeskus. https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-946-8

Kekkonen, H. and Maanavilja, L. (2022). Turvepeltojen päästöt ja päästövähennyskeinot', in Virkkunen, E. (ed.) Turvepeltojen kosteikkoviljely ja pohjaveden korkeuden säätely: Kannattavuus ja päästövähennysmahdollisuudet. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 12/2022, pp. 9–14. https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-370-1

Kekkonen, H., Knuuttila, M., Lehtonen, H., Niskanen, O., Niemi, J., Ojanen, H., Salmivaara, A., Stenberg, L. & Wejberg, H. (2026). Turvemaiden vettämistoimien vaikutuksia maataloudelle. Kansallisen ennallistamissuunnitelman laadintaa tukeva raportti. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 9/2026. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 74 s. https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-419-156-2

Kekkonen, H., Ojanen, H., Haakana, M., Latukka, A. & Regina, K. (2019). Mapping of cultivated organic soils for targeting greenhouse gas mitigation. *Carbon Management*, *10*(2), 115–126. https://doi.org/10.1080/17583004.2018.1557990

Kekkonen, H., Ojanen, H., Sarkkola, S., Tuominen, S., Salmivaara, A. & Lehtonen, H. (2024). *Turvepeltojen ennallistamistoimien kompensaatiomahdollisuudet turvetuotantoalueilla ja ojitetuissa suometsissä* (Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 100/2024). Luonnonvarakeskus. https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-993-2

Keller, T., Sandin, M., Colombi, T., Horn, R., Or, D., (2019). Historical increase in agricultural machinery weights enhanced soil stress levels and adversely affected soil functioning. Soil Tillage Res. 194, 104293. https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104293

Kellomäki, S., Strandman, H., & Peltola, H. (2019). Effects of even-aged and uneven-aged management on carbon dynamics and timber yield in boreal Norway spruce stands: a forest ecosystem model approach. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, *92*(5), 635-647. https://doi.org/10.1093/forestry/cpz040

Kjær, S.T., Lang, R., Kätterer, T., Dörsch, P., 2026. Species specific effects of cover crops on nitrous oxide emissions in hemiboreal cereal production: The importance of freeze-thaw driven emissions. Agric. Ecosyst. Environ. 397, 110061. https://doi.org/10.1016/j.agee.2025.110061

Kniivilä, M. Hirvelä, H., Lintunen, J., Mutanen, A., Vatanen, E., Viitanen, J. & Kurttila, M. (2022). Metsien tiukanlisäsuojelun hakkuumahdollisuus-, arvonlisäys- ja työllisyysvaikutusten arviointi. Skenaariotarkastelu EU:n biodiversiteettistrategiasta Suomessa. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 64/2022. http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-480-7

Kniivilä, M., Kilpeläinen, H., Mutanen, A., Hirvelä, H., Lintunen, J., Pitkänen, J., Salminen H. & Viitanen, J. (2026). Metsien ennallistamisen vaikutukset hakkuumahdollisuuksiin, metsien rakenteeseen sekä arvonlisäykseen ja työllisyyteen. Kansallisen ennallistamissuunnitelman laadintaa tukeva raportti. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 27/2026. http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-419-177-7

Koivula M., Silvennoinen H., Koivula H., Tikkanen J., Tyrväinen L. (2020). Continuous-cover management and attractiveness of managed Scots pine forests. Canadian Journal of Forest Research 50(11): 1167–1180. http://dx.doi.org/10.1139/cjfr-2019-0431

Koivula, M., Louhi, P., Miettinen, J., Nieminen, M., Piirainen, S., Punttila,P., and Siitonen, J. (2022). Talousmetsien luonnonhoidon ekologisten vaikutusten synteesi: Synteesiraportti. Luonnonvara- ja biotaloudentutkimus 60/2022. Saatavilla: https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-472-2

Koljonen, T., Silfver, T., Soimakallio, S., Koreneff, G., Lehtilä, A., Markkanen, J., Vainio, T., Aakkula, J., Haakana, M., Hirvelä, H., Lehtonen, H., Mutanen, A., Myllykangas, J.-P., Viitanen, J., Vikfors, S., Forsberg, T., & Koskivaara, O. (2024). *Perusskenaariot energia- ja ilmastotoimien kokonaisuudelle kohti päästöttömyyttä (PEIKKO)*. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2024:26. https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-219-0

Koljonen, T., Soimakallio, S., Asikainen, A., Lanki, T., Anttila, P., Hildén, M., Honkatukia, J., Karvosenoja, N., Lehtilä, A., Lehtonen, H., Lindroos, T.J., Regina, K., Salminen, O., Savolahti, M., Siljander, R. & Tiittanen, P. (2017). Energia- ja ilmastostrategian vaikutusarviot: Yhteenvetoraportti. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 21/2017. 107 s. https://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/131904/21_Energia-%20ja%20ilmastostrategian%20vaikutusarviot%20Yhteenvetoraportti.pdf?sequence=1

Korhonen K. T., Ahola A., Heikkinen J., Henttonen H. M., Hotanen J.-P., Ihalainen A., Melin M., Pitkänen J., Räty M., Sirviö M., Strandström M. (2021A). Forests of Finland 2014–2018 and their development 1921–2018. Silva Fennica vol. 55 no. 5 article id 10662. https://doi.org/10.14214/sf.10662

Korhonen K.T., Räty M., Haakana H., Heikkinen J., Hotanen J.-P., Kuronen M., Pitkänen J. (2024). Forests of Finland 2019–2023 and their development 1921–2023. Silva Fennica vol. 58 no. 5 article id 24045. 47 p. https://doi.org/10.14214/sf.24045

Korhonen, T., Hirvonen, P., Rämet, J. & Karjalainen, S. (2021B). Turvetyöryhmän loppuraportti. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja 2021:24. 123 s. http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-327-856-1

Korkiakoski, M., Tuovinen, J. P., Penttilä, T., Sarkkola, S., Ojanen, P., Minkkinen, K., ... & Lohila, A. (2019). Greenhouse gas and energy fluxes in a boreal peatland forest after clear-cutting. *Biogeosciences*, *16*(19), 3703-3723. https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2019100831887

Korrensalo, A., Mäkiranta, P., Laiho, R., Anttila, J., Launiainen, S., Minkkinen, K., Mehtätalo, L., Mäkipää, R., Penttilä, T., Saarinen, M., Sarkkola, S. & Ojanen, P. (2026). Effect of tree harvesting on heterotrophic soil respiration in boreal drained peatland forests, Forest Ecology and Management, Volume 612, 2026, 123730, ISSN 0378-1127, https://doi.org/10.1016/j.foreco.2026.123730.

Kristensen NB, Kjeldsen MH, Maigaard M. (2026). Identification of potential adverse effects of Bovaer feeding in practice. Advisory report from DCA – National Centre for Food and Agriculture, Aarhus University.

Känkänen, H. (2019). Kerääjäkasvitoimenpiteen laadullinen toteutuminen tiloilla. Teoksessa Yli-Viikari, A. (toim.), *Maaseutuohjelman (2014–2020) ympäristöarviointi*. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 63/2019 (s. 46–67). Luonnonvarakeskus. https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-822-7

Känkänen, H., Suokannas, A., Tiilikkala, K., Nykänen, A., (2012). Biologinen typensidonta fossiilisen energian säästäjänä. MTT Raportti. MTT Jokioinen. https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-487-423-6

Kärkkäinen, L. & Koljonen, S. (2023). Arvio EU:n biodiversiteettistrategian 2030 vaikutuksista Suomessa. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 33/2023. http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-662-7

Kärkkäinen, L., Lehtonen, H., Helin, J., Lintunen, J., Peltonen-Sainio, P., Regina, K., Uusivuori, J., & Packalen, T. (2020). Evaluation of policy instruments for supporting greenhouse gas mitigation efforts in agricultural and urban land use. *Land Use Policy*, *99*, 104991. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104991

Laasasenaho, K. & Lauhanen, R. (2022). Tuuli- ja aurinkovoima kasvattavat suosiotaan turvetuotannosta vapautuvien suonpohjien jälkikäyttömuotona: Aluetarkastelu Etelä-Pohjanmaalta. Suo 73(2): 27–34.

Laasasenaho, K., Lauhanen, R., Räsänen, A., Palomäki, A., Viholainen, I., Markkanen, T., Aalto, T., Ojanen, P., Minkkinen, K., Jokelainen, L., Lohila, A., Siira, O-P., Marttila, H., Päkkilä, L., Albrecht, E., Kuittinen, S., Pappinen A., Ekman, E., Kübert, A., Lampimäki, M., Lampilahti, J., Shahriyer, A.H., Tyystjärvi, V., Tuunainen, A-M., Leino, J., Ronkainen, T., Peltonen, L., Vasander, H., Petäjä, T., Kulmala, M. (2023). After-use of cutover peatland from the perspective of landowners: Future effects on the national greenhouse gas budget in Finland. Land Use Policy 134, 106926. 13 s. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2023.106926

Laine, A. M., Ojanen, P., Lindroos, T., Koponen, K., Maanavilja, L., Lampela, M., Turunen, J., Minkkinen, K., & Tolvanen, A. (2024). Climate change mitigation potential of restoration of boreal peatlands drained for forestry can be adjusted by site selection and restoration measures. *Restoration Ecology, 32*(7), e14213. https://doi.org/10.1111/rec.14213

Laine, A., Ahonen, H.-M., Pakkala, A., Laininen, J., Kulovesi, K., & Mäntylä, I. (2023). Opas vapaaehtoisten hiilimarkkinoiden hyviin käytäntöihin: Vapaaehtoisten ilmastotekojen edistäminen ilmastoyksiköillä (Valtioneuvoston julkaisuja 2023:3). Valtioneuvosto.

Laine-Petäjäkangas, A., Maanavilja, L., Allonen, O., Sutinen, H. & Vähäkuopus, T. (2023). Turvetuotannosta vapautuvien suonpohjien hiiliviisas jatkokäyttö. Geologian tutkimuskeskus, Tutkimustyöraportti 82/2023, 37 sivua, 29 kuvaa ja 6 taulukkoa. https://tupa.gtk.fi/raportti/arkisto/82_2023.pdf

Laki metsityksen määräaikaisesta tukemisesta (1114/2020). https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/saadoskokoelma/2020/1114

Lam, S.K., Suter, H., Mosier, A.R., Chen, D., 2017. Using nitrification inhibitors to mitigate agricultural N2O emission: a double-edged sword? Glob. Change Biol. 23, 485–489. https://doi.org/10.1111/gcb.13338

Laturi, J., Aalto, L., Forsman-Hugg, S., Horne, P., Laine, A., Kinnunen, P., ... & Valonen, M. (2023). Vapaaehtoiset hiilimarkkinat maankäyttösektorilla–kehitys, kysyntä ja toimenpiteet Suomessa. PTT raportteja, 285. Saatavilla: https://www.ptt.fi/wp-content/uploads/2023/05/PTTrap285.pdf

Laturi, J., Aalto, L., Horne, P., Kinnunen, P., Kujala, P., & Sen, T. (2022). *Maankäyttösektorin ilmastosuunnitelman kustannusvaikutusten arviointi*. PTT-raportteja 273. Pellervon taloustutkimus. https://www.ptt.fi/wp-content/uploads/media/julkaisut/ptt-raportteja-273-maankayttosektorin-ilmastosuunnitelman-kustannusvaikutusten-arviointi.pdf

Lauhanen, R., Laasasenaho, K., Aro, L., Ojanen, P., Minkkinen, K., Jokelainen, L., Liutu, O. & Lohila, A. (2025). Metsityksen taloudellinen kannattavuus paksuturpeisilla suonpohjilla. Summary: Profitability of afforestation on cutaway peatlands with thick peat-layer. Suo 76(1–2): 21–34. https://www.suo.fi/pdf/10845

Lauhanen, R., Moilanen, M., Silfverberg, K., Takamaa, H. & Issakainen, J. (1997). Puutuhkalannoituksen kannattavuus eräissä ojitusaluemänniköissä. Suo 48(3): 71–82. https://suo.fi/article/9767/author/18133

Launiainen, S., Ahtikoski, A., Rinne, J., Ojanen, P. & Hökka, H. (2025). Rewetting drained boreal peatland forests does not mitigate climate warming in the twenty-first century. *Ambio, 54*, 2107–2117. https://doi.org/10.1007/s13280-025-02225-6

Lehto, T. & Ilvesniemi, H. (toim.). 2023. Metsänlannoitus nyt ja tulevaisuudessa : Synteesiraportti. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 56/2023. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 146 s. https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-714-3

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. http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-275-9.

Lehtonen, A., Eyvindson, K., Härkönen, K., Leppä, K., Salmivaara, A., Peltoniemi, M., ... & Mäkipää, R. (2023). Potential of continuous cover forestry on drained peatlands to increase the carbon sink in Finland. *Scientific Reports*, *13*(1), 15510. https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe20231003138497

Lehtonen, H. (2022). *Ruoantuotannon hiili-euro-ohjelma (HERO)*. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja 2022. Maa- ja metsätalousministeriö. https://mmm.fi/documents/1410837/1516663/HERO_selvitys_A4_2022.pdf

Lehtonen, H., & Rämö, J. (2023). Development towards low carbon and sustainable agriculture in Finland is possible with moderate changes in land use and diets. Sustainability Science, 18, 1491–1506. https://doi.org/10.1007/s11625-022-01244-6

Lehtonen, H., Aro, K., Kaustell, K., Leinonen, I., Luostarinen, S., Niskanen, O., Rasi, S., & Suokannas, A. (2024). Maatalouden vähähiilisyystiekartta: Päivitetyt skenaariot ja arviot päästövähennyksistä vuoteen 2035 ja 2050. Luonnonvarakeskus. ISBN 978-952-9733-70-5. https://www.mtk.fi/documents/d/mtk/maatalouden_ilmastotiekartta_2024_netti

Lehtonen, H., Assmuth, A., Koikkalainen, K., Miettinen, A., Mutanen, A., Mäkipää, R., Nieminen, M., Rämö, J., Wall, A., Wejberg, H. & Viitala, E.-J. (2022). Tehokkaat ohjauskeinot maa- ja metsätalouden ilmastovaikutusten edistämiseksi. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 76/2022. Luonnonvarakeskus. Helsinki. https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-506-4

Lehtonen, H., Haario, P., Jansik, C., Kaartinen, N., Kettunen, M., Leino, M., Mattila, T., Maukonen, M., Männistö, S., Saarinen, M., Seppälä, J. & Wejberg, H. (2026). Suuntana ilmastotehokas maatalous Suomessa. Suomen Ilmastopaneelin raportti 4/2026. 131 s. https://ilmastopaneeli.fi/ilmastotehokas-maatalous-vahentaa-paastoja-vastaa-ruoan-kysynnan-muutoksiin-ja-lisaa-kriisinkestavyytta/

Lehtonen, H., Huan-Niemi, E., & Niemi, J. (2022). The transition of agriculture to low carbon pathways with regional distributive impacts. Environmental Innovation and Societal Transitions, 44, 132–145. https://doi.org/10.1016/j.eist.2022.05.002

Lehtonen, H. & Niskanen, O., 2016. Promoting clover-grass: Implications for agricultural land use in Finland. Land Use Policy 59, 310–319. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2016.09.005

Lehtonen, H., Ojanen, H., Kekkonen, H., Niskanen, O., Savikko, R., Wejberg, H., Knuuttila, M., Stenberg, L., Niemi, J., Salmivaara, A., & Laurila, M. (2024). Turvepeltojen käytön tiekartta vuoteen 2050. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 89/2024. Luonnonvarakeskus. https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-980-2

Lehtonen, H., Saarnio, S., Rantala, J., Luostarinen, S., Maanavilja, L., Heikkinen, J., Soini, K., Aakkula, J., Jallinoja, M., Rasi, S., Niemi, J. (2020). Maatalouden ilmastotiekartta – Tiekartta kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseen Suomen maataloudessa. 131 s. ISBN 978-952-9733-54-5. Maa- ja metsätaloustuottajain Keskusliitto MTK ry. Helsinki. https://www.mtk.fi/ilmastotiekartta; http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2020082161330

Leppä, K., Hökkä, H., Laiho, R., Launiainen, S., Lehtonen, A., Mäkipää, R., ... & Nieminen, M. (2020). Selection cuttings as a tool to control water table level in boreal drained peatland forests. *Frontiers in Earth Science*, *8*, 576510. https://doi.org/10.3389/feart.2020.576510

Leppälä, J., Nurmi, E. ja Tähtikarhu, M. (toim.) (2026) Synteesiraportti: Tavoitteena maan kasvukunnon parantaminen: Uudet tiedot ja menetelmät maatalouden ympäristövaikutusten hallintaan. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 4/2026. Helsinki: Luonnonvarakeskus. 66 s. ISBN 978-952-419-150-0. https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-419-150-0

Lintunen, J., & Uusivuori, J. (2016). On the economics of forests and climate change: Deriving optimal policies. Journal of Forest Economics, 24, 130-156. https://doi.org/10.1016/j.jfe.2016.05.001

Lintunen, J., Laturi, J., and Uusivuori, J. (2015). Finnish Forest and Energy Policy model (FinFEP): a model description. Natural Resources and Bioeconomy Studies 29/2015. Available from https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-119-8

Lintunen, J., Pihlainen, S. & Assmuth, A. (toim.) 2026. Katsaus toimiin ja ohjauskeinoihin metsien kestävyystavoitteiden saavuttamiseksi. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 3/2026. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 272 s. https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-419-149-4

Liu, J., Clough, T., Carrick, S., Luo, J., Podolyan, A., Wells, N., Chisholm, C., Shen, J., Li, P., Du, L., Pan, H., Zhang, L., Di, H.J., 2026. Subsoiling reduces N2O emissions by altering the relative gas diffusivity, O2 status and microbial communities in grazed pasture soil. Geoderma 467, 117716. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2026.117716

Liu, Y., Zhou, M., Diao, Q., Ma, T. & Tu, Y. (2025). *Seaweed as a feed additive to mitigate enteric methane emissions in ruminants: Opportunities and challenges.* Journal of Integrative Agriculture, 24(4). https://doi.org/10.1016/j.jia.2024.09.036

Lohila, A., Laurila, T., Aro, L., Aurela, M., Tuovinen, J.-P., Laine, J., and Minkkinen, K. (2007) Carbon dioxide exchange above a 30-year-old Scots pine plantation established on organic-soil cropland, Boreal Environ. Res., 12, 141–157, 2007. http://hdl.handle.net/10138/235383

Lounasheimo, J., Mosley, F., Pihlainen, S., Soimakallio, S., Saikku, L., & Ekholm, T. 2026. Ilmastolain tavoitteet ja täydentävät keinot niiden saavuttamiseksi. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 4/2026. http://hdl.handle.net/10138/628770

Lund, P., Maigaard, M., Kjeldsen, M., Johansen, M., Hellwing, A., Weisbjerg, M. & Nielsen, O. (2024). *Implementation of the use of the enteric methane mitigating feed additive Bovaer® in the national Danish emission inventories for dairy cows.* DCA Report No. 229. Aarhus University, DCA – Danish Centre for Food and Agriculture

Lundmark, T., Bergh, J., Nordin, A., Fahlvik, N., & Poudel, B. C. (2016). Comparison of carbon balances between continuous-cover and clear-cut forestry in Sweden. *Ambio*, *45*(Suppl 2), 203-213. https://doi.org/10.1007/s13280-015-0756-3

Luonnonsuojelulaki 9/2923. Ympäristöministeriö. http://data.finlex.fi/eli/sd/2023/9/ajantasa/2026-07-09/fin

Luonnonvarakeskus (2021) Sompa-hanke https://www.luke.fi/fi/projektit/sompa

Luonnonvarakeskus (2024). Kasvihuonekaasuinventaario 2024: maankäyttösektorin lopulliset tulokset. Luonnonvarakeskus, Helsinki. https://www.luke.fi/fi/uutiset/maataloussektorin-ja-maankayttosektorin-lopulliset-tulokset-vuoden-2024-kasvihuonekaasuinventaariossa

Luonnonvarakeskus (2025A). Tilastotietokanta, maaluokat metsätalousmaalla (1000 ha). Haettu 2.11.2026 osoitteesta https://statdb.luke.fi/PxWeb/pxweb/fi/LUKE/LUKE__met__zzz_lak__06%20Metsavarat/1.01_Metsatalousmaa.px/

Luonnonvarakeskus (2025B). Metsätilastot. Metsien suojelu. Tilastotietokanta. https://statdb.luke.fi/PxWeb/pxweb/fi/LUKE/LUKE__met__metsuo/

Luonnonvarakeskus (2026A). Kasvihuonekaasuinventaarion perusteet. Maataloussektori. Saatavilla (viitattu 13.10. 2026): https://www.luke.fi/fi/luonnonvaratieto/tiedetta-ja-tietoa/kasvihuonekaasuinventaario/kasvihuonekaasuinventaarion-perusteet/maataloussektori

Luonnonvarakeskus (2026B), tilastotietokanta. Metsänhoito- ja metsänparannustöiden työmäärät (ha 1950-). Vierailtu 10.2026. https://statdb.luke.fi/PxWeb/pxweb/fi/LUKE/LUKE__met__methoi/0300_methoi.px/

Luonnonvarakeskus (2026C) Metsätilastot, 2026. Saatavilla: https://www.luke.fi/fi/tilastot/metsanhoito-ja-metsanparannustyotLuonnonvarakeskus. (2026D). Hakkuukertymä ja puuston poistuma alueittain 2025. Hakkuukertymä ja puuston poistuma -tilasto. https://www.luke.fi/fi/tilastot/hakkuukertyma-ja-puuston-poistuma/hakkuukertyma-ja-puuston-poistuma-alueittain-2025

Luostarinen, S., Grönroos, J., Hellstedt, M., Nousiainen, J., Munther, J. (2017) SUOMEN NORMILANTA – laskentajärjestelmän kuvaus ja ensimmäiset tulokset. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 47/2017. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 54 s.

Luostarinen, S., Laakso, J., Tampio, E., Skyttä, A. & Lehtonen, E. (2023B). Ravinteiden kierrätyksen tilastointi ja seuranta : Ensimmäinen indikaattori ja kehittämisehdotukset. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 107/2023. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 49 s. https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-823-2

Luostarinen, S., Tampio, E., Lehtoranta, S., Valve, H., Laakso, J. & Rasi, S. (2023A). Kestävät käytännöt biokaasutuotannossa. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2023:32. Valtioneuvoston Kanslia, Helsinki. https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-479-8

Luostarinen, S., Valve, H., Niskanen, O., Nylén, E.-J., Salminen, J., Sillasto, E., ym. (2026). Ohjauskeinot ravinteiden kierrätyksen edistämiseen. Valtioneuvoston tutkimustoiminta 2026:7. Valtioneuvoston kanslia. https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-287-987-5

Lüscher, A., Mueller-Harvey, I., Soussana, J.F., Rees, R.M., Peyraud, J.L., 2014. Potential of legume-based grassland–livestock systems in Europe: a review. Grass Forage Sci. 69, 206–228. https://doi.org/10.1111/gfs.12124

Lång, K., Aro, L., Assmuth, A. ym. (2022). Turvemaiden käytön vaihtoehdot hiilineutraalissa Suomessa. Suomen ilmastopaneelin raportti 2/2022. https://doi.org/10.31885/9789527457115

Lång, K., Henri Honkanen, Jaakko Heikkinen, Sanna Saarnio, Tuula Larmola, and Hanna Kekkonen (2024) Impact of crop type on the greenhouse gas (GHG) emissions of a rewetted cultivated peatland. SOIL, 10, 827–841. https://doi.org/10.5194/soil-10-827-2024

Maa- ja metsätalousministeriö (1997). Maa- ja metsätalousministeriön päätös metsälain soveltamisesta annetun maa- ja metsätalousministeriön päätöksen muuttamisesta. https://finlex.fi/fi/laki/alkup/-1997/19971178

Maa- ja metsätalousministeriö (2019) Maaseutuohjelma 2014-2020 -neuvontatoimenpiteiden arviointi. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-366-001-4

Maa- ja metsätalousministeriö (2024). Maakäytön muutosmaksun käyttöönoton vaikutusten arviointi. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja 2024:1. https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-366-756-3

Maa- ja metsätalousministeriö (2026B). Luonnos kansalliseksi ennallistamissuunnitelmaksi lausuntokierroksella – tavoitteena parantaa luonnon tilaa. Tiedote 2.7. 2026. Saatavilla (viitattu 13.10. 2026): https://mmm.fi/-/1410903/luonnos-kansalliseksi-ennallistamissuunnitelmaksi-lausuntokierroksella-tavoitteena-parantaa-luonnon-tilaa

Maa- ja metsätalousministeriö. (2025). *Metsien kasvun ja hiilinielujen vahvistamisen toimenpidepaketti*. Maa- ja metsätalousministeriö. https://mmm.fi/documents/1410837/0/Metsien%20kasvupaketti_03032025_luovutettu.pdf

Maa- ja metsätalousministeriö. (2026c). Hallitus esittää joutoalueiden metsitystukijärjestelmän käynnistämistä uudelleen – lausuntokierros 3.8. saakka. Valtioneuvosto. https://valtioneuvosto.fi/-/1410837/hallitus-esittaa-joutoalueiden-metsitystukijarjestelman-kaynnistamista-uudelleen-lausuntokierros-3.8.-saakka

Maa- ja metsätalousministeriö. (2026A). Maankäyttösektorin ilmastosuunnitelman (MISU) arviointi. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja 2026:5. https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-366-120-2

Maanavilja, L., Allonen, O., Aro, L., Sutinen, H., Vähäkuopus, T. & Laine, A. M. (2026). Peat cutaway properties define after-use options and capacity for climate regulation. Environmental Management 76, article 163. 17 s. https://doi.org/10.1007/s00267-026-02446-9

Maanavilja, L., Tuomainen, T., Aakkula, J., Haakana, M., Heikkinen, J., Hirvelä, H., Kilpeläinen, H., Koikkalainen, K., Kärkkäinen, L., Lehtonen, H., Miettinen, A., Mutanen, A., Myllykangas, J.-P., Ollila, P., Viitanen, J., Vikfors, S., & Wall, A. (2021). *Hiilineutraali Suomi 2035: Maankäyttö- ja maataloussektorin skenaariot*. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2021:63. http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-263-3

Maljanen, M., Hytönen, J., and Martikainen, P. J. (2001) Fluxes of N2O, CH4 and CO2 on afforested boreal agricultural soils, Plant Soil, 231, 113–121, 2001. https://doi.org/10.1023/A:1010372914805

Maljanen, M., Liimatainen, M., & Hytönen, J. (2025). The effect of granulated wood ash fertilisation on soil CO2 efflux and biomass production in two boreal peatland forests . Baltic Forestry, 31(1), id778. https://jukuri.luke.fi/items/2e6a4ce1-2bbe-4786-bc33-95d058d3cd6c

Maljanen, M., Nykänen, H., Moilanen, M. & Martikainen, P. J. (2006) Greenhouse gas fluxes of coniferous forest floors as affected by wood ash addition, Forest Ecology and Management, Volume 237, Issues 1–3, 2006, Pages 143-149, ISSN 0378-1127, https://doi.org/10.1016/j.foreco.2006.09.039.

Maljanen, M., Sigurdsson, B. D., Guðmundsson, J., Óskarsson, H., Huttunen, J. T., and Martikainen, P. J. (2010) Greenhouse gas balances of managed peatlands in the Nordic countries – present knowledge and gaps, Biogeosciences, 7, 2711–2738, https://doi.org/10.5194/bg-7-2711-2010

Manni, K., Hietala, S., Pesonen, M., Huuskonen, A. (2025). Effects of grass silage-based feeding strategies and carcass weight on performance and environmental impacts of finishing beef on dairy crossbred heifers. Animal, Volume 19, Issue 11, 2025, 101676, ISSN 1751-7311, https://doi.org/10.1016/j.animal.2025.101676.

Manni, K., Högel, H., Saastamoinen, M., Frondelius, L. & Huuskonen, A. (2023). Report on bedding materials : Analysis of the current bedding material situation and assessment of the near-future development outlook in Finland. Natural Resources and Bioeconomy Studies 89/2023. Natural Resources Institute Finland. Helsinki. 94 p.

Marcotte, P., Roy, V., Plamondon, A. P., & Auger, I. (2008). Ten-year water table recovery after clearcutting and draining boreal forested wetlands of eastern Canada. *Hydrological Processes: An International Journal*, *22*(20), 4163-4172. https://doi.org/10.1002/hyp.7020

Martínez-García, E., Rautakoski, H., Rissanen, A.J., Adamczyk, B., Anttila, J., Lehtonen, A., Li, Q., Lohila, A., Peltoniemi, M., Sarkkola, S., Ťupek, B. & Mäkipää, R. (2025). Short-term effects of harvesting alternatives on soil nitrous oxide fluxes in a boreal drained peatland forest. Geoderma 465, 117648. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2025.117648

Matila, A. & Alatalo, I. (2023). Turvetuotannosta poistuvien alueiden maankäytön ohjauskeinot. Tapion raportteja nro 54. 66 s. https://tapio.fi/wp-content/uploads/2023/02/Turvetuotannosta-poistuvien-alueiden-maankayton-ohjauskeinot_nro-54.pdf

Mattila, T. J., Andrei Girz, A. & Vihanto, N. (2025). Identifying key parameters for cover crop C sequestration across process-based models, European Journal of Agronomy, Volume 170, 2025, 127771, ISSN 1161-0301, https://doi.org/10.1016/j.eja.2025.127771.

Mattila, T.J., Girz, A.I., Pihlatie, M., (2023). Do carbon farming practices build bioavailable nitrogen pools? Soil Use Manag. 39, 1532–1544. https://doi.org/10.1111/sum.12930

Mattila, T.J., Vihanto, N., (2024). Agricultural limitations to soil carbon sequestration: Plant growth, microbial activity, and carbon stabilization. Agric. Ecosyst. Environ. 367, 108986. https://doi.org/10.1016/j.agee.2024.108986

Medici, M.& Canavari, M., 2022. Economic impacts of variable rate nitrogen fertilization: Input saving and yield increase in cereals. CABI Rev. 2022. https://doi.org/10.1079/cabireviews202217054

Mehtätalo, L. 2023. Suojelualueiden vaikutus hiilinieluihin ja -varastoihin. Julkaisussa: Hyny nen, J., Korhonen, K.T., Kärkkäinen, L., Mehtätalo L., Mutanen, A., Rautio, P. & Viitala, E. J. 2023. Metsälain ilmastovaikutusten arviointi. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 49/2023. Luonnonvarakeskus. http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-696-2

Menichetti, L., A.Lehtonen, A.-J.Lindroos, ym. (2025). “Soil Carbon Dynamics During Stand Rotation in Boreal Forests.” European Journal of Soil Science76, no. 4: e70154. https://doi.org/10.1111/ejss.70154.

Metsäkeskus. (2026). Metsien terveyslannoitusta tehtiin ennätyksellisen paljon viime vuonna. Uutinen 25.3.2026. Saatavilla: https://www.metsakeskus.fi/fi/ajankohtaista/metsien-terveyslannoitusta-tehtiin-ennatyksellisen-paljon-viime-vuonna

Miettinen, A., Aakkula, J., Koikkalainen, K., Lehtonen, H., Luostarinen, S., Myllykangas, J-P., Sairanen, A. & Silfver, T. (2022). Hiilineutraali Suomi 2035. Maatalouden lisätoimenpiteiden ja ruokavaliomuutoksen päästövähennysvaikutukset. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 73/2022. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 69 s. http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-500-2

Miettinen, J., Ollikainen, M., Aroviita, J., Haikarainen, S., Nieminen, M., Turunen, J. & Valsta, L.. (2020). Boreal peatland forests: ditch network maintenance effort and water protection in a forest rotation framework. *Canadian Journal of Forest Research*. 50(10): 1025-1038. https://doi.org/10.1139/cjfr-2019-0339

Mjöfors, K., Strömgren, M., Nohrstedt, H.-Ö., Johansson, M.-B. & Gärdenes, A.I. 2017. Indications that site preparation increases forest ecosystem carbon stocks in the long-term. Scandinavian Journal of Forest Research 32: 717–725. https://doi.org/10.1080/02827581.2017.1293152.

Moilanen, M., Hytönen, J., Hökkä, H. & Ahtikoski, A. (2015). Fertilization increased growth of Scots pine and financial performance of forest management in a drained peatland in Finland. Silva Fennica 49(3): 1301. https://doi.org/10.14214/sf.1301

Moilanen, M., Silfverberg, K. & Hokkanen, T. J. (2002). Effects of wood-ash on the tree growth, vegetation and substrate quality of a drained mire: a case study, Forest Ecology and Management. https://doi.org/10.1016/S0378-1127(01)00789-7

Mortensen L.H, Cruz-Paredes C, Qin J, Rønn R, Vestergård M. (2020). Effect of ash application on the decomposer food web and N mineralization in a Norway spruce plantation. Sci Total Environ. 2020 May 1;715:136793. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136793

Mortensen, L.H., Tariq, A., Baggesen, N.S., Nielsen, C.S., Lykke, E.H., Bruun, S., Petersen, S.O., Eller, F., (2026). Effectiveness and key drivers of nitrification inhibitors in mitigating N2O Emissions in a cool temperate climate: A Meta-analysis (No. EGU26-12032). Presented at the EGU26, Copernicus Meetings. https://doi.org/10.5194/egusphere-egu26-12032

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*(1)

Motiva (2024) Mitä energiansäästötoimilla on saavutettu? Motivan julkasi 01/2024. https://www.motiva.fi/tietopankki/mita-energiansaastotoimilla-on-saavutettu/

Muhammad, I., Sainju, U.M., Zhao, F., Khan, A., Ghimire, R., Fu, X., Wang, J., 2019. Regulation of soil CO2 and N2O emissions by cover crops: A meta-analysis. Soil Tillage Res. 192, 103–112. https://doi.org/10.1016/j.still.2019.04.020

Myllys, M., Mäkelä, M., Häggblom, O., Tähtikarhu, M., Heikkinen, J., Wejberg, H., & Lehtonen, H. (2024). Säätösalaojitus turvemaalla: Vesihiisi-hankkeen tuloksia. Salaojayhdistys. https://www.salaojayhdistys.fi/wp-content/uploads/2024/12/Salaojayhdistys_2024_www.pdf

Mäkipää, R., Karjalainen, T., Pussinen, A., Kukkola, M., Kellomäki, S. & Mälkönen, E. (1998). Applicability of a forest simulation model for estimating effects of nitrogen deposition on a forest ecosystem: Test of the validity of a gap-type model, Forest Ecology and Management, Volume 108, Issue 3, 1998, Pages 239-250, ISSN 0378-1127,https://doi.org/10.1016/S0378-1127(98)00237-0.

Mäkipää, R., Linkosalo, T., Niinimaki, S., Komarov, A., Bykhovets, S., Tahvonen, O. & Makela, A. (2011). How Forest Management and Climate Change Affect the Carbon Sequestration of a Norway Spruce Stand? Journal of Forest Planning 16: 107–120. https://doi.org/10.20659/jfp.16.Special_Issue_107

Mäkiranta, P., Riutta, T., Penttilä, T., & Minkkinen, K. (2010). Dynamics of net ecosystem CO2 exchange and heterotrophic soil respiration following clearfelling in a drained peatland forest. *Agricultural and Forest Meteorology*, *150*(12), 1585-1596. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2010.08.010.

Nerg, K. 2009. Metsän kiertoajan vaikutus hiilensidontaan ja metsänkasvatuksen kannattavuuteen. Pro gradu työ, Helsingin yliopisto, maatalous-metsätieteellinen tiedekunta, metsäekonomian laitos. https://helda.helsinki.fi/server/api/core/bitstreams/6340f067-9fca-4bc4-bb01-7c2bbe0ce948/content

Niemi, J., Mattila, T., & Seppälä, J. (2024). Rewetting on agricultural peatlands can offer cost effective greenhouse gas reduction at the national level. Land Use Policy, 143, 107329. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2024.107329

Nieminen, M., Hökkä, H., Laiho, R., Juutinen, A., Ahtikoski, A., Pearson, M., ... & Ollikainen, M. (2018). Could continuous cover forestry be an economically and environmentally feasible management option on drained boreal peatlands?. *Forest ecology and management*, *424*, 78-84. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.04.046

Nieminen, M., Sallantaus, T., Ukonmaanaho, L., Nieminen, T. M., & 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/doi:10.1016/j.scitotenv.2017.07.210

Niinimäki, S., Tahvonen, O., Mäkelä, A., Linkosalo, T. 2013. On the economics of Norway spruce stands and carbon storage. Canadian Journal of Forest Research 43(7): 637–648. http://dx.doi.org/10.1139/cjfr-2012-0516

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, article 27. https://doi.org/10.19189/MaP.2019.OMB.StA.1751

Ojanen, P. & Minkkinen, K. (2020). Rewetting Offers Rapid Climate Benefits for Tropical and Agricultural Peatlands But Not for Forestry-Drained Peatlands. Global Biogeochemical Cycles 34. https://doi.org/10.1029/2019GB006503

Ojanen, P. Penttilä, T.,Tolvanen, A., Hotanen, J-P., Saarimaa, M., Nousiainen, H. & Minkkinen, K. (2019). Long-term effect of fertilization on the greenhouse gas exchange of low-productive peatland forests, Forest Ecology and Management, Volume 432, 2019, Pages 786-798, ISSN 0378-1127, https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.10.015.

Ojanen, P., Minkkinen, K., & Penttilä, T. (2013). The current greenhouse gas impact of forestry-drained boreal peatlands. *Forest ecology and management*, *289*, 201-208. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.10.008.

Ojanen, P., Minkkinen, K., Alm, J., & Penttilä, T. (2010). Soil–atmosphere CO2, CH4 and N2O fluxes in boreal forestry-drained peatlands. *Forest Ecology and Management*, *260*(3), 411-421. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.04.036.

Ollikainen, M., Järvelä, M., Peltonen-Sainio, P., Grönroos, J., Lötjönen, S., Kortetmäki, T., Regina, K., Hakala, K. & Palosuo, T. 2014. Ympäristöllisesti ja sosiaalisesti kestävä ilmastopolitiikka maataloudessa. Raportti 1/2014. Suomen ilmastopaneeli. 29 s. https://www.ilmastopaneeli.fi/wp-content/uploads/2018/10/Ilmastopaneeli_Ymparistollisesti-ja-sosiaalisesti-kestava-ilmastopolitiikka-maataloudessa.pdf

Ollonqvist, P. 2004. Julkinen valta toiminnan suuntaajana. Teoksessa: Aarnio, J. (toim.) Julkinen tuki yksityismetsätaloudessa. Metsäntutkimuslaitoksen Tiedonantoja 923. https://urn.fi/URN:ISBN:951-40-1923-7

Oosterbaan, R.J., 1994. Agricultural drainage criteria, in: Drainage Principles and Applications. Wageningen: ILRI, pp. 635–689.

Packalen, T., Sallnäs, O., Sirkiä, S., Korhonen, K., Salminen, O., Vidal, C., Robert, N., Colin, A., Belouard, T., Schadauer, K., Berger, A., Rego, F., Louro, G., Camia, A., Räty, M. & San-Miguel, J. 2014. The European Forest Dynamics Model. Concept, design and results of first case studies. JRC Science and policy reports. European Commission. https://doi.org/10.2788/153990

Palosuo, T., Heikkinen, J., & Regina, K. (2015). Method for estimating soil carbon stock changes in Finnish mineral cropland and grassland soils. *Carbon Management, 6*(5–6), 207–220. https://doi.org/10.1080/17583004.2015.1131383

Palvi, A., Martínez-García, E., Szejner, P. … & Lehtonen, A. (2025) Repeated nitrogen fertilization enhances Scots pine growth and carbon uptake without persistent long-term effects in boreal forests, *Tree Physiology*, Volume 45, Issue 6, June 2025, tpaf053, https://doi.org/10.1093/treephys/tpaf053

Palvi, A., Szejner, P., Martínez-García, E., Hökkä, H., Laurén, A., Palviainen, M., Sahlstedt, E., Väänänen, P., Sarkkola, S., Heikkinen, J., Mäkipää, R., Lehtonen, A. (2026). Water table moderates Scots pine growth responses to wood ash fertilization in boreal drained Scots pine peatland forests. Forestry: An International Journal of Forest Research.

Pappila, M. (2016). Ojitusilmoitukset ja ympäristövaikutusten ennakointi – tarkastelussa metsätalouden kunnostusojitukset. Ympäristöjuridiikka, 4/2016, 7–38. https://www.edilex.fi/ymparistojuridiikka/175020002

PEFC. 2024. Metsien kestävän hoidon ja käytön vaatimukset - PEFC FI 1002:2024. PEFC Suomi – Suomen Metsäsertifiointi ry. Saatavilla: https://cdn.pefc.org/pefc.fi/media/2024-01/bf1504b2-5ee9-4592-ae65-2a9d481f9729/a859a609-e236-5ae6-addb-83bfc169cd94.pdf

Pelkonen, E. (1975). Vuoden eri aikoina korkealla olevan pohjaveden vaikutus männyn kasvuun. Summary: effects on Scots pine growth of ground water adjusted to the ground surface for periods of varying length during different seasons of the year. Suo, 26: 25–32.

Pelkonen, E. (1976). The need for runoff regulation on peatlands drained for forestry. Suo, 27(1): 25–32.

Peltoniemi, M., Huttunen, S., Hyyrynen, M., Similä, J., Halonen, K.-M., Haltia, E., Leppänen, J., Pohjola, J., Tikkanen, V.-M., Arola, T., Assmuth, A., Autto, H., Lehto, T., Lonkila, A., Pitzén, S., Uusivuori, J., Vesala, J., Viitala, E.-J. & ja Lintunen, J. (2023). Hiilinieluja ja ilmastohyötyjä hallituin riskein : Metsäsektorin ohjauskeinojen monitieteinen analyysi. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 110/2023. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 164 s. https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-829-4

Pesonen, L., Haapala, H., Hyväluoma, J., Kallio, K., Karjalainen, S., Linna, P. & Ruponen, O-P. (2023) Älymaatalous 2030 -tiekartta. Agrihubi – maatilayritysten osaamisverkosto. https://maaseutuverkosto.fi/wp-content/uploads/2024/01/Alymaatalous-2030-tiekartta-paivitys-2023-.pdf

Pesu, L., Ahlvik, L., Assmuth, A., Pihlainen, S. (2025). Controlling land-use change with a nature loss fee (February 20, 2025). Työpaperi, saatavilla: https://ssrn.com/abstract=5154007.

Pesu, L., Ahlvik, L., Assmuth, A., Pihlainen, S. (2026). Henkilökohtainen tiedonanto. Pesu ym. (2025) työpaperin revisioitu versio, joka vertaisarvioinnissa.

Pettersson, N. (1992). Inverkan av planteringsförbandet på volum och structur i tall- och granbeståndet. SLU, Institutionen för skogsproduktion. Rapport nr 30. 58 s.

Pettersson, N. (1993). The effect of density after precommercial thinning on volume and structure in Pinus sylvestris and Picea abies stands. Scandinavian Journal of Forest Research 8: 528–539.

Peura, M., Burgas, D., Eyvindson, K., Repo, A., & Mönkkönen, M. (2018). Continuous cover forestry is a cost-efficient tool to increase multifunctionality of boreal production forests in Fennoscandia. *Biological Conservation*, *217*, 104-112. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2017.10.018

Pigou, A. C. (1920). The economics of welfare. Macmillan

Pihlainen, S., Tahvonen, O., & Niinimäki, S. (2014). The economics of timber and bioenergy production and carbon storage in Scots pine stands. Canadian journal of forest research, 44(9), 1091-1102. https://doi.org/10.1139/cjfr-2013-0475

Poeplau, C., & Don, A. (2015). Carbon sequestration in agricultural soils via cultivation of cover crops – A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *200*, 33–41. https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.10.024

Pohjola, J., Laturi, J., Lintunen, J., & Uusivuori, J. (2018). Immediate and long-run impacts of a forest carbon policy—A market-level assessment with heterogeneous forest owners. Journal of Forest Economics, 32, 94-105. https://doi.org/10.1016/j.jfe.2018.03.001

Pohjola, J., Valsta, L., & Mononen, J. (2006). Metsät hiilinieluina. Julkaisussa: Valsta, L., Ahtikoski, A., Horne, P., Karttunen, K., Kokko, K., Melkas, E., Mononen, J., Pingoud, K., Pohjola, J., & Uusivuori, J. 2006. Puu ilmastonmuutoksen hillitsijänä – Loppuraportti (Tutkimusraportteja 39). Helsingin yliopisto, Metsäekonomian laitos. https://www.mv.helsinki.fi/home/valsta/carbon/hiililoppuraportti-final.pdf

Pretty, J., Benton, T.G., Bharucha, Z.P., Dicks, L.V., Flora, C.B., Godfray, H.C.J., Goulson, D., Hartley, S., Lampkin, N., Morris, C., Pierzynski, G., Prasad, P.V.V., Reganold, J., Rockström, J., Smith, P., Thorne, P., Wratten, S., 2018. Global assessment of agricultural system redesign for sustainable intensification. Nat. Sustain. 1, 441–446. https://doi.org/10.1038/s41893-018-0114-0

Pukkala T. (2016). Which type of forest management provides most ecosystem services? Forest Ecosystems 3, article 9. https://doi.org/10.1186/s40663-016-0068-5

Pukkala, T., Berninger, K., Myllykangas, J.-P., Aro, L., Haakana, M., Vihonen, A., Huttunen, M. & Määttä, H. (2025). Suo, metsä ja hiili – selvitys Kymenlaakson hiilitaseesta sekä soiden ja metsien kestävästä käytöstä. Kymenlaakson liitto. 80 s. Linkki raporttiin

Pulido-Moncada, M., Petersen, S.O., Munkholm, L.J., 2022. Soil compaction raises nitrous oxide emissions in managed agroecosystems. A review. Agron. Sustain. Dev. 42, 38. https://doi.org/10.1007/s13593-022-00773-9

Pupo, M.R., Ferraretto, L.F. & Nicholson, C.F. (2025). Effects of feeding 3-nitrooxypropanol for methane emissions reduction on income over feed costs in the United States. Journal of Dairy Science 108:5061–5075.

Purola, T., & Lehtonen, H. (2021). Farm-level effects of emissions tax and adjustable drainage on peatlands. Environmental Management, 68, 828–843. https://doi.org/10.1007/s00267-021-01543-1

Ramin, M. & Huhtanen, P. (2013). Development of equations for predicting methane emissions from ruminants. Journal of Dairy Science 96: 2476–2493.

Rasi, S., Timonen, K., Joensuu, K., Regina, K., Virkajärvi, P., Pulkkinen, H., Tampio, E., Pyykkönen, V. & Luostarinen, S. (2019). Nurmi biokaasun raaka-aineena - RED II direktiivin mukainen kasvihuonekaasupäästöjen laskenta. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 46/2019. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 29 s. http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-789-3

Rautiainen, A., Pohjola, J., Assmuth, A., and Lintunen, J. (2026). Side effects of a forest carbon rent policy on soil GHG emissions and nutrient export from forests. Forestry: An International Journal of Forest Research, 2026, 99, 1–14. https://doi.org/10.1093/forestry/cpaf082

Reyer, C. P., Bathgate, S., Blennow, K., Borges, J. G., Bugmann, H., Delzon, S., ... & Hanewinkel, M. (2017). Are forest disturbances amplifying or canceling out climate change-induced productivity changes in European forests?. *Environmental research letters*, *12*(3), 034027.

Rinne, M. (toim.) (2025). Ilmastoviisaat ruokintaratkaisut Suomen maidontuotannossa: IRMA-hankkeen loppuraportti. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 32/2025. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 44 s. http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-419-052-7

Ruokavirasto (2026) Tukiehdot: ekojärjestelmätuki 2026. Julkaistu 30.3.2026. Saatavissa: https://www.ruokavirasto.fi/tuet/maatalous/peltotuet/ekojarjestelmatuki/tukiehdot-ekojarjestelmatuki/tukiehdot-ekojarjestelmatuki-2026/ (Viitattu 29.10.2026).

Ruser, R. & Schulz, R., 2015. The effect of nitrification inhibitors on the nitrous oxide (N2O) release from agricultural soils—a review. J. Plant Nutr. Soil Sci. 178, 171–188. https://doi.org/10.1002/jpln.201400251

Rämö, J., Tzemi, D., Miettinen, A., Wejberg, H., & Lehtonen, H. (2025). Carbon incentives and farm economics: A study of peatland drainage optimization. Agricultural Water Management, 309, 109512. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2025.109512

Räsänen, A., Kekkonen, H., Lehtonen, H., Miettinen, A., Wejberg, H., Kareksela, S., Tzemi, D., Aro, L., Kuningas, S., Louhi, P. & Ruuhijärvi, J. 2023. Euroopan unionin ennallistamisasetusehdotuksen luontotyyppi- ja turvemaatavoitteiden vaikutukset Suomessa. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 1/2023. Luonnonvarakeskus, Helsinki. https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-586-6

Saaristo, Lauri; Kari T. Korhonen, Jarmo Laitinen, Jarkko Partanen, Hannes Pasanen, Pekka Punttila & Juha Siitonen, 2020, Kustannustehokas luonnonhoidon laadun seurantatiedon kerääminen. Tapion julkaisu. https://tapio.fi/wp-content/uploads/2021/01/Kustannustehokas-luonnonhoidon-laadun-seurantatiedon-keraaminen.pdf

Saarnio, S., Honkanen, H., Miettinen, A., Lång, K. 2026. Retaining snowmelt and precipitation runoff led only partial rewetting but provided cost-effective reduction of greenhouse gas emissions at two boreal peat field sites. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, volume 31, 93. https://doi.org/10.1007/s11027-026-10361-x

Saarnio, S., Liimatainen, M. & Lång, K. (2025). Synteesiraportti: Turvepeltojen vettämisen vaikutus kasvihuonekaasupäästöihin. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 61/2025. Luonnonvarakeskus. Helsinki. http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-419-090-9

Sainz-Rubio, Verónica & Rovira-Más, Francisco 2020. From Smart Farming towards Agriculture 5.0: A Review on Crop Data Management. Agronomy 2020, 10(2), 207. https://www.mdpi.com/2073-4395/10/2/207

Saksa, T., Miina, J. & Uotila, K. 2021. Taimikonhoito – tavoitteet, menetelmät ja kustannukset. 2. painos. Metsäkustannus Oy & Luonnonvarakeskus (Luke). 128 s.

Salmivaara, A., Tuominen, S., Laiho, R. *et al.* (2026). Classifying the productivity of drained peatland forests for precision management. *Eur J Forest Res* **145**, 36 (2026). https://doi.org/10.1007/s10342-026-01879-5

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.

Sarkkola, S., H. Hökkä, E. Ahti, H. Koivusalo, ja M. Nieminen. (2012). Depth of Water Table Prior to Ditch Network Maintenance Is a Key Factor for Tree Growth Response. Scandinavian Journal of Forest Research 27 (7): 649–58. https://doi.org/10.1080/02827581.2012.689004.

Sathre, R. & O'Connor, J., 2010. Meta-analysis of greenhouse gas displacement factors of wood product substitution. Environmental science & policy, 13(2), pp.104-114. https://doi.org/10.1016/j.envsci.2009.12.005

Schneider, H. & Päivinen, R. 2020. Suometsien kokonaisanalyysi, loppuraportti. Tapion raportteja nro 38. https://tapio.fi/wp-content/uploads/2020/03/Suometsien-kokonaisanalyysi-loppuraportti-PDF.pdf

Schwenke, G.D., Herridge, D.F., Scheer, C., Rowlings, D.W., Haigh, B.M., McMullen, K.G., 2015. Soil N2O emissions under N2-fixing legumes and N-fertilised canola: A reappraisal of emissions factor calculations. Agric. Ecosyst. Environ. 202, 232–242. https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.01.017

Seidl, R., Thom, D., Kautz, M., Martin-Benito, D., Peltoniemi, M., Vacchiano, G., & Reyer, C. P. O. (2017). Forest disturbances under climate change. *Nature Climate Change*, *7*(6), 395–402. https://doi.org/10.1038/nclimate3303

Seppälä, J., Ahlvik, L., Arasto, A., Halonen, J., Kivimaa, P., Koponen, K., Kulovesi, K., Kurnitski, J., Lehtonen, H., Liimatainen, H., Mäkipää, R., Soimakallio, S., Soukka, R., & Toppinen, A. (2025B). *Keinoja kuilun kuromiseksi: Suomen ilmastopaneelin politiikkasuositukset 2025*. Suomen ilmastopaneeli. https://ilmastopaneeli.fi/hae-julkaisuja/keinoja-kuilun-kuromiseksi-suomen-ilmastopaneelin-politiikkasuositukset-2025/

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

Seppälä, J., Heinonen, T., Pukkala, T., Kilpeläinen, A., Mattila, T., Myllyviita, T., Asikainen, A. & Peltola, H. (2019). Effect of increased wood harvesting and utilization on required greenhouse gas displacement factors of wood-based products and fuels. Journal of Environmental Management, 247, 580–587. DOI: 10.1016/j.jenvman.2019.06.031

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. https://doi.org/10.31885/9789527457368

Shanin, V., Juutinen, A., Ahtikoski, A., Frolov, P., Chertov, O., Rämö, J., ... & Mäkipää, R. (2021). Simulation modelling of greenhouse gas balance in continuous-cover forestry of Norway spruce stands on nutrient-rich drained peatlands. *Forest Ecology and Management*, *496*, 119479. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119479

Sheehy, J., Regina, K., Alakukku, L., & Six, J. (2015). Impact of no-till and reduced tillage on aggregation and aggregate-associated carbon in Northern European agroecosystems. *Soil and Tillage Research*, *150*, 107–113. https://doi.org/10.1016/j.still.2015.01.015

Sikström U., Hjelm K., Holt Hanssen K., Saksa T., Wallertz K. (2020). Influence of mechanical site preparation on regeneration success of planted conifers in clearcuts in Fennoscandia – a review. Silva Fennica 54(2), article id 10172. https://doi.org/10.14214/sf.10172.

Singh, P., Heikkinen, J., Ketoja, E., Nuutinen, V., Palojärvi, A., Sheehy, J., Esala, M., Mitra, S., Alakukku, L., & Regina, K. (2015). Tillage and crop residue management methods had minor effects on the stock and stabilization of topsoil carbon in a 30-year field experiment. *Science of the Total Environment*, *518–519*, 337–344. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.03.027

Sippola, S, Hakola, S. & Fast, E. (2026). Selvitys ruoka-alan datatalouden kehitystarpeista. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja 2026:15. https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-366-303-9

Smolander, A., Laiho, R., Lehto, T., Hökkä, H. & Ilvesniemi, H. (2023). Vaihtoehtoisia tapoja lisätä ravinteiden saatavuutta. Julkaisussa: Lehto, T. & Ilvesniemi, H. (toim.). 2023. Metsänlannoitus nyt ja tulevaisuudessa : Synteesiraportti. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 56/2023. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 146 s. https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-714-3

Soimakallio, S. & Pihlainen, S. 2023. Metsänielujen kehityssuunnat vuosina 2021–2025 ja suhde EU-velvoitteisiin sekä ohjauskeinot nielujen vahvistamiseksi. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 9/2023. http://hdl.handle.net/10138/357131

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

Sponagel, C., Weik, J., Witte, F., Back, H., Wagner, M., Ruser, R., Bahrs, E., 2025. Climate change mitigation potential and economic evaluation of selected technical adaptation measures and innovations in conventional arable farming in Germany. J. Environ. Manage. 374, 123884. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.123884

Statistics Finland (2026) GREENHOUSE GAS EMISSIONS IN FINLAND 1990 to 2024. National Inventory Document under the UNFCCC and Paris Agreement. 15.4.2026. Saatavilla: https://unfccc.int/sites/default/files/resource/FI_NID_UNFCCC_BTR2_2024_2026-04-15.pdf

Statistics Finland. (2024). Greenhouse gas emissions in Finland 1990–2022: National inventory report under the UNFCCC and the Kyoto Protocol. Statistics Finland. https://stat.fi/static/media/uploads/tup/khkinv/fin_nir_2024.pdf

Statistics Finland (2025). GREENHOUSE GAS EMISSIONS IN FINLAND 1990 to 2023. National Inventory Document under the UNFCCC and Paris Agreement. https://stat.fi/media/uploads/tup/khkinv/fi_nid_un_2023_2025-04-15.pdf

Strömgren, M., Boeraeve, M., Ring, E,, Hjelm, K., Högbom, L. (2026). No effect on soil C stock, but increased tree C stock 17 years after site preparation: Results from two hemiboreal field experiments. Forest Ecology and Management 612, 123745. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2026.123745.

Sturludóttir, E., Brophy, C., Bélanger, G., Gustavsson, A.-M., Jørgensen, M., Lunnan, T., Helgadóttir, Á., 2014. Benefits of mixing grasses and legumes for herbage yield and nutritive value in Northern Europe and Canada. Grass Forage Sci. 69, 229–240. https://doi.org/10.1111/gfs.12037

Suomen biokierto ja biokaasu 2022. Kierrätyslannoitteiden tilastot. https://biokierto.fi/tilastot/kierratyslannoitteet/

Suomen biokierto ja biokaasu 2026. Biokaasun tilastotietoja päivitetty – investointinäkymät vahvat. 8.10.2026. Suomen Biokierto ja Biokaasu ry. Saatavilla (viitattu 13.10. 2026): https://biokierto.fi/biokaasun-tilastotietoja-paivitetty-investointinakymat-vahvat/

Suomen Metsäkeskus (2026a). Sameli Salokannel, sähköposti 10.11.2026

Suomen metsäkeskus. (2026b). *Tietopyyntö: soiden ja turvemaiden ennallistamiskustannukset* [Julkinen asiakirja, julkisuuslaki 621/1999].

Suomen metsäkeskus. (n.d.). Puuntuotannon turvaamiseen käytetyt varat. Haettu 5.11.2026 osoitteesta https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiYjI4YWIyNWUtZjFkOC00NzA1LWFmNDctOWI5YzMzNTYyZjdkIiwidCI6ImVhMjQwMTY4LTU1NjAtNDYyMC05NmI1LWE4MjMxOWNlODBhMSIsImMiOjI9

SVT (2025) Suomen virallinen tilasto: Kasvihuonekaasut [verkkojulkaisu]. Viiteajankohta: 2023. ISSN=1797-6049. Helsinki: Tilastokeskus [Viitattu: 28.10.2026]. Saantitapa: https://stat.fi/fi/julkaisu/cm194h5v99n0t06uk1x01rxrg

SVT (2026B). Suomen virallinen tilasto, Maataloustilastot. Saatavilla: https://www.luke.fi/fi/tilastot/tilastotietokanta

SVT. (2026) Suomen virallinen tilasto: Kasvihuonekaasut [verkkojulkaisu]. ISSN=1797-6049. Helsinki: Tilastokeskus [Viitattu: 26.10.2026]. Saantitapa: https://stat.fi/fi/tilasto/khki

Szejner, P., Martínez-García, E., Haakana, H., Heikkinen, J., Rinne-Garmston, K. T., Kilpeläinen, P., Young, G., Sahlstedt, E., Mäkipää, R., and Lehtonen, A.: Norway spruce shows stronger growth sensitivity and weaker intrinsic water-use efficiency response than Scots pine under increasing water limitation in southern Finland, Biogeosciences, 23, 7223–7252, https://doi.org/10.5194/bg-23-7223-2026

Tahvonen, O. ja Parkatti, V.-P. 2023. ”HiiliMetso” -malli Suomen metsien hiilensidonnan vahvistamiseksi. Muistio, Helsingin yliopisto. https://www.helsinki.fi/assets/drupal/2023-03/HiiliMetso%202-0%20Tahvonen%20ja%20Parkatti.pdf [Viitattu: 7.3.2026]

Tahvonen, O., Suominen, A., Parkatti, V.-P., & Malo, P. (2024). Optimizing high-dimensional forestry for wood production and carbon sinks. *Canadian Journal of Forest Research, 54*(8), 877–894. https://doi.org/10.1139/cjfr-2023-0267

Tamminen, P. & Ilvesniemi, H. 2012. Maaperän hiili ja typpi luonnontilaisissa ja talousmetsissä. Metlan työraportteja, Metla working papers 39 2012, 16. https://urn.fi/URN:ISBN:978-951-40-2369-9

Tampio, E., Luostarinen, S., Virkkunen, E., Blasco, L & Silfver T. (2026) Katsaus lannan biokaasutukseen Suomessa. Konferenssiabstrakti. Suomen maataloustieteellinen Seura, Maataloustieteen päivät 2026. Saatavilla: https://journal.fi/smst/issue/view/13315/3597

Tapio (2026). Metsänhoidon suositukset. Saatavilla osoitteessa: https://metsanhoidonsuositukset.fi/fi. Vierailtu 2.10.2026.

Tikkasalo, O.-P., Peltola, O., Alekseychik, P., Heikkinen, J., Launiainen, S., Lehtonen, A., Li, Q., Martinez-García, E., Peltoniemi, M., Salovaara, P., Tuominen, V., Mäkipää, R. (2025). Eddy covariance fluxes of CO2, CH4 and N2O on a drained peatland forest after clear-cutting. Biogeosciences, 22, 1277–1300. https://doi.org/10.5194/bg-22-1277-2025

Tilastokeskus (Suomen virallinen tilasto SVT). (2021) Suomen kasvihuonekaasupäästöt 1990−2020. https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-244-671-8

Topp, C.F.E. & Doyle, C.J., 2004. Modelling the comparative productivity and profitability of grass and legume systems of silage production in northern Europe. Grass Forage Sci. 59, 274–292. https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2004.00427.x

Ťupek, B., Lehtonen, A., Manzoni, S., Bruni, E., Baldrian, P., Richy, E., ... & Mäkipää, R. (2025). Long-term nitrogen fertilization alters microbial respiration sensitivity to temperature and moisture, potentially enhancing soil carbon retention in a boreal Scots pine forest. *Biogeosciences*, *22*(19), 5497-5510. https://doi.org/10.5194/bg-22-5497-2025

Työ- ja elinkeinoministeriö (2026) Kansallinen ilmasto- ja energiastrategia. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja 2026:4. https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-327-952-0

Työ- ja elinkeinoministeriö 2022. Oikeudenmukaisen siirtymän rahaston (JTF) liittäminen Uudistuva ja Osaava Suomi 2021–2027 – EU:n alue- ja rakennepolitiikan ohjelmaan. Alueellista oikeudenmukaista siirtymää koskevat suunnitelmat maakunnittain. Työ- ja elinkeinoministeriö. https://tem.fi/paatos?decisionId=0900908f807e7893

Tzemi, D., Rämö, J., Palosuo, T., Peltonen-Sainio, P., Wejberg, H., Lehtonen, H., 2024. The introduction of legume-based crop rotations: an impact assessment on cereal cropping farms in Finland. Int. J. Agric. Sustain. 22, 2335085. https://doi.org/10.1080/14735903.2024.2335085

Undark 2026. In Denmark, sick cows and a lot of questions. January 5 2026. https://undark.org/2026/01/05/denmark-cows-bovaer/

UNFCCC (2015). YK:N ilmastosopimus, *Pariisin sopimus (Paris Agreement)*. Hyväksytty Pariisissa 12.12.2015. https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement

UNFCC. (2026). Common reporting tables (CRT): Finland's greenhouse gas inventory submission 2026. United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). https://unfccc.int/reports

Uotila, K., & Saksa, T. (2014). Effects of early cleaning on young Picea abies stands. Scandinavian Journal of Forest Research 29(2): 111–119. https://doi.org/10.1080/02827581.2013.869349.

Usva, K., Hietala, S., Nousiainen, J., Vorne, V., Vieraankivi, M. L., Jallinoja, M., & Leinonen, I. (2023). Environmental life cycle assessment of Finnish broiler chicken production–Focus on climate change and water scarcity impacts. Journal of Cleaner Production, 410, 137097. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137097

Valio 2026. St1 ja Valio perustavat Ekviton Oy:n edistämään päästövähen¬nyksiä Suomessa. Tiedote 27.5.2026. https://www.valio.fi/uutiset/st1-ja-valio-perustavat-ekviton-oyn-edistamaan-paastovahennyksia-suomessa/ Viitattu 2.9.2026

Valkama, E., Salo, T., Esala, M. and Turtola, E. (2013) ‘Nitrogen balances and yields of spring cereals as affected by nitrogen fertilization in northern conditions: A meta-analysis’, Agriculture, Ecosystems & Environment, 164, pp. 1–13. https://doi.org/doi:10.1016/j.agee.2012.09.010

Valtioneuvosto (2014). Valtioneuvoston asetus eräiden maa- ja puutarhataloudesta peräisin olevien päästöjen rajoittamisesta 1250/2014. https://www.finlex.fi/api/media/statute/702542/mainPdf/main.pdf?timestamp=2014-12-17T22%3A00%3A00.000Z

Valtioneuvosto 1308/2013. Valtioneuvoston asetus metsien kestävästä hoidosta ja käytöstä. Maa- ja metsätalousmnisteriö 20.12.2013. http://data.finlex.fi/eli/sd/2013/1308/ajantasa/2025-12-04/fin

Valtioneuvosto. (2023). Valtioneuvoston asetus metsätalouden määräaikaisesta kannustejärjestelmästä (1021/2023). Finlex. https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/2023/1021

Valtioneuvoston asetus 143/2026. Valtioneuvoston asetus fosforia sisältävien lannoitevalmisteiden ja lannan käytöstä annetun valtioneuvoston asetuksen muuttamisesta. https://mmm.fi/paatokset/paatos?decisionId=7179

Valtioneuvoston asetus 64/2023. Valtioneuvoston asetus fosforia sisältävien lannoitevalmisteiden ja lannan käytöstä. https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/saadoskokoelma/2023/64

Valtioneuvoston asetus jakeluvelvoitteen joustomekanismista (364/2025) https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/2025/364 Viitattu 25.8.2026

Valtioneuvoston asetus metsityksen määräaikaisesta tukemisesta (103/2021). https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/2021/103

Varmola M., Salminen H., Timonen M. (2004). Thinning response and growth trends of seeded Scots pine stands at the arctic timberline. Silva Fennica vol. 38 no. 1 article id 436. https://doi.org/10.14214/sf.436.

Varmola, M., & Salminen, H. (2004). Timing and intensity of precommercial thinning in Pinus sylvestris stands. Scandinavian Journal of Forest Research 19(2): 142–151. https://doi.org/10.1080/02827580310019545.

Vartiainen, A., Bhatt, V.D., Aphalo, P.J., Pukkala, T., Räisänen, M., Kilpeläinen, J., Heräjärvi, H., Haapala, A. & Lehto, T. (2025). Boron fertilization in a boreal Norway spruce forest: long-lasting effects on growth and nutrition. *Plant and Soil* 513: 569-583. https://doi.org/10.1007/s11104-025-07201-3

Viitala, E.-J., Ahtikoski, A., Haltia, E., Hökkä, H., Mäkipää, R., Nieminen, M., Saarinen, M., Sarkkola, S., Tolvanen, A. & Valkonen, S. 2023. Tehokkaat ohjauskeinot jatkuvapeitteisen metsänkäsittelyn edistämiseksi runsasravinteisilla turvemailla. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 100/2023. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 79 s. https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-809-6

Viitala, E.-J., Assmuth, A., Koikkalainen, K., Miettinen, A., Mutanen, A., Wall, A., Wejberg, H. & Lehtonen, H. 2022. Maa- ja metsätalouden kannustinjärjestelmien ilmastovaikutukset: Synteesiraportti. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 21/2022. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 98 s. https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-388-6

Väänänen, P., Ahtikoski, A., Assmuth, A., Hotanen, J. P., Hökkä, H., Könönen, M., ... & Tolvanen, A. (2025). Kuivatuksesta kosteikkometsätalouteen: Ojitettujen suometsien metsänhoidon visio. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 79/2025. http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-419-119-7

Warner, D., Bannink, A., Hatew, B., van Laar, H., & Dijkstra, J. (2017). Effects of grass silage quality and level of feed intake on enteric methane production in lactating dairy cows. Journal of Animal Science, 95(8), 3687-3700. https://doi.org/10.2527/jas.2017.1459

Wejberg, H., Miettinen, A., Lehtonen, H., Mäkelä, M., Häggblom, O., & Myllys, M. (2024). Vesienhallinnan taloudelliset edellytykset turvepelloilla. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 78/2024. Luonnonvarakeskus. https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-967-3

Ympäristöministeriö. (2025). Keskipitkän aikavälin ilmastosuunnitelma. Ympäristöministeriön julkaisuja 2025:33. https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-361-738-4

Ympäristöministeriö. (2026). Luonnonarvomarkkinoiden kansallinen tiekartta 2026–2035. https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-361-455-0

Zhong, Z., Lemke, R.L., Nelson, L.M., 2009. Nitrous oxide emissions associated with nitrogen fixation by grain legumes. Soil Biol. Biochem. 41, 2283–2291. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2009.08.009

Äijälä, O., Koistinen, A., Sved, J., Vanhatalo, K., & Väisänen, P. (toim.). (2019). Metsänhoidon suositukset. Tapion julkaisuja.

19 LIITTEET

LIITE 1 VAPAAEHTOISTEN HIILIMARKKINOIDEN SÄÄTELY

Vapaaehtoisten hiilimarkkinoiden kautta toimijat voivat saada lisäansioita toteuttamalla ilmastotoimia, joiden tulokset voidaan varmentaa hiilimarkkinoilla kaupattaviksi ilmastoyksiköiksi. Yritykset tai muut kasvihuonekaasupäästöjä tuottavat toimijat voivat puolestaan toteuttaa vapaaehtoisia ilmastotoimia oman arvoketjunsa ulkopuolella ostamalla näitä yksiköitä. Vapaaehtoisten hiilimarkkinoiden kehityksen haasteena niin koti- kuin ulkomaillakin on yksiköiden laadun todentaminen, erityisesti toimien perusurien, lisäisyyden ja pysyvyyden osoittaminen kustannustehokkaasti (ks. esim. Laine ym. 2023, Laturi ym. 2023 ja 2024, Niemistö ym. 2021).

Laturi ym. (2024) arvioivat kotimaisten vapaaehtoisten hiilimarkkinoiden kehityspolkuja ja vaikutuksia maatalouteen ja metsäsektoriin laatimalla tarjonta- ja kysyntälähtöiset skenaariot. Markkinoiden joustavuus, vakaus ja riskit vaihtelivat skenaarioissa merkittävästi. Tulosten perusteella vapaaehtoiset hiilimarkkinat eivät toisi merkittävää muutosta maankäyttösektorilla. Markkinoiden kehitys kuitenkin koostuu useasta tekijästä, ja maanomistajien osallistumishalukkuuteen vaikuttavat erityisesti yksiköiden laatuvaatimukset, hinta sekä sääntelyn kehittyminen (Laturi ym. 2024). Pellervon Taloustutkimus PTT ja Hiilensidonta ry julkaisivat kotimaisten yksiköiden hiilimarkkinatilastoa vuosina 2022–2024, mutta tilastointi keskeytettiin heikon markkinatilanteen vuoksi. Myytyjen yksiköiden keskihinta vaihteli tilastoinnin aikana 10,64–36,53 €/ t CO_2-ekv. välillä. (PTT 2025).

Carbon Removals and Carbon Farming (CRCF) -asetus (EU) 2024/3012

Kotimaisten vapaaehtoisten hiilimarkkinoiden kehitystä ohjaa merkittävästi EU-sääntelyn kehittyminen. Asetus pysyvää hiilenpoistoa, hiiliviljelyä ja hiilen varastointia tuotteisiin koskevasta unionin sertifiointikehyksen perustamisesta (EU) 2024/3012 astui voimaan joulukuussa 2024. Tämän ns. CRCF (Carbon Removals and Carbon Farming, aiemmin myös Carbon Removal Certification Framework) -asetuksen tarkoituksena on luoda jäsenvaltioiden toimijoille vapaaehtoinen viitekehys sertifioitujen hiiliyksiköiden tuotannolle, menetelmille ja kaupankäynnille sekä varmistaa sertifioitujen yksiköiden laatu ja kestävyys. Komissio luo näin osaltaan puitteet CRCF-markkinoiden kehittymiselle määrittämällä sertifiointimenetelmät, tunnustamalla sertifiointijärjestelmät ja perustamalla EU-rekisterin yksiköille.

Sertifioituja yksiköitä voidaan tuottaa erilaisten toimien kautta. Kukin yksikkö vastaa yhden hiilidioksidiekvivalenttitonnin (t CO_2-ekv.) suuruista hillintätulosta, mutta yksiköiden pysyvyydessä on eroja:

1. pysyvän hiilenpoiston yksiköitä tuottavia toimia ovat hiilen suora talteenotto ilmasta ja varastointi (direct air capture with carbon storage, DACCS), biogeenisen hiilidioksidin talteenotto ja varastointi (biogenic emissions capture with carbon storage, BECCS/BioCCS) ja hiilenpoisto biohiilen avulla (biochar carbon removal, BCR)
2. tuotteeseen varastoidun hiilen yksiköitä tuottaa hiilen varastointi elinkaareltaan yli 35 vuotta kestäviin tuotteisiin ja
3. hiiliviljely-yksiköitä tai maaperäpäästöjen vähennysten yksiköitä tuottaa hiiliviljely, kuten maaperän hiilensidonnan parantaminen tai maaperäpäästöjen vähentäminen esim. soiden vettämisellä.

Sertifioitavien toimien tulee täyttää asetuksessa (EU) 2024/3012 määritetyt ja täytäntöönpanoasetuksella (EU) 2025/2358 sekä delegoiduilla asetuksilla tarkennetut kelpoisuuskriteerit, toteutuskaudet ja seurantajaksot, hiilenpoistonielujen ja kasvihuonekaasupäästöjen määrittämissäännöt, laskentasäännöt perusuran, hiilenpoistojen kokonaismäärän sekä toimeen liittyvien khk-päästöjen osalta ja säännöt pitkäaikaista varastointia ja vastuuta, kestävyyttä koskevia

vähimmäisvaatimuksia sekä seuranta- ja raportointivaatimuksia koskien. Asetusta tarkastellaan uudelleen vähintään neljän vuoden välein, huomioiden muun muassa tieteen ja teknologioiden kehitys niin toimien, seurannan, raportoinnin kuin todentamisen osalta.

Sertifiointijärjestelmille asetettavat vaatimukset ja tunnistamisprosessi määritellään komission täytäntöönpanoasetuksessa (EU) 2025/2358. Sertifiointijärjestelmien tulee hakea akkreditointia komission arviointiprosessin lisäksi kansalliselta akkreditointielimeltä, joka Suomessa on FINAS.

Ensimmäiset CRCF-asetuksen mukaiset sertifiointimenetelmät täsmennettiin ja julkaistiin delegoituna asetuksena (EU) 2026/285 huhtikuussa 2026 ja ne koskevat pysyviä hiilenpoistotoimia. Komissio hyväksyi lisäksi heinäkuussa 2026 delegoidun asetuksen sertifiointimenetelmien vahvistamiseksi kolmelle hiiliviljelytoimien ryhmälle: kivennäismailla harjoitettava maatalous ja peltometsäviljely, turvemaiden ja muun orgaanisen maan uudelleenvettäminen ja ennallistaminen sekä metsittämisen yhteydessä toteutettavat toimet. Sertifiointimenetelmät hiilen varastoimiseksi biopohjaisiin rakennustuotteisiin ovat myös valmistelussa (Euroopan komissio 2026a).

Vapaaehtoisen CRCF-asetuksen kautta tuotetuilla sertifioiduilla yksiköillä voidaan käydä kauppaa EU:n alueella ja yksiköitä voidaan käyttää EU:n vuoden 2030 jälkeisten ilmastotavoitteiden tukena. Komissio tukee asiaan kuuluvia hiilenpoistohankkeita rahoitusohjelmien, kuten Horisontti Eurooppa -puiteohjelman ja innovaatiorahaston kautta.

Unioni perustaa sertifioiduille yksiköille rekisterin (EU CRCF Registry). Mikäli unionin rekisteri ei ole vielä käytössä, tulee sertifiointijärjestelmien perustaa yksiköille asetuksen vaatimukset täyttävä sertifiointirekisteri ja ylläpitää sitä.

Osana EU:n uutta biotalousstrategiaa Euroopan komissio perustaa lisäksi vapaaehtoisten hiilimarkkinoiden käynnistämiseksi "ostajaklubin" (EU CRCF Buyers Club) eli yksiköiden ostajille ja myyjille yhteisen markkinapaikan, jonka avulla pyritään edistämään sekä julkista että yksityistä rahoitusta hiilenpoistoteknologioiden käyttöönoton ja laajentamisen edistämiseksi. Tavoitteena on lisäksi edistää ostajien luottamusta ja hiilimarkkinoiden rakentumista jakamalla osaamista ja tietoa mm. webinaarien kautta ja toimia yhdessä jo olemassa olevien välittäjien, hankekehittäjien ja rahoituslaitosten kanssa. Ostajaklubin jäsenenä toimivat myyjät ja ostajat määrittävät CRCF-hankkeet, arvioivat ne ja tekevät ostosopimuksia. (Euroopan komissio 2026B). Ensimmäiset CRCF-yksiköiden ostosta kiinnostuneet tahot ilmoittautuivat ostajaklubiin elokuussa, ja ensimmäisiä pysyvien hiilenpoiston ostosopimuksia tavoitellaan toteutuvaksi vielä kuluvana vuonna 2026 (EU Buyers Club Working group 2026).

Ostajaklubi voi mahdollistaa selkeämpien markkinasignaalien antamisen myös kysyntäpuolelta, jos ostajaryhmät ilmoittavat millaisilla toimilla ja laatuvaatimuksilla tuotettuja CRCF-yksiköitä he ovat valmiita ostamaan ja kuinka paljon. Tällöin esimerkiksi saman alueen maankäyttäjät ja toimijat voisivat kehittää hiiliviljelyhankkeita sopivassa mittakaavassa. (Euroopan komissio 2026B)

Heinäkuussa julkaistussa päästökauppadirektiivin muutosehdotuksessa (COM(2026) 616 final) Euroopan komissio ehdottaa, että EU:n päästökauppajärjestelmän kokonaispäästökattoa nostettaisiin 250 miljoonalla lisäpäästöoikeudella, jotka komissio huutokauppaisi vuosina 2031–2040. Kerätyillä tuloilla ostettaisiin CRCF-asetuksen mukaisesti sertifioituja BioCCS- ja DACCS-yksiköitä. Mikäli huutokauppatulot eivät riitä kattamaan näitä ostokustannuksia, on huutokauppaan saatavilla vielä 10 miljoonan päästöoikeuden varaus. Hiilidioksidin talteenottoon ja hyödyntämiseen ilman pysyvää varastointia (CCU) liittyen komissio ehdottaa arvioivansa vuoden 2034 loppuun mennessä tuotteisiin sitoutuneen hiilen ja muiden CRCF-asetuksen (EU) 2024/3012 mukaisesti sertifioitujen hiilenpoisto- ja hiilensidontayksiköiden mahdollista roolia EU:n päästökauppajärjestelmässä. Arviointiin sisältyisi

erityisesti luonnon nielujen, hiiliviljelyn hiilensidontayksiköiden ja tuotteisiin sitoutuneen hiilen mahdollista kontribuutiota pysyviin hiilenpoistoihin. Komissiolta on lisäksi tulossa ehdotus kansallisista tavoitteista ja joustomahdollisuuksista. Ehdotuksessa tarkastellaan yksityiskohtaisemmin vapaaehtoisten CRCF-markkinoiden kehittämistä jäsenvaltioiden ilmastotavoitteiden saavuttamisen tueksi. (Euroopan komissio 2026B).

CRCF-järjestelmän, vapaaehtoisten hiilimarkkinoiden tai EU:n ulkopuolisten järjestelmien linkitys EU:n päästökauppajärjestelmään vaatisi käytäntöjen huolellista yhteensovittamista ja läpinäkyvää laadunvarmistusta, jotta eri osapuolet voisivat luottaa eri järjestelmissä toteutettujen toimien ja päästöoikeuksien tai -yksiköiden ilmastovaikutuksiin. Vielä epäselvää on esimerkiksi se, millaisin edellytyksin tai rajauksin EU ETS:n päästöoikeuksia ja CRCF-asetuksen kautta sertifioituja yksiköitä voitaisiin rinnastaa toisiinsa – tarvittaisiinko esimerkiksi kaksinkertainen määrä pysyviä hiilenpoiston CRCF-yksiköitä yhtä päästökaupan päästöoikeusyksikköä kohti ja rajattaisiinko muut CRCF-asetuksen sertifioidut yksiköt ulos niiden väliaikaisen luonteen vuoksi. Esimerkiksi EU:n ilmastopaneeli on tuonut esille, että pysyvien hiilenpoistojen menetelmiin kytkeytyy muun muassa toiminnan laajentamiseen liittyviä haasteita sekä ympäristöön, talouteen, resursseihin ja maankäyttöön liittyviä riskejä (ESABCC 2025). Biohiili voi mahdollistaa pitkäaikaisen hiilen varastoinnin, mutta sen pysyvyyteen liittyy edelleen epävarmuuksia.

Lähdeluettelo

COM (2026) 616 final. European Commission 2026. Proposal for a DIRECTIVE OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL amending Directive 2003/87/EC and Decision (EU) 2015/1814 as regards driving competitiveness and cost-effective decarbonisation. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex:52026PC0616

Euroopan komissio 2026B. EU CRCF Buyers Club. https://climate.ec.europa.eu/areas-action/carbon-removals-and-carbon-farming/eu-crcf-buyers-club_en Viitattu 11.9.2026

Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EU) 2024/3012, annettu 27 päivänä marraskuuta 2024, pysyvää hiilenpoistoa, hiiliviljelyä ja hiilen varastointia tuotteisiin koskevasta unionin sertifiointikehyksen perustamisesta. http://data.europa.eu/eli/reg/2024/3012/oj

Euroopan unioni 2025. Asiakirja Ares(2025)3050093. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=pi_com%3AAres%282025%293040093 Viitattu 29.4.2026

European Scientific Advisory Board on Climate Change (ESABCC) (2025). Scaling up carbon dioxide removals: Recommendations for navigating opportunities and risks in the EU. Publications Office of the European Union. https://doi.org/10.2800/3253650

https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/14574-Carbon-removals-and-carbon-farming-methodologies-for-certifying-carbon-farming_enhttps://climate.ec.europa.eu/news-other-reads/news/eu-sets-worlds-first-voluntary-standard-permanent-carbon-removals-2026-02-03_en?link_id=9a05437e-905e-4248-94d1-4eba32223c71&prefLang=fiEU CRCF Buyers Club - Climate Action - European Commission

Komission delegoitu asetus (EU) 2026/285, annettu 3 päivänä helmikuuta 2026, Euroopan parlamentin ja neuvoston asetuksen (EU) 2024/3012 täydentämisestä määrittämällä sertifiointimenetelmät pysyville hiilenpoistotoimille. http://data.europa.eu/eli/reg_del/2026/285/oj

Komission täytäntöönpanoasetus (EU) 2025/2358, annettu 20 päivänä marraskuuta 2025, Euroopan parlamentin ja neuvoston asetuksen (EU) 2024/3012 mukaisia sertifiointijärjestelmiä, sertifiointielimiä ja

tarkastuksia koskevista säännöistä. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_impl/2025/2358/oj/ Euroopan komissio 2026a. Certification methodologies. https://climate.ec.europa.eu/areas-action/carbon-removals-and-carbon-farming/certification-methodologies_en Viitattu 11.9.2026

Laine, A., Ahonen, H.-M., Pakkala, A., Laininen, J., Kulovesi, K. & Mäntylä, I. 2023. Opas vapaaehtoisten hiilimarkkinoiden hyviin käytäntöihin: Vapaaehtoisten ilmastotekojen edistäminen ilmastoyksiköillä. Valtioneuvoston julkaisuja 2023:3. http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-815-4

Laturi J., Aalto, L., Horne, P., Kinnunen, P., Korhonen, O., Norkio, A., Noro, K. & Valonen, M. 2024. Vapaaehtoisten hiilimarkkinoiden kehityspolkujen vaikutukset maatalouteen ja metsäsektoriin. Helsinki. Pellervon taloustutkimus PTT. PTT Raportteja 287. https://www.ptt.fi/julkaisut/vapaaehtoisten-hiilimarkkinoiden-kehityspolkujen-vaikutukset-maatalouteen-ja-metsasektoriin/

Laturi, J., Aalto, L., Forsman-Hugg, S. Horne, P., Laine, A., Kinnunen, P., Korhonen, O., Kujala, P., Noro, K., Mäntylä, I. & Valonen, M. 2023. Vapaaehtoiset hiilimarkkinat maankäyttösektorilla - kehitys, kysyntä ja toimenpiteet Suomessa. Helsinki. Pellervon Taloustutkimus PTT. PTT Raportteja 285. https://www.ptt.fi/julkaisut/vapaaehtoiset-hiilimarkkinat-maankayttosektorilla-kehitys-kysynta-ja-toimenpiteet-suomessa/

Niemistö, J., Seppälä, J., Karvonen, J. & Soimakallio, S. 2021. Päästökompensaatiot ilmastonmuutoksen hillinnän keinona Suomessa – nyt ja tulevaisuudessa. Ympäristöministeriön julkaisuja 2021:12. https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-361-233-4

PTT, Pellervon taloustutkimus, 2025. Hiilimarkkinoiden tilastointi jää tauolle. Tiedote 4.4.2025. https://www.ptt.fi/hiilimarkkinoiden-tilastointi-jaa-tauolle-toistaiseksi/ viitattu 4.5.2026

LIITE 2. EU:N MAATALOUDEN PÄÄSTÖKAUPPAJÄRJESTELMÄ – TARKASTELLUT TOTEUTUSVAIHTOEHDOT

EU:ssa ei toistaiseksi ole käytössä maataloutta koskevaa päästökauppajärjestelmää. Euroopan komission ilmastopääosaston tilaamassa ja vuonna 2023 julkaistussa selvityksessä *Pricing agricultural emissions and rewarding climate action in the agri-food value chain* tarkastellaan kuitenkin, miten saastuttaja maksaa -periaatetta voitaisiin tulevaisuudessa soveltaa maatalouden kasvihuonekaasupäästöihin EU:n laajuisen maatalouden päästökauppajärjestelmän avulla. Selvityksessä järjestelmästä käytetään nimitystä AgETS (*Agricultural Emissions Trading System*). Kyse on politiikkavaihtoehtojen arvioinnista, ei komission hyväksymästä lainsäädäntöehdotuksesta tai virallisesta kannasta (Bognar ym. 2023).

Maatalous tuottaa yli kymmenesosan EU:n kasvihuonekaasupäästöistä. Päästöt koostuvat erityisesti kotieläinten ruuansulatuksen ja lannankäsittelyn metaanipäästöistä sekä maatalousmaiden ja typpilannoituksen dityppioksidipäästöistä. Toisin kuin energiantuotannossa ja teollisuudessa, maatalouden päästöille ei nykyisin muodostu EU:ssa yhdenmukaista hiilen hintaa. Yhteinen maatalouspolitiikka kannustaa eräisiin ilmastotoimiin, mutta päästöjen vähentämisestä aiheutuvat kustannukset ja päästöjen yhteiskunnalliset haitat eivät yleensä sisälly maataloustuotteiden tai tuotantopanosten hintoihin. AgETS-järjestelmän tavoitteena olisi korjata tätä ulkoisvaikutusta luomalla päästöille hinta ja siten jatkuva taloudellinen kannustin päästöjen vähentämiseen.

Selvityksessä tarkastellaan viittä päästökaupan toteutusvaihtoehtoa. Ne eroavat toisistaan ennen kaikkea sen suhteen, mille arvoketjun toimijalle päästöoikeuksien hankkimista koskeva velvoite asetettaisiin ja mitä päästölähteitä järjestelmä kattaisi. Velvoite voisi kohdistua suoraan maatiloihin tai ylempänä tuotantoketjussa esimerkiksi lannoitteiden ja rehujen toimittajiin. Vaihtoehtoisesti velvoite voitaisiin asettaa maataloustuotteita vastaanottaville ja jalostaville yrityksille, kuten meijereille ja teurastamoille. Tarkastellut vaihtoehdot edustavat siten maatilatason, tuotantopanoksiin kohdistuvan eli tuotantoketjun alkupään sekä elintarvikkeiden jalostukseen kohdistuvan eli tuotantoketjun loppupään sääntelyn erilaisia yhdistelmiä.

Suoraan maatiloihin kohdistuva järjestelmä mahdollistaisi periaatteessa päästöjen ja tilakohtaisten vähennystoimien tarkan huomioon ottamisen. Viljelijällä olisi tällöin myös välitön taloudellinen kannustin valita tilalleen kustannustehokkaimmat toimet. Haasteina olisivat kuitenkin tilojen suuri lukumäärä, hallinnolliset kustannukset sekä maatilakohtaisten päästöjen mittaamisen ja laskennan epävarmuus. Ylävirran järjestelmässä velvoite kohdistuisi esimerkiksi typpilannoitteiden tai rehujen valmistajiin ja toimittajiin. Hallinnointi olisi tällöin yksinkertaisempaa, koska säänneltäviä yrityksiä olisi huomattavasti maatiloja vähemmän. Järjestelmä kannustaisi vähentämään päästöintensiivisten tuotantopanosten käyttöä, mutta se ei tunnistaisi kovin tarkasti tilojen erilaisia olosuhteita eikä kaikkia käytännön päästövähennystoimia.

Alavirran järjestelmässä päästöoikeusvelvoite asetettaisiin esimerkiksi meijereille, teurastamoille tai muille maataloustuotteiden jalostajille. Jalostajat voisivat siirtää hiilen hinnan tuottajille hankintaehtojen ja tuottajahintojen kautta sekä palkita vähäpäästöisistä tuotteista. Malli voisi hyödyntää olemassa olevia toimitusketjuja ja yritysten vastuullisuusjärjestelmiä. Sen vaikuttavuus riippuisi kuitenkin siitä, kuinka luotettavasti tuotteisiin voidaan kohdentaa maatiloilla syntyneet päästöt ja kuinka tasapuolisesti kustannukset ja hyödyt välittyvät arvoketjussa. Erityistä huomiota olisi kiinnitettävä siihen, ettei

vahvassa markkina-asemassa oleva jalostus tai kauppa siirrä päästöhinnoittelun kustannuksia kokonaan viljelijöiden kannettaviksi.

Kaikissa vaihtoehdoissa keskeinen kysymys on päästöjen mittaus, raportointi ja todentaminen eli MRV-järjestelmä. Maatalouden metaani- ja dityppioksidipäästöjä ei yleensä voida mitata jatkuvasti tilatasolla, vaan ne joudutaan arvioimaan eläinmäärien, rehujen, lannoitteiden, lannankäsittelyn, viljelykäytäntöjen ja päästökertoimien avulla. Yhdenmukaiset laskentamenetelmät ja yhteentoimivat tietojärjestelmät olisivat siksi järjestelmän toimivuuden edellytys. Hyvin yksinkertainen laskenta alentaisi hallinnollisia kustannuksia, mutta voisi samalla heikentää kannustimia sellaisiin ilmastotoimiin, joita laskentamenetelmä ei tunnista. Tarkempi tilakohtainen laskenta puolestaan lisäisi tiedonkeruun, todentamisen ja valvonnan kustannuksia.

Päästökauppa voisi tuottaa julkisia tuloja, jos päästöoikeudet huutokaupattaisiin. Tuloja voitaisiin palauttaa sektorille rahoittamalla investointeja, neuvontaa, uusien vähennysteknologioiden käyttöönottoa sekä taloudellisesti haavoittuvien maatilojen siirtymää. Järjestelmän suunnittelussa olisi samalla ehkäistävä tuotannon ja päästöjen siirtymistä EU:n ulkopuolelle. Jos tuontituotteisiin ei kohdistu vastaavaa hiilen hintaa, EU:n maataloustuotanto ja päästöt voivat osittain korvautua tuonnilla ilman, että globaalit päästöt vähenevät.

Selvityksessä tarkastellaan myös mahdollisuutta yhdistää maatalouden päästökauppaan maankäyttösektorin hiilenpoistoista ja maaperäpäästöjen vähentämisestä maksettavia korvauksia. Tällöin järjestelmä voisi samanaikaisesti hinnoitella maatalouden päästöjä ja kanavoida rahoitusta esimerkiksi turvemaiden vettämiseen, maaperän hiilivarastojen vahvistamiseen tai muihin hiiliviljelytoimiin. Päästöjen ja poistumien rinnastamiseen liittyy kuitenkin merkittäviä haasteita. Biogeeniset hiilivarastot voivat olla väliaikaisia, tuloksiin liittyy mittausepävarmuutta ja ilmastonmuutos voi myöhemmin vapauttaa varastoitunutta hiiltä. Tämän vuoksi poistumien käyttö päästöjen kompensointiin edellyttäisi tiukkoja lisäisyyttä, pysyvyyttä, seurantaa ja vastuuta koskevia sääntöjä.

Kokonaisuutena selvitys osoittaa, että maatalouden päästökauppa voisi vahvistaa päästövähennysten taloudellisia kannustimia, mutta mikään arvioiduista vaihtoehdoista ei ole yksiselitteisesti muita parempi. Toteuttamiskelpoisuus edellyttäisi vaiheittaista valmistelua, harmonisoituja päästölaskentamenetelmiä, kohtuullisia hallinnollisia kustannuksia sekä oikeudenmukaista kustannusten ja hyötyjen jakamista ruokaketjussa. Päästökauppa ei myöskään korvaisi muuta maatalous-, ilmasto- ja ympäristöpolitiikkaa, vaan sen rinnalla tarvittaisiin investointitukia, neuvontaa, tutkimusta, sääntelyä ja toimia tuotannon hiilivuodon ehkäisemiseksi.

Lähdeluettelo

Bognar, J., Springer, K., Nesbit, M., Nadeu, E., Hiller, N., van Dijk, R., Lam, L., Forestier, O., Finesso, A., Bolscher, H., Jakob, M., Tarpey, J., McDonald, H., Zakkour, P., Heller, C., Görlach, B., Scheid, A. & Tremblay, L.-L. (2023). *Pricing agricultural emissions and rewarding climate action in the agri-food value chain*. Rotterdam: Trinomics. European Commission, Directorate-General for Climate Action. https://doi.org/10.2834/200