

BDO Oy 31.10.2025

Loppuraportti

Selvitys maankäyttösektorin ilmastosuunnitelman
arvioinnin tueksi

Tekijät: Janni Kunttu, Sonja Miettinen, Nina Kokkonen, Sandy Blomqvist, Laura
Kärkkäinen, Satu Haaparinne, Sara Helin, Vera Virta

Sisällysluettelo

Tiivistelmä.....	7
Abstract.....	8
Sammanfattning	9
1 Johdanto	10
1.1 Hankkeet tavoitteet	10
2 Arviointimenetelmät ja tulosten luotettavuuteen vaikuttavat tekijät.....	12
2.1 Hankkeen kuvaus	12
2.2 Nykytilan arviointi	12
2.3 Kirjallisuuskatsaus.....	13
2.4 Haastattelut	13
2.5 Työpajat	14
2.6 Suositusten riittävyyden arviointi kevyt mallinnuksella	15
2.6.1 Kevennetty metsämallinnus.....	15
2.6.2 Puuvirtamallinnus ja puutuotteiden hiilivarasto	17
2.7 Tutkimuksen rajoitukset ja oletukset.....	18
3 Toimintaympäristön muutokset yleisesti ja oletetut kehityskulut haastattelujen ja kirjallisuuden perusteella.....	20
3.1 Poliittinen ympäristö	20
3.2 Taloudellinen toimintaympäristö	20
3.3 Sosiaalinen toimintaympäristö	21
3.4 Teknologinen toimintaympäristö	22
3.5 Ilmastonmuutoksen vaikutus toimintaympäristöön.....	22
4 Skenaariopolut osa-alueittain maankäyttösektorilla.....	24
4.1 Maankäytön muutokset	24
4.1.1 Aurinko- ja maatuulivoiman näkymät sekä vaikutukset maankäyttöön: Kirjallisuuden perusteella tehty analyysi kapasiteetin kasvusta vuoteen 2035 sekä haastattelutulokset	24
4.1.2 Aurinko- ja maatuulivoiman näkymien vertailu WEM-P-skenaarioiden oletuksiin..	25
4.1.3 Työpajan ja haastattelujen tulokset liittyen maankäytön muutoksiin ja uusiutuvaan energiaan	27
4.2 Metsien kasvu, puuntuotanto ja hakkuukertymä	28
4.2.1 Haastattelutulokset	28

4.2.2 Työpajan tulokset liittyen metsien kehitykseen ja puuntuotantoon	28
4.3 Puupohjainen tuotanto (pois lukien puun energiakäyttö):	29
4.3.1 Haastattelutulokset ja kirjallisuus	29
4.3.2 Työpajan tulokset liittyen metsäpohjaiseen tuotantoon.....	29
4.4 Sivuvirtojen käyttö ja puun rooli energiatuotannossa:	30
4.4.1 Haastattelutulokset ja kirjallisuus	30
4.4.2 Työpajan tulokset liittyen asiantuntijoiden näkemykseen metsien roolista energiatuotannossa	30
5 Työpajan tulokset vaadittavista toimenpiteistä maankäyttösektorilla sekä kevytmallinnuksella arvioidut päätoimenpiteitten vaikutukset	32
5.1 Työpajan tulokset vaadittavista toimenpiteistä maankäyttösektorilla ilmastotavoitteiden saavuttamiseksi, sekä keinot niiden jalkauttamiseen	32
5.2 Kevytmallinnuksen tulokset maankäyttösektorilla saavutettavista ilmastovaikutuksista toimintaympäristön päämuutokset huomioiden	36
5.2.1 Toimintaympäristön muutosten vaikutus hiilinieluihin	36
5.2.2 Uusien toimenpiteiden sekä toimintaympäristön muutosten vaikutus hiilinieluihin	38
6 Maankäyttösektorin ilmastosuunnitelman toimenpidekohtainen analyysi (haastatteluihin ja kirjallisuuteen perustuen) ja suositukset kehitykseen	40
6.1 Metsähallituksen ilmastotoimet (7.1)	40
6.1.1 Toteutuksen arviointi ja mahdolliset haasteet, ehdotukset jalkauttamiseen	40
6.1.2 Ilmastovaikutuksen arviointi	40
6.1.3 Ilmastomuutokseen sopeutumisen sekä biodiversiteettivaikutusten arviointi	41
6.1.4 Kustannusarviointi.....	41
6.1.5 Suositukset	41
6.2 Metsäkadon ehkäisy: Ehkäistään metsän muuttumista pelloiksi (7.2.1) sekä Peltojen kiinteistörakenteen kehittäminen (7.2.2)	42
6.2.1 Toteutuksen arviointi ja mahdolliset haasteet, ehdotukset jalkauttamiseen	42
6.2.2 Ilmastovaikutuksen arviointi	42
6.2.3 Ilmastomuutokseen sopeutumisen sekä biodiversiteettivaikutusten arviointi ...	42
6.2.4 Kustannusarviointi	43
6.2.5 Suositukset	43
6.3 Metsäkadon ehkäisy: Ehkäistään metsänraivausta rakennetuksi maaksi (7.2.3)	43
6.3.1 Toteutuksen arviointi ja mahdolliset haasteet, ehdotukset jalkauttamiseen	43

6.3.2 Ilmastovaikutuksen arviointi	44
6.3.3 Ilmastomuutokseen sopeutumisen sekä biodiversiteettivaikutusten arviointi ...	44
6.3.4 Kustannusarviointi	45
6.3.5 Suositukset	45
6.4 Metsäkadon ehkäisy: Maankäytön muutosmaksu kaikelle maankäytölle tai raivauksen luvanvaraisuus (7.2.4).....	45
6.4.1 Toteutuksen arviointi ja mahdolliset haasteet, ehdotukset jalkauttamiseen	45
6.4.2 Ilmastovaikutuksen arviointi	46
6.4.3 Ilmastomuutokseen sopeutumisen sekä biodiversiteettivaikutusten arviointi ...	46
6.4.4 Kustannusarviointi	46
6.4.5 Suositukset	46
6.5 Joutoalueiden ja heikkotuottoisten peltöjen metsitys (7.3): Joutoalueiden määrääikainen metsitystuki (7.3.1) sekä Heikkotuottoisten metsitykseen soveltuvien peltöjen metsitys (7.3.2).....	46
6.5.1 Toteutuksen arviointi ja mahdolliset haasteet, ehdotukset jalkauttamiseen	46
6.5.2 Ilmastovaikutuksen arviointi	47
6.5.3 Ilmastomuutokseen sopeutumisen sekä biodiversiteettivaikutusten arviointi ...	47
6.5.4 Kustannusarviointi	48
6.5.5 Suositukset	48
6.6 Turvepeltöjen ilmastokestävä käyttö (7.4): Pohjaveden pinnan nostaminen turvepelloilla (7.4.1)	49
6.6.1 Toteutuksen arviointi ja mahdolliset haasteet, ehdotukset jalkauttamiseen	49
6.6.2 Ilmastovaikutuksen arviointi	49
6.6.3 Ilmastomuutokseen sopeutumisen sekä biodiversiteettivaikutusten arviointi ...	50
6.6.4 Kustannusarviointi	50
6.6.5 Suositukset	50
6.7 Turvepeltöjen ilmastokestävä käyttö (7.4): Turvepellon ilmastokosteikot (7.4.2) sekä Vetetään huonotuottoisia, paksuturpeisia peltöjä ja suonpohjia ilmastokosteikoiksi (7.4.4)	51
6.7.1 Toteutuksen arviointi ja mahdolliset haasteet, ehdotukset jalkauttamiseen	51
6.7.2 Ilmastovaikutuksen arviointi	51
6.7.3 Ilmastomuutokseen sopeutumisen sekä biodiversiteettivaikutusten arviointi	52
6.7.4 Kustannusarviointi	52

6.7.5 Suositukset	53
6.8 Suometsien ilmastokestävä hoito ja käyttö (7.5): Kokonaisvaltainen suometsänhoidon suunnittelu (kunnostusojituksen välttäminen) (7.5.1)	54
6.8.1 Toteutuksen arviointi ja mahdolliset haasteet, ehdotukset jalkauttamiseen	54
6.8.2 Ilmastovaikutuksen arviointi	54
6.8.3 Ilmastomuutokseen sopeutumisen sekä biodiversiteettivaikutusten arviointi ...	55
6.8.4 Kustannusarviointi	55
6.8.5 Suositukset	55
6.9 Suometsien ilmastokestävä hoito ja käyttö (7.5): Kokonaisvaltaisen suometsänhoidon suunnittelu (peitteinen metsänkasvatus rehevissä korvissa) (7.5.2)	56
6.9.1 Toteutuksen arviointi ja mahdolliset haasteet, ehdotukset jalkauttamiseen	56
6.9.2 Ilmastovaikutuksen arviointi	56
6.9.3 Ilmastomuutokseen sopeutumisen sekä biodiversiteettivaikutusten arviointi ...	57
6.9.4 Kustannusarviointi	57
6.9.5 Suositukset	57
6.10 Edistetään suometsien tuhkalannoitusta (7.5.3).....	58
6.10.1 Toteutuksen arviointi ja mahdolliset haasteet, ehdotukset jalkauttamiseen	58
6.10.2 Ilmastovaikutuksen arviointi	59
6.10.3 Ilmastomuutokseen sopeutumisen sekä biodiversiteettivaikutusten arviointi ..	59
6.10.4 Kustannusarviointi	59
6.10.5 Suositukset	60
6.11 Muut hiilensidontaa ja -varastointia edistävät toimenpiteet (7.10): Edistetään peltojen hiilen sidontaa ja hiilivarastoja (7.10.1)	60
6.11.1 Toteutuksen arviointi ja mahdolliset haasteet, ehdotukset jalkauttamiseen	60
6.11.2 Ilmastovaikutuksen arviointi	61
6.11.3 Ilmastomuutokseen sopeutumisen sekä biodiversiteettivaikutusten arviointi ...	62
6.11.4 Kustannusarviointi	62
6.11.5 Suositukset	62
6.12 Muut hiilensidontaa ja -varastointia edistävät toimenpiteet (7.10): Edistetään kivennäismaametsien lannoitusta, typpilannoitus (7.10.2)	62
6.12.1 Toteutuksen arviointi ja mahdolliset haasteet, ehdotukset jalkauttamiseen	62
6.12.2 Ilmastovaikutuksen arviointi	63
6.12.3 Ilmastomuutokseen sopeutumisen sekä biodiversiteettivaikutusten arviointi ..	63

6.12.4 Kustannusarviointi	63
6.12.5 Suositukset	63
6.13 Muut hiilensidontaa ja -varastointia edistävät toimenpiteet (7.10): Edistetään metsien nopeaa ja tehokasta uudistamista (7.10.3).....	64
6.13.1 Toteutuksen arviointi ja mahdolliset haasteet, ehdotukset jalkauttamiseen	64
6.13.2 Ilmastovaikutuksen arviointi	64
6.13.3 Ilmastomuutokseen sopeutumisen sekä biodiversiteettivaikutusten arviointi ..	65
6.13.4 Kustannusarviointi.....	65
6.13.5 Suositukset	65
6.14 Muut hiilensidontaa ja -varastointia edistävät toimenpiteet (7.10): Lisätään lahoppuun hiilivarastoa talousmetsiin monimuotoisuus ja ilmastoyistä säästöpuita jättämällä (7.10.4)	66
6.14.1 Toteutuksen arviointi ja mahdolliset haasteet, ehdotukset jalkauttamiseen	66
6.14.2 Ilmastovaikutuksen arviointi	66
6.14.3 Ilmastomuutokseen sopeutumisen sekä biodiversiteettivaikutusten arviointi ..	67
6.14.4 Kustannusarviointi.....	67
6.14.5 Suositukset	67
6.15 Muut hiilensidontaa ja -varastointia edistävät toimenpiteet (7.10): Edistetään hiilivarastoja pitkäikäisissä puutuotteissa ja -rakenteissa (7.10.6).....	68
6.15.1 Toteutuksen arviointi ja mahdolliset haasteet, ehdotukset jalkauttamiseen	68
6.15.2 Ilmastovaikutuksen arviointi	68
6.15.3 Ilmastomuutokseen sopeutumisen sekä biodiversiteettivaikutusten arviointi ..	69
6.15.4 Kustannusarviointi	69
6.15.5 Suositukset	69
7 Muihin strategioihin linkittyvät toimenpiteet, joita suositellaan kytkettäväksi MISU:un yhä vahvemmin	70
7.1 Kiertoaikojen pidentäminen, tiheämpi alkutiheys, loivemmat harvennukset (A)	70
7.1.1 Toteutuksen arviointi ja mahdolliset haasteet, ehdotukset jalkauttamiseen	70
7.1.2 Ilmastovaikutuksen arviointi	70
7.1.3 Ilmastomuutokseen sopeutumisen sekä biodiversiteettivaikutusten arviointi.....	71
7.1.4 Kustannusarviointi	71
7.1.5 Suositukset	71
7.2 Sekapuustoisuuden ja suojelualueiden lisääminen, sekä metsätuhon ehkäisy (B) ..	71

7.2.1 Toteutuksen arviointi ja mahdolliset haasteet, ehdotukset jalkauttamiseen	71
7.2.2 Ilmastovaikutuksen arviointi.....	72
7.2.3 Ilmastomuutokseen sopeutumisen sekä biodiversiteettivaikutusten arviointi....	72
7.2.4 Kustannusarviointi	73
7.2.5 Suositukset.....	73
8 Hankkeen suositukset maankäyttösektorin ilmastosuunnitelmaan	74
9 Arviointikehikko ja suunnitelman toimeenpanoprosessi.....	79
Kirjallisuusluettelo	80
Liitteet	88
LIITE 1: Kirjallisuuskatsauksen hakutermit sekä saadut osumat.....	88
LIITE 2: Haastattelurunko.....	90
LIITE 3: Harvennusrajat 2019 vs 2024	91
LIITE 4: Skenaariot	95
LIITE 5: Muut toimenpiteet.....	96

Tiivistelmä

Tämä hanke toteutettiin Maa- ja metsätalousministeriön toimeksiannosta tukemaan maankäyttösektorin ilmastosuunnitelman (MISU) väliarviointia. Hankkeen tavoitteena oli arvioida suunnitelman ajantasaisuutta muuttuvassa toimintaympäristössä, tunnistaa toimenpiteiden jalkautuksen keskeiset haasteet ja ristikkäisvaikutukset sekä tuottaa suosituksia, joiden avulla maankäyttösektorin lisäinen $-3 \text{ Mt CO}_2 \text{ ekv./v}$ (hiilidioksidiekvivalenttia) ilmastohyöty voidaan saavuttaa vuoteen 2035 mennessä perusskenaarioon (PEIKKO WEM-P 2024) verrattuna. Tulokset perustuvat neljän menetelmäosion synteysiin: kirjallisuuskatsaukseen, asiantuntijahaastatteluihin, osallistaviin työpajoihin, sekä kevytmallinnukseen. Hankkeen suositukset painottavat olemassa olevien toimenpiteiden tehostamista, eivätkä niinkään täysin uusia toimenpiteitä. Asiantuntijoiden mukaan MISU:n toimenpiteet ovat sisällöllisesti toimivia ja ajantasaisia. Toimenpiteiden jalkautuksessa on kuitenkin haasteita, esimerkiksi maanomistajien vakiintuneet toimintatavat, pelko tulojen tai tukien menetyksestä sekä puutteellinen tieto toimenpiteiden hyödyistä. Kirjallisuuskatsauksen perusteella MISU:n alkuperäiset ilmastovaikutusarviot ovat realistisia. Toimintaympäristön muutokset, mukaan lukien kuusettumisen myötä lisääntyvät kirjanpainajatuhot, maatuulivoiman ja aurinkovoimaloiden kasvava rakentaminen metsämaalle sekä turvemaiden kuivuminen voivat heikentää hiilinieluja $+1,1$ – $+1,7 \text{ Mt CO}_2 \text{ ekv./v}$ perusskenaarioon verrattuna. Tekoöly- ja satelliittipohjaiset seurantajärjestelmät tuhojen ennakkointiin, sekapuustoisuuden lisääminen, lehtipuuosuuden sekä suojelualueiden kasvattaminen sekä Tapion uusien metsänhoidon suositusten jalkauttaminen voivat vahvistaa metsien resilienssiä ja hiilivarastoja. Turvemaiden ja turvepeltojen vedenpinnan nosto, vettäminen ja kosteikkoviljely joutoalueiden metsityksen kanssa tarjoavat merkittävää lisäpotentiaalia ilmastovaikutuksiin, mikäli kuolinpesiä saataisiin aktivoitua ja asiantuntijapalveluja lisättyä. Turvemaiden vesitalouden hallinta tukee myös kosteikkolajien palautumista. Typpi- ja tuhkalannoitusten lisääminen voisi edelleen kasvattaa nieluja, jos pullonkauloja kuten jakeluverkostoa kehitetään. Pitkäikäisten puutuotteiden osuutta voidaan lisätä markkinaehtoisin innovoinnin kautta sekä uudis- ja korjausrakentamisessa hiiliraja-arvoja madaltamalla nykyisestä, samalla tukien lehtipuupohjaisten tuotteiden kehitystä ja sekametsäisyyden vahvistamista. Myös toimenpiteiden synergioita voidaan hyödyntää, esimerkiksi liittämällä tuhkalannoituksen tuki rehevien turvemaiden kunnostusojituksesta pidättäytymiseen, jolloin saavutetaan samanaikaisesti ilmasto-, vesi- ja maaperähyötyjä. Rakennettuun ympäristöön kohdistuvassa maankäytön muutoksessa tulisi edellyttää ilmastohaittojen ja biodiversiteettivaikutusten ehkäisemistä kaavoituksen ja aluesuunnittelun kautta. MISU-toimenpiteiden onnistunut laajentaminen ja jalkauttaminen yhdessä muiden linkittyvien strategioiden kanssa, sekä eri sektorien yhteistyötä tukemalla, voi tuottaa -3 – $-4 \text{ Mt CO}_2 \text{ ekv./v}$ lisäistä ilmastohyötyä vuoteen 2035 mennessä.

Abstract

This project was carried out on behalf of the Ministry of Agriculture and Forestry to support the interim evaluation of the Land-Use Sector Climate Plan (MISU). The aim of the project was to assess the plan's relevance in a changing operating environment, to identify key challenges and cross-impacts in the implementation of measures, and to produce recommendations through which the additional $-3 \text{ Mt CO}_2 \text{ eq./year}$ climate benefit for the land-use sector can be achieved by 2035 compared to the baseline scenario (PEIKKO WEM-P 2024). The results are based on a synthesis of four methodological components: a literature review, expert interviews, participatory workshops, and lightweight modelling. The project's recommendations emphasise strengthening existing measures rather than introducing entirely new ones. According to experts, MISU's measures are functionally sound and up to date. However, there are challenges in implementation, such as landowners' established practices, fear of income or subsidy losses, and insufficient information about the benefits of the measures. Based on the literature review, MISU's original climate impact estimates are realistic. Changes in the operating environment, including increasing spruce bark beetle damage due to continued spruce dominance, the growing construction of onshore wind power and solar power plants on forest land, and the drying of peat soils, may weaken carbon sinks by $+1.1$ – $+1.7 \text{ Mt CO}_2 \text{ eq./year}$ compared to the baseline scenario. AI- and satellite-based monitoring systems for predicting damage, increasing mixed-species stands, increasing the share of deciduous trees and protected areas, and the implementation of Tapio's new forest management recommendations can strengthen forest resilience and carbon stocks. Raising the water table on peatlands and agricultural peatlands, rewetting and paludiculture, together with the afforestation of unutilized lands, offer significant additional climate potential if undivided estates can be activated and advisory services increased. Managing the water balance of peatlands also supports the recovery of wetland species. Increasing nitrogen and ash fertilisation could further enhance sinks if bottlenecks such as distribution networks are developed. The share of long-lived wood products can be increased through market-based innovation and by lowering carbon thresholds in new construction and renovation, while supporting the development of hardwood-based products and strengthening mixed-species forests. Synergies between measures can also be utilised, for example by linking the subsidy for ash fertilisation to refraining from ditch network maintenance on fertile peat soils, thereby achieving simultaneous climate, water and soil benefits. In land-use change towards built environments, the prevention of climate impacts and biodiversity loss should be required through zoning and spatial planning. Successful scaling and implementation of MISU measures, together with other linked strategies and by supporting cross-sectoral cooperation, can deliver -3 to $-4 \text{ Mt CO}_2 \text{ eq./year}$ of additional climate benefit by 2035.

Sammanfattning

Detta projekt genomfördes på uppdrag av Jord- och skogsbruksministeriet för att stödja halvtidsutvärderingen av klimatplanen för markanvändningssektorn (MISU). Projektets mål var att bedöma planens aktualitet i en föränderlig verksamhetsmiljö, identifiera centrala utmaningar och korsverkande effekter i genomförandet av åtgärderna samt ta fram rekommendationer som gör det möjligt att uppnå markanvändningssektorns ytterligare klimatnytta på $-3 \text{ Mt CO}_2 \text{ ekv./år}$ (koldioxidekvivalenter) fram till år 2035 jämfört med basscenariot (PEIKKO WEM-P 2024). Resultaten baserar sig på en syntes av fyra metoddelar: en litteraturöversikt, expertintervjuer, deltagande workshopar samt lätt modellering. Projektets rekommendationer betonar förstärkning av befintliga åtgärder snarare än helt nya åtgärder. Enligt experterna är MISU:s åtgärder innehållsmässigt fungerande och aktuella. Det finns dock utmaningar i genomförandet av åtgärderna, såsom markägarnas etablerade praxis, rädsla för inkomst- eller stöd-förluster samt bristande information om åtgärdernas nytta. Baserat på litteraturöversikten är MISU:s ursprungliga klimatpåverkansbedömningar realistiska. Förändringar i verksamhetsmiljön, inklusive ökade skadeangrepp av granbarkborren till följd av fortsatt granisering, den ökande byggnationen av landbaserad vindkraft och solkraft på skogsmark samt torvmarks uttorkning, kan försvaga kolsänkorna med $+1,1$ – $+1,7 \text{ Mt CO}_2 \text{ ekv./år}$ jämfört med basscenariot. AI- och satellitbaserade övervakningssystem för skadeprognoser, ökad andel blandskog, en större andel lövträd och fler skyddade områden samt implementeringen av Tapios nya skogsvårdsrekommendationer kan stärka skogarnas resiliens och kolförråd. Höjning av vattennivån på torvmarker och åkrar på torvjord, återvätning och paludikultur, tillsammans med beskogning av outnyttjade marker, erbjuder betydande ytterligare klimatpotential om oskiftade dödsbon kan aktiveras och rådgivningstjänster ökas. Hantering av torvmarkernas vattenbalans stöder också återkomsten av våtmarksarter. Att öka användningen av kväve- och askgödsling kan ytterligare förstärka sänkorna, om flaskhalsar såsom distributionsnät utvecklas. Andelen långlivade träprodukter kan ökas genom marknadsdriven innovation samt genom att sänka koldioxidgränsvärdena i både nybyggnation och renovering, samtidigt som utvecklingen av lövträbaserade produkter och stärkandet av blandskog främjas. Synergier mellan åtgärderna kan också utnyttjas, till exempel genom att koppla stödet för askgödsling till att avstå från skyddsdikning på bördiga torvmarker, vilket samtidigt ger klimat-, vatten- och markfördelar. Vid markanvändningsförändring mot bebyggd miljö bör förebyggande av klimatpåverkan och biodiversitetsförluster krävas genom planläggning och områdesplanering. En framgångsrik utvidgning och implementering av MISU-åtgärderna, tillsammans med andra relaterade strategier och genom att stödja samarbete mellan sektorer, kan ge en ytterligare klimatnytta på -3 till $-4 \text{ Mt CO}_2 \text{ ekv./år}$ fram till år 2035.

1 Johdanto

Maankäyttösektorin ilmastosuunnitelma (MISU) julkaistiin vuonna 2022 tavoitteena edistää maankäytön, metsätalouden ja maatalouden päästöjen vähentämistä, nielujen aikaansaamien poistumien vahvistamista sekä sopeutumista ilmastonmuutokseen. Tilanne- ja tulevaisuuskuvat ovat kuitenkin muuttuneet suunnitelman laatimisen jälkeen. PEIKKO-hankkeessa (Perusskenaariot energia- ja ilmastotoimien kokonaisuudelle kohti päästöttömyyttä) laadittiin WEM-skenaarioita (With Existing Measures) MISU-toimenpiteiden vaikutusten arvioimiseksi 2024. KEITO- hankkeessa (luonnos julkaistu 1.7.2025) WEM-P skenaariota on päivitetty, ja maankäyttösektori olisi tämän mukaan +15,8Mt CO₂-ekv. päästölähde vuonna 2035. Maankäyttösektorin keskeisiä muutostekijöitä ovat mm. puun tuonnin ja metsäteollisuuden tuotantokapasiteetin vaihtelut sekä metsien kasvun hidastuminen. Puun rooli on myös kasvanut energiantuotannossa Venäjän haketuonnin romahdettua, joka on entisestään tuonut lisännyt hakkuutarvetta kotimaan metsistä.

BDO Oy on toteuttanut maankäyttösektorin ilmastosuunnitelman arvioinnin tueksi toteutetun selvityksen vuoden 2025 aikana ja tähän raporttiin on tiivistetty arvioinnin prosessi, käytetyt menetelmät ja lopputulokset ja suositukset, joilla MISU voi saavuttaa lisäistä vuosittaista ilmastohyötyä -3 Mt CO₂ ekv. (ekvivalenttia) vuoteen 2035 mennessä. Raportin tulokset toimivat tukiaineistona maa- ja metsätalousministeriön laatiessa ilmastolain mukaista väliarviointia.

1.1 Hankkeet tavoitteet

Tämän hankkeen tavoitteena on arvioida maankäyttösektorin ilmastosuunnitelman ajantasaisuutta muuttuvassa toimintaympäristössä, tuottaa suositukset sen päivittämiseksi sekä rakentaa seurantakehikko, jolla tavoitteiden toteutumisen seuranta parannetaan.

Hanke vastaa Maa- ja metsätalousministeriön toimeksiannossa määriteltuihin seuraaviin kysymyksiin:

- A. Maankäyttösektorin ilmastosuunnitelman toimenpiteiden vaikuttavuus mittaluokittain huomioiden päivitykset PEIKKO-WEM-skenaarioiden tausta- ja laskentaoletuksiin.
- B. 1) Toimintaympäristön muutokset ja skenaarioiden päivitetty todennäköiset kehityspolut verrattuna maankäyttösektorin ilmastosuunnitelman laadinnan aikaisiin oletuksiin.

2) Maankäyttösektorin ilmastosuunnitelman toimenpiteiden toteuttamisen ja seurannan haasteet sekä odottamattomat ristikkäisvaikutukset, ja toimenpiteiden riittävyys tavoiteltujen vaikutuksien saavuttamiseksi vuoteen 2035 mennessä.

i) Maankäyttösektorin ilmastosuunnitelman toimenpiteiden päivitys tavoitteiden saavuttamiseksi ja näiden päivitysten nettokustannus huomioiden

skenaariopolkujen taustaoletukset.

ii) Uusien suositusten mallinnettujen ilmastovaikutusten tuki päätelmille ja mahdollinen suunnitelman optimointi tavoitellun vaikutuksen saavuttamiseksi.

3) Työn tuloksien perusteella annettavat suositukset, niiden konkreettinen toteuttaminen ja seuranta, sekä suositusten vaikutus ilmastonmuutokseen sopeutumiseen ja luonnon monimuotoisuuteen.

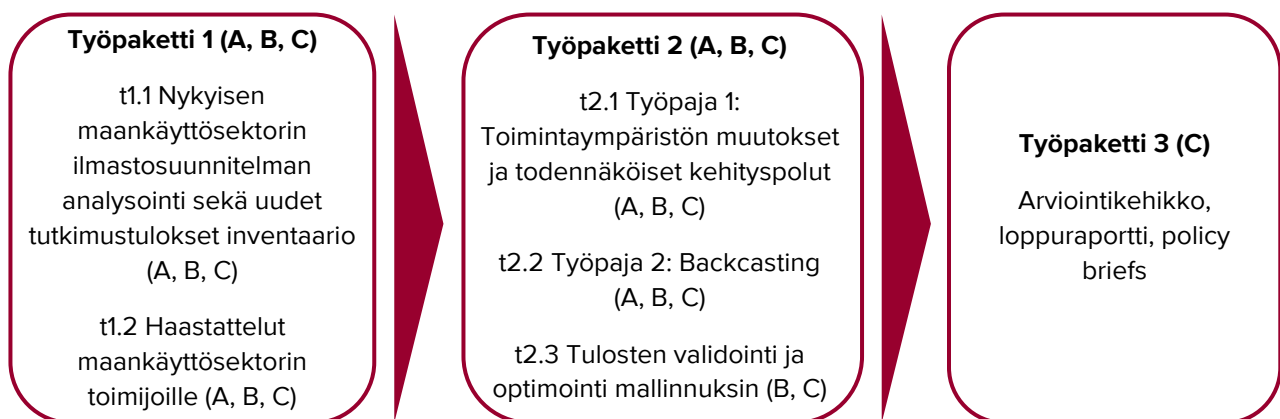
4) Arvio siitä miten maankäyttösektorin kasvihuonekaasujen päästö- ja poistumatietoja sekä yksittäisten toimenpiteiden vaikuttavuutta voisi seurata tarkemmin kustannustehokkaasti.

C. Ilmastosuunnitelmien tulevaisuuden arviointeja helpottavan ja parantavan arviointikehikon kehittäminen ja kuvaus.

2 Arviointimenetelmät ja tulosten luotettavuuteen vaikuttavat tekijät

2.1 Hankkeen kuvaus

Hanke koostui kolmesta työpaketista. Ensimmäinen työpaketti koostui nykyisen maankäyttösektorin ilmastosuunnitelman toimenpiteiden arvioinnista, joka jakautui kirjallisuuskatsaukseen, jossa analysoitiin uusinta tutkimustietoa toimenpiteiden vaikutuksista, sekä maankäyttösektorin toimijoiden sekä muiden asiantuntijoiden kuten tutkijoiden, politiikka-asiantuntijoiden sekä intressijärjestöjen edustajien asiantuntijahaastatteluihin, joiden avulla arvioitiin toimenpiteiden toteutuksen onnistumista ja toimintaympäristön haasteita. Toinen työpaketti koostui kahdesta työpajasta, joissa ensimmäisessä maankäyttösektorin asiantuntijapaneeli arvioi toimintaympäristön muutoksia ja mahdollisia tulevaisuuden kehityspolkuja, ja toisessa paneeli arvioi välitavoitteita sekä toimenpiteitä ja niiden jalkauttamiskeinoja, joilla saavutettaisiin ilmastosuunnitelman vaatimat tavoitteet pitäen samalla huolta ilmastomuutokseen sopeutumisesta sekä biodiversiteetistä. Suositeltujen toimenpiteiden vaikutuksien mittaluokan lisäselvitykseksi toteutimme myös kevytmallinnuksen, jossa vertailimme olosuhdemuutosten sekä malleihin soveltuvien suositeltujen toimenpidemuutosten vaikutusta skenaarioihin. Kolmannessa työpaketissa luotiin hankkeen löydösten perusteella maankäyttösektorin ilmastotoimia koskeva arviointikehikko sekä tuotettiin tämä loppuraportti.



Kuva 1. Hankkeen kuvaus työpaketeittain.

2.2 Nykytilan arviointi

Nykytilanteen arvioinnin ensimmäisessä osassa tarkastelimme maankäyttösektorin ilmastosuunnitelman toimenpiteitä ja niiden vaikutuksia kirjallisuuskatsauksen perusteella. Vertailuaineisto koostui MISU-toimenpiteiden, sekä skenaario-oletusten aineistosta (PEIKKO-hankkeen WEM-P skenaario, 2024). Hankkeen aikana julkaistun KEITO WEM-P skenaarion päivitettyjä tuloksia peilattiin myös maankäytönmuutoksiin kappaleessa 4.1. Vertasimme toimenpidekohtaista aineistoa (seurantatietoja pinta-alojen ja näiden

ilmastovaikutusten osalta) tutkimuksista saatuun aineistoon, joissa oli arvioitu erilaisia maankäyttösektorin toimenpiteitä sekä niiden vaikutuksia erilaisissa skenaarioissa.

2.3 Kirjallisuuskatsaus

Ensimmäisessä työpaketissa suoritettiin kirjallisuuskatsaus, jonka tavoitteena oli koota ja arvioida tietoa olemassa olevista MISU-toimenpiteistä sekä tunnistaa uusia maankäyttösektorin ilmastovaikutusta vahvistavia toimenpiteitä. Katsauksessa tarkasteltiin lisäksi toimenpiteiden vaikutuksia ilmastomuutokseen sopeutumiseen, biodiversiteettiin ja kustannuksiin.

Katsaus toteutettiin systemaattisen kirjallisuuskatsauksen periaatteita soveltaen (Xiao & Watson, 2017; Mengist ym., 2020), ja sitä täydennettiin manuaalisilla hauilla aineistossa heikosti edustettujen toimenpiteiden osalta. Tietokantana käytettiin Elsevierin Scopusta, ja hakujen suunnittelu, hakusanat ja tulosten määrät on esitetty liitteessä 1.

Katsaus rajattiin vuonna 2015 tai sen jälkeen julkaistuihin vertaisarvioituihin artikkeleihin, ja haku kohdistettiin artikkeleiden otsikoihin, tiivistelmiin ja avainsanoihin. Ensimmäisessä vaiheessa haut kohdistuivat Pohjoismaihin maankäyttöön ja metsiin liittyviin teemoihin käyttäen hakusanoja forest, land use ja land use change. Toisessa vaiheessa hakua laajennettiin kattamaan myös muut maankäyttötyypit (peatland, grassland, wetland) sekä maankäytön ja biodiversiteetin välisiä suhteita (biodiversity). Ensimmäinen haku tuotti yhteensä 3839 tulosta. Toisessa hakukierroksessa keskityttiin ainoastaan Suomea käsitteleviin artikkeleihin. Tulokset rajattiin aihealueisiin Environmental Science sekä Agricultural and Biological Sciences, ja julkaisuajankohta rajattiin vuosille 2020–2025. Keskeisiä hakusanoja olivat land use change, forest, peatland, grassland, wetland ja biodiversity. Termi cropland jätettiin pois, koska sen käyttö tuotti paljon maanviljelyn prosessipäästöihin keskittyviä tuloksia. Viljelysmaita kuitenkin sisällytettiin aineistoon niiltä osin, kuin tulokset liittyivät toimenpiteiden ilmastovaikutuksiin, ja tätä täydennettiin manuaalisilla täsmähauilla. Samoin harvested wood products -kirjallisuutta haettiin erikseen, sillä yksikötason tulokset vaihtelevat suuresti puutuoteportfolion mukaan.

Lopullinen kirjallisuusaineisto sisälsi 529 artikkelia, jotka käytiin manuaalisesti läpi abstraktitasolla. Näistä 81 arvioitiin olennaisiksi Suomen maankäyttösektorin ilmastovaikutusten tarkasteluun. Artikkeleista 43 käsitteli MISU-toimenpiteitä, 48 uusia potentiaalisia toimenpiteitä, 19 biodiversiteettivaikutuksia, 8 sopeutumisvaikutuksia ja 8 kustannusvaikutuksia (osa artikkeleista kattoi useampia teemoja). Näistä lopulliseen toimenpiteiden ilmastovaikutusten arviointiin soveltui 54 artikkelia, joita hyödynnettiin kappaleessa 7 esitettävässä toimenpidekohtaisessa analyysissä.

2.4 Haastattelut

Osana taustatutkimusta suoritimme 22 asiantuntijahaastattelua. Haastattelut pidettiin 26.5.-4.7.2025 ja tulokset ovat pseudonymisoitu. Alempana Taulukossa 1 on esitetty haastateltavat sekä luokiteltu heidät ”sektorin” ja yleisesti taustaorganisaation mukaan.

Kullekin haastateltavalle on osoitettu tunnusnumero, jolla viitataan haastattelusta saatuun tietoon myöhemmin raportissa.

Haastatteluissa maankäyttösektorin olennaisia sidosryhmiä edustavilta asiantuntijoilta kysyttiin toimenpiteiden vaikuttavuudesta, sekä toimintaympäristössä tapahtuneista olennaisista muutoksista, jotka nyt ja jatkossa vaikuttavat toimenpiteisiin sekä niiden vaikuttavuuteen. Haastatteluissa myös selvitettiin, kuinka aineiston saatavuutta voitaisiin tehostaa kustannustehokkaasti ja näin parantaa toimenpiteiden vaikuttavuuden seurantaa selkeiden indikaattoreiden avulla.

Haastattelun runko on tämän dokumentin lopussa kappaleen ”Liitteet” alla.

Taulukko 1. Haastateltavat asiantuntijat juoksevilla numeroinnilla. Maatalous- ja metsäala ovat asiantuntijamatriisin pääkohde, jossa jokaisella rivillä tuli olla vähintään yksi asiantuntija. Energiasektorin ja ympäristöalan asiantuntijahaastattelut toimivat kokonaisuutta tukevinä.

	Maatalous	Metsäala	Energiasektori	Ympäristö
Toimijat	11	8, 15, 20, 22	14	
Intressijärjestöt	3	2, 16, 18	13	6, 9
Viranomaistahot	7, 17	12, 17		
Tutkijat/muut asiantuntijat	4, 9, 21	1, 5, 10, 19	19	

2.5 Työpajat

Työpajoihin muodostettiin asiantuntijapaneeli kattamaan maankäyttösektorin eri osa-alueet, samalla periaatteella kuin asiantuntijahaastatteluissa. Osa osallistujista oli aiemmin haastateltuja maankäyttösektorin toimijoita, ja maankäyttösektorin ulkopuolisia asiantuntijoita. Molemmissa työpajoissa käytettiin Ketso-työkalua, joka mahdollistaa osallistujien tasavertaisen osallistumisen ja varmistaa, että kaikki näkemykset tulevat esiin riippumatta kannatuksen jakautumisesta (McIntosh & Cockburn-Wooten, 2016).

Ensimmäisessä työpajassa keskityttiin toimintaympäristön muutoksiin ja todennäköisiin kehityspolkuihin keskipitkällä (2035) ja pitkällä (2050) aikavälillä. Asiantuntijapaneelin avulla arvioitiin eri osa-alueiden – kuten maankäytön, maatalouden ja metsänhoidon (puulajijakaumat, käyttömuodot), markkinakehityksen sekä puupohjaisten tuotteiden portfolion – kehityskulkuja ja niiden todennäköisyyksiä syy-seuraussuhteisiin keskittyen. Osallistujina oli metsäalan intressijärjestöjen edustajia (2 henk.), metsäalan toimijoita (4 henk.), maatalouden toimijoita (1 henk.), maatalouden intressijärjestöjen edustajia (1 henk.), energiasektorin intressijärjestöjen edustajia (1 henk.), luonto- ja ympäristöjärjestöjen edustajia (2 henk.) sekä muita asiantuntijoita ja viranomaisia (1 henk.).

Toinen työpaja keskittyi maankäyttösektorin toimenpiteiden vuosittaiseen ilmastohyötytavoitteeseen, joka on vähintään –3 Mt CO₂-ekv. vuoteen 2035 mennessä. Backcasting-menetelmää käytetään erityisesti ympäristö- ja kehityspolitiikan pitkän aikavälin tarkasteluissa. Sen lähtökohtana ei ole todennäköisin tulevaisuus, vaan haluttu

tulevaisuuden tila – ja menetelmä etenee tästä päämäärästä vaiheittain taaksepäin nykyhetkeen tunnistuen tarvittavat toimenpiteet ja politiikkatoimet (Robinson, 1990).

Backcasting-menetelmää hyödyntäen arvioitiin tarvittavat toimet vuodesta 2035 taaksepäin nykyhetkeen, tunnistuen ne välivaiheet, joilla tavoite voidaan saavuttaa. Työpaja jakaantui kahteen osioon: i) nykyisen ilmastosuunnitelman päivitystarpeisiin suhteessa todennäköisiin kehityskulkuihin sekä ii) toimenpiteiden nettokustannusten, sopeutumisvaikutusten ja biodiversiteettivaikutusten arviointiin. Osallistujina oli metsäalan intressijärjestöjen edustajia (1 henk.), metsäalan toimijoita (2), maatalouden toimijoita (1 henk.), maatalouden intressijärjestön edustaja (1 henk.), energiasektorin intressijärjestön edustaja (1 henk.), luonto- ja ympäristöjärjestön edustaja (1 henk.) sekä muita asiantuntijoita ja viranomaisia (1 henk.).

Työpajojen tuotoksena saatiin i) kuva nykyisestä toimintaympäristöstä ja ilmastosuunnitelman toimenpiteiden toimeenpanon haasteista, ii) arvio todennäköisimmistä maankäyttösektorin kehityspoluista suhteessa PEIKKO-WEM-arvioihin vuoteen 2035, sekä iii) suunnitelma aikajärjestyksessä, joka sisältää välitavoitteet ja toimenpiteet ilmastosuunnitelman tavoitteiden saavuttamiseksi sekä arvion niiden nettokustannuksista, sopeutumisvaikutuksista ja biodiversiteettivaikutuksista.

2.6 Suositusten riittävyyden arviointi kevytmallinnuksella

2.6.1 Kevennetty metsämallinnus

Hankkeessa kehitettiin kevennetty metsämallinnusversio, joka simuloi puuston kehitystä Suomen metsämailla ajan yli annetun lähtöinventaarion, rajoitteiden ja metsänhoitokomentojen perusteella. Malli ei huomioi maaperän hiilivarastojen kehitystä. Malli toteutettiin Python-ympäristössä, ja sen modulaarinen rakenne mahdollistaa erilaisten skenaarioiden tarkastelun muokkaamalla kasvuparametreja, harvennusrajoja, metsäpinta-aloja ja lähtövolyymeja. Simulaatioiden tulosteet toteutettiin viiden vuoden jaksoissa (2025–2040).

Puuston ikäluokkakohtainen kasvu saatiin EFISCEN-inventaariosta (Pussinen ym. 2001; Schelhaas ym. 2007; Verkerk ym. 2016) ja kertoimet muokattiin vastaamaan PEIKKO WEM-P-skenaariota (Koljonen ym. 2024). EFISCEN-inventaaridata yleistettiin koko Suomen tasolle aggregoimalla tulokset puulajeittain sekä kivennäis- ja turvemaiden osalta. Mallissa käytettiin kahdeksaa puulaji–maaperä-paria (mänty, kuusi, koivu ja muut lehtipuut kivennäis- ja turvemaidella), joille laskettiin kokonaispinta-ala, pinta-alalla painotettu tilavuus, hehtaarikohtainen kasvu ja kokonaisvolyyymi. Luonnonpoistuma arvioitiin EFISCENin oletusarvosta (2 % viiden vuoden jaksolla; Schelhaas ym. 2007), mutta tässä mallissa poistumaa alennettiin yhteen prosenttiin, koska alkuperäinen oletus tuotti yksinkertaistetussa laskennassa liian suuren poistuman verrattuna WEM-P-skenaariota tuloksiin (Koljonen ym. 2024).

Harvennusten ajoitus ja voimakkuus perustuivat perusskenaariossa aiempiin (Äijälä ym. 2019), ja uusissa skenaarioissa päivitettyihin Tapion Metsänhoidon suosituksiin (2024) (ks

Liite 3). Niissä määriteltiin puulajeittain ja kasvupaikkatyypeittäin harvennuskynnykset ja tavoitetiheydet. Mallissa tarkistettiin, ylittääkö ikäluokan keskimääräinen puuston tilavuus annetun rajan; jos ylitys esiintyi, puustosta poistettiin suositusten mukainen osuus. Harvennukset kohdistettiin vain tuotantometsiin – suojelualueilla ei tehty harvennuksia eikä uudistushakkuita. Ikäluokkasiirtymät toteutettiin siten, että neljännes pinta-alasta siirtyi viiden vuoden välein seuraavaan ikäluokkaan (esim. 21–40 vuosiluokat → 41–60 vuosiluokat), oletuksella, että puusto on jakautunut tasaisesti ikäluokan sisällä. Vanhemmissa ikäluokissa siirtymä jaettiin uudistushakkuihin (85 % pinta-alasta) ja kasvatuksen jatkamiseen (15 %), mikä mahdollisti sekä uudistushakkuut että säästöpuiden ja vanhojen metsien säilyttämisen. Uudistusaloilla lähtövolyyymi asetettiin nuorimman ikäluokan tasolle. Suojelualueet käsiteltiin mallissa erillisenä kokonaisuutena. Niihin ei kohdistettu hakkuita, ja uusissa skenaarioissa 4,5 miljoonaa hehtaaria luokiteltiin suojeluun. Pinta-ala painotettiin vanhempiin ikäluokkiin ja turvemaille. Suojelualueilla laskettiin kasvu ja luonnonpoistuma, mutta harvennuksia tai uudistushakkuita ei toteutettu.

Tuloksina saatiin viiden vuoden simulaatioperiodin välein ikäluokkakohtainen inventaario, joka sisälsi pinta-alan, keskimääräisen puuston tilavuuden, kokonaisvolyymin ja hiilivaraston. Poistumat määriteltiin kahtena suurena: kokonaispoistuma (sisältäen harvennukset ja uudistushakkuut) sekä luonnonpoistuma.

Toimintaympäristön muutoksien mallinnus

Skenaariossa muokattiin WEM-P-oletuksia siten, että huomioimme hankkeen havainnot maankäytön muutoksista sekä jalostetun taimiaineksen käytön vaikutuksista. Ensinnäkin oletettiin, että vuoteen 2035 saakka metsämaata poistuu pääosin maatuulivoiman rakentamisen myötä 1420 hehtaaria vuodessa enemmän rakennetuksi maaksi kuin perusskenaariossa (PEIKKO WEM-P:ssä). Maankäytön muutosten vaikutus mallinnettiin vain kivennäismailla. Toiseksi oletettiin, että jalostetun siemen- ja taimiaineksen käyttö, joka on jo nyt yleistynyt etenkin Etelä- ja Keski-Suomessa, näkyy puuston lisääntyneenä kasvuna. Mallissa oletettiin, että ensimmäisen sukupolven siemenviljelyaineksen vaikutus näkyy kasvukertoimissa vuonna 2030, ja 1,5. sukupolven aineksen vaikutus vuodesta 2035 eteenpäin. Kasvuetu mallinnettiin vain kivennäismaalle puutteellisen tutkimustiedon vuoksi. Männylle oletimme 10-40v ikäluokkiin keskimäärin 22,5 % kasvuetua, kuuselle 27,5 % sekä koivulle 16 %.

Uusien toimenpiteiden vaikutus muuttuvassa toimintaympäristössä

Toisessa skenaariossa lisäsimme toimintaympäristön muutosten lisäksi uusien toimenpiteiden tuomia kasvuvaikutuksia sekä muutoksia maankäyttöön. Oletimme, että tuhkalannoituksen levitystä turvemaille lisätään 30 000 hehtaarilla vuodessa vuoteen 2035 asti (lisäisesti oletukseen, että sitä jo lisätään noin 30 000 ha/a perusskenaariossa), sekä että typpilannoitusta lisätään 30 000 hehtaarilla vuodessa kivennäismailla ensiharvennukseen soveltuvilla alueilla vuoteen 2035 asti (lisäisesti oletukseen, että sitä jo lisätään noin 30 000 ha/a perusskenaariossa). Lisäkasvu toteutettiin kasvattamalla mallin tilavuuskasvukertoimia.

Tuhkalannoituksen oletettiin tuottavan yhteensä 0,3 % vuotuisen kasvulisäyksen ikäluokissa 25–60, ja vastaavasti typpilannoituksen oletettiin tuottavan 0,5 % vuotuisen kasvulisäyksen ikäluokissa 30–60 (jalostetun taimiaineksen tuoman kasvulisäyksen päälle). Oletukset perustuivat Lehtonen ym. (2021) skenaarioarvioihin, ja ne laskettiin suhteuttamalla kasvulisäys koko Suomen metsien kokonaiskasvuun prosentuaalisen kasvun tarkastelemiseksi ja muokkaamalla soveltuvien ikäluokkien tilavuuskasvukertoimia. Yleistyket perustuivat siihen, että turvemaiden tuhkalannoituksen oletettiin näillä määrillä tuottavan 0,52 Mm³ ja kangasmaiden typpilannoituksen 0,27 Mm³ lisäistä puuston kasvua aikavälillä 2021–2035 (Lehtonen ym. 2021).

Oletimme myös lehtipuuston osuuden kasvavan. Koivulle oletettiin hehtaarimääräisesti kasvua valtapuuna 20 % sekä kivennäis- että turvemailla, ja muille lehtipuille 5 % hehtaarimääräistä kasvua. Vastaavasti vähensimme kuusivaltaisia kivennäismaita vastaavan määrän. Lisäksi oletimme, että suojelualueiden määrä kasvaa 5 % jokaisella tarkasteluperiodilla, mikä tarkoittaa, että suojellun metsämaan kokonaisala on tässä skenaariossa suurempi kuin WEM-P-skenaariossa (jossa suojeltujen alueiden määrä ei kasvanut ajan yli). Tämä vaikuttaa sekä hakkuupotentiaaliin että kokonaistilavuuden kehitykseen.

Tapion uusien metsänhoitosuosittelujen osalta oletettiin, että harvennuksia tehdään harvemmin ja myöhemmässä vaiheessa kuin aiemmin (ensiharvennuksen ja jatkoharvennuksen raja-arvot ovat nousseet, poistumat pienentyneet ja tavoitetiheys korkeampi). Tämä vähentää hakkuukertymiä keski-ikäisissä metsissä, mutta lisää pitkällä aikavälillä tukkisaantoa. Oletimme kuitenkin, että tukki–kuitujakaumat pysyvät samoina kuin perusskenaariossa (WEM-P), paitsi vuodesta 2035–2040, jolloin lehtipuustossa on oletettu saannon jakautuvan 50 % tukkipuuhun ja 50 % kuitupuuhun.

2.6.2 Puuvirtamallinnus ja puutuotteiden hiilivarasto

Puuvirtamallinnuksessa käytettiin mallia (esim. Kunttu ym. 2021), joka perustuu kolmeen osaan: i) primäärysten puuvirtojen kohdentuminen ensisijaisesti teollisuudenaloihin, ii) sivutuotteiden kohdentuminen energia- ja materiaalikäyttöön sekä iii) puuperäisten lopputuotteiden kohdentuminen eri loppukäyttöihin. Referenssiskenaariona on käytetty PEIKKO-hankkeen WEM-P-skenaariota, jonka puuntuotannon ja metsäpohjaisen tuotannon luvut on sovellettu LUKE:n tilastoihin (SVT: Luonnonvarakeskus, Hakkuukertymä ja puuston poistuma).

Puuvirtamallin välituotteiden määreet (tC) toimii syötteenä hiilivaraston muutoksen laskentaan. Tässä työssä on yksinkertaistettu laskentaa olettamalla historiallinen varasto nollassi, jolloin voidaan vertailla vain skenaarioiden suhteellisia muutoksia WEM-P:hen. Hiilivaraston muutoksen arvioinnissa käytettiin IPCC:n stock change -lähestymistapaa (IPCC 2006, 2019 Refinement). Poistumat mallinnettiin ensimmäisen kertaluokan hajoamismallilla (First Order Decay, FOD), jossa tuotteille on määritelty keskimääräiset käyttöiät (sahatavara 35 vuotta, puulevyt 25 vuotta, paperi ja kartonki 2 vuotta).

WEM-P (teknosysteemi)

WEM-P perusskenaario perustuu metsätilastollisen vuosikirjan (2022) muuntokertoimilla laskettuun hakkuukertymään, joka on muunnettu tonneiksi ja kohdennettu eri tuotantoketjuihin. Tuontipuun määrät on otettu vuoden 2021 tasolta, ja ne on jaettu tukkipuuhun ja kuitupuuhun eritellysti. Mekaanisen teollisuuden osalta on huomioitu saha-, levy- ja vaneriteollisuuden osuudet kokonaistuotannosta, ja selluntuotannon osuus on laskettu jäljelle jäävän raaka-aineen perusteella. Koska malli laskee vain kotimaiseen puuhun perustuvan tuotannon, jakaumat on sovellettu olettaen, että osa erityisesti sellun ja massan tuotannosta katetaan tuontipuulla (tuontipuuta ei huomioida laskelmissa, mutta se on osana kokonaistuotantoa, johon tuotantomääriä on peilattu oikean jakauman saamiseksi).

Toimintaympäristön muutokset (teknosysteemi)

Toimintaympäristön muutoksien mallinnuksessa on käytetty samoja perusperiaatteita kuin WEM-P:ssä, mutta tuotantojakaumaan ja allokaatioihin on tehty erillisiä muutoksia. Sahatuotteet asetettu asiantuntijoiden arvioiden mukaisesti 12M m^3 vuonna 2030 ($0,5\text{M m}^3$ vähemmän kuin perusskenaariossa), mutta kasvamaan taas $12,5\text{M m}^3$:iin vuonna 2035. Perusskenaariossa tuotanto pysyy $12,5\text{M m}^3$ ajan yli. Vaneri sis. Laminated Veneer Lumber (LVL) ym. oletettu $1,5\text{M m}^3$ vuonna 2030 (sama kuin perusskenaario WEM-P), mutta asetettu kasvamaan $1,75\text{M m}^3$ tuotantoon vuodesta 2035 eteenpäin. Vuoteen 2050 mennessä polttoon ohjautuvan puun määrän arvioidaan pienenevän noin 40 %, ja vähennys on oletettu lineaariseksi (vuoteen 2030 mennessä 8 % ja vuoteen 2035 mennessä 16 %). Hakkuukertymä on saatu metsämallinnuksen tuotoksista (toimintaympäristön muutosten mallinnus).

Uusien toimenpiteiden vaikutus muuttuvassa toimintaympäristössä

(teknosysteemi)

Skenaario on muuten sama kuin *Toimintaympäristön muutokset (teknosysteemi)*, mutta sahatuotteiden määrä on kasvatettu 13M m^3 vuoteen 2040 mennessä (oletus kasvaneesta tarpeesta).

2.7 Tutkimuksen rajoitukset ja oletukset

Haastattelut ja työpajat on toteutettu asiantuntijapaneelia hyödyntäen, jossa on matriisiin (ks 2.4 Haastattelut) avulla pyritty saamaan mahdollisimman monipuolinen asiantuntijajakauma siten, että jokaista asiantuntijatyyppeä maatalouden ja metsäalan osa-alueilta on vähintään yksi mukana. Lisäksi monipuolisuutta täydentämään on otettu paneeliin energiasektorin ja ympäristöalan asiantuntijoita. Tulee kuitenkin huomioida, etteivät asiantuntijoiden mielipiteet ole edustavia koko alaan nähden ja ovat riippuvaisia yksilöiden taustoista ja arvomaailmoista. Tarkoituksena onkin ollut haarukoida paneeliin erilaisia yksilöitä, jotta tutkimus sisältäisi eriäviä ja jopa vastakkaisia näkemyksiä. Työpajoissa jokaisella mielipiteellä on ollut sama painoarvo siitä huolimatta, onko mielipiteen takana yksi vai useampi asiantuntija. Menetelmä on näin pyrkinyt objektiivisempiin tuloksiin.

Kirjallisuuden perusteella haarukoidut minimimaksimi-arvot vaikutuksista hiilinieluihin eivät yksin riitä arvioimaan, missä määrin ne koko Suomen tasolla tuottavat hiilihyötyjä eri skenaario-olosuhteittain, ja toisaalta osallistetuilla asiantuntijoilla on taustojen perusteella latautuneet mielipiteet siitä, millainen skaala toimenpiteiden osalta on riittävä tuottamaan lisäisiä ilmastohyötyjä, jolloin työpajan tuloksia ei voi hyödyntää sellaisinaan ilman numeerista tarkastelua. Mallissa eri tietokantoja on yhdistelty ja laskentaa yleistetty, jolloin saadut tulokset eivät ole täysin vertailukelpoisia esimerkiksi alkuperäisten WEM-P-skenaarioiden kanssa, eikä niitä ole sellaisina tarkoitus käyttääkään. Samoin puutuotteiden hiilivaraston muutoksissa ei ole otettu huomioon historiallista varastoa, jolloin voimme ainoastaan vertailla eri skenaarioiden tuottamia muutoksia perusskenaarioon (WEM-P oletukset puutuotannosta ja tuotejakaumasta). Lisäksi puupohjaisten tuotteiden hiilivarastolaskennassa on tehty oletuksia, jotta laskelmiin sisältyisi vain kotimaiseen puuhun perustuva tuotanto.

Huomiona, että 1.7.2024 julkaistussa KEITO-hankkeen luonnoksessa WEM-P skenaarion oletuksiin on tehty päivityksiä, esimerkiksi aurinko- ja tuulivoiman osuudet arvioitu hieman suuremmiksi maankäytön muutosten osalta, sekä hakkuutasot ovat -0,2 % - +0,8 % pienemmät/suuremmat eri aikaväleillä. Tämän hankkeen haastattelut on aloitettu ennen KEITO-hankkeen luonnoksen julkaisua, joten vertailukohtana on käytetty PEIKKO-hankkeen WEM-P oletuksia. Erot tarkastelun alla oleviin muuttujiin ovat kuitenkin marginaalisia eivätkä oleellisesti vaikuta tämän hankkeen tuloksiin.

Hankkeen mallinnusosiolla ei ole ollut tarkoitus laskea uudestaan skenaarioihin liittyviä parametreja, vaan käyttää niitä lisäapuna arvioimaan, i) millaisia ilmastovaikutuksia toimintaympäristön muutokset aiheuttavat, ja ii) onko hankkeen suosituksilla mahdollista päästä vuonna 2035 -3M CO₂-ekv. lisäiseen hiilinieluun verrattuna perusskenaarioon.

3 Toimintaympäristön muutokset yleisesti ja oletetut kehityskulut haastattelujen ja kirjallisuuden perusteella

3.1 Poliittinen ympäristö

Poliittisen toimintaympäristön epävarmuus nousi asiantuntijahaastatteluissa toistuvasti esiin keskeisenä esteenä ilmastotavoitteiden ja vähähiilisten innovaatioiden edistämiseksi. Erityisesti metsäalan toimijat ja intressijärjestöt (10, 15, 16, 17, 18) painottivat, että poliittisen linjan poukkoilu ja sääntelyn epäjohdonmukaisuus jarruttavat investointeja uusiin teknologioihin ja tuotteisiin. Heidän mukaansa pitkäjänteinen ja ennustettava politiikka on välttämätöntä, jotta yritykset uskaltavat sitoutua hiilineutraaliutta tukeviin ratkaisuihin. Tällä hetkellä geopolitiittinen epävakaus, kuten Ukrainan sota ja siihen liittyvät kauppapoliittiset rajoitteet, lisäävät epävarmuutta investointikentällä (10). Maatalouden asiantuntijat ja viranomaisedustajat (6, 7, 9, 15) toivat esiin saman ilmiön tukijärjestelmien ja sääntelyn osalta – erityisesti epäselvät signaalit tukien tulevaisuudesta ja sääntelyn hajanaisuus luovat epävarmuutta, joka hidastaa ilmastotoimien toteuttamista. Metsäalan näkökulmasta (16, 18) poliittinen epävarmuus vaikuttaa suoraan teollisuuden kykyyn monipuolistaa tuotevalikoimaansa ja kasvattaa hiilivarastoja. Resurssit kuluvat ristiriitaisten säädösten ja standardien, kuten purkupuun lujuusvaatimusten ja kotimaisia innovaatioita heikosti tukevien rahoitusinstrumenttien, selvittämiseen.

Nämä näkemykset heijastavat myös tieteellistä kirjallisuutta, jossa politiikan johdonmukaisuus ja hallinnonalojen välinen yhteistyö on tunnistettu ratkaisevaksi ympäristötavoitteiden saavuttamisessa (zu Ermgassen ym. 2025; Pietarinen ym. 2025; Nebasifu ym. 2024). EU-tasolla on samoin todettu, että kiertotalous- ja resurssitehokkuuspolitiikat ovat onnistuneet vähentämään muovien käyttöä, mutta eivät ole riittävästi tukeneet materiaalipohjaisten ratkaisujen priorisointia energiakäytön sijaan (Searchinger ym. 2022). Metsäalan toimijat näkivätkin, että ilmastotavoitteiden ja teollisen kilpailukyvyn yhteensovittaminen edellyttää poliittista pitkäjänteisyyttä ja parempaa sääntelyn integraatiota sektorien välillä.

3.2 Taloudellinen toimintaympäristö

Asiantuntijat näkivät poliittisen epävarmuuden heijastuvan suoraan markkinoiden toimintaan ja uusien innovaatioiden syntyyn. Metsäalan toimijoiden ja intressijärjestöjen (10, 15, 16, 18) mukaan erityisesti kotimaisen puurakentamisen markkinoita voitaisiin vahvistaa jo pienillä, mutta johdonmukaisilla poliittisilla päätöksillä. Tällä hetkellä saha- ja puutuoteteollisuus keskittyy yhä enemmän suuriin, selluteollisuuden kanssa integroituneisiin laitoksiin, kun taas pienemmät toimijat kamppailevat kannattavuuden kanssa (16). Tämä kehityssuunta on linjassa Luonnonvarakeskuksen havaintojen kanssa, joiden mukaan EU:n heikko rakennussektori ja hidas elpyminen ovat keskeisiä syitä tuotannon supistumiseen (Viitanen ym. 2024). Samaan aikaan sellupohjaisen tuotannon

volyymit kasvavat, vaikka vientihinnat ovat laskeneet, mikä viittaa tuotantorakenteen yksipuolistumiseen. Mikäli rakennussektori ei toivu, puutuotteiden keskimääräinen hiilivarasto pienenee lyhytikäisten tuotteiden osuuden kasvaessa, mikä heikentää puutuotteiden hiilivarastoa.

Maatalouden asiantuntijat ja viranomaisedustajat (5, 6, 7, 9, 15) korostivat, että teknologiset innovaatiot voisivat tehostaa peltoalakohtaista tuotantoa ja vähentää raivaustarvetta, mikä tukisi hiilineutraaliutta ja luonnon monimuotoisuutta. Uusiksi ratkaisuksi nostettiin muun muassa biostimulantit, typen kierrätykseen perustuvat lannoitteet, biogeeninen hiili, sekä metaanipäästöjä vähentävät ratkaisut karjataloudessa. Myös maatalouden sivuvirtojen hyödyntäminen biokaasun tuotannossa sekä turvemaiden uudet kasvilajit – kuten karpalo, maamanteli ja paju – nähtiin realistisinä innovaatioina, jotka tukevat vähähiilistymistä. Samalla agrometsätalouden, pellon vettämisen ja kotimaisen vastuullisen ruoan lisääntyvä suosio voisivat vahvistaa hiilensidontaa taakanjakosektorilla.

Energiasektorin toimijat ja intressijärjestöt (13, 14) tunnistivat vahvan investointibuumin uusiutuvaan energiaan ja varastointiteknologioihin. Samalla he varoittivat, että kapasiteetin nopea kasvu sähköntuotannossa todennäköisesti laskee sähkön hintaa, mikä voi muuttaa energiainvestointien kannattavuutta. Erityisesti sähkökattiloiden yleistymisen arvioitiin korvaavan puupohjaista lämmöntuotantoa kaukolämmössä (14, 13).

3.3 Sosiaalinen toimintaympäristö

Maatalouden asiantuntijat ja viranomaisedustajat (5, 6, 7, 9) arvioivat, että kuluttajien kasvavat ilmasto- ja vastuullisuusvaatimukset tulevat muokkaamaan maatalouden toimintaympäristöä merkittävästi. Erityisesti pienituloisille viljelijöille tiukentuvat päästövähennystavoitteet ja investointipaineet voivat muodostua kestäättömiksi. Suurten yritysten kunnianhimoiset ilmastotavoitteet siirtävät paineen koko arvoketjuun asti, myös alkutuotantoon. Uudet viljelymenetelmät ja lajiston monipuolistaminen voisivat tarjota ratkaisuja, mutta pienillä toimijoilla ei usein ole resursseja niiden käyttöönottoon. Vähenevät maataloustuet ja markkinoiden keskittyminen uhkaavat kiihdyttää rakennemuutosta, jossa pienet tilat poistuvat ja tuotanto keskittyy entistä suurempiin yksiköihin, joilla on varaa investointeihin.

Maanviljelijöiden vaikea asema nousi toistuvasti esiin haastatteluissa. Maatalouden toimijat kokivat epävarmuutta erityisesti selkeiden tavoitteiden ja mittareiden puuttumisesta sekä siitä, ohjaavatko tuet aidosti vaikuttaviin ilmastotoimiin. Viljelijät ilmaisivat valmiutta panostaa hiilen varastointia parantaviin toimenpiteisiin, kuten peltojen vettämiseen, mutta mittaamisen epätarkkuudet, vaihtelevat olosuhteet ja laskentatapojen kirjavuus aiheuttavat turhautumista. Moni toi myös esiin, että maatalousalaa leimaava negatiivinen julkisuus ilmastorasitteena heikentää alan houkuttelevuutta ja motivaatiota panostaa uusiin ratkaisuihin.

Ympäristöalan asiantuntijoiden ja intressijärjestöjen (6, 9) mukaan kasvava ympäristötietoisuus ja luonnon arvostuksen lisääntyminen voivat kuitenkin avata uusia markkinaehtoisia mahdollisuuksia. Turvetuotannosta luopuminen nähtiin realistisena ja

kannattavana, kun entisiä tuotantoalueita voitaisiin vettää tai metsittää ilmastohyötyjä tuottaen. Samalla sertifikaattien tiukentuminen ja vapaaehtoisen suojelun lisääntyminen – niin yksityisen kuin julkisen rahoituksen kautta – voivat tukea hiilinielujen kasvua ja biodiversiteetin vahvistumista. Ekosysteempipalveluihin ja luontopohjaisiin tuotteisiin liittyvien markkinoiden odotetaan kasvavan nopeasti, mikä voi pitkällä aikavälillä tasapainottaa maatalouden rakenteellisia paineita ja lisätä luonnon monimuotoisuuden taloudellista arvoa.

3.4 Teknologinen toimintaympäristö

Korjuuteknologian kehitys nähtiin asiantuntijoiden keskuudessa selvästi kiihtyvänä, ja erityisesti tekoälyn roolin arvioitiin kasvavan nopeasti osana metsätalouden digitalisaatiota. Metsäalan tutkijat ja toimijat (1, 10, 15, 20, 22) korostivat, että tekoälyn hyödyntäminen korjuureittien optimoinnissa ja biodiversiteetin huomioimisessa voi merkittävästi parantaa sekä tuottavuutta että ympäristövaikutusten hallintaa. Avoimen laserkeilausaineiston laajempi käyttö vähentää tarvetta maastokäynteihin ja mahdollistaa metsätuhoriskien ennakkoinnin huomattavasti nykyistä tarkemmin. Laserkeilauksen ja tekoälyn yhdistelmä voi tuoda myös uudenlaista läpinäkyvyyttä metsänhoidon ilmastovaikutuksiin – esimerkiksi jatkuvapeitteisen kasvatuksen ja ojitusten seurannassa – sekä helpottaa epäselvien metsäkatotapausten todentamista. Näitä teknologisia kehitysskeleita pidettiin realistisina ja ilmastomuutoskenaarioihin hyvin sopivina, sillä ne lisäävät resurssitehokkuutta.

Energia- ja teollisuussektorin asiantuntijat (13, 14) nostivat esiin myös CCUS- ja BECCS-teknologioiden (hiilidioksidin talteenotto, hyödyntäminen ja varastointi) yleistymisen, erityisesti vuoden 2035 jälkeen. Näiden arvioitiin ensin vakiintuvan energiasektorilla, minkä jälkeen ne todennäköisesti laajenevat myös metsäteollisuuteen. Kirjallisuudessa on todettu, että BECCS-teknologia voisi lisätä puunpolton kannattavuutta ja parantaa sen hyväksyttävyyttä osana hiilineutraalia energiajärjestelmää (Niinistö ym. 2025). Tämä kehityssuunta nähtiin todennäköisenä jatkumona metsä- ja energiasektorin yhdyntyessä vähähiilisemmäksi kokonaisuudeksi.

Maatalouden asiantuntijat ja viranomaisedustajat (6, 7, 9) näkivät bioenergiainvestoinnit keskeisenä keinona vähähiilisyiden edistämisessä. Erityisesti biokaasulaitosten lisääntyminen maatiloilla voisi mahdollistaa tehokkaamman nurmiviljelyn ja orgaanisen aineksen hyödyntämisen, vähentäen samalla päästöjä ja tukien kiertotaloutta. Uusiutuvan energian teknologiat, kuten pellon hiilivarannon muutoksia seuraavat laskentamallit, tukisivat ”climate smart farming” -periaatetta, jossa viljelyä ohjataan dataperusteisesti lajikevalinnoista päästöarvioihin. Näiden ratkaisujen nähtiin paitsi tehostavan tuotantoa myös parantavan tilojen kannattavuutta ja resilienssiä ilmastomuutoksen vaikutuksia vastaan – kehityspolkuna, jota useimmat maatalousalan asiantuntijat pitivät realistisena ja tavoiteltavana.

3.5 Ilmastomuutoksen vaikutus toimintaympäristöön

Ilmastomuutos vähentää merkittävästi kylmien päivien ja jaksojen määrää sekä niiden voimakkuutta Pohjois-Euroopassa (Ruosteenoja ym. 2025). Tämä muuttaa metsien ekologiaa ja vaikuttaa sekä haitallisesti että hyödyllisesti metsien toimintaan ja terveyteen.

Sään ääri-ilmiöt, kuten pitkät ja voimakkaat pakkasjaksot, harvinaistuvat, mutta niiden vaikutukset metsille ja yhteiskunnalle säilyvät edelleen merkittävänä (Ruosteenoja ym. 2025). Abioottisten tuhojen ennakointia voi parantaa malleilla, jotka hyödyntävät tarkkaa aluetason paikkatietoaineistoa, ennusteita runsaslumisuuudesta ja tuulisuuudesta, sekä metsien rakenteesta (Suvanto ym. 2021).

Tuulituhojen odotetaan yleistyvän erityisesti vakavassa ilmastonmuutosskenaariossa (IPCC RCP8.5) ja ne kasvattavat samalla myös kirjanpainajatuhoja skenaarioissa, joissa kuusivaltaisuus lisääntyy (Honkaniemi ym. 2024). Kirjanpainajatuhojen osuus kaikista metsätuhoista voi nousta jopa yli 60 %:iin skenaarioissa, joissa lehtipuustoa ei lisätä aktiivisesti, kiertoaikojen pituutta lisätään ja samalla pyritään kasvattamaan vanhojen metsien osuutta sekä suojelua (Honkaniemi ym. 2024). Kirjanpainajatuhot voivat nousta Etelä-Suomessa 2,2 m³/ha/a, kun taas esimerkiksi Keski-Suomessa ne on arvioitu maltillisemmiksi (0,2 m³/ha/a) (Honkaniemi ym. 2024). Honkaniemi ym. (2024) mukaan kiertoaikojen pidentäminen voi kuitenkin kasvattaa Etelä-Suomessa hiilivarastoja jopa 30–70 % 30 vuoden jaksolla, joten kirjanpainajatuhot eivät kuusivaltaisissa skenaarioissakaan ylitä kiertoaikojen ja suojelun tuomia hyötyjä. Kuitenkin samalla tulisi lisätä lehtipuuston määrää ilmastoriskien hallitsemiseksi, jotta hiilivarastomenetyksiä ja alueellisesti suuria taloudellisia vahinkoja voitaisiin estää.

Tänä päivänä hirvi on suurin metsätuhojen aiheuttaja Suomessa ja Vauhkonen ym. (2023) ennustivat hirvien aiheuttamien taimikkotuhojen kasvavan jopa kolmanneksella seuraavan 30 vuoden aikana. Vauhkonen ym. (2023) mukaan taimikkojen määrän suhde varttuneiden metsien määrään on merkittävä tekijä hirvituhojen toteutumisessa, mutta alueellisia eroja on: Itä- ja Etelä-Suomessa tuhojen määrä kasvaa enemmän kuin Pohjois- ja Länsi-Suomessa taimikkojen suhteellisen osuuden kasvaessa. Huomioitava on että myös muiden sorkkaeläinten aiheuttamat metsätuhot voivat tulevaisuudessa yleistyä, sekä tähän vaikuttaa monet muutkin tekijät kuten metsästyspolitiikan kehitys.

Suomen viljelytoiminnassa lämpötilan nousu ja kasvukauden piteneminen voivat lisätä satoja ja mahdollistaa uusien kasvilajien viljelyn, mutta samanaikaisesti lisätä epävarmuutta ja riskejä sadontuotannolle (Lehtonen & Rämö, 2023; Peltonen-Sainio ym. 2024). Pidempi kasvukausi ja leudommat talvet parantavat tuholaisien ja tautien talvehtimismahdollisuuksia sekä voivat lisätä uusien lajien leviämistä (Hakala ym. 2011). Sorvali ym. (2021) mukaan viljelijät itse varautuvat ilmastonmuutokseen valitsemalla säänvaihtelulle kestävämpiä lajikkeita tai aikaisempia lajikkeita, jotta korjuu ehtii ennen syyssateita tai muuttamalla kylvö- ja korjuuajankohtia kasvukauden pitenemisen ja sääolosuhteiden mukaan. He myös pyrkivät hajauttamaan riskejä esimerkiksi viljelykasvivalikoiman laajentamisen myötä. Viljelykasvien vuorottelua on perinteisesti pidetty tuottavuutta ja maaperän rakennetta parantavana käytäntönä, mutta muuttuvat sääolosuhteet voivat muuttaa vaikutuksia joko positiivisemmiksi tai negatiivisemmiksi sadon kannalta eri kasveilla (Peltonen-Sainio ym. 2024). Esimerkiksi kevätiljat hyötyivät useimmiten nurmista tai palkokasveista esikasveina (edeltävän kasvukauden viljelykasveina), mutta tämä hyöty väheni kuivuusjaksoina (Peltonen-Sainio ym. 2024).

4 Skenaariopolut osa-alueittain maankäyttösektorilla

4.1 Maankäytön muutokset

4.1.1 Aurinko- ja maatuulivoiman näkymät sekä vaikutukset maankäyttöön: Kirjallisuuden perusteella tehty analyysi kapasiteetin kasvusta vuoteen 2035 sekä haastattelutulokset

EK:n dataikkunassa (Elinkeinoelämän keskusliitto (EK), 2025) ilmoitettujen investointien mukaan teimme oletukset, että 100 % investointipäätöksen saaneista aurinko- ja maatuulivoimahankkeista Suomessa toteutuu. Sen sijaan oletimme, että esiselvitysvaiheessa ja suunnitteluvaiheessa olevista hankkeista vain 50 % toteutuisi. Oletus on maltillinen, sillä uusia investointeja suunnitellaan kasvavissa määrin koko ajan, vaikka iso osa hankkeista jäisikin toteuttamatta. Investointien valmistumisvuotta ei oltu usein ilmoitettu, jolloin näiden osalta oletimme, että valmistuminen jakautuu tasaisesti vuosille 2026–2035.

Aurinkovoiman kokonaiskapasiteetti olisi arviomme mukaan näin ollen 12,5 GW vuoteen 2035 mennessä, mikä on konservatiivinen arvio verraten Fingridin minimi (6 GW) ja maksimi (30 GW) skenaarioihin (Fingrid Oyj, 2023). Maatuulivoiman kehitys taas on jonkin verran Fingridin (2023) maksimiskenaariota korkeampi. Tehdyn arvion mukaan kokonaiskapasiteetti nousisi maatuulivoiman osalta 42,5 GW kun Fingridin (2023) maksimiskenaariossa se on 39 GW. Tämä johtuu todennäköisesti siitä, että Fingridin maksimiskenaariossa merituulivoimaan oli oletusarvoisesti panostettu enemmän kuin maatuulivoimaan. Merituulivoimaan liittyy kuitenkin riskejä ilmastonmuutoksen aiheuttamien kovien tuulien myötä, jolloin on mahdollista, että maatuulivoima lisää suosiotaan hieman kauempana rannikosta resilienssin kannalta. Vastaavasti KEITO WEM-P (VTT, 2025) - skenaariossa maatuulivoiman kapasiteetti-arvio 2035 on noin 25 GW ja aurinkovoiman 7 GW, joten tässä esitetty arvio on huomattavasti korkeampi ja vastaa pikemminkin KEITO-hankkeen WAM-tasosta kehitystä.

Nopealla aurinko- ja tuulivoiman kapasiteetin kasvulla on oletettu olevan sähkön hintoja alas painava vaikutus, joka kannustaa samalla sähkökattilainvestointeihin sekä teollisuuden sähköistymiseen, jolloin metsäpohjaisen tuotannon arvonlisää voitaisiin kasvattaa ilman puunpolton lisäämistä (Österberg ym. 2024). Kirjallisuudessa sähkön hintojen laskulla on myös nähty riskejä uusiutuvan energian investointien kannattavuuden saralla, joka voisi keskipitkällä aikavälillä johtaa hankkeiden hiipumiseen (Seppälä & Syri, 2025; Aurora Energy Research, 2025). Hintavaikutuksia voisi hillitä lisäämällä muun muassa kysyntäjoustoa, investoimalla varastointiteknologioihin, sekä panostamalla voimaloiden elinikään (Seppälä & Syri, 2025; Aurora Energy Research, 2025). Investointikustannukset voimaloissa ovat myös suuressa roolissa, jolloin rahoituskorkojen tulisi olla maltillisia sekä rakennuskustannukset tarpeeksi pieniä (Seppälä & Syri, 2025).

Haastateltavat asiantuntijat uskoivat, että aurinkovoimaloiden rakentaminen voi suuntautua yhä enenevässä määrin muutenkin tuottaville peltoaloille (7). Maatalouden tukien väheneminen voisi näkyä yhä kasvavana kiinnostuksena myydä tai vuokrata peltoalueita

aurinkovoiman investoinneille. Metsämaalla taas maatuulivoiman ja sen vaatiman infran oletettiin aiheuttavan lisää metsäkatoa kasvavassa määrin seuraavan vuosikymmenen aikana (8). Negatiivisille vaikutuksille on kuitenkin suunniteltu mitigoivia toimenpiteitä Metsähallituksen mailla, kuten vaatimus laatia suunnitelma, jolla pienennetään hiilivaikutusta ja lisätään biodiversiteettivaikutusta. Jotkut asiantuntijat taas näkivät metsäkadon olevan kokonaismetsäalaan kuitenkin yksittäisiä prosentteja, ja hiilihyötyjen energiasektorilla ylittävän haitat (14,19).

4.1.2 Aurinko- ja maatuulivoiman näkymien vertailu WEM-P-skenaarioiden oletuksiin

Laskimme suuntaa antavan keskiarvon, kuinka monta hehtaaria maa-alaa aurinkovoimala vie käyttämällä estimaatteina kirjallisuudesta (Dahl, 2024) saatuja min/max arvoja suhteutettuna voimalan kapasiteettiin. Laskennallinen keskiarvo aluevaraukseen yhtä MW:tä kohtaan oli näin 1,285 ha. Aurinkovoimaloiden sijoittuminen metsämaalle, entisille turvetuotantoalueille, suoalueille sekä kosteikoille arvioitiin indikatiivisesti Rauhala ym. (2024) selvityksen perusteella. KEITO WEM-P 2025 -skenaariossa vastaava maankäytön tarve aurinkovoimaloille on keskimäärin noin 0,8–1,0 ha/MW.

Maankäytön vaikutuksia arvioidessa maatuulivoiman osalta käytimme paikkatietoaineistoa hyödyntävää Balotari-Chiebáo ym. (2024) case -tutkimusta Suomesta laskelmien pohjalla. Maatuulivoiman rakentamisen infrastruktuuri vaati 0,6 ha/MW, joka laskettiin ns. pysyväksi maankäytön muutokseksi. Sen sijaan koko projektiala tieverkostot ja muu infrastruktuuri huomioiden, oli peräti 23 ha/MW, jonka osalta laskettiin pirstaloiva vaikutus habitaattiin. Balotari-Chiebáo ym. (2024) mukaan peräti 92 % maatuulivoiman hankkeista sijoittuu metsämaalle, ja 8 % viljelysmaalle. Suoalueiden osuus metsistä arvioitiin indikatiivisesti Rauhala ym. (2024) selvityksen perusteella (n. 7 % metsämaan osuudesta). KEITO WEM-P 2025 -skenaariossa maatuulivoiman pysyvä maankäytön muutos on keskimäärin noin 0,5 ha/MW ja laskelmissa 90 % hankkeista sijoittuu metsämaalle, mutta arvioitu vaikutus viljelysmaihin on pienempi.

Maankäyttösektorin ilmastosuunnitelman arvioinnissa käytettyjä skenaarioita tarkasteltiin uudelleen PEIKKO-hankkeessa sekä KEITO-hankkeessa (Koljonen ym. 2024), jossa perusskenaariona toimi WEM-P (With Existing Measures perusskenaario). Keskimääräinen pinta-alan tarve aurinkovoimaloille WEM-P:ssä enimmillään noin 1600 ha/a, mutta vasta vuosina 2046–2050. Maatuulivoiman osalta taas pinta-alan tarve oli arvioitu 300 ha/a vuosina 2023–2055, mutta suurin osa rakentamisesta sijoittuisi vuosille 2023–2035. WEM-P:ssä oli oletettu valtaosan sijoittuvan metsämaalle. Peilasimme näitä WEM-P oletuksia maankäytön muutoksien osalta tämän hankkeen karkeisiin uusiin arvioihin, jotka on eritelty seuraavasti:

- i) Laskelmiemme mukaan aurinkovoiman aiheuttama metsiin kohdistuva maankäytön muutos, joka on WEM-P:ssä osana muutosta rakennetuksi maaksi, on keskimääräisesti linjassa 2024 WEM-P oletusten kanssa. Yksittäisinä vuosina ennen 2030 maankäytön muutosta metsämaasta rakennetuksi maaksi aurinkovoimaloiden johdosta voi tapahtua oletettua enemmän, mutta keskiarvallisesti laskettuna 2025–

2035 laskelmat eivät indikoi suuria muutoksia PEIKKO WEM-P oletuksiin nähden. KEITO WEM-P 2025 tukee tätä arviota: myös siinä aurinkovoiman metsätaloudellinen jalanjälki pysyy samassa suuruusluokassa kuin PEIKKO-skenaariossa, mutta kokonaispinta-alat jäävät pienemmiksi, noin 9 000–10 000 ha 2035 mennessä.

- ii) Viljelysmaalle sen sijaan aurinkovoimaa tulisi laskelmien mukaan todennäköisesti enemmän kuin PEIKKO WEM-P:ssä arvioitu. Maankäytön muutosta viljelysmaasta rakennetuksi maaksi aurinkovoiman johdosta tapahtuisi vuoteen 2030 mennessä 160 ha–1126 ha enemmän, kuin PEIKKO WEM-P:ssä oletettu. Näin ollen tuottavien viljelysmaiden osuus voi mahdollisesti supistua huomattavasti keskipitkällä aikavälillä. KEITO WEM-P 2025 arvioi viljelysmaan muutoksen aurinkovoiman seurauksena noin 250 ha/v, eli selvästi vähemmän kuin tässä skenaariossa, mikä viittaa suurempaan maankäytön intensiteettiin tässä laskelmassa.
- iii) Maatuulivoiman osalta muutosta metsistä rakennetuksi maaksi tapahtuisi laskelmien mukaan huomattavasti enemmän vuoteen 2030 mennessä, kuin WEM-P:ssä on arvioitu. Muutosta metsämaasta rakennetuksi maaksi tulisi keskiarvallisesti karkeasti 1220–1420 ha enemmän vuodessa (2025–2035) kuin PEIKKO ja KEITO WEM-P skenaariossa. Toisaalta vaikutus on marginaalinen koko metsäpinta-alaan verrattuna, kuten asiantuntijahaastattelussa mainittu, mutta voi silti vaikuttaa merkittävästi nieluihin.
- iv) Maatuulivoiman osalta tulisi huomioida lisäksi habitaattien sirpaloituminen, joka ei suoraan näy maankäytönmuutoksena. Laskelmien mukaan yhteensä lähes miljoona hehtaaria olisi sirpaloitumisen kohteena vuoteen 2035 mennessä (n. 0,79 milj. ha yhteensä vuoteen 2035). Sirpaloituminen ja biodiversiteettivaikutukset ovat siis suhteessa kokonaismetsäpinta-alaankin mittavia. KEITO WEM-P:ssä sirpaloitumisen määräksi oli arvioitu n. 0,6 milj. ha, joka on lähes linjassa tämän arvion kanssa.

Taulukko 2. Analyysin tulokset: Muutos rakennetuksi maaksi (maatuulivoima, aurinkovoima) ha

	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	KA
Metsämaasta	749	2420	2278	2138	1919	1919	1877	1877	1877	1877	1877	1891
Viljelysmaasta	316	1385	1090	800	344	344	258	258	258	258	258	506
Entisistä turvetuotanto alueista (aurinko)	223	1044	792	546	157	157	84	84	84	84	84	304
Suoalueista ja kosteikosta (maatuuli)	44	128	128	128	128	128	128	128	128	128	128	120

4.1.3 Työpajan ja haastattelujen tulokset liittyen maankäytön muutoksiin ja uusiutuvaan energiaan

Haastatellut asiantuntijat olivat yksimielisiä siitä, että metsien raivaaminen pelloiksi ei tulevaisuudessa lisääny nykyisestä, vaan pikemminkin vähenee. Työpajassa arvioitiin, että maataloudessa viljelytoiminnan tehostuminen, rehutuotannon väheneminen ja uusien menetelmien, kuten terassi- ja kattoviljelyn, yleistyminen pienentävät tarvetta raivata uusia peltoalueita metsistä. Maatalouden toimintaympäristön haasteita toimenpiteittäin on kuvattu tarkemmin kappaleessa 6. Maankäytön muutosten arvioitiin painottuvan sen sijaan asuinrakentamiseen ja infrastruktuuriin kasvukeskuksissa, kun taas harvaan asutuilla alueilla maatalouskäytöstä poistuvia aloja vapautuu metsittämiseen. Samalla myös kaupunkien sisäinen tiivistyminen ja asuineliöiden tehostuminen vähentävät rakentamispaineita metsäalueille.

Työpajassa osallistujilta selvitettiin millaisia muutoksia asiantuntijat itse arvioivat toimintaympäristön aiheuttavan maankäytön muutoksen osalta vuoteen 2035 ja 2050 mennessä. Asiantuntijat ottivat kantaa sekä maankäytön muutosta tukevien että niitä heikentävien toimintaympäristön muutoksiin.

Vuoteen 2035 mennessä maankäytön muutosten odotetaan kehittyvän suuntaan, jossa maatalouden ja metsien väliset rajat alkavat liikkua kestävämpään tasapainoon. Lihantuotannon väheneminen (–10 %) ja sen seurauksena rehupeltojen tarpeen pieneneminen nähdään keskeisinä syinä viljelysmaiden vähenemiseen. Samalla terassi- ja kattoviljelyn, tilusjärjestelyjen ja joutoalueiden metsittämisen arvioidaan tehostavan maankäyttöä ja tukevan ilmastotavoitteita. Maankäytönmuutosmaksu ja hiilimarkkinoiden kehittyminen voivat lisätä metsäpinta-alaa, vaikka kaupungistuminen ja uusiutuvan energian infrastruktuurin laajeneminen paikallisesti kaventavat metsäalaa. Tuulivoiman kaksinkertaistumisen ja tieverkon kasvun nähtiin erityisesti lisäävän muutosta rakennetuksi maaksi, mutta kokonaisuutena paine maankäytönmuutosten hillintään kasvaa ja ohjaa kehitystä kohti aiempaa hallitumpaa tilankäyttöä.

Vuoden 2035 jälkeen maankäytön dynamiikka muuttuu selvemmin metsien hyväksi. Lihantuotannon odotetaan vähenevän jopa 90 %, ja solumaatalouden (”food without field”) yleistymisen uskotaan vapauttavan peltoalaa ennallistamiseen ja metsitykseen. Asiantuntijat pitävät todennäköisenä, että metsäpinta-ala kasvaa etenkin kaupunkien ulkopuolella, kun huonotuottoisia orgaanisia maita palautetaan luonnontilaan ja turvemaita ei enää raivata pelloiksi. Rakennusten tehokkaampi käyttö, erityisesti kerrostaloasumisen lisääntyminen, vähentää tarvetta uusille rakennetuille alueille. Samalla urbaanimetsätalouden ja puistometsien ennustetaan yleistyvän, mikä vahvistaa vihreää infrastruktuuria kaupungistumisen keskellä. Vaikka energiainvestoinnit jatkuvat, maatuulivoiman sijoittamisen rajoitusten arvioidaan hillitsevän metsäkatoa. Vuoteen 2050 mennessä maankäytön muutokset painottuvat yhä enemmän rakennetun ympäristön laajentumiseen ja energiantuotantoon, erityisesti datakeskuksiin ja tuulivoimaan, mutta kokonaispäästöjen odotetaan silti laskevan muiden sektoreiden nielujen vahvistumisen myötä.

4.2 Metsien kasvu, puuntuotanto ja hakkuukertymä

4.2.1 Haastattelutulokset

Metsäalan tutkija painotti, että metsien jalostuksessa tulisi huomioida puulajien monipuolistaminen ja erityisesti lehtipuulajien laajempi hyödyntäminen, sillä ne soveltuvat paremmin muuttuvaan ilmastoon ja tukevat samalla biodiversiteettiä (1). Metsäalan intressijärjestön edustaja totesi, että nielujen vahvistamisen kannalta hakkuutasojen lasku voi olla perusteltua, mikäli teollisuuden resurssitehokkuus paranee (2), ja ympäristöalan intressijärjestön edustaja korosti samaa näkökulmaa biodiversiteetin turvaamisen kannalta (6).

Toisaalta useat metsäalan toimijat ja intressijärjestöt pitivät suorien hakkuiden rajoituksia ongelmallisina, sillä ne voisivat johtaa hakkuuvuotoihin maihin, joissa metsänhoito ei ole kestävää (15, 16, 18, 20, 22). Metsäalan intressijärjestön edustaja ehdotti vaihtoehtoisena keinona maankäyttösektorin päästökauppaa, jossa metsien kasvua tukevia toimenpiteitä tuettaisiin (esim. verohelpotuksin) ja nieluja heikentäviä verotettaisiin, kuitenkin siten, että seuranta kattaisi koko arvoketjun (2).

Rajoitukset uudistushakkuille ja kiertoaikojen pidentäminen nähtiin erityisesti pienten sahojen kannalta riskialttiina, sillä ne voisivat heikentää raaka-ainesaantia ja kannattavuutta (18). Energiasektorin toimija totesi, että primääripuun energiakäytön väheneminen mahdollistaa hakkuutähteiden jättämisen metsään ravinnetasapainon tukemiseksi (14). Lisäksi metsäalan toimijat arvioivat, ettei hakkuutason odoteta nousevan, vaan pikemminkin laskevan resurssitehokkuuden ja korkeamman jalostusarvon tuotannon seurauksena, kun välituotteiden volyymien kasvun sijasta panostettaisiin enemmän lopputuotteiden tuotantoon Suomessa (15).

4.2.2 Työpajan tulokset liittyen metsien kehitykseen ja puuntuotantoon

Vuoteen 2035 mennessä metsien kehityksen arvioidaan tukevan ilmastohyötyjä kasvun, terveyden ja resilienssin vahvistumisen kautta. Jatkovapeitteisen kasvatuksen yleistyminen, kunnostusojitusten päättymisen ja kevyemmät harvennukset nähtiin ilmastomuutokseen sopeutumista tukevin suuntina. Myös lannoituksen, sekapuustoisuuden ja täsmämetsätalouden lisääntyminen vahvistavat hiilivarastoja ilman merkittävää luonnontilan heikkenemistä. Hakkuiden vakiintuminen noin 65 milj. m³:n tasolle tukee tasapainoa talouskäytön ja hiilineutraaliuden välillä, ja suojelun kasvu sekä hiili- ja luontokrediitit monipuolistavat metsien käyttöä. Metsätuhojen ja lämpenevien talvien riskit voivat kuitenkin heikentää hiilensidontaa, ellei sopeutumista tehosteta.

Vuoteen 2050 mennessä todennäköisimmäksi kehitykseksi nähdään sekametsien ja lehtipuiden osuuden kasvu, joka vahvistaa metsien sopeutumiskykyä ja hiilivarastoja. Lahopuun lisääntyminen, suojelu ja hiili- sekä biodiversiteettimarkkinoiden kehittyminen luovat uusia markkinapohjaisia kannustimia ilmastokestävälle metsänhoidolle. Vaikka tuhoriskit ja metsäpalot yleistyvät, metsänhoidon ja jalostuksen odotetaan lisäävän

sopeutumista lämpenevään ilmastoon – kehitys, jota pidetään realistisena ja kriittisenä metsien ilmastoroolille.

4.3 Puupohjainen tuotanto (pois lukien puun energiakäyttö):

4.3.1 Haastattelutulokset ja kirjallisuus

Metsäalan toimijoiden mukaan MISU:n perusskenaariossa WEM-P:ssä esitetyt arviot sahatavaran sekä levy- ja vanerituotteiden kehityksestä näyttävät realistisilta, mikäli politiikassa ei tapahdu muutoksia (18). Jotkut pitivät sahatavaran lukuja jopa hieman liian korkeina nykytilanteeseen peilaten, jossa sahat vähentävät tuotantoa, mutta uskoivat että tuotanto laskisi alimmillaan kuitenkin maltillisesti 12 miljoonan kuution tasoon keskipitkällä aikavälillä (16). Tulevaisuuden kuitenkin määrittää pitkälti tuotantokustannukset (16). Mikäli raakamateriaalin hinta säilyy korkeana, pienet sahat eivät pärjää ja näiden tulisi erikoistua esimerkiksi koivuvaneriin yleisempien sahatuotteiden sijasta (16). Tilannetta vaikeuttaa koivun huono saatavuus, joka maalaa haastateltavien mukaan uhkakuvia koivuvanerin tuotantokapasiteetin pitkäaikaisesta laskusta vähintään keskipitkällä aikavälillä (16,15). Tiukentuneen tilanteen myötä monet sahat integroituvat yhä enemmän kuiduttavan teollisuuden kanssa (15,16). Toivoa kuitenkin olisi lisätä esimerkiksi erikoissahtatuotteiden kysyntää, niin sanottujen EWP (Engineered Wood Products) tuotteiden muodossa (16). Tämä kuitenkin vaatisi esimerkiksi puurakentamisen markkinoiden kehittymistä (15,16).

4.3.2 Työpajan tulokset liittyen metsäpohjaiseen tuotantoon

Vuoteen 2035 mennessä metsäpohjaisen tuotannon arvioidaan kehittyvän suuntaan, joka tukee siirtymää kohti vähähiilistä taloutta. Puupohjaisten tuotteiden ja materiaalien kysynnän odotetaan kasvavan etenkin sellun, pakkausten ja rakennusmateriaalien osalta. Sellupohjaiset tekstiilikuidut, ligniinipohjaiset kemikaalit ja 3D-kuitupakkaukset tarjoavat realistisia fossiilisia raaka-aineita korvaavia ratkaisuja. Pitkäikäisten puutuotteiden käytön lisääntyminen vahvistaa hiilivarastoja ja pienentää elinkaaripäästöjä, ja hiilimarkkinoiden sekä CCS-teknologioiden (Carbon Capture & Storage) kehitys tukee tätä suuntaa. Kuluttajien ympäristötietoisuuden kasvu ja digitaaliset tuotepassit ohjaavat kysyntää kestäviin tuotteisiin, vaikka painopaperin kulutuksen lasku ja tuottajavastuun laajeneminen voivat hetkellisesti heikentää alan kannattavuutta.

Vuoteen 2050 mennessä metsäpohjainen tuotanto nähdään vakiintuneena osana ilmastoneutraalia taloutta. Puutuotteet ja biopohjaiset materiaalit korvaavat fossiilisia ratkaisuja laajasti, ja puurakentamisen, biohiilen ja bio-CCU-tuotteiden (Carbon Capture & Utilization) yleistyminen vähentää teollisuuden ja rakentamisen päästöjä. Kiertotalouden vahvistuminen, materiaalien uusiokäyttö ja kuluttajien kasvava ympäristötietoisuus parantavat resurssitehokkuutta ja hiilensidontaa. Lämpenevä ilmasto mahdollistaa lehtipuun ja uusien puulajien käytön lisäämisen, mikä monipuolistaa tuotantoa ja vahvistaa metsätalouden sopeutumiskykyä. Vaikka kulutuksen mahdollinen lasku ja synteettisten materiaalien kilpailu voivat rajoittaa kasvua, metsäpohjainen tuotanto säilyy keskeisenä ja realistisena osana hiilineutraalia tulevaisuutta.

4.4 Sivuvirtojen käyttö ja puun rooli energiatuotannossa:

4.4.1 Haastattelutulokset ja kirjallisuus

Energiasektorin intressijärjestön edustajan (13) mukaan WEM-P-skenaarion luvut ovat realistisia ja energiapuun korjuun huippu on jo saavutettu. Energia- ja metsäalan toimijat (14, 20) uskoivat ei-puupohjaisen uusiutuvan energian kasvun laskevan sähkön hintaa vuoteen 2035 mennessä ja vauhdittavan sähköistymistä sekä energiatehokkuutta. Tämä vähentäisi primääripuun energiakäyttöä ja ohjaisi energiantarvetta sivuvirroista katettavaksi. Metsäalan viranomaiset (12) huomauttivat, että hinnan lasku voi lisätä hoitovelkaa nuorissa metsissä.

Huoltovarmuuden näkökulmasta energiapuun merkityksen arvioitiin kuitenkin kasvavan (13), vaikka sähkökattiloiden, hukkalämmön ja maalämmön yleistymisen vähentää puun käyttöä pitkällä aikavälillä. Energia- ja metsäalan edustajien (13, 15) mielestä huoltovarmuus edellyttää edelleen puun käyttöä kunnallisessa lämmöntuotannossa, vaikka fossiiliset tulisi korvata ensisijaisesti muilla ratkaisulla. Metsäalan toimijoiden (15) mukaan puuta tulisi jalostaa materiaalityönteiksi, ja puunpolton verotus nähtiin kustannustehokkaana keinona sen vähentämiseksi.

Ympäristöalan intressijärjestön edustajat (6) pitivät primääripuun polttoa (kokopuu, rankapuu) ylipäänsä ongelmallisena ja suosisivat enemmän sivuvirtojen käyttöä. Metsäalan toimijat ja intressijärjestöt (13, 18) varoittivat myös, että mikäli samalla sivuvirtojen energiakäyttö vähenisi ilman vaihtoehtoisia kohteita, sahojen kannattavuus heikkenee. Uusia ratkaisuja, kuten ligniinin talteenottoa ja biopolttoaineita, tulisi kehittää ennen rajoituksia (18, 20). Rajoitusten sijaan muutoksen toivottiin tapahtuvan markkinaehtoisesti (13, 18). Maatalous- ja metsäalan intressijärjestöjen (2) mukaan paikallisten laitosten sähköistymistä ja hukkalämmön hyödyntämistä voitaisiin edistää esimerkiksi biomassan polton verotuksella.

4.4.2 Työpajan tulokset liittyen asiantuntijoiden näkemykseen metsien roolista energiatuotannossa

Vuoteen 2035 mennessä metsien roolin arvioidaan säilyvän keskeisenä Suomen energiajärjestelmässä erityisesti toimitusvarmuuden ja omavaraisuuden näkökulmasta. Energiapuun ja biomassan merkitys pysyy vahvana etenkin, jos osa uusiutuvan energian hankkeista jää toteutumatta. Pientalojen lämmityksessä puulla säilyy paikallinen rooli, ja biohiilen sekä puupohjaisten biopolttoaineiden, kuten lentoliikenteen biokerosiinin, kehityksen odotetaan etenevän. Samalla kaskadiperiaatteen vahvistuminen ohjaa puuvaroja pois energiakäytöstä kohti pitkäikäisiä tuotteita ja hiilivarastoja – kehitys, jota pidetään realistisena ja ilmastohyötyjä vahvistavana. Energiapuun käytön väheneminen voi kuitenkin lisätä nuorten metsien hoitorästejä ja kustannuksia. Biotuoteteollisuuden sähköistyminen ja puunpolton hyväksyttävyyden lasku ohjaavat energiaa kohti tehokkaampia ja vähäpäästöisempiä ratkaisuja.

Vuoteen 2050 mennessä metsien roolin odotetaan muuttuvan siten, että painopiste siirtyy puupohjaisiin biopolttoaineisiin, hiilen talteenottoon (BECCS, BECCU) ja sivuvirtojen

hyödyntämiseen. Näitä teknologioita pidetään todennäköisimpinä kehityspoluina kohti ilmastoneutraaliutta. Puun polton arvioidaan vähenevän 30–50 % nykyisestä, käyttö keskittyen kriisitilanteisiin ja vapaa-ajan lämmitykseen. Energiantuotannon tehostuminen, hukkalämmön hyödyntäminen ja pienydinvoiman käyttöönotto vähentävät riippuvuutta metsäbiomassasta. Samalla metsäbiotalous laajenee: ligniiniin, mäntyöljyyn ja hiilidioksidiin perustuvat tuotteet lisäävät sivuvirtojen arvoa ja vahvistavat resurssitehokkuutta. Puun rooli ei siis katoa, vaan muuttuu materiaalipohjaiseksi välineeksi korkeamman jalostusasteen ja hiilensidonnan edistämiseen.

5 Työpajan tulokset vaadittavista toimenpiteistä maankäyttösektorilla sekä kevytmallinnuksella arvioidut päätoimenpiteitten vaikutukset

5.1 Työpajan tulokset vaadittavista toimenpiteistä maankäyttösektorilla ilmastotavoitteiden saavuttamiseksi, sekä keinot niiden jalkauttamiseen

Työpajan asiantuntijat pitivät kustannustehokkaimpina ja vaikuttavimpina maankäyttösektorin toimina metsänhoidon tehostamista, kuolinpesien purkua ja turvemaiden uudelleenkäyttöä. Lyhyellä aikavälillä (2030–2035) painopiste oli käytännön toimenpiteissä: Kuolinpesien purkaminen ja taimikoiden hoitorästien nähtiin sekä kustannustehokkaimpina että nopeimmin vaikuttavina toimina metsien kasvun ja hiilinielun vahvistamiseksi. Erityisen tärkeänä pidettiin myös sekapuustoisuuden lisäämistä ja jalostetun taimiaineksen käyttöä, joilla parannetaan sekä metsien sopeutumiskykyä että biodiversiteettiä elinvoimaisuuden paranemisen myötä. Metka-tuki ja taimikon perustamisvelvoite heti hakkuun jälkeen arvioitiin parhaiksi jalkauttamiskeinoiksi. Lisäksi asiantuntijat painottivat, että turvetuotantoalueiden metsittäminen, vettäminen, ennallistaminen tai konversio uusiutuvaan energiaan ovat sekä kustannustehokkaita että ilmasto- ja luontovaikutuksiltaan tärkeitä toimenpiteitä, jotka vähentävät päästöjä nopeasti ilman merkittäviä maankäytön konflikteja.

Keskipitkällä aikavälillä (2040–2050) korostui metsien resilienssin ja kasvun tukeminen: Metsätuho-riskien ja biodiversiteetin lisääminen samalla kun maksimoidaan metsien kasvua, avohakkuiden vähentäminen ja suojelun lisääminen nähtiin tärkeimpinä niin ilmaston kuin

Taulukko 3. Välitavoitteet ja toimenpiteet 2030 mennessä. Asiantuntijat äänestivät myös mielestään kustannustehokkaimmat (keskipitkällä aikavälillä nettonollakustannukset tai jopa voitto) tuotokset. ”Ei arvioitu” kommentit tarkoittavat, ettei asiantuntijoilta saatu kyseiseen kohtaan mielipidettä

Välitavoite	Toimenpiteet	Jalkauttamiskeino	Biodiversiteetti/ilmastoresilienssivaikutus
15 CCUS (Carbon Capture and Utilization) saatu alulle (3 toteutettu) *	Ei arvioitu	Ei arvioitu	Ei arvioitu
Aurinkovoimaa ei enää puustoisille alueille	Aluekäyttölaissa tulisi säätää aurinkovoimaloiden rakentamisesta - tätä pidettiin myös tärkeimpänä toimenpiteenä. Toimenpide äänestetty kustannustehokkaaksi.	Lakiin kirjattu toimenpide varmistaisi toteutumisen. Ylipäänsä nieluja heikentävistä toimenpiteistä pitäisi maksaa, mikä edesauttaa päästökaupan syntymistä	Tukee biodiversiteettiä ja ilmastoresilienssiä estämällä metsämaan muuttumista rakennetuksi maaksi

biodiversiteetin ja sopeutumisen kannata. Lisäksi puunpolton verotus ja teknisten nielujen, kuten BECCS- ja CCUS-hankkeiden, tukeminen nousivat keskeisiksi keinoiksi siirtyä kohti hiilineutraaliuutta. Pitää tosin huomioida, ettei ole selvää tullaanko hiilidioksidin talteenottoa laskemaan maankäyttösektorilla vai todennäköisemmin esim. päästökauppasektorilla. Vuoteen 2050 mennessä turvemaiden ojen ennallistaminen ja ojitusten lopettaminen äänestettiin kaikkein tärkeimmäksi yksittäiseksi toimenpiteeksi sekä ilmasto- että biodiversiteettihiötyjen näkökulmasta. Pitkällä aikavälillä asiantuntijat painottivat myös taloudellista ohjausta ja EU-tason laskentamalleja hiilihiötyjen tarkentamiseksi, mutta myös tekoäly- ja satelliittipohjaisia keinoja, joilla ehkäistä metsätuhoja ennakoivasti.

Taulukko 4. Toimenpiteet 2035 saakka. Asiantuntijat äänestivät myös mielestään kustannustehokkaimmat (keskipitkällä aikavälillä nettonollakustannukset tai jopa voitto) tuotokset. ”Ei arvioitu” kommentit tarkoittavat, ettei asiantuntijoilta saatu kyseiseen kohtaan mielipidettä.

Välitavoite	Toimenpiteet	Jalkauttamiskeino	Biodiversiteetti/ilmastoresilienssi-vaikutus
90 % taimikkojen 'hoitorästeistä' hoidettu	Taimikoiden hoito ajallaan	Metka-tuki, informaatio-ohjaus	Taimikoiden terveyttä tukeva toimenpide
Talouss metsissä 10 m ³ /ha kuollutta puuta	Ei arvioitu	Ei arvioitu	Kuollut puu tukee biodiversiteettiä. Käyty keskustelua alueellisista mahdollisuuksista kirjanpajariskit huomioiden.
Turvetuotantoalueiden (ruuantuotannon ulkopuolella olevien) ja muiden joutoalueiden sekä epäaktiivisten kuolinpesien omistamien käyttämättömien maiden metsittäminen, vettäminen, ennallistaminen tai konvertointi uusiutuvan energian tuotantoon. Äänestetty kustannustehokkaaksi	Kuolinpesien aktivointi purkujen tai muunlaisten sääntelytoimien kautta (tulisi aloittaa 2026 ja vuonna 2035 80 % epäaktiivisista kuolinpesistä olisi purettu). Toimenpide äänestetty kustannustehokkaaksi.	Lakisääteisyys varmistaisi jalkautuksen, ehdotettu hyödyntämään samaa mallia kuin Ruotsi kuolinpesien purussa.	Vettäminen ja ennallistaminen tukevat biodiversiteettiä. Kuolinpesien purku mahdollistaisi useita erilaisia ilmastotoimia alueilla, mutta nostettiin että on vaarana, että vanhat metsät päätyisivät talouskäyttöön, mikäli jatkokäytöstä ei olisi säädetty
Hakkuutasojen vakiinnuttaminen 65Mm ³ tasoon	Ei arvioitu	Ei arvioitu	Alemmat hakkuutasot parantavat biodiversiteettiä ja ilmastoresilienssiä osallistujien mukaan

Taulukko 5. Toimenpiteet 2040 saakka. Asiantuntijat äänestivät myös mielestään kustannustehokkaimmat (keskipitkällä aikavälillä nettonollakustannukset tai jopa voitto) tuotokset. ”Ei arvioitu” kommentit tarkoittavat, ettei asiantuntijoilta saatu kyseiseen kohtaan mielipidettä.

Välitavoite	Toimenpiteet	Jalkauttamiskeino	Biodiversiteetti/ilmastoresilienssivaikutus
30 % metsäkannasta suojelun piirissä Metsien kasvu 120 Mm ³ vuodessa	Suojelualan lisääminen	Kansallisen lisärahoituksen hankkiminen suojelun lisäämiseksi jo 2025 alkaen	Parantaa metsäkannan tilaa ja biodiversiteettiä
	Kasvua tukevat toimenpiteet; Kasvatus- ja terveystaloudelliset (lisääminen jo vuodesta 2025 alkaen), jalostetun siemen- ja taimiaineksen käyttö; Nopea metsien uudistaminen; Sekametsäisyyden tukeminen. Myös nostettu maankäytönmuutoksesta seuraava kompensatiovelvoite.	Metka-tuki, informaatio-ohjaus. Äänestetty kustannustehokkaaksi.	Tukee biodiversiteettiä ja ilmastoresilienssiä estämällä metsämaan muuttumista rakennetuksi maaksi
Kiertoaikojen pidentäminen	Tapion uudet suositukset kiertoaikojen pidentämisestä (nykyiset)	Informaatio-ohjaus, vuodesta 2025 lähtien	Parantaa biodiversiteettiä
Turvepelloille raivauskielto	Turvepelloille raivauskielto	Lakisääteinen varmistaa jalkautuksen	Parantaa biodiversiteettiä
Primääripuun polton vähentäminen/kielto	Sääntely/verotus primääripuun polttoon	Sääntely/verotus. Äänestetty kustannustehokkaaksi.	Positiivinen vaikutus biodiversiteettiin
Päättehakkuihin lisättävät vähimmäiskorajat	Metsälakiin kirjatut päätetähtäkuun vähimmäiskorajat	Lakisääteinen varmistaa jalkautuksen	Ei arvioitu
Eläinpuhjaisten tuotteiden puolittuminen ruokasektorilla*	Eläinpuhjaisten tuotteiden vähentäminen ja kasvipuuhjaisten tukeminen	Henkilökohtaiset hiilibudjetit eläinpuhäisten tuotteiden kulutukseen. Äänestetty kustannustehokkaaksi.	Ei arvioitu
Taloustmetsissä 14 m ³ /ha kuollutta puuta	Ei arvioitu	Ei arvioitu	Kuollut puu tukee biodiversiteettiä. Käyty keskustelua alueellisista mahdollisuuksista kirjanpainajariskit huomioiden.

Välitavoite	Toimenpiteet	Jalkauttamiskeino	Biodiversiteetti/ilmastoresilienssivaikutus
<i>Biodiversiteetti ja metsien sopeutumiskyky huomattavasti parantunut</i>	Metsätuhoriskien välttäminen	*AI-ratkaisujen ja satelliittidatan hyödyntäminen metsätuhojen ehkäisyssä. 2025 lähtien tulisi lisätä metsätuhoihin liittyvää tutkimusta sekä informaatiota metsänomistajille, esimerkiksi metsään.fi-palvelussa	Ehdottomasti tukee ilmastoresilienssiä sekä biodiversiteettiä. Keskusteltu että toteutus riippuu myös metsien kasvutavoitteissa onnistumisesta
<i>CCUS ja BECCS laajamittainen, hiilidioksidin talteenoton hinta 30eur/tCO₂</i>	Hiilidioksidin talteenoton laajentuminen	EU-lainsäädäntöön tulisi vuodesta 2026 eteenpäin lisätä kannustimia teknisten nielujen osalta. Valtiolliset kannustimet. Vuodesta 2030 eteenpäin puolestaan nähtiin, että CO ₂ -markkinoiden tulisi mahdollistaa toimivat investoinnit. *ETS käyttöön	Ei arvioitu

Taulukko 6. Toimenpiteet 2045 saakka. Asiantuntijat äänestivät myös mielestään kustannustehokkaimmat (keskipitkällä aikavälillä nettonollakustannukset tai jopa voitto) tuotokset. ”Ei arvioitu” kommentit tarkoittavat, ettei asiantuntijoilta saatu kyseiseen kohtaan mielipidettä.

Välitavoite	Toimenpiteet	Jalkauttamiskeino	Biodiversiteetti/ilmastoresilienssivaikutus
<i>Metsätuhot vähentyneet entisestään (kirjanpainajatuho t hallinnassa) sekä biodiversiteetin vahvistuminen</i>	Metsätuhoriskien välttäminen	Aiemmin käyttöön otetut keinot	Ehdottomasti tukee ilmastoresilienssiä sekä biodiversiteettiä. Keskusteltu että toteutus riippuu myös metsien kasvutavoitteissa onnistumisesta

Välitavoite	Toimenpiteet	Jalkauttamiskeino	Biodiversiteetti/ilmastoresilienssivaikutus
Metsien kasvu yli 120 Mm ³ vuodessa	Kasvua tukevat toimenpiteet; Kasvatus- ja terveystaloudelliset (lisääminen jo vuodesta 2025 alkaen), jalostetun siemen- ja taimiaineksen käyttö; Nopea metsien uudistaminen; Sekametsäisyyden tukeminen. Myös nostettu maankäytönmuutoksesta seuraava kompensatiovelvoite.	Metka-tuki, informaatio-ohjaus; Myös maankäyttösektorin päästöjen seurannan parannus: EU-tasoinen laskentamalli maankäyttösektorin osalta, joka voisi perustua esimerkiksi satelliittidataan.	Tukee biodiversiteettiä ja ilmastoresilienssiä estämällä metsämaan muuttumista rakennetuksi maaksi

Taulukko 7. Toimenpiteet 2050 saakka. Asiantuntijat äänestivät myös mielestään kustannustehokkaimmat (keskipitkällä aikavälillä nettonollakustannukset tai jopa voitto) tuotokset. ”Ei arvioitu” kommentit tarkoittavat, ettei asiantuntijoilta saatu kyseiseen kohtaan mielipidettä.

Välitavoite	Toimenpiteet	Jalkauttamiskeino	Biodiversiteetti/ilmastoresilienssivaikutus
Kaikki turvemaiden ojat ennallistettu, ei ojitusta (kunnostus) turvemailla	Ei arvioitu	Ei arvioitu	Ei arvioitu
Puun polton CO ₂ -talteenotto 30 %	Hiilidioksidin talteenoton laajentuminen	EU-lainsäädäntöön tulisi vuodesta 2026 eteenpäin lisätä kannustimia teknisten nielujen osalta. Valtiolliset kannustimet. Vuodesta 2030 eteenpäin puolestaan nähtiin, että CO ₂ -markkinoiden tulisi mahdollistaa toimivat investoinnit. *ETS käyttöön	Ei arvioitu

5.2 Kevytmallinnuksen tulokset maankäyttösektorilla saavutettavista ilmastovaikutuksista toimintaympäristön päämuutokset huomioiden

5.2.1 Toimintaympäristön muutosten vaikutus hiilinieluihin

Toimintaympäristön muutokset -skenaario tuotti jalostetun taimiaineksen kasvulisäysten mallinnusten myötä 0,1 % suuremman metsien kokonaiskasvun verrattuna perusskenaarioon (PEIKKO WEM-P) vuonna 2035 siitä huolimatta, että metsämaata poistui rakennetuksi maaksi vuosittain 1 420 ha enemmän kuin perusskenaariossa. Vuonna 2040 kokonaiskasvu oli 0,2 % suurempi. Rakennetun maan puusto oletettiin sisältyvän osaksi hakkukertymää, ja

lisäharvennuspotentiaalia tuotti myös nopeutunut kasvu, joka korostui erityisesti vuoden 2035 jälkeen. Tällöin kokonaispoistuma kasvoi toimintaympäristön muutokset -skenaariossa 0,2–2,3 % perusskenaarioon nähden vuosina 2026–2035 sekä 4,1 % vuosina 2035–2040.

Toimintaympäristön muutokset -skenaario pienensi nieluja puuston kasvaneen poistuman myötä 0,12 Mt CO₂ vuonna 2030 ja 1,13 Mt CO₂ vuonna 2035 verrattuna perusskenaarioon. Vuonna 2040 nielut olivat vastaavasti 1,63 Mt CO₂ pienemmät perusskenaarioon nähden. Puutuotteiden hiilivaraston muutos tuotti 0,96 Mt CO₂ pienemmän nettovaikutuksen toimintaympäristö muutokset -skenaariossa vuonna 2030, koska pitkän eliniän tuotteiden (sahatuotteet) suhteellinen osuus oli pienempi. Vuonna 2035 puutuotteiden hiilivaraston muutos sen sijaan tuotti –0,68 Mt CO₂ nettohyödyn perusskenaarioon nähden, pitkän eliniän tuotteiden osuuden kasvaessa perusskenaarion tasolle. Vuonna 2040 vastaava nettohyöty oli –0,67 Mt CO₂.

Vuonna 2035 skenaarion nettovaikutus oli 0,46 Mt CO₂ pienempi hiilinielu verrattuna perusskenaarioon. Ajanjaksolla 2026–2044 keskimääräinen vuosittainen nettovaikutus oli 0,67 Mt CO₂:n nieluvaikutus (eli pienempi hiilinielu kuin perusskenaariossa).

Taulukko 8. Toimintaympäristön muutoksien mallinnusskenaario, muutokset metsien kokonaiskasvuun ja poistumaan

Vuosi	Muutos metsien kokonaiskasvuun verrattuna WEM-P (Muutoskenaario, %)	Muutos kokonaispoistumaan verrattuna WEM-P (muutosskenaario + lisäsuositukset %)
2026–2030	0,0 %	+0,2 %
2030–2035	+0,1 %	+2,3 %
2035–2040	+0,2 %	+4,1 %

Taulukko 9. Toimintaympäristön muutoksien mallinnusskenaario, nieluvaikutus

Vuosi	Metsätason hiilivaikutus (vs WEM-P, MtCO ₂)	Puutuotteiden hiilivaraston muutos (vs WEM-P, MtCO ₂)	Kokonaisvai kutus (vs WEM-P, MtCO ₂)	Selite
2030	0,12	0,96	1,08	Maankäytön muutokset aiheuttavat suuremman nielun menetyksen puustossa kuin jalostetun siemen- ja taimiaineksen käyttö (joka näkyy vasta 2035 jälkeen). Sahatuotteiden tuotannon notkahdus aiheuttaa lyhyen eliniän tuotteiden (sellu- ja massa) suhteellisen kasvun tuoteportfoliossa
2035	1,13	-0,68	0,46	Maankäytön muutokset aiheuttavat suuremman nielun menetyksen puustossa kuin jalostetun siemen- ja taimiaineksen käyttö (joka näkyy vasta 2035 jälkeen). Sahatuotteiden tuotannon palautuminen ja vaneri- ja levytuotteiden hienoinen kasvu näkyy positiivisena (kasvavana) hiilivarastonmuutoksena puutuotteissa.

Vuosi	Metsätason hiilivaikutus (vs WEM-P, MtCO ₂)	Puutuotteiden hiilivaraston muutos (vs WEM-P, MtCO ₂)	Kokonaisvai kutus (vs WEM-P, MtCO ₂)	Selite
2040	1,63	-0,67	0,98	Maankäytönmuutokset ovat pysyviä, lisääntynyt puuston kasvu ei kompensoi menetettyä hiilivarastoa. Puutuotteiden hiilivaraston kasvu on edelleen positiivinen suuremmasta pitkänelinien tuotteista johtuen.

5.2.2 Uusien toimenpiteiden sekä toimintaympäristön muutosten vaikutus hiilinieluihin

Uusien toimenpiteiden sekä toimintaympäristön muutosten yhdistetty skenaario tuotti uusien metsänhoitosuosituksen, jalostetun taimiaineksen sekä lisäisten lannoitusten myötä mallinnuksessa 2,1 % suuremman metsien kokonaiskasvun verrattuna perusskenaarioon (PEIKKO WEM-P) vuosina 2026–2035. Kasvun lisäys johtui pääosin viivästetyistä ja loivemmista harvennushakkuista, jolloin puustoa oli enemmän kasvamassa. Vastaavasti poistuma oli 11,8 % pienempi verrattuna perusskenaarioon siirtyneiden harvennusten vuoksi.

Vuosina 2035–2040 kokonaiskasvu oli 0,7 % suurempi, oli jalostetun taimiaineksen ja lannoitusten vaikutusta. Metsänhoitomenetelmät vaikuttivat sen sijaan harvennusten voimakkuuksiin ja ajoituksiin, joka myös epäsuorasti osaltaan vaikutti kokonaiskasvuun, vaikeivat oletusten mukaan muuttaneet suoraan puuston kasvuparametreja. Kuitenkin harvennusten ollessa samalla tasolla perusskenaarion kanssa, suurempi vaikutus kokonaiskasvuun oli taimiaineksella ja lannoituksella. Metsämaan muuttuessa rakennetuksi maaksi hakkuukertymä kasvoi kuitenkin 1,8 % verrattuna perusskenaarioon. Vuonna 2035–2040 metsien kokonaiskasvu pieneni 1 %, mikä johtui vastaperustettujen taimikoiden ja vanhojen metsien osuuden suhteellisesta kasvusta — kehitys, joka juontuu uusista metsänhoitosuosituksista ja siirtyneistä hakkuista perusskenaarioon nähden. Vastaavasti poistuma oli vuosina 2035–2040 16,8 % suurempi. Eroihin vaikutti myös kasvatettu suojelualueiden sekä lehtipuuston osuus.

Metsien hiilinielut kasvoivat puuston kasvun myötä -16,16 Mt CO₂ vuonna 2030 -1,64 Mt CO₂ vuonna 2035 verrattuna perusskenaarioon. Vuonna 2040 nielut pienenivät puustossa 14,49 Mt CO₂ vastaavasti siirtyneiden hakkuiden seurauksena. Puutuotteiden hiilivaraston muutos tuotti 1,18 Mt CO₂ enemmän päästöjä yhdistelmäskenaariossa vuonna 2030 verrattuna perusskenaarioon, koska pitkän eliniän tuotteiden (sahatuotteet) suhteellinen osuus ja hakkuukertymä olivat pienempiä. Vuonna 2035 puutuotteiden hiilivaraston muutos sen sijaan oli -0,45 Mt CO₂ perusskenaarioon nähden (nettohyöty), pitkän eliniän tuotteiden osuuden kasvaessa vertailutasolle. Vuonna 2040 päästövähennys oli -1,38 Mt CO₂, pitkän eliniän tuotteiden osuuden kasvaessa ja hakkuukertymän ollessa suurempi.

Vuonna 2035 skenaarion nettovaikutus oli -2,09 Mt CO₂ verrattuna perusskenaarioon. Ajanjaksolla 2026–2044 keskimääräinen vuosittainen nettovaikutus oli -1,32 Mt CO₂:n nieluvaikutus (suurempi hiilinielu kuin perusskenaariossa).

Taulukko 10. Uusien toimenpiteiden sekä toimintaympäristön muutoksien mallinnusskenaario, muutokset metsien kokonaiskasvuun ja poistumaan

Vuosi	Muutos metsien kokonaiskasvuun verrattuna WEM-P (Muutoskenaario, %)	Muutos kokonaispoistumaan verrattuna WEM-P (muutoskenaario + lisäsuositukset %)
2026–2030	2,1 %	-11,8 %
2030–2035	0,7 %	1,8 %
2035–2040	-1,0 %	16,8 %

Taulukko 11. Uusien toimenpiteiden sekä toimintaympäristön muutoksien mallinnusskenaario, nieluvaikutus

Vuosi	Metsätason hiilivaikutus (vs WEM-P, MtCO ₂)	Puutuotteiden hiilivaraston muutos (vs WEM-P, MtCO ₂)	Kokonaisvaikutus (vs WEM-P, MtCO ₂)	Selite
2030	-16,16	1,18	-14,98	Loivemmat ja myöhemmin toteutetut hakkuut siirtävät hakkuupotentiaalia myöhemmäksi, samalla kun suojelupinta-alan (laskettu selvyiden mukaan kokonaan pois hakkuiden piiristä) lisää puuston hiilinielua. Samalla siirtyneet hakkuut pienentävät hakkuupotentiaalia ja yhdessä sahatuotteiden tuotannon vähenemisen myötä puutuotteiden hiilivarastonmuutos jää vertailussa negatiiviseksi.
2035	-1,64	-0,45	-2,09	Vuonna 2035 harvennushakkuuta tulee enemmän (osuu paljon kohteita harvennusrajoihin) ja hakkuuvaje tasaantuu, joka näkyy sahatuotteiden kasvun ohella kasvaneena hiilivarastonmuutoksena puutuotteissa.
2040	14,49	-1,38	13,12	Voimakas puuston hiilinielujen menetys johtuu ajankohtaan sattuneista useista uudistushakkuista, joka saha- ja levy & vanerituotteiden osuuden kasvun kanssa näkyy yhdessä puutuotteiden hiilivarastonmuutoksessa lisäyksenä.

6 Maankäyttösektorin ilmastosuunnitelman toimenpidekohtainen analyysi (haastatteluihin ja kirjallisuuteen perustuen) ja suositukset kehitykseen

6.1 Metsähallituksen ilmastotoimet (7.1)

6.1.1 Toteutuksen arviointi ja mahdolliset haasteet, ehdotukset jalkauttamiseen

Metsäalan toimijan mukaan Metsähallituksen ilmasto-ohjelma tarjoaa selkeät raamit ja mittarit toimenpiteiden toteuttamiselle, ja niiden seuranta tehdään säännöllisesti (8). Edistystä on saavutettu erityisesti metsänhoidossa: jalostetun siemenmateriaalin käyttö on lähellä tavoitetasoa, taimikonhoitoa on tehostettu, lannoitusala kasvanut ja paikkatietopohjainen hiilitaseen luokittelu otettu käyttöön. Uusiutuvan energian hankkeita on myös edistetty. Toimijan mukaan lannoitus, jalostettu siemenmateriaali ja oikea-aikainen hoito ovat nopeavaikuttaisia ja kustannustehokkaita keinoja vahvistaa hiilinieluja, mutta ajoittain korkeaksi nousseet hakkuumäärät heikentävät hiilivarastojen kasvupotentiaalia (8).

Keskeisimmät haasteet liittyvät laskentamenetelmiin ja tietopohjaan: maaperäpäästöihin ja ennallistamisen ilmastohyötyihin liittyy edelleen suurta epävarmuutta, eikä tuhoriskejä huomioida riittävästi pitkän aikavälin suunnittelussa (8). Käytännön työssä painotetaan metsien säilyttämistä, oikea-aikaista hoitoa ja lannoitusta, mutta maankäytön paineet – tuuli- ja aurinkovoimahankkeet sekä datakeskukset – vaikeuttavat hiilinielujen ylläpitoa. Metsähallitus kuitenkin metsittää vanhoja alueita muutoksen kompensoimiseksi. Eri tavoitteiden, kuten hiilensidonnan, luonnonsuojelun ja porotalouden yhteensovittaminen on erityisesti Lapissa haasteellista (8).

Haastateltava korosti, että ilmastotoimien jalkauttaminen edellyttää laskennan ja raportoinnin kehittämistä sekä tiedon läpinäkyvyyttä (8). Mittareiden vertailtavuutta eri alueilla tulisi parantaa ja päätöksenteossa nojata enemmän mitattuihin vaikutuksiin kuin suunnitelmiin. Erityisesti maaperäpäästöjen ja maankäytönmuutosten seuranta kaipaava vahvistamista. Peitteisen kasvatuksen, lannoituksen ja metsityksen ilmastohyötyjä tulisi arvioida systemaattisemmin. Lisäksi haastateltava painotti sisäisen yhteistyön ja koulutuksen merkitystä, jotta kenttätason toimijat ymmärtävät toimenpiteiden ilmastovaikutukset ja taloudelliset rinnakkaisvaikutukset (8).

Seurannan kehittämisessä tärkeintä olisi tuoda eri toimenpiteiden ilmastovaikutukset näkyvästi osaksi päätöksentekoa, jotta ne kytkeytyisivät Metsähallituksen normaaliin ohjaukseen, alueellisiin luonnonvarasuunnitelmiin ja pitkän aikavälin talouslinjauksiin (8).

6.1.2 Ilmastovaikutuksen arviointi

Metsähallituksen ilmasto-ohjelma 2025–2030 (Metsähallitus, 2024) asettaa keskeisiksi tavoitteiksi puuston hiilivaraston kasvattamisen 10 prosentilla vuoteen 2030 mennessä, monikäyttömetsien hiilinielun lisäämisen 10 prosentilla vuoteen 2035 mennessä sekä Metsähallituksen oman hiilijalanjäljen vähentämisen 20 prosentilla vuoteen 2030. Ohjelma

kattaa laajan keinovalikoiman, joka ulottuu metsänkasvun tehostamisesta maankäytön muutosten hillintään ja uusiutuvan energian hankekehitykseen.

Kansallisen kasvihuonekaasuinventaarion VMI12-aineistosta laskettu Metsähallituksen metsien hiilinielu oli -6,1 milj. t CO₂ ekv/v, josta hiilinielu on pienentynyt 34 prosenttia (VMI13-aineistosta laskettu monikäyttömetsien hiilinielu -4.0 milj. t CO₂ ekv/v) mm. metsien ikääntymisestä johtuvan kasvun hidastumisen, ilmastomuutoksen aiheuttaman turvemaiden maaperäpäästöjen kasvun sekä seurantajakson huonompien kasvuolosuhteiden vuoksi.

6.1.3 Ilmastomuutokseen sopeutumisen sekä biodiversiteettivaikutusten arviointi

Metsähallituksen sopeutumis- ja monimuotoisuustyö perustuu siihen, että metsien rakenteellista monimuotoisuutta vahvistetaan ja elinympäristöjä ennallistetaan, mikä lisää ekosysteemien kykyä kestää ilmastomuutoksen vaikutuksia. Tähän kokonaisuuteen kuuluvat muun muassa suoluonnon ja vesistöjen ennallistaminen, sekametsien suosiminen, lehtipuiden jättäminen taimikoihin, lahopuun säästäminen sekä jatkuvapeitteisen kasvatuksen lisääminen (Metsähallitus, 2024). Lisäksi retkeily- ja suojelualueilla toteutetaan sopeutumista tukevia toimia, kuten ilmastoviisaasti suunniteltua reittirakentamista.

Haastatteluissa korostettiin erityisesti lehtipuun lisäämistä keinona yhdistää hiilensidonta ja monimuotoisuus. Taimikonhoidossa pyritään jättämään huomattava osuus lehtipuuta, mikä tukee metsien sopeutumiskykyä.

6.1.4 Kustannusarviointi

Metsähallituksen ilmastotoimenpiteiden kustannukset jakautuvat suoriin ja epäsuoriin vaikutuksiin. Suoria kustannuksia aiheutuu lannoituksesta, jalostettujen siementen ja taimien käytöstä, paikkatietojärjestelmien kehittämisestä, ennallistamisesta ja vähäpäästöisen kaluston hankinnasta. Epäsuoria kustannuksia syntyy erityisesti hakkuusuunnitteiden rajoittamisesta ja peitteisen metsänkäsitteilyn laajentamisesta, jotka voivat vähentää puuntuotannon tuloja (8).

Metsälannoitus ja jalostetun siemenmateriaalin käyttö ovat kustannustehokkaimpia keinoja hiilinielujen vahvistamiseksi. Jalostetun metsänviljelyaineen käyttö lisää puuston kasvua 10–25 %, kasvattaa hiilinieluja ja hiilivarastoja sekä lyhentää kiertoaikoja, samalla kun lisäkustannukset taimiaineeksessa ovat vähäisiä suhteessa saavutettuun tuottoon ja ilmastohyötyihin (Haapanen ym. 2020; Jansson ym. 2016; Serrano-León ym. 2021).

6.1.5 Suositukset

Metsähallituksen ilmastotoimien vaikuttavuutta voitaisiin vahvistaa kehittämällä ilmastovaikutusten mittaamiseen keskittyvää tutkimusyhteistyötä sekä vahvistamalla organisaation sisäistä asiantuntijaverkostoa. Lisäksi metsätuhoriskien ennakointia ja seurantaa tulisi parantaa, jotta ne voidaan huomioida systemaattisemmin ilmastotavoitteiden saavuttamisessa riskien kautta ja toimenpiteiden priorisoinnissa.

Tavoitteiden toteutuminen realistinen huomioiden Metsähallituksen omat arviot, haastattelut ja kirjallisuus.

6.2 Metsäkadon ehkäisy: Ehkäistään metsän muuttumista pelloiksi (7.2.1) sekä Peltujen kiinteistörakenteen kehittäminen (7.2.2)

6.2.1 Toteutuksen arviointi ja mahdolliset haasteet, ehdotukset jalkauttamiseen

Maatalouden asiantuntijat olivat yksimielisiä siitä, ettei metsää tulla tulevaisuudessa raivaamaan pelloiksi nykyistä enempää. Päinvastoin maatalousasiantuntijoiden mukaan metsänraivauksen tarve vähenee uusien maatalousinnovaatioiden, kuten biostimulanttien, lannoitusteknologioiden ja maidontuotannon tehostumisen myötä (11). Työpajoissa arvioitiin, että lihantuotannon väheneminen noin 10 % vuoteen 2035 mennessä pienentää viljelysmaiden tarvetta, ja terassi- ja kattoviljelyn lisääntyminen voi edelleen keventää painetta raivata uutta peltoalaa (11).

Peltujen kiinteistörakenteen kehittämisen katsottiin tehostaneen resurssien käyttöä ja vähentäneen päästöjä muun muassa turhan liikkumisen ja polttoaineenkulutuksen vähenemisen kautta (6, 9, 12). Toteutuksessa keskeisiä ovat tilusvaihdot ja peltolohkojen yhdistäminen, mutta haasteena on viljelijöiden yhteisnäkemyks alueittain. Maatalouden tutkijat toivat esiin myös markkinaesteitä: suuret toimijat eivät usein pysty ostamaan pieniltä, lopettaneilta tiloilta peltota korkean hintatason ja etäisyyksien vuoksi, mikä voi paikallisesti kannustaa metsänraivaukseen (1).

Asiantuntijoiden mukaan toimenpiteellä on edelleen laajentumispotentiaalia, sillä Suomen peltujen tilusrakenne on yhä hajanaista ja lohkot pieniä. Jalkauttamista tukisivat kehitettyjen mallien aktiivinen viestintä, alueelliset kannustimet ja resurssisäästöjen konkretisointi viljelijöille. Maatalousasiantuntijoiden mukaan alkuperäinen tavoite – tilusrakenteen sujuvoittaminen ja prosessien vauhdittaminen – on edelleen toimiva ja perusteltu (11).

6.2.2 Ilmastovaikutuksen arviointi

Päästövähennyspotentiaalia on arvioitu Lehtonen ym. (2021) toimesta kivennäis- ja turvemaapohjaisessa raivauksessa. Suurin päästövähennyspotentiaali havaittiin skenaariossa, jossa turvemaiden raivaus vähenee voimakkaimmin (vuosittainen vähennyspotentiaali vuoteen 2035 mennessä -1,37 Mt CO₂-ekv. ja vuoteen 2050 mennessä -1,44 Mt CO₂-ekv.). Tilusvaihtojen ja peltolohkojen yhdistämisen kautta liikkumisen kasvihuonekaasuja voidaan vähentää. Ilmastovaikutus ei kuitenkaan ole merkittävässä roolissa etenkin nykyisillä toteutuneilla määrillä ja kohdistuu lisäksi suurelta osin taakanjakosektorille. Peltujen raivaukseen liittyvät päästöt voivat vähentyä, mutta näistä ei ole tarkkaa laskentaa saatavilla. Tutkimus peltujen kiinteistörakentamisen optimoinnin vaikutuksista voisikin olla suositeltava seuraava kehitysaskel.

6.2.3 Ilmastomuutokseen sopeutumisen sekä biodiversiteettivaikutusten arviointi

Peltujen asettuessa tiiviimmin tilakeskusten ympärille ilmastomuutoksen tuomien pitkien kuivuus- ja sateisuusjaksojen vaikutuksia on mahdollisesti helpompi lieventää

kastelujärjestelmin tai pellon urituksin. Muilta osin kiinteistörakenteen kehittäminen ei vaikuta merkittävästi sopeutumiseen. Biodiversiteettiin vaikutukset ovat myös pieniä, mahdollisesti raivauksen välttämällä voidaan monimuotoisuutta säilyttää tietyllä alueella. Vaikutuksista ei ole saatavilla tieteellistä näyttöä.

6.2.4 Kustannusarviointi

PTT:n tutkimuksessa (Laturi ym. 2022) arvioitiin sekä turvemaapeltojen ja kivennäismaapeltojen raivauksen vähentämisen kustannuksia. Molempien osalta tulonmenetykseksi arvioitiin 0–171 €/ha/v. Tutkimuksessa todettiin, että näitä toimia voidaan pitää kustannusvaikuttavina ilmastotoimina. Tarkkoja arvioita kiinteistörakenteen kehittämisen kustannusvaikutuksista ei vielä ole saatavilla.

6.2.5 Suositukset

Peltojen kiinteistörakenteen kehittämistä tulisi jatkaa ja laajentaa erityisesti alueilla, joilla peltolohkojen hajanaisuus on suurta ja liikkumisen päästöt merkittäviä. Toimenpiteen vaikuttavuutta voitaisiin lisätä vahvistamalla tilusjärjestelyjen ohjauksen tarjoamista, parantamalla viljelijöiden välistä yhteistyötä sekä tuottamalla tutkimustietoa rakenteen optimoinnin ilmasto- ja kustannusvaikutuksista. Myös epäaktiivisten kuolinpesien purku voisi auttaa laajentuvia tiloja saamaan epäaktiivisia peltoaloja laajennustarpeisiin. Kuolinpesien aktivoinnista on kerrottu enemmän kappaleen 6.5.5 alla (Joutoalueiden ja heikkotuottoisten peltojen metsitys).

6.3 Metsäkadon ehkäisy: Ehkäistään metsänraivausta rakennetuksi maaksi (7.2.3)

6.3.1 Toteutuksen arviointi ja mahdolliset haasteet, ehdotukset jalkauttamiseen

Metsäkadon vähentäminen nähtiin nopeana ja tehokkaimpana toimenpiteenä haastateltujen viranomais tahojen keskuudessa (12,17). Heidän mukaansa, erityisen keskeistä on välttää turvemaiden metsien raivausta (17). Tällä hetkellä pääasiallinen keino ehkäistä ja seurata metsämaan muutosta rakennetuksi maaksi tulee kaavoituksen ja aluesuunnittelun kautta (12). Metsämaan muuttuminen rakennetuksi maaksi on Suomessa ollut suhteellisen vähäistä, mutta kasvupaine erityisesti kaupunkiseuduilla ja infrastruktuurihankkeissa voi lisätä metsäkadon riskiä. Toteutuneiden raivausten määrä on vaihdellut vuosittain noin 3000–5000 ha tasolla, mikä vastaa arviolta 0,5–1 Mt CO₂-ekv päästöjä vuodessa (Lehtonen ym. 2021).

Energiasektorin toimijat ja intressijärjestöt (13, 14) tunnistivat vahvan investointibuumin uusiutuvaan energiaan ja varastointiteknologioihin. Haastateltavat maatalouden toimijat uskoivat, että aurinkovoimaloiden rakentaminen voi suuntautua yhä enenevässä määrin tuottaville peltoaloille (7). Metsämaalla taas maatuulivoiman ja sen vaatiman infran oletettiin aiheuttavan lisää metsäkatoa kasvavassa määrin seuraavan vuosikymmenen aikana (8). Jotkut metsäalan tutkijat sekä energia-alan intressijärjestöjen edustajat taas näkivät metsäkadon olevan kokonaismetsäalaa kuitenkin yksittäisiä prosentteja, ja hiilihyötyjen energiasektorilla ylittävän haitat (14,19).

Aurinko- ja tuulivoimaloiden osalta asiantuntijat korostivat kaavoituksen merkitystä metsäkadon seurannassa (12). Tämän lisäksi asiantuntijat korostivat erityisesti maankäytönmuutosmaksua yhtenä mahdollisena keinona hillitä metsäkatoa (2,6,13,17). MMM on YM kanssa valmistellut aiemmin maankäytösmaanosmaksua, mutta toimeenpanosta ei olla tehty päätöstä. Viranomaistahojen haastatteluissa korostettiin, että mikäli maankäytönmuutosmaksu otettaisiin käyttöön, sen tulisi olla tarkkaan kohdennettu ja reilu kaikille tai voisi käytännössä toteutua jopa veromuotoisena maksuna (17).

6.3.2 Ilmastovaikutuksen arviointi

Rakentamisen aiheuttamien raivausten päästöt Suomessa on arvioitu olevan vuositasolla noin 0,5–1,0 Mt CO₂-ekv, ja turvemaiden osuus tästä on erityisen merkittävä (Lehtilä ym. 2025). Metsämaa toimii keskimäärin nettonieluna –6 t CO₂ ha⁻¹ a⁻¹, kun taas maankäytön muutos metsistä rakennetuksi alueeksi aiheuttaa kertaluonteisen 40–60 t CO₂ ha⁻¹ päästön ja vuosittaisia ylläpitopäästöjä 0,5–1,5 t CO₂ ha⁻¹ a⁻¹ (Lehtilä ym. 2025).

Infrastruktuurirakentamisessa, kuten tie- ja energia-alueilla, metsäkato on arvioitu noin kuusinkertaiseksi verrattuna vertailualueisiin (Balotari-Chiebáo & Byholm, 2024). Kaupunki- ja infrastruktuurirakentamisessa voidaan kuitenkin saavuttaa hiilihyötyjä lisäämällä kasvillisuutta. Etelä-Suomessa puistometsät sitovat –2 – –5 t CO₂ ha⁻¹ a⁻¹ ja nurmialueet ovat lähes hiilineutraaleja (Thölix ym. 2025). Yksittäiset katu- ja puistopuut muuttuvat nettosidontaisiksi noin 12 vuoden kuluttua istutuksesta ja sitovat –1 – –2 kg C puu⁻¹ a⁻¹ (Havu ym. 2022). Lisäksi luontopohjaiset ratkaisut, kuten viheralueiden ja kosteikkojen yhdistäminen, voivat lieventää rakennettujen alueiden päästövaikutuksia (Gallotti ym. 2021). Massiivipuurakentamisella (CLT, glulam) voidaan vähentää 40–70 % rakennusten elinkaaripäästöistä verrattuna ei-puupohjaisiin ratkaisuihin (Hildebrandt ym. 2017).

6.3.3 Ilmastomuutokseen sopeutumisen sekä biodiversiteettivaikutusten arviointi

Ilmastomuutoksen sopeutumisen ja biodiversiteetin kannalta metsämaan muuttuminen rakennetuksi maaksi heikentää elinympäristöjen monimuotoisuutta ja vähentää vedenpidätyskykyä puuston poistumisen myötä, mikä voi lisätä tulvariskiä (Feng ym. 2021, Thölix ym. 2025, Balotari-Chiebáo & Byholm, 2024). Mikäli maankäytönmuutosta ei saada estettyä, haittoja voidaan lieventää kasvillisuuden lisäämisellä ja säilyttämällä avoimia, niittymäisiä alueita (Lampinen ym. 2025; Thölix ym. 2025). Lampinen et al. (2025) osoittivat, että kaupunkiniityt ja tieympäristöt voivat ylläpitää osaa niittylajistosta ja toimia lajien leviämisreitteinä, vaikka lajikoostumus eroaa luonnonniityistä. Samoin Oldén et al. (2021) havaitsivat, että tienpientareet tarjoavat vaihtoehtoisia elinympäristöjä useille niittykasveille, mutta niiden lajistoa voidaan lisätä parantamalla maaperän hoitoa ja säätämällä niittoaikatauluja. Thölix et al. (2025) raportoivat, että sekapuustoiset viheralueet ja puistometsät ylläpitävät monipuolisempaa kasvilajistoa kuin rakennetut alueet ja lieventävät paikallista lämpösaarekeilmiötä. Lisäksi luontopohjaiset ratkaisut, kuten kosteikot ja viheralueiden yhdistäminen, vahvistavat ilmasto-resilienssiä sekä tulvasuojelun että lämpötilojen tasaamisen kautta (Gallotti ym. 2021).

6.3.4 Kustannusarviointi

Metsänraivauksen ehkäisyn kustannukset muodostuvat pääosin vaihtoehtoiskustannuksista, kuten rakentamisen ohjaamisesta jo käytössä oleville alueille tai tiivistyvän yhdyskuntarakenteen toteuttamisesta. Rakentamisen kohdalla kustannus määräytyy maa-alueiden markkina-arvon ja infrastruktuuritarpeiden mukaan, sekä aluesuunnittelun laajempi kehittäminen huomioimaan paremmin ilmastoresilienssiä sekä biodiversiteettia lisää osaltaan kustannuksia, vaikka voikin huomattavasti kompensoida ekologisia haittoja. Onnistuneen metsäkadon vähentämisen yksikkökustannukset jäävät alhaisiksi kun ne suhteutetaan saavutettuihin ilmastohyötyihin, mutta hinta riippuu monesta tekijästä kuten siitä, mikä olisi ollut muuttuneen maankäytön tuoma taloudellinen hyöty.

6.3.5 Suositukset

Mallinnustulosten ja kirjallisuuden perusteella metsäkadon riski on kasvamassa aiemmin oletettua suuremmaksi erityisesti uusiutuvan energian ja infrastruktuurirakentamisen seurauksena. Toimintaympäristön muutoskenaariossa metsämaata siirtyy rakennetuksi maaksi noin 1 420 hehtaaria enemmän vuodessa kuin perusskenaariossa, mikä vuoteen 2035 mennessä vastaa yhteensä noin 14 200 hehtaarin lisämuutosta. Tässä on mukana vasta aurinko- ja maatuulivoimahankkeet, mutta asiantuntijat uskoivat muutoksien rakennetuksi asuin- ja infrastruktuurialueiksi olevan maltillisia ja lähellä arvioitua. Rakennetun maan päästövaikutus muodostuu sekä kertaluonteisesta raivauspäästöstä (40–60 t CO₂ ha⁻¹) että vuosittaisista ylläpitopäästöistä (0,5–1,5 t CO₂ ha⁻¹ a⁻¹). Näillä oletuksilla metsäkadon suorat maankäyttöpäästöt ovat vuosina 2025–2035 yhteensä noin 0,6–1,0 Mt CO₂. Mallinnustulosten mukaan nielumenetys puuston poistuman vuoksi vielä paljon suurempi. Metsämaan muutos rakennetuksi maaksi kasvattaa myös fyysisiä ilmastoriskejä.

Suosituksena on ohjata uusiutuvan energian investointeja joutomaille, sekä pyrkiä paremmin huomioimaan hankkeiden prosesseissa pitkän ajan aluesuunnittelu, joka pyrkii hillitsemään niin ilmastollisia vaikutuksia, mutta myös erityisesti negatiivisia vaikutuksia ilmastomuutokseen sopeutumiseen ja biodiversiteettiin. Maankäytönmuutosmaksusta, tai vastaavasta verotuksellisesta mekanismista voi olla hyötyä ehkäisemään maankäytön muutoksia.

6.4 Metsäkadon ehkäisy: Maankäytön muutosmaksu kaikelle maankäytölle tai raivauksen luvanvaraisuus (7.2.4)

6.4.1 Toteutuksen arviointi ja mahdolliset haasteet, ehdotukset jalkauttamiseen

Maankäytön muutosmaksu on ollut esillä keinona ohjata metsien raivausta ja rakentamisen maankäyttöpäätöksiä, ja sitä on suunniteltu MMM:n ja YM:n yhteistyössä, vaikkakaan päätöksiä sen käyttöönotosta ei ole vielä tehty. Haastateltavat asiantuntijat olivat pääosin myöntämielisiä sen ottamisesta käyttöön (2,6,13,17). Maksun kohdentuminen pitäisi heidän mukaansa perustua ”muutoksen aiheuttaja” maksaa -periaatteeseen: Maankäyttöä muuttava toimija maksaisi päästöistä aiheutuvan korvauksen. Käytännön toteutuksessa on kuitenkin useita haasteita, jotka liittyvät lainsäädäntöön, hallinnolliseen toimeenpanoon,

resurssien riittävyyteen, maksun kohdentamiseen sekä hyväksyttävyyteen eri toimijaryhmien keskuudessa (Timonen 2020).

Haastatteluissa korostettiin erityisesti oikeudenmukaisuuden ja maksun vaikutusten kohdentumisen kysymyksiä. Esimerkiksi maatalouden asiantuntijat nostivat ongelmaksi viljelijöihin kohdistuvan kohtuuttoman suuren vaikutuksen (metsän raivaus pelloksi), kun taas energiasektorilla tai suurissa infrastruktuurihankkeissa vastaava maksu jäisi vaikutuksiltaan vähäiseksi.

Käytännön jalkauttamisen kannalta viranomaistahojen asiantuntijat pohtivat yhdeksi mahdollisuudeksi veroperusteisuutta (17). Moni haastateltava kuitenkin korosti, että muutosmaksun tulisi olla reilu ja perustua aiheutettavaan haittaan (2,6,13,17). Lisäksi metsänraivauksen luvanvaraisuus nähtiin vaihtoehtoisena keinona, jolla voitaisiin vahvistaa ohjausvaikutusta ja luoda samalla yhtenäinen tieto maankäytön muutoksista. Luvanvaraisuus voisi olla kevyempi hallinnollinen ratkaisu kuin maksun täysimääräinen toimeenpano, mutta se edellyttäisi tarkkaa sääntelyä ja riittäviä valvontaresursseja.

6.4.2 Ilmastovaikutuksen arviointi

Arviot kappaleen 6.2 ja 6.3 yhteydessä.

6.4.3 Ilmastomuutokseen sopeutumisen sekä biodiversiteettivaikutusten arviointi

Arviot kappaleen 6.2 ja 6.3 yhteydessä.

6.4.4 Kustannusarviointi

Aiemmissa tarkasteluissa (Timonen 2020) muutosmaksun kustannustehokkuus on arvioitu kyseenalaiseksi, etenkin jos hallinnolliset kustannukset kasvavat suuriksi suhteessa päästövähennyksiin.

6.4.5 Suositukset

Jotta ohjausvaikutus olisi hyväksyttävä ja hallinnollisesti kestävä, maksun tulisi perustua selkeään haittaperusteisuuteen ja sen tuotto olisi kohdennettava ilmasto- ja luontotoimiin. Vaihtoehtoisesti tai täydentävästi voidaan edistää esimerkiksi haittaverotukseen perustuvaa mekanismia. Molemmissa ratkaisuissa keskeistä on varmistaa oikeudenmukainen kohdentuminen eri toimialoille sekä riittävä valvontakapasiteetti, jotta ohjausmekanismilla saavutetaan todellisia ilmastohyötyjä ilman kohtuuttomia hallinnollisia kustannuksia.

6.5 Joutoalueiden ja heikkotuottoisten peltöjen metsitys (7.3): Joutoalueiden määräaikainen metsitystuki (7.3.1) sekä Heikkotuottoisten metsitykseen soveltuvien peltöjen metsitys (7.3.2)

6.5.1 Toteutuksen arviointi ja mahdolliset haasteet, ehdotukset jalkauttamiseen

Joutoalueiden kokonaispinta-alaksi on arvioitu noin 110 000 hehtaaria, joista turvetuotannosta poistuneita alueita on noin 10 000 hehtaaria (vuonna 2020). Koko alaa ei voida metsittää maisema- ja monimuotoisuustekijöiden vuoksi, ja käytännössä

metsityskelpoinen pinta-ala on selvästi pienempi (Lehtonen ym. 2021). Haastatteluissa todettiin, että metsityshalukkuuteen vaikuttavat kohteiden heikko tuottopotentiaali ja vaikea hoidettavuus, mikä erityisesti suopohjilla voi nostaa kustannuksia. Joutoalueiden metsittämisen rinnalle nostettiin työpajassa vaihtoehdoksi vettäminen tai ennallistaminen, jotka tuottaisivat nopeammin ilmastohyötyä kuin metsitys.

Maatalouden asiantuntijan mukaan olisi hyödyllistä, mikäli kaikki tarpeettomiksi jääneet peltoalat voisi joko vettä tai metsittää (1). Kuolinpesien omistuksissa näitä on hyvin paljon ja ilman mahdollisuutta purkaa näitä omistuksia pellot jäävät ilman toimia (1).

Ilmastotiekartassa (WAM1) arvioitiin, että tulevaisuudessa metsitykseen voitaisiin ohjata noin 10 000 hehtaaria turvemaapohjaisia peltoja (Lehtonen ym. 2021). Työpajoissa nostettiin kuitenkin esiin, että metsityspotentiaalia olisi merkittävästi enemmän kuin mitä nykyiset arviot osoittavat, jos kohdennetut kannustimet luotaisiin erityisesti turvemaapeltojen metsitykseen. Toisaalta työpajakeskusteluissa painotettiin myös, että metsitystä ei tule toteuttaa alueilla, joilla avoimille ympäristöille ominainen lajisto vaarantuisi.

Haasteina maatalouden toimijoiden haastatteluissa nähtiin viljelijöiden heikko kiinnostus investoida metsitykseen ilman riittävän houkuttelevia taloudellisia kannustimia. Erityisesti turvemaapelloilla hoidon vaikeus ja kustannusten nousu ovat esteitä metsitykselle. Lisäksi haastatteluissa todettiin, että osa heikkotuottoisista pelloista on edelleen käytössä maataloudessa, jolloin metsitys voi olla ristiriidassa ruokaturvan ja alueellisen maataloustuotannon turvaamisen kanssa.

Työpajoissa arvioitiin, että metsitys lisääntyisi tulevaisuudessa etenkin, jos määräaikainen tuki kohdennetaan alueille, joilla vaihtoehtoinen käyttö on vähäistä ja metsityksen ilmastohyödyt suuria. Toimeenpanon vahvistamiseksi haastatteluissa suositeltiin myös kansallisen tukijärjestelmän kehittämistä CAP-ohjelman ulkopuolella sekä pilotointihankkeita, jotka osoittaisivat toimenpiteen kustannustehokkuuden ja ilmastohyödyt käytännössä.

6.5.2 Ilmastovaikutuksen arviointi

Joutoalueiden metsitys voi tuottaa merkittävän hiilinielun etenkin kivennäismailla ja entisillä pelloilla. Mallinnusten mukaan metsitys vähentää kasvihuonekaasupäästöjä keskimäärin -3 – -9 tCO₂-ekv ha⁻¹ a⁻¹, riippuen maaperän ravinteisuudesta ja vedenpinnan tasosta (Juutinen ym. 2020). Turvemailla metsityksen hyötyjä rajoittaa orgaanisen aineksen hajoaminen, joka jatkuu pitkään ojituksen jälkeen (Juutinen ym. 2020). Tällöin vaihtoehtona voi olla pohjavedenpinnan nosto, joka vähentää hiilidioksidipäästöjä merkittävästi mutta voi lyhytaikaisesti lisätä metaanin vapautumista.

6.5.3 Ilmastomuutokseen sopeutumisen sekä biodiversiteettivaikutusten arviointi

Joutoalueiden metsittämisen vaikutukset biodiversiteettiin riippuvat muodostuvan kasvillisuuden rakenteesta. Juutinen et al. (2020) toteavat, että yksipuoliset istutukset voivat heikentää alkuperäistä lajistoa, kun taas sekapuustoiset ja monikerroksiset metsitykset lisäävät rakenteellista vaihtelua ja tarjoavat elinympäristöjä erityisesti reunalajeille. Rämö et

al. (2023) korostavat, että metsitys tukee myös ilmastomuutokseen sopeutumista parantamalla vedenpidätyskykyä ja vähentämällä tulvariskiä, mikäli hydrologinen tila säilyy hallittuna. Parhaat tulokset saavutetaan, kun metsitys toteutetaan sekapuustoisuuden periaatteella ja alueen alkuperäinen lajisto huomioiden.

Heikkotuottoisten peltomaiden metsitys voi lisäksi parantaa maaperän rakennetta ja vähentää ravinne- ja kasvihuonekaasupäästöjä maatalouskäytössä olleilta turvemailta (Rämö et al. 2023). Biodiversiteettihiödyt riippuvat kuitenkin lähtötilasta: pitkään avoimina säilyneet pellot voivat olla muodostaneet omaleimaisia kasvilajistoja, joiden elinympäristö heikkenee metsityksen seurauksena (Juutinen et al. 2020).

6.5.4 Kustannusarviointi

Joutoalueiden metsitys on tyypillisesti edullisin toimenpide hiilinielujen vahvistamiseksi, etenkin kivennäismailla ja helposti saavutettavilla alueilla. Haastatteluissa korostettiin, että taloudellinen kannustin on ratkaiseva metsityshankkeiden käynnistymiselle, ja tukitason tulisi vastata paremmin käytännön kustannuksia. Samalla metsitys on kuitenkin ilmastovaikutuksiltaan hitaasti vaikuttava.

PTT:n tutkimuksessa (Laturi et al. 2022) todettiin, että heikkotuottoisten turvepeltojen metsitys voi vähentää julkisen sektorin kustannuksia 530 €/ha/v tukimenojen vähenemisen kautta ja nostaa maanarvoa jopa 10 600 €/ha. Rämö et al. (2023) arvioivat, että peltojen metsitys olisi taloudellisesti kilpailukykyinen, jos hiilen hinta ylittää noin 20–40 €/tCO₂ ja metsityskustannukset pysyvät 1 000–1 500 €/ha.

6.5.5 Suositukset

Mikäli joutoalueiden metsitystavoitteessa onnistuttaisiin, 45000 ha päästövähennys olisi kirjallisuuden perusteella -0,1 Mt CO – -0,4 Mt CO₂, eli hieman alkuperäistä MISU-arviota (-0,1M tCO₂) suurempi (Juutinen ym. 2020).

Työpajassa parhaaksi keinoksi lisätä joutoalueiden metsitystä ja vettämistä äänestettiin epäaktiivisten kuolinpesien purkua. MHY:n (2024) mukaan Suomessa pelkästään metsämaata on jakamattomien kuolinpesien omistuksessa 1,2 M ha. Mikäli esimerkinomaisesti oletettaisiin että 10 % niistä olisi epäaktiivisia kuolinpesiä, tämä tarkoittaisi 120 000 ha. Haastateltavien mukaan myös peltoalueita on runsaasti epäaktiivisten kuolinpesien omistuksessa, ja näiden kuolinpesien purkaminen vapauttaisi enemmän alueita niin metsitys- kuin vettämistoimenpiteille. Työpajassa purkamiseen ehdotettiin Ruotsin mallia: pellot ovat perikunnan hallussa ainoastaan muutaman vuoden. Ellei tilaa ryhdytä asianmukaisesti ylläpitämään, on harkittava sen myymistä eteenpäin. Ruotsin lain 18 luvun ”Allmänna bestämmelser om dödsbo” 7 § mukaan, mikäli kuolinpesään kuuluu kiinteistö, jota verotetaan maatalousyksikkönä, kuolinpesän on myytävä kiinteistö viimeistään neljän vuoden kuluessa kuolinvuotta seuraavan kalenterivuoden päättymisestä. Mikäli kuolinpesä on hankkinut tällaisen kiinteistön myöhemmin, myynti on tehtävä mahdollisimman pian. Valvova viranomainen voi määrätä myyntivelvoitteen uhkasakon nojalla, mikäli määräaikaa ei noudateta.

Suosituksena on myös harkita metsitystuessa rinnalle vaihtoehtona vettämistä tai ennallistamista. Vaikkakin vettämisen kustannukset ovat ylläpidosta johtuen hieman suuremmat, perustamiskulut ovat samalla tasolla metsityksen kanssa. Vettämistoimenpiteet kuitenkin vaativat tarkkaa suunnittelua, ja näin toteutukseen tulisi olla tarpeeksi ohjausta ja informaatiota saatavilla.

6.6 Turvepeltojen ilmastokestävä käyttö (7.4): Pohjaveden pinnan nostaminen turvepelloilla (7.4.1)

6.6.1 Toteutuksen arviointi ja mahdolliset haasteet, ehdotukset jalkauttamiseen

Maatalouden toimijan (7) ja tutkijan (1) mukaan pohjavedenpinnan nosto turvepelloilla on yksi keskeisimmistä mutta heikoimmin edenneistä ilmastotoimenpiteistä. Käytännössä siinä on mahdollisuus siirtyä kosteikkoviljelyyn, jossa jatketaan viljelyä kosteutta kestäville kasveille, kuten ruokohelpillä, pajulla ja energiapuilla. Kosteikkoviljely ei kuitenkaan ole tukikelpoista, eikä sen tuotteille ole muodostunut markkinoita. Osa viljelijöistä odottaa hiilimarkkinoiden ja sertifiointien valmistumista ennen toimiin ryhtymistä (7,1).

Tukijärjestelmä on raskas ja byrokraattinen: se vaatii suunnittelijan, urakoitsijan ja viiden vuoden hoitosopimuksen, mikä nostaa kustannuksia. Kustannukset vaihtelevat ojien tukkimisesta (noin 2000 €/ha) vaativampiin rakenteisiin, joissa hinnat voivat ylittää 10 000 €/ha, tehden kohteista taloudellisesti kannattamattomia (7). Lisäksi vedenpinnan noston vaikutuksia ei pystytä todentamaan luotettavasti, koska kasvihuonekaasuinventaario perustuu VMI-otantaan, eikä pieniä kosteikkokohteita havaita. Rekisteripohjainen seurantarjestelmä puuttuu (esim ruokaviraston kautta perustettu), ja toimenpiteet tulisi toteuttaa valuma-alueetasolla useiden viljelijöiden yhteistyönä, mikä vaikeuttaa etenemistä (1).

Haastateltavien mukaan tukijärjestelmää tulisi yksinkertaistaa ja kannustimia vahvistaa. Esimerkiksi kosteikkosuunnittelu ja urakointi voitaisiin kilpailuttaa keskitetysti, tai valtio voisi ostaa vettämiskelpoisia turvepeltoja ja toteuttaa toimet Metsähallituksen kautta (7). Tulospohjaisia tukia pidettiin lupaavana ratkaisuna, jolloin tukitaso sidottaisiin vedenpinnan korkeuteen tai saavutettuun päästövähennykseen. Lisäksi tulisi päivittää tukikelpoisten kasvien luettelo, jotta kosteikkoviljely olisi taloudellisesti realistisempi vaihtoehto.

Myös aiemmin toimivaksi osoittautunut peltopankkimalli, jossa vettämiseen soveltuvia lohkoja ostetaan ja vaihdetaan alueellisesti MAKERA-rahoituksella, tulisi elvyttää. Maatalouden tutkijan (1) mukaan seurannan kehittäminen on kriittistä: Ruokaviraston kautta toteutettu raportointi parantaisi toimenpiteiden näkyvyyttä ja päätöksenteon tietopohjaa.

6.6.2 Ilmastovaikutuksen arviointi

Pohjaveden pinnan nosto vähentää kasvihuonekaasupäästöjä orgaanisilla maatalousmailla hidastamalla turpeen hajoamista ja pienentämällä maahengityksen CO₂-virtaa. Myllyviita et al. (2024) arvioivat, että hylätyillä turvepelloilla vedenpinnan noston ja kosteikkoviljelyn yhdistäminen eri kosteikkokasvein vähensi CO₂-päästöjä keskimäärin $-6.4 \text{ --} -1.7 \text{ tCO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$, kun taas metaanipäästöt lisääntyivät lyhytaikaisesti $1.1\text{--}0.4 \text{ tCO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Nettovaikutus

oli noin $-5.3 - -1.5 \text{ tCO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$, mikä vastaa vuositasolla noin $-0.1 \text{ Mt CO}_2\text{-ekv}$ vähennystä, jos toimenpide toteutettaisiin kaikilla hylätyillä turvemailla (n. 30 000 ha) Suomessa.

6.6.3 Ilmastonmuutokseen sopeutumisen sekä biodiversiteettivaikutusten arviointi

Pohjaveden pinnan nosto turvepelloilla tukee ilmastonmuutokseen sopeutumista parantamalla maaperän kosteustasapainoa ja vähentämällä kuivumisesta johtuvaa painumista ja eroosiota. Myllyviita et al. (2024) havaitsivat, että vedenpinnan nosto palauttaa maaperän hydrologisia ominaisuuksia ja vähentää ravinteiden huuhtoutumista, mikä pienentää alapuolisten vesistöjen kuormitusta. Samalla kosteampi maaperä toimii puskurina sään ääri-ilmiöitä vastaan, erityisesti pitkiä kuivuusjaksoja ja rankkasateita.

Juutinen et al. (2020) korostivat, että pohjavedenpinnan nostolla voidaan samalla tukea ekosysteemien rakenteellista palautumista: kosteampi maaperä lisää sammalia, sara- ja ruohovartista kasvillisuutta, jotka puolestaan luovat elinympäristöjä hyönteisille ja maaperäeläimille. Vaikutukset lajistoon ovat kuitenkin rajallisia verrattuna täydelliseen ennallistamiseen, sillä toimenpide kohdistuu edelleen viljely- tai tuotantokäytössä oleviin maihin.

6.6.4 Kustannusarviointi

Pohjaveden pinnan noston kustannukset koostuvat lähinnä ojien tukkimisesta, säätösalaajituksesta ja mahdollisista pumppaus- tai maanmuokkausinvestoinneista. Juutinen et al. (2020) arvioivat toimenpiteen suorat kustannukset tasolle 1 000–1 500 €/ha, mikä tekee siitä selvästi edullisemman kuin täysi ennallistaminen. Päästövähennys oli samaa suuruusluokkaa kuin metsityksessä ($-3 - -9 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$), jolloin kustannus-hyötysuhde jää noin 15–50 €/t CO_2 . Rämö et al. (2023) osoittivat, että vastaava kustannustaso on taloudellisesti kannattava, jos hiilen hinta on 20–40 €/t CO_2 . Tämä viittaa siihen, että vedenpinnan nosto turvepelloilla on kilpailukykyinen verrattuna muihin maankäytön ilmastotoimiin, erityisesti huonotuottoisilla pelloilla, joilla maatalouden vaihtoehtokustannus on alhainen. Myllyviita et al. (2024) tukevat tätä johtopäätöstä mallintamalla, että hylättyjen turvepeltojen pohjavedenpinnan nostosta saavutettu vuotuinen vähennys ($-5.3 - -1.5 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) tuottaa koko maan mittakaavassa noin $-0.1 \text{ Mt CO}_2 \text{ a}^{-1}$ ilmastohyödyn. Kun toimenpiteen kokonaiskustannus jaetaan saavutettuun vähennykseen, yksikkökustannus jää keskimäärin alle 30 €/t CO_2 .

6.6.5 Suositukset

Turvepeltojen pohjavedenpinnan nostoa tulisi edistää erityisesti heikkotuottoisilla ja hylätyillä pelloilla, joissa kustannus-hyötysuhde on paras (alle 30 €/t CO_2). Esimerkkinä, jos 10 000 ha saataisiin vedenpinnan noston ja kosteikkokasviviljelyn piiriin vuoteen 2035 mennessä, saavutettava päästövähennys olisi arviolta $-0.15 - -0.53 \text{ Mt CO}_2$. Arvio on hieman aiempaa MISU:n arviota pienempi.

Toteutusta voisi edistää yksinkertaistamalla tukijärjestelmiä ja siirtymällä tulosperusteisiin tukiin, joissa korvaus perustuisi vedenpinnan korkeuteen tai mitattuun päästövähennykseen. Lisäksi tulisi päivittää tukikelpoisten kasvien luettelo ja ottaa käyttöön

aiemmin pilotoitu MAKERA:n peltopankkimalli, jolla vettämiskelpoisia lohkoja voidaan hankkia ja hallinnoida alueellisesti. Ruokaviraston kautta toteutettava rekisteripohjainen seuranta varmistaisi, että kosteikkotoimet näkyvät kansallisessa inventaariossa ja että niiden ilmastohyödyt voidaan todentaa ja liittää osaksi maankäyttösektorin kokonaisraportointia.

6.7 Turvepeltojen ilmastokestävä käyttö (7.4): Turvepellon ilmastokosteikot (7.4.2) sekä Vetetään huonotuottoisia, paksuturpeisia peltoja ja suonpohjia ilmastokosteikoiksi (7.4.4)

6.7.1 Toteutuksen arviointi ja mahdolliset haasteet, ehdotukset jalkauttamiseen

Maatalouden tutkijan (1) mukaan käyttämättömien turvepeltojen vettäminen tai metsittäminen olisi kustannustehokas ja nopeavaikutteinen keino vähentää maaperäpäästöjä. Toimenpiteen etenemistä rajoittaa kuitenkin epäaktiivisten kuolinpesien suuri määrä, sillä niiden omistuksia on vaikea purkaa ja päätöksenteko jää usein tekemättä. Ympäristöalan intressijärjestöjen edustajat (5, 6, 15) pitivät vettämistä ja ilmastokosteikkojen perustamista maankäyttösektorin merkittävimpinä ja nopeimmin vaikuttavina ilmastotoimina, mutta niiden toteutus on jäänyt toistaiseksi vähäiseksi. Haasteena on taloudellisten kannustimien puute: hiilenpoistojen sertifiointi mahdollistaisi vapaaehtoisen hiilikaupan, mutta nykyiset maataloustuet tarjoavat monin paikoin paremman taloudellisen tuoton (5).

Viljelijöiden näkökulmasta (1, 5) vettäminen esteitä ovat tukien menettämisen pelko, kasvava työ määrä ja investointien kustannukset, kuten ojien tukkiminen, kaivuutyöt ja vedenpinnan hallintajärjestelmät. Viranomaistahojen (7) mukaan vettäminen käytännön toteutusta vaikeuttavat lisäksi valuma-alueiden erilaiset olosuhteet ja sään vaihtelut, jotka vaikuttavat vedenpinnan säätelyyn.

Haastateltavat korostivat, että valuma-alueen suunnittelu ja neuvonta voisivat lisätä toimenpiteiden hyväksyttävyyttä ja ehkäistä haittoja naapurituloille. Lisäksi kuolinpesien purkaminen nähtiin keinona vapauttaa huomattavasti vettämiseen soveltuvia peltoaloja, mikä tehostaisi ilmastokosteikkojen perustamista ja vähentäisi maatalouskäytön ulkopuolelle jäävien turvemaiden päästöjä.

6.7.2 Ilmastovaikutuksen arviointi

Turvepellon ilmastokosteikot (7.4.2)

Pohjavedenpinnan nostaminen ja osittainen vettäminen viljelykäytöstä poistuneilla turvepelloilla vähentää hiilidioksidipäästöjä merkittävästi, mutta lisää metaanin vapautumista. Lång et al. (2024) havaitsivat, että kokonaispäästöt (GWP_{100}) vaihtelivat 7,7–16,1 t CO₂-ekv ha⁻¹ a⁻¹ kasvilajista riippuen, ja päästövähennys verrattuna kuivattuun turvepeltoon oli 30–60 %. Kosteilla, ruokohelpivaltaisilla aloilla CO₂-päästöt pienenevät alle 5 t CO₂ ha⁻¹ a⁻¹, jolloin nettovaikutus oli noin -3 – -5 t CO₂-ekv ha⁻¹ a⁻¹. Tällainen osittainen vettäminen vastaa pohjaveden pysyvää nostoa 5–15 cm:iin maanpinnan alle ja soveltuu etenkin hylätyille tai matalatuottoisille turvepelloille.

Huonotuottoiset, paksuturpeiset pellot ja suonpohjat (7.4.4)

Täysi vettäminen, jossa vedenpinta pidetään pysyvästi lähellä tai yli maanpinnan, tarjoaa suuremman ja pysyvämmän ilmastohyödyn. Kekkonen et al. (2025) arvioivat päästövähennykseksi keskimäärin $-5,4 - -2,3$ t CO₂-ekv ha⁻¹ a⁻¹, kun vedenpinta nostetaan 10–20 cm. Niemi et al. (2024) raportoivat samansuuntaisia tuloksia ($-4,6 - -1,8$ t CO₂ ha⁻¹ a⁻¹). Molemmissa tutkimuksissa metaanin nousu oli tilapäinen (n. $+1$ t CO₂-ekv ha⁻¹ a⁻¹), mutta kokonaisvaikutus jäi selvästi negatiiviseksi. Näin ollen pysyvästi vettämällä huonotuottoisia tai paksuturpeisia pelloja voidaan saavuttaa $-4 - -6$ t CO₂-ekv ha⁻¹ a⁻¹ vuosittainen päästövähennys.

6.7.3 Ilmastomuutokseen sopeutumisen sekä biodiversiteettivaikutusten arviointi

Turvepellon ilmastokosteikot (7.4.2)

Pohjavedenpinnan nostaminen turvepelloilla parantaa maaperän kosteustasapainoa ja vähentää kuormitusta alapuolisissa vesistöissä, mikä tukee ilmastomuutokseen sopeutumista. Lång et al. (2024) raportoivat, että osittain uudelleen kastellut turvepellot ylläpitävät viljelykasvien lisäksi kosteikkokasvillisuutta, kuten sara- ja ruohovartisia lajeja, jotka tehostavat haihduntaa ja lisäävät vedenpidätyskykyä. Tämä auttaa tasaamaan sään ääri-ilmiöiden vaikutuksia, erityisesti kuivuutta ja rankkasateita. Biodiversiteetin kannalta vaikutukset ovat maltillisia mutta myönteisiä: osittainen vettäminen lisää rakenteellista monimuotoisuutta ja tarjoaa elinympäristöjä selkärangattomille sekä kosteampaa kasvillisuutta suosiville lajeille ilman, että viljelykäyttö estyy kokonaan.

Huonotuottoiset, paksuturpeiset pellot ja suonpohjat (7.4.4)

Pysyvästi vettämällä entisiä pelloja ja suonpohjia voidaan palauttaa kosteikkoluonnetta ja sen mukana lajistollista monimuotoisuutta. Kekkonen et al. (2025) osoittivat, että korkealla pohjavedellä pysyvät alueet soveltuvat luonnonmukaisen kasvillisuuden ja kosteikkolajien palautumiseen, erityisesti silloin kun vedenpinta on lähellä maanpintaa. Tämä luo elinympäristöjä sammalkasvustolle, hyönteisille ja kosteikkolinnustolle. Niemi et al. (2024) korostivat lisäksi, että vedenpinnan nostolla voidaan hillitä turvepölyn ja ravinteiden kulkeutumista, mikä parantaa vesistöjen ekologista tilaa ja tukee sopeutumista valuma-alueiden tasolla. Li ym. (2024) havaitsivat luoduissa kosteikoissa, että eri pintatyypit — kuten saraikot ja avoimet vesipinnat — lisäävät hiilen sidontaa ja tuovat heterogeenisuutta, joka kasvattaa lajien runsautta verrattuna kuivaan maankäyttöön.

6.7.4 Kustannusarviointi

Turvepellon ilmastokosteikot (7.4.2)

Osittaisen vettämisen ja pohjavedenpinnan noston kustannukset muodostuvat pääosin sääätösalojituksen, vedenpinnan seurannan ja mahdollisen pumppauksen investoinneista.

Niemi et al. (2024) arvioivat kustannustehokkuudeksi 18–35 €/t CO₂, mikä vastaa noin 1000–1500 €/ha kertaluonteisia investointikuluja. Kekkonen et al. (2025) vahvistivat, että hydrologisesti sopivilla alueilla toimenpide voidaan toteuttaa alhaisilla kustannuksilla, kun vedenpinta nostetaan 10–20 cm ilman sadonmenetystä.

Huonotuottoiset, paksuturpeiset pellot ja suonpohjat (7.4.4)

Täysi vettäminen edellyttää usein ojien tukkimista, padotusta ja maaston muokkausta, mikä nostaa kustannuksia hieman korkeammiksi kuin osittainen vedenpinnan nosto. Niemi et al. (2024) arvioivat, että kokonaiskustannukset asettuvat keskimäärin 30 €/t CO₂ tasolle, kun huomioidaan sekä päästövähennys (-4 – -6 t CO₂ ha⁻¹ a⁻¹) että toteutuskulut. Vaikka toimenpiteen alkuinvestointi on suurempi, se tarjoaa pysyvämmän päästövähennyksen ja mahdollisuuden hyödyntää aluetta kosteikkoviljelyyn tai luonnon monimuotoisuutta tukevana suojavyöhykkeenä. Pitkällä aikavälillä yksikkökustannus laskee, kun hiilivaraston hajoaminen pysähtyy lähes kokonaan.

PTT:n (Laturi, 2022) raportissa arvioitiin kustannuksiksi heikkotuottoisten turvepeltojen muuttaminen ilmastokosteikoksi 35–250 €/ha/v investointikustannukseksi ja maanomistajan katetuotoksi -530 €/ha/v. Heikkotuottojen turvepeltojen muuttaminen vesiensuojelukosteikoksi vaati puolestaan 11669/ha investointikustannuksen ja 450 €/ha/v kosteikonhoitokorvauksiin.

6.7.5 Suositukset

Ilmastokosteikkojen perustamista ja turvepeltojen vettämistä tulisi vauhdittaa yksinkertaistamalla tukijärjestelmiä ja lisäämällä taloudellisia kannustimia, erityisesti heikkotuottoisilla ja paksuturpeisilla alueilla. Haastateltavien mukaan valuma-alueen suunnittelu ja keskitetty toteutus — esimerkiksi alueellisten ELY-keskusten kautta — vähentäisivät hallinnollisia esteitä ja lisääisivät viljelijöiden osallistumishalukkuutta. Kuolinpesien purkaminen vapauttaisi huomattavan määrän vettämiseen soveltuvia peltoaloja ja nopeuttaisi toimenpiteiden laajentamista.

Kirjallisuuden perusteella vettäminen ilmastovaikutus on huomattava: 7 500 ha laajuudella päästövähennys olisi -0,02 – -0,04 Mt CO₂ ja 30 000 ha tasolla -0,12 – -0,18 Mt CO₂ vuonna 2035. Tämä tekee toimenpiteestä yhden maankäyttösektorin kustannustehokkaimmista ilmastoratkaisuista, sillä yksikkökustannus jää alle 30 €/t CO₂. Suositeltavaa on myös kehittää tulosperusteisia tukimalleja, joissa korvaus sidotaan vedenpinnan tasoon tai todettuun päästövähennykseen, sekä laajentaa tukikelpoisten kasvien listaa kosteikkoviljelyn edistämiseksi.

6.8 Suometzien ilmastokestävä hoito ja käyttö (7.5): Kokonaisvaltainen suometsehoidon suunnittelu (kunnostusojituksen välttäminen) (7.5.1)

6.8.1 Toteutuksen arviointi ja mahdolliset haasteet, ehdotukset jalkauttamiseen

Haastateltavien mukaan kunnostusojituksen välttäminen on suometzien ilmastokestävyyden kannalta keskeinen, mutta heikosti toimeenpantu toimenpide. Metsäalan asiantuntijat ja viranomaiset (9, 12, 20) arvioivat, että suurin ongelma on, että tottumuksesta tehdään liian syviä ojituksia ilman ilmoitusvelvollisuutta, eikä viranomaisilla ole keinoja puuttua, ellei vaikutus ulotu suoraan vesistöihin. Tutkijoiden (5, 9) mukaan tämä johtaa turvemaiden liialliseen kuivumiseen, hiilivarastojen hupenemiseen ja vesistökuormituksen kasvuun. Lisäksi ojitustilastoihin liittyy tilastointivirheitä ja paikkatietopuutteita, minkä vuoksi todellinen ojitusmäärä jää aliraportoiduksi. Metsänomistajien hajanaisuus ja vanhakantaiset toimintatavat vaikeuttavat uusien käytäntöjen omaksumista, eikä nykyinen tukijärjestelmä tarjoa riittäviä kannustimia kunnostusojituksen välttämiseen.

Haastateltavat korostivat tarvetta uudistaa vesilakia ja lisätä valvontaa siten, että uus- ja kunnostusojituksia voidaan rajoittaa etenkin turvemailla. Tutkijan (5) mukaan ojituksesta pidättäytymistä tulisi tukea erillisellä kannustimella, sillä se olisi kustannustehokas tapa vähentää päästöjä. Lisäksi ehdotettiin valuma-alueen suunnittelua ja paikkatietopohjaista seuranta, jotta toimet voitaisiin kohdentaa oikein ja estää haitat vesistöille. Metsäalan edustajien (6, 9, 12, 20) mukaan jatkuvapeitteinen metsänkasvatus tulisi tehdä ensisijaiseksi menetelmäksi turvemailla, koska se ylläpitää vedenpintaa luonnonmukaisemmin, vähentää päästöjä ja parantaa metsien sopeutumiskykyä. Myös neuvonnan ja tutkimustiedon roolia pidettiin ratkaisevana, jotta metsänomistajat ymmärtävät vesitalouden hallinnan merkityksen ja siirtyvät kestävämpiin menetelmiin.

6.8.2 Ilmastovaikutuksen arviointi

Kunnostusojituksen välttäminen suometseissa vähentää kasvihuonekaasupäästöjä säilyttämällä vedenpinnan korkeammalla ja ehkäisemällä turpeen hajoamista. Alm et al. (2023) arvioivat, että ojitetuilla turvemailla maaperän hiilidioksidipäästöt ovat keskimäärin 8–10 t CO₂ ha⁻¹ a⁻¹, mutta madaltamalla vedenpintaa alle 30 cm maan pinnasta päästöt pienenevät 20–40 %. Minkkinen et al. (2020) osoittivat, että ojituksen seurauksena syntyvät N₂O-päästöt voivat olla noin 0.5 t CO₂-ekv ha⁻¹ a⁻¹, kun taas luonnontilaisilla tai vettämisen jälkeen ennallistuneilla soilla ne ovat lähes nollassa. Li et al. (2024) mallinsivat, että jos kunnostusojitusta ei tehdä ja vedenpinta pidetään 25–30 cm:n syvyydessä, kokonaiskasvihuonekaasupäästöt vähenevät keskimäärin –3.5 t CO₂-ekv ha⁻¹ a⁻¹ verrattuna syvästi ojitettuun metsään. Korkiakoski ym. (2020) havaitsivat, että vedenpinnan nousu osittaisen hakkuun jälkeen ei lisännyt metaanipäästöjä merkittävästi, mikä osoittaa, että korkeampi pohjavedenpinta voidaan yhdistää metsänkäsitteilyyn ilman CH₄-riskiä. Karim et al. (2025) puolestaan raportoivat, että hienoituus pysyy vakaana myös vedenpinnan ollessa 20–30 cm, joten puuston ravinteiden otto ei heikkene, vaikka ojia ei kunnosteta.

Yhteenvetona, kunnostusojituksen välttäminen vähentää turvemaiden CO₂- ja N₂O-päästöjä yhteensä noin -3 – -5 t CO₂-ekv ha⁻¹ a⁻¹ verrattuna syvästi ojitettuihin metsiin, samalla kun metaanipäästöt pysyvät vähäisinä.

6.8.3 Ilmastonmuutokseen sopeutumisen sekä biodiversiteettivaikutusten arviointi

Kunnostusojituksen välttäminen ylläpitää suometsien luonnonmukaisempaa vesitaloutta ja vähentää äärisääelmiöihin liittyviä riskejä. Korkeampi vedenpinta parantaa maaperän vedenpidätyskykyä ja tasaa virtaamia, mikä vähentää kuivina jaksoina vedenpuutetta ja rankkasateiden aikana tulvahuippuja (Alm ym. 2023; Korkiakoski ym. 2020). Biodiversiteetin kannalta ojittamattomien tai vain kevyesti ojitettujen soiden säilyttäminen ylläpitää kosteikkolajiston elinympäristöjä, kuten sammal- ja hyönteisyhteisöjä, jotka kärsivät vedenpinnan laskusta (Minkkinen ym. 2020). Rahkasammalten kasvu jatkuu tai palautuu vedenpinnan pysyessä korkealla, ja ne muodostavat turvetta sitovaa pintarakennetta, joka lisää ekosysteemin resilienssiä ilmastonmuutoksen vaikutuksia vastaan (Laatikainen ym. 2025).

6.8.4 Kustannusarviointi

Kunnostusojituksen tekemättä jättäminen voi vähentää metsänomistajan taloudellista tuottoa: PTT:n (Laturi et al. 2022) mukaan nettonykyarvo voi pienentyä noin 28 %. Ilmastonmuutoksen arvioitiin kuitenkin vaikuttavan lähitulevaisuudessa tähän siten, että ojitus voi lisätä kuivuutta ja näin heikentää kasvuolosuhteita. Näin ollen toimenpiteenä kunnostusojituksen välttäminen arvioitiin kustannusvaikuttavaksi. Haastatteluissa ja työpajoissa todettiin kuitenkin, että ilman lisäkannustimia metsänomistajilla ei ole riittävää motivaatiota luopua ojituksesta.

6.8.5 Suositukset

Kunnostusojituksen välttämistä tulisi edistää kohdistamalla tukea turvemaiden vesitalouden säilyttämiseen ja tekemällä ojituksesta pidättäytyminen erilliseksi, kannattavaksi toimenpiteeksi. Käytännön jalkauttaminen edellyttää informaation tarjoamista metsänomistajille ojituksen välttämisen hyödyistä yhdistettynä jatkuvapeitteiseen kasvatukseen turvemaidella. Toisaalta yksi mahdollisuus olisi myös harkita ojituskieltoa turvemaidelle määräajaksi, mikäli hyödyntää esimerkiksi lannoitustukia METKAN kautta. Lakisääteisillä keinoilla voi harkita vesilain uudistamista siten, että uus- ja kunnostusojituksia voidaan rajoittaa turvemaidella myös ilman suoraa vesistövaikutusta. Lisäksi tarvitaan paikkatietopohjainen seurantajärjestelmä, joka tunnistaa ja valvoo toteutettuja ojituksia.

Valuma-alueen suunnittelun ja neuvonnan avulla voidaan parantaa toimenpiteiden hyväksyttävyyttä ja ohjata metsänomistajia kohti jatkuvapeitteistä metsänkasvatusta, joka ylläpitää vedenpintaa luonnonmukaisesti ja vähentää päästöjä. Ojituskiellon ja kannustinjärjestelmän yhdistäminen mahdollistaisi -3 – -5 t CO₂-ekv ha⁻¹ a⁻¹ päästövähennyksen, mikä 13 000 hehtaarin kattavuudella vastaisi noin -0.04 – -0.07 Mt CO₂ vuosittaista ilmastohyötyä vuoteen 2035 mennessä.

6.9 Suometsien ilmastokestävä hoito ja käyttö (7.5): Kokonaisvaltaisen suometsänhoidon suunnittelu (peitteinen metsänkasvatus rehevissä korvissa) (7.5.2)

6.9.1 Toteutuksen arviointi ja mahdolliset haasteet, ehdotukset jalkauttamiseen

Metsäalan tutkijoiden ja asiantuntijoiden (1, 5, 10, 19) mukaan jatkuvapeitteinen metsänkasvatus on keskeinen keino parantaa suometsien ilmastokestävyyttä, sillä se ylläpitää vedenpintaa ja vähentää päästöjä ilman merkittävää kasvutappioriskiä. He kuitenkin huomauttivat, ettei menetelmä sovellu kaikille kasvupaikoille, ja että nykyiset mallit ja tilastointi eivät vielä erota jatkuvapeitteistä kasvatusta yläharvennuksista tai siemenpuuhakkuista.

Metsäalan toimijat (8, 15, 20, 22) näkivät menetelmän käytännön toteutuksessa suurimpana haasteena taloudellisen kannattavuuden: heidän mukaansa jatkuvapeitteisyys vähentää energiapuun saantia, mikä voi vaikuttaa teollisuuden raaka-ainehuoltoon etenkin suometsävaltaisilla alueilla. Viranomaistahot (12, 17) tunnistivat seurantajärjestelmien ja paikkatietopohjaisen tiedon puutteet, jotka vaikeuttavat toimenpiteen arviointia ja valvontaa. Ympäristöalan intressijärjestöt (6, 9) puolestaan korostivat, että jatkuvapeitteisyys on myös monimuotoisuuden ja vesistönsuojelun kannalta keskeinen, mutta sen todelliset ilmastohyödyt edellyttävät pitkän aikavälin seurantaa.

Tutkijat ja viranomaiset (1, 5, 10, 12, 17, 19) esittivät, että toimenpiteen jalkautus tulisi sitoa valuma-alueen suunnitteluun ja paikkatietopohjaiseen ohjaukseen, jotta jatkuvapeitteinen kasvatus voidaan kohdentaa niille alueille, joilla sillä on suurin ilmastovaikutus. Metsäalan toimijat ja intressijärjestöt (2, 8, 15, 16, 18, 20, 22) ehdottivat taloudellisia kannustimia, kuten ympäristöbonuksia, sertifikaattien lisäкитеereitä ja luontopalvelumaksuja, joilla voitaisiin kompensoida hakkuutulojen laskua.

Maatalouden viranomaisten (7, 17) ja ympäristöalan intressijärjestöjen (6, 9) mukaan jatkuvapeitteinen metsänkasvatus voitaisiin myös yhdistää suometsien vesitalouden hallintaan ja kosteikkoviljelyn tukimuotoihin, mikä vahvistaisi sen ilmasto- ja vesistövaikutuksia. Näin voitaisiin muodostaa kokonaisvaltainen turvemaiden hoidon malli, joka tukee yhtä aikaa ilmastotavoitteita, maaperän hyvinvointia ja elinympäristöjen monimuotoisuutta.

6.9.2 Ilmastovaikutuksen arviointi

Jatkuvapeitteinen metsänkasvatus rehevillä korpisoilla vähentää kasvihuonekaasupäästöjä erityisesti estämällä vedenpinnan liiallisen laskun ja turpeen hapettumisen. Korkiakoski ym. (2023) osoittivat, että osittaisessa hakkuussa turvemaiden nettovaikutus oli ensimmäisen vuoden aikana noin $+0,8 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$, kun taas avohakkuussa päästöt olivat $+3,1 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Kolmen vuoden kuluessa osittain hakattu alue palautui takaisin nieluksi, kun taas avohakattu pysyi selvästi lähteenä. Shanin ym. (2021) mukaan jatkuvapeitteinen kasvatus ravinteisilla, ojitetuilla kuusikorvilla ylläpitää nielun, kun hakkuuintensiteetti on maltillinen. Liian voimakas puuston poistuma nostaa pohjavedenpintaa liikaa ja voi kääntää

hiilitasapainon lähteeksi metaanipäästöjen lisääntyessä. Peltoniemi ym. (2023) raportoivat poimintahakkuiden nostaneen pohjavedenpintaa keskimäärin 14 cm, mutta maaperän kokonaiskasviuonekaasutase ei parantunut ilman lisähydrologista säätelyä, mikä korostaa tasapainon merkitystä vedenpinnan ja puuston haihdunnan välillä. Ahtikoski ym. (2022) havaitsivat toisaalta, että kaistalehakkuut voivat ylläpitää vedenpintaa vakaampana ja vähentää tarvetta kunnostusojitukselle.

Yhteenvetona peitteinen metsänkasvatus rehevissä korvissa pienentää päästöjä avohakkuihin verrattuna keskimäärin noin $-2 - -3 \text{ t CO}_2\text{-ekv ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$, kun pohjavedenpinta pysyy korkealla ja hakkuuintensiteetti maltillisena.

6.9.3 Ilmastonmuutokseen sopeutumisen sekä biodiversiteettivaikutusten arviointi

Peitteinen metsänkasvatus rehevillä korpisoilla ylläpitää metsien rakenteellista ja lajistollista monimuotoisuutta alla eritellyn kirjallisuuden mukaan paremmin kuin perinteinen kiertoaikoihin perustuva metsänkasvatus, joissa toteutetaan uudistushakkuu. Korkiakoski ym. (2023) havaitsivat, että osittaisissa hakkuissa vedenpinta nousi, mutta pysyi tasaisena puuston haihdunnan ansiosta, mikä ehkäisee sekä turpeen liiallista kuivumista että tulvariskiä. Shanin ym. (2021) mallinnuksen mukaan jatkuvapeitteinen kasvatus ylläpitää kosteampia mikrohabitaatteja ja viileämpää mikroilmastoa, mikä tukee sammal- ja lahopuulajistoa erityisesti rehevissä kuusivaltaisissa korvissa. Peltoniemi ym. (2023) osoittivat, että poimintahakkuu ei heikennä maaperän toimintoja, ja osittain kohonnut vedenpinta voi jopa palauttaa kosteikkolajeille soveltuvia elinolosuhteita. Hökkä ym. (2025) havaitsivat, että luontainen uudistuminen onnistuu hyvin peitteisessä kasvatuksessa rehevillä alueilla: taimien määrä kasvoi merkittävästi jo muutamassa vuodessa ja sekapuuston osuus lisääntyi. Tämä vahvistaa metsän rakennetta ja parantaa sen resilienssiä ilmastonmuutoksen vaikutuksia, kuten tuuli- ja hyönteistuhoja, vastaan.

6.9.4 Kustannusarviointi

PTT:n tutkimuksessa (Laturi ym., 2022) arvioitiin, että jatkuvapeitteinen metsänkasvatus olisi kustannusvaikuttavinta erityisesti Pohjois-Suomessa ja turvemailla. Lisäksi katsauksessa todettiin, että kustannukset poimintahakkuista ovat 28 % enemmän tasaikäismetsänkasvatukseen verrattuna. Ahtikoski ym. (2024) arvioivat, että jatkuvapeitteinen kasvatus vähentää päästöjä kustannustehokkaasti, noin 5–20 €/t CO₂-ekv tasolla, samalla kun ravinnekuormitus pienenee. Ahtikoski ym. (2022) havaitsivat, että kaistale- ja valikoivahakkuut ovat pitkällä aikavälillä taloudellisesti kilpailukykyisiä etenkin ojitetuilla turvemailla, sillä ne vähentävät kunnostusojituksen tarvetta ja pitävät vedenpinnan vakaampana ilman merkittävää tuottotappioita.

6.9.5 Suositukset

Jatkuvapeitteistä metsänkasvatusta tulisi edistää ylipäänsä turvemailla, joissa vedenpinnan hallinta on ratkaisevaa ilmastohyötyjen saavuttamiseksi ja jatkuvapeitteinen kasvatus myös tukisi kunnostusojituksen välttämistä, pitäen vedenpinnan tason sopivana. Toimenpide tuottaisi ilmastohyötyjä 78 000 hehtaarin toteumalla vuoteen 2035 mennessä noin $-0,16 - -0,23 \text{ Mt CO}_2$ vuodessa, joka vastaa MISU:n aiempaa arviota.

Käytännön toteutus edellyttää valuma-alueen suunnittelua ja paikkatietopohjaista seurantaa, jotta menetelmä voidaan kohdentaa niille alueille, joilla sillä on suurin ilmasto- ja vesistövaikutus. Jalkauttamista tukee metsänomistajien ja toimijoiden koulutus sekä selkeä ohjeistus vesitalouden hallinnan merkityksestä. Jatkovapeitteisen kasvatuksen jalkauttamista voisi tukea myös markkinapohjaiset menetelmät, kuten ympäristöbonukset tai sertifikaatit. Suositeltavaa on myös kehittää paikkatietopohjainen seurantajärjestelmä, joka erottaa jatkovapeitteiset hakkuut muista hakkuumenetelmistä ja mahdollistaa ilmastovaikutusten luotettavan seurannan pitkällä aikavälillä.

6.10 Edistetään suometsien tuhkalanhoitusta (7.5.3)

6.10.1 Toteutuksen arviointi ja mahdolliset haasteet, ehdotukset jalkauttamiseen

Metsäalan tutkijat ja asiantuntijat (5, 10, 19) pitivät tuhkalanhoitusta pitkän aikavälin kasvua lisäävänä ja kustannustehokkaana keinona, mutta painottivat vaikutusten näkyvän vasta 10–20 vuoden viiveellä. Ympäristöalan intressijärjestöt (6, 9) suhtautuivat lannoituksiin kriittisesti, pitäen niitä riskinä vesistöjen tilalle ja luonnon monimuotoisuudelle. Heidän mukaansa tuhkalanhoituksen lisääminen ilman tiukkoja kriteereitä voisi lisätä ravinnekuormitusta ja heikentää kosteikko- ja korpiluontotyyppien tilaa. Metsäalan intressijärjestöt (2, 16) puolestaan katsoivat, että tuhkalanhoituksen merkitys on jäänyt MISU:ssa aliarvioiduksi, vaikka sen avulla voitaisiin lisätä puuston kasvua erityisesti Pohjois- ja Itä-Suomen turvemilla.

Tutkijoiden mukaan nykyinen tuki on riittämätön kannustamaan metsänomistajia, etenkin kun lannoituksen markkinaehtoisuus tekee siitä riippuvaisen ravinnemarkkinoiden ja turpeenpolton sivutuotteista. Metsäalan toimijat (8, 18, 20) korostivat käytännön haasteita: tuhkalanhoitus toimii vain tietyissä olosuhteissa ja alueilla, ja sen toteutus on sidoksissa logistiikkaan, saatavuuteen ja metsänomistajien motivaation lisäämiseen. Viranomaistahot (12, 17) tunnistivat seurantajärjestelmien puutteet: yksityisten toimijoiden toteuttamasta lannoituksesta ei ole kattavaa tietoa, jos eivät ole menneet tukijärjestelmien (METKA) kautta. Tämä vaikeuttaa vaikutusten arviointia.

Tutkijoiden ja viranomaisten (5, 10, 12, 17, 19) mukaan tuhkalanhoituksen edistäminen edellyttää seurantajärjestelmien vahvistamista: tarvitaan yhteistyötä yksityisten lannoitevalmistajien ja metsänhoitoyhdistysten kanssa, jotta toimenpiteiden laajuus ja vaikutukset voidaan arvioida luotettavasti. Metsäalan toimijat ja intressijärjestöt (2, 8, 16, 18, 20) ehdottivat, että tuhkalanhoituksen kannustimia tulisi lisätä esimerkiksi METKA-tuen sisällä tai omana kohteena, koska nykyiset tuet eivät kata toimenpiteen todellisia kustannuksia. Lisäksi he esittivät logistiikkaketjujen ja alueellisten tuhkan hyödyntämisverkostojen kehittämistä, jotta lannoitus olisi kustannustehokkaampaa. Ympäristöalan intressijärjestöjen (6, 9) mukaan tuhkalanhoitusta tulisi rajata vain heikosti tuottaville tai jo ojitetuille turvemille, joilla vesistövaikutukset ovat hallittavissa, ja sen tulee perustua tiukkoihin ympäristökriteereihin ja pitkäaikaiseen seurantaan.

6.10.2 Ilmastovaikutuksen arviointi

Tuhkalannoituksen ilmastovaikutus turvemaiilla riippuu kasvupaikan ravinteisuudesta ja puuston kehitysvaiheesta. Maljanen ym. (2025) havaitsivat, että granuloidun puutuhkan levitys lisäsi väliaikaisesti maahengityksen CO₂-virtausta erityisesti typenpuutteisilla karuilla mäntyvaltaisilla soilla, mutta vaikutus jäi lyhytaikaiseksi eikä metaanipäästöissä havaittu merkittävää muutosta. Hytönen ja Hökkä (2020) osoittivat, että sekä irto- että granuloitu tuhka lisäsivät männyn kasvua 10–15 vuoden seurannassa, mutta vaste riippui voimakkaasti kasvupaikan ravinteisuudesta. Karuilla turvemaiilla (Cladonia- ja Calluna-tyypit) tuhkalannoitus lisäsi runkotilavuutta noin 40–60 % verrattuna lannoittamattomiin koealoihin, kun taas ravinteikkaammilla mailla lisäys jäi noin 20–30 %:iin. Pitkän aikavälin mallinnuksessa Hökkä ym. (2024) raportoivat, että tuhkalannoitus kaksinkertaistaa männyn puustotuotoksen jopa 50 vuoden ajanjaksolla N-köyhillä soilla. Tämä vastaa hiilivaraston lisäystä noin -100 – -150 t CO₂ ha⁻¹ kiertoajalla verrattuna lannoittamattomaan metsään. Ravinteisemmilla soilla vastaava muutos on -60 – -100 t CO₂ ha⁻¹.

6.10.3 Ilmastomuutokseen sopeutumisen sekä biodiversiteettivaikutusten arviointi

Hytönen ja Hökkä (2020) osoittivat, että tuhkalannoitus lisää männyn kasvua ja tiheyttä erityisesti karuilla turvemaiilla, mikä vahvistaa metsän rakenteellista kestävyyttä ja parantaa vedenpidätyskykyä pidemmän juuriston ja lisääntyneen haihdunnan ansiosta. Tämä pienentää vedenpinnan kausivaihteluita ja vähentää kuivumisriskiä kesäkausina, lisäten metsien sopeutumiskykyä pitkiin kuivuusjaksoihin. Maljanen ym. (2025) havaitsivat, että granuloidun puutuhkan levitys ei muuttanut merkittävästi maaperän mikrobiyhteisöjen toimintaa eikä lisännyt kasvihuonekaasupäästöjä, mikä viittaa siihen, ettei tuhkalannoitus aiheuta haitallisia muutoksia maaperän biologiseen toimintaan. Sen sijaan tuhkalannoitus paransi maaperän pH:ta ja lisäsi ravinteiden (erityisesti K, Ca ja Mg) saatavuutta, mikä tukee pintakasvillisuuden monipuolistumista lannoituksen jälkeisinä vuosina.

Pitkällä aikavälillä tuhkalannoitus voi lisätä sekapuuston kehittymistä erityisesti koivun ja muiden lehtipuiden osalta (Hökkä ym., 2024), mikä vahvistaa metsien monikerroksisuutta ja lisää elinympäristöjen vaihtelua. Biodiversiteettivaikutukset ovat kuitenkin pääosin epäsuoria, sillä nopeutunut kasvu ja suurempi latvuspeittävyys voivat myös varjostaa kenttäkerrosta ja vähentää varpukasvillisuutta.

6.10.4 Kustannusarviointi

Hökkä ym. (2024) osoittivat, että typenpuutteisilla, kuivahkoilla turvemaiilla tuhkalannoitus lisäsi puuston tilavuuskasvua 2–3 m³ ha⁻¹ a⁻¹, mikä paransi metsän nettotuottoa koko kiertoajalla. Lannoituksen investointikustannukset olivat noin 300–500 €/ha, mutta takaisinmaksuaika jäi alle 20 vuoteen, ja sisäinen korkokanta pysyi positiivisena jopa matalilla puun hinnoilla. Myös PTT:n tutkimuksessa (Laturi ym., 2022) turvemetsien tuhkalannoitus arvioitiin kustannusvaikuttavuudeltaan hyväksi toimenpiteeksi.

6.10.5 Suositukset

Tuhkalannoituksen tukeminen on perusteltua erityisesti karuilla, ravinnepuutteisilla turvemaidella, joilla sen kasvua lisäävät ja päästöjä vähentävät vaikutukset ovat suurimmat. Koska toimenpide on pitkällä aikavälillä taloudellisesti kannattava — lannoitus maksaa itsensä takaisin lisääntyneen puuston kasvun kautta — tuki voidaan perustella ensisijaisesti sen toteutumisen ja seurannan varmistamisella. Tukijärjestelmä mahdollistaa tietojen keruun, kohdentamisen ja vaikutusten arvioinnin, mikä on välttämätöntä toimenpiteen laajamittaisessa seurannassa.

Tuhkalannoituksen ympäristövaikutusten hallitsemiseksi tukiehtoja voitaisiin kuitenkin vahvistaa yhdistämällä tuhkalanhoitus hydrologisiin toimiin, kuten ojien madaltamiseen tai määräraikaiseen kunnostusojitusrajoitukseen. Näin toimenpiteestä muodostuisi synerginen kokonaisuus, joka tukee sekä hiilinielua että vesistökuormituksen vähenemistä.

390 000 hehtaarin lannoitustoteuma vuoteen 2035 mennessä tuottaisi arvioiden mukaan -0,3 – -0,7 Mt CO₂ vuosittaista ilmastohyötyä kiertoajan yli laskettuna, joka on jopa hieman alkuperäistä MISU:n arviota korkeampi keskiarvolla. Vuotuista lannoitusala olisi kuitenkin mahdollista kasvattaa, mikäli jalkautusta tuettaisiin kehittämällä alueellisia logistiikka- ja hyödyntämisverkostoja sekä tarjoamalla teknistä neuvontaa tuhkan käsittelyyn, varastointiin ja levitykseen. Näin varmistetaan, että lannoitus voidaan toteuttaa kustannustehokkaasti, ympäristöturvallisesti ja osana suometsien laajempaa ilmastokestävän hoidon mallia.

6.11 Muut hiilensidontaa ja -varastointia edistävät toimenpiteet (7.10): Edistetään peltojen hiilen sidontaa ja hiilivarastoja (7.10.1)

6.11.1 Toteutuksen arviointi ja mahdolliset haasteet, ehdotukset jalkauttamiseen

Peltojen hiilensidontaa edistävissä toimenpiteissä (7.10.1) maatalouden haastateltavat kuvasivat, että suurin potentiaali piilee maan kasvukunnon parantamisessa, orgaanisen aineksen lisäämisessä ja monipuolistetuissa viljelykäytännöissä, ei yksittäisissä teknisissä ratkaisuissa. Maatalouden tutkijan (21) mukaan hiilivaraston lisäys onnistuu etenkin kivennäismailla, joiden lähtötilanne on heikko: alle 5 % multavuuden lohkot voivat lisätä hiilipitoisuutta merkittävästi oikeilla toimenpiteillä, mutta yli 6 % tason ylittäminen ei käytännössä onnistu.

Monipuolinen viljelykierto ja kerääjä- sekä aluskasvien käyttö tunnistettiin vaikuttavimmiksi tavoiksi lisätä hiilivarantoja ilman, että satokasveja joudutaan tinkimään. Näillä on erityistä merkitystä pohjoisissa oloissa, joissa kasvukausi on lyhyt ja kasvipeitteisyyden jatkaminen syksyllä ehkäisee päästöjä (maatalouden toimija 11). Nurmiviljely ja monivuotiset kasvit lisäävät hiilen sidontaa etenkin vähähiilissä maissa, mutta niiden vaikutus riippuu muokkauksesta ja kasvilajeista.

Biohiilen, kompostien ja muiden maanparannusaineiden nähtiin parantavan maaperän rakennetta ja vesitaloutta sekä tuovan pitkäaikaisempia hiilivarastoja. Maatalouden tutkijan (21) mukaan näiden käyttöä rajoittaa kuitenkin kustannus ja epäselvä elinkaarivaikutus: jos

biohiilen tuotanto on fossiilienergiavaltaista, sen nettohyöty voi pienentyä. Kokeiluluonteiset hankkeet ovat silti herättäneet kiinnostusta, ja monilla tiloilla biohiili ja lanta yhdistetään paikallisesti saataviin komposteihin.

Agrometsätalous mainittiin keinona, jolla voidaan lisätä hiilen sidontaa erityisesti pientiloilla ja hajautetussa tuotannossa. Maatalouden tutkijan (4) mukaan metsälaitumet ja peltometsäviljely voisivat tuoda sekä monipuolisempia tulovirtoja että pienimuotoista hiilivarastoa, mutta käytännön kannustimet puuttuvat. Suuret tilat ja vähittäiskaupan volyymivaatimukset ohjaavat tuotantoa kohti yksipuolistumista, jolloin peltometsäviljely ei ole taloudellisesti kilpailukykyistä.

Ekstensifikaatio — eli tuotannon keventäminen heikkotuottoisilla pelloilla — nähtiin keinona saavuttaa nopeita hiilensidonnan lisäyksiä, mutta vaikutus hiilivaraston pitkäaikaiseen kasvuun arvioitiin rajalliseksi. Maatalouden tutkijan (9) mukaan paras tulos saavutettaisiin yhdistämällä ekstensifikaatio ja metsitys, jolloin huonotuottoiset pellot siirtyisivät pitkäaikaiseen hiilen varastointiin. Metsityksen kohdentamista suositeltiin etenkin joutoalueille ja pitkään käyttämättömänä olleille niityille.

Viljelysuunnittelun ja lohkotason laskennan kehitys nähtiin ratkaisevana käytännön jalkautuksessa. Uudet laskentaohjelmistot, jotka seuraavat pellon hiilivarannon muutoksia ja tukevat kasvilajivalintaa, ovat jo käytössä yli miljoonalla hehtaarilla Suomessa (maatalouden tutkija 21). Näiden avulla voidaan suunnitella kerääjäkasvien, monivuotisen peitteisyyden ja orgaanisen lannoituksen yhdistelmiä, jotka vähentävät päästöjä ilman, että tuottavuus kärsii.

Haasteiksi tunnistettiin ennen kaikkea tukijärjestelmän jäykkyys ja kannustimien puute kokeiluille. Maatalouden toimijan (11) mukaan viljelijät olisivat valmiita laajentamaan kerääjäkasvien käyttöä ja panostamaan kalkitukseen tai biohiileen, mikäli tuki kohdistuisi todelliseen hiilensidontaan eikä pelkästään pinta-alaan. Tulospohjaisia malleja pidettiin tarpeellisina, mutta niiden käyttöönotto vaatii luotettavaa seurantaa ja mittaustekniikkaa.

Laajempaan jalkautusehdotuksena esitettiin, että tukirakenteissa painotettaisiin lohkokohdaisia vaikutuksia, sallittaisiin alueellinen jousto tukiehdossa ja kehitetään hiilivarannon muutokseen perustuva palkitsemisjärjestelmä. Näin voitaisiin tukea juuri niitä tiloja, joissa hiilen lisäyspotentiaali on suurin ja joissa toimien vaikuttavuus on mitattavissa.

6.11.2 Ilmastovaikutuksen arviointi

Hiilen hävikkiä kivennäismaapelloilta voidaan hidastaa viljelymenetelmiä muuttamalla, ja maaperä voidaan jopa muuttaa hiilinieluksi, jos hiiltä sitovia toimenpiteitä otetaan laajasti käyttöön. Tehokkaimpia keinoja ovat kerääjäkasvien lisääminen, viherlannoitus- ja biokaasunurmet sekä tuottavuuden ja nurmenhoidon parantaminen. Näillä voidaan saavuttaa jopa 0,69 Mt CO₂-ekv/v päästövähennys vuoteen 2035 mennessä, mutta se vaatii merkittäviä muutoksia tuotantoon. (Lehtonen ym. 2021)

Viljelijöiden motivaatio on keskeistä, ja taloudellinen kannattavuus voi syntyä paremmasta tuottavuudesta. Ilmastomuutos kiihdyttää orgaanisen aineksen hajoamista, ja sen vaikutus

voi olla suurempi kuin yksittäisten viljelytoimien hiilensidonta. Hiilivaraston kasvattaminen onnistuu parhaiten mailla, joilla orgaaninen aines on vähentynyt. Tuottavuuden kasvu lisää hiilen määrää maassa ja mahdollistaa osan peltoalasta siirtämisen kevyempään viljelyyn, mikä tukee kasvukuntoa ja monipuolistaa viljelykiertoa. (Lehtonen ym. 2021)

6.11.3 Ilmastonmuutokseen sopeutumisen sekä biodiversiteettivaikutusten arviointi

Ei arvioitu

6.11.4 Kustannusarviointi

Ei arvioitu

6.11.5 Suositukset

Tehokkaimmat toimet ovat monipuolinen viljelykierto, kerääjä- ja aluskasvit sekä biohiilen ja kompostien käyttö. Biohiilen hyödyntämistä olisi hyödyllistä tukea, jos sen ilmastohyöty voidaan osoittaa koko elinkaaren tasolla. Agrometsätaloutta olisi mahdollista kehittää pientiloilla ja kaupunkien läheisyydessä, ja ekstensifikaatiota tulisi suunnata heikkotuottoisille pelloille yhdessä metsityksen kanssa. Näin toimenpiteet lisääisivät hiilivarastoja kustannustehokkaasti ja tukisivat monipuolisempaa viljelyjärjestelmää.

Peltojen hiilensidontaa voisi edistää kohdentamalla tuet kivennäismaillo, joilla orgaanisen aineksen pitoisuus on alhainen ja lisäyspotentiaali suuri. Tukijärjestelmän olisi mahdollista uudistaa tulosperusteiseksi, jotta palkitseminen perustuisi mitattuun hiilivarannon kasvuun lohkoktasolla.

6.12 Muut hiilensidontaa ja -varastointia edistävät toimenpiteet (7.10): Edistetään kivennäismaametsien lannoitusta, typpilannoitus (7.10.2)

6.12.1 Toteutuksen arviointi ja mahdolliset haasteet, ehdotukset jalkauttamiseen

Typpilannoitus kivennäismailla nähtiin potentiaalisena mutta vielä vajaasti hyödynnettyinä keinona metsien kasvun ja hiilivarastojen lisäämisessä, ja tätä korostettiin myös työpajoissa. Metsäalan tutkijan mukaan suurin ongelma on se, ettei typpilannoitusta toteuteta METKA-tukien piirissä, jolloin viranomaisrekistereihin ei kerry kattavaa dataa (1). Toiseksi ongelmaksi nostettiin, että typpilannoituksen ilmastohyöty ilmenee hitaasti (1).

Nykyinen seuranta perustuu valtakunnan metsien inventointiin, jonka noin sadan koealan otanta ei anna tarkkaa kuvaa lannoitusten alueellisesta jakaumasta tai vuosittaisesta laajuudesta. Metsäalan tutkija pohti, että rekisteripohjaista tai kaukokartoitukseen tukeutuvaa seurantaa tarvittaisiin (5). Hänen mukaansa yksityisten toimijoiden, kuten lannoitteiden ja taimiaineksen tuottajien, tietoja voitaisiin myös hyödyntää täydentävänä aineistona. Ympäristöalan intressijärjestön edustaja toisaalta painotti, että seurannan tulisi silti säilyä riippumattomana ja avoimena VMI-tyyppisenä rakenteena, jotta taloudelliset intressit eivät vaikuttaisi tuloksiin (6).

6.12.2 Ilmastovaikutuksen arviointi

Jetsonen ym. (2024) osoittivat, että 150 kg N ha^{-1} annos lisäsi puuston kasvua keskimäärin 10–20 % kymmenessä vuodessa, mutta maaperän orgaanisen hiilen määrä ei muuttunut merkittävästi. Pitkäaikaisessa seurannassa Smolander ym. (2022) havaitsivat, että toistuvat typpilannoitukset (yhteensä 450 kg N ha^{-1}) lisäsivät puuston biomassaa +30–35 % 40 vuoden aikana, mikä vastaa hiilivaraston vahvistumista noin $-2 - -4 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Ensimmäisten vuosien aikana maahengityksen CO_2 -päästöt kasvoivat hetkellisesti ($+0.3 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$), mutta ero tasoittui 20 vuoden kuluessa. Mallinnustutkimuksessa Pukkala (2017) arvioi, että optimaalinen lannoitusväli on 15–20 vuotta ja annos 100–200 kg N ha^{-1} . Tällöin saavutettiin suurin nettovaikutus, $-2.5 - -5 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$, ilman merkittäviä lisäpäästöjä. Suuremmat annokset lisäsivät maahengitystä ja N_2O -päästöjen riskiä, jolloin ilmastohyöty heikkeni.

6.12.3 Ilmastomuutokseen sopeutumisen sekä biodiversiteettivaikutusten arviointi

Jetsonen ym. (2024) havaitsivat, että lannoitus lisäsi puuston latvuston tiheyttä ja varjostusta, mikä vähensi varpukasvien ja sammalten peittävyttä 30–50 %, mutta lisäsi ruohovartisten ja heinien osuutta. Tämä muuttaa aluskasvillisuuden koostumusta kohti ravinteisempia lajeja, mikä voi tilapäisesti heikentää lajiston monimuotoisuutta, mutta samalla lisätä ravinteiden kiertoa ja maaperän typen saatavuutta. Puuston kasvu nopeutuu ja latvuspeittävyys lisää vedenpidätyskykyä sekä vähentää pintamaiden lämpötilavaihtelua ja kuivumisriskiä, mikä parantaa metsän sopeutumista pitkiin kuivuusjaksoihin (Smolander ym. 2022). Pukkalan (2017) mukaan optimaalinen typpilannoitus (100–200 kg N ha^{-1} 15–20 vuoden välein) vahvistaa metsiköiden elinvoimaisuutta ja kasvuresilienssiä, mikä tukee metsien kykyä toipua sään ääri-ilmiöistä.

6.12.4 Kustannusarviointi

Typpilannoituksen kustannukset muodostuvat pääasiassa lannoitevalmisteen hinnasta ja levityksestä. Pukkala (2017) arvioi, että optimaalinen lannoitus (100–200 kg N ha^{-1} 15–20 vuoden välein) on taloudellisesti kannattavaa lähes kaikissa N-rajoitteisissa kivennäismaametsissä. Kun lisäkasvu vastaa $2-5 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ nielulisäystä, hiilivähennyksen yksikkökustannus jää tyypillisesti alle $10 \text{ €/t CO}_2\text{-ekv}$, mikä on huomattavasti alhaisempi kuin monissa muissa maankäyttösektorin toimissa. PTT:n tutkimuksessa (Laturi ym., 2022) toimenpide arvioitiin kannattavaksi jopa 10 %:n laskentakorolla (puuston kasvu $13 \text{ m}^3/\text{ha}$, kustannus 300 €/ha).

6.12.5 Suositukset

Typpilannoituksen käyttöä kivennäismailla tulisi lisätä hallitusti erityisesti niillä alueilla, joilla metsien kasvu on hidastunut ja joissa lisäravinteet voivat parantaa hiilensidontaa ilman merkittävää maaperäpäästöjen riskiä. Koska toimenpide on taloudellisesti kannattavaa ilman tukia, sen edistämisen tulisi painottua tiedonvälitykseen, ohjeistukseen ja seurannan kehittämiseen.

Metsien kasvatuslannoitusten tavoitteita olisi työpajan asiantuntijoiden mukaan mahdollista kasvattaa huomattavasti. Nykyisillä tavoitteilla (noin 360 000 hehtaaria vuoteen 2035 mennessä) saavutettaisiin arviolta ilmastohyötyä -0,9 – -1,8 Mt CO₂ vuodessa. Vuosittainen lannoitusmäärä voitaisiin pyrkiä nostamaan 60 000 hehtaariin.

6.13 Muut hiilensidontaa ja -varastointia edistävät toimenpiteet (7.10): Edistetään metsien nopeaa ja tehokasta uudistamista (7.10.3)

6.13.1 Toteutuksen arviointi ja mahdolliset haasteet, ehdotukset jalkauttamiseen

Metsäalan toimijoiden (8,22) mukaan kasvu ja hiilivaraston vahvistaminen saavutetaan ennen kaikkea hyvän metsänhoidon, taimikonhoidon, lannoitusten sekä jalostetun siemen- ja taimimateriaalin avulla. Heidän mukaansa näitä keinoja hyödynnetään jo alueellisissa luonnonvarasuunnitelmissa, joissa metsien kasvun arvioidaan lisääntyvän noin 2 % vuositasolla. Jalostetun taimiaineksen käyttö nähtiin tehokkaana mutta hitaasti vaikuttavana keinona: metsäalan tutkijan (5) mukaan sen kasvuhyöty, noin 30 %, näkyy vasta vuosikymmenten kuluessa, eikä sillä ole merkittävää vaikutusta vielä vuoteen 2035 mennessä.

Nopean uudistamisen kannalta tärkeänä nähtiin myös kuolinpesien purkaminen ja passiivisten metsänomistajien aktivointi, sillä noin 10 % Suomen metsistä on edelleen kuolinpesien hallussa, eikä niitä hoideta aktiivisesti (metsäalan toimija 20). Ruotsin mallia pidettiin hyvänä esimerkkinä metsänomistusrakenteen uudistamisesta ja metsänhoidon aktivoimisesta.

Haasteita tunnistettiin erityisesti seurannassa. Nykyinen VMI-seuranta ei riitä havaitsemaan pieniä muutoksia, ja rekisteripohjaista tai yksityisen sektorin tietoa hyödyntävää seurantaa pidettiin tarpeellisena. Kokonaisuutena haastatteluissa korostui, että tehokas uudistaminen edellyttää taimikonhoidon ja varhaisperkausten tehostamista, jalostetun taimimateriaalin käyttöä sekä metsänomistajien ohjaamista aktiiviseen hoitoon. Ohjauskeinojen tulisi olla kannustavia, ei rajoittavia, ja seurannan kehittämisen tulisi perustua yksityisen ja julkisen datan yhdistämiseen.

6.13.2 Ilmastovaikutuksen arviointi

Jalostetun siemen- ja taimiaineksen käyttö vahvistaa metsien hiilinielua pääasiassa lisääntyneen kasvun kautta. Haapanen (2020) osoitti, että ensimmäisen sukupolven siemenviljelyaineeksella kuusen runkotilavuuden kasvu oli keskimäärin +20,6 %, ja 1,5. sukupolven aineksella jopa +36,9 % verrattuna jalostamattomaan materiaaliin.

Pohjoismaiden laajuisessa tarkastelussa Jansson ym. (2016) arvioivat, että metsänjalostusohjelmien keskimääräinen kasvuetu on 10–25 %, mikä lyhentää kiertoaikaa ja nopeuttaa hiilen sitoutumista. Tämä vastaa vuosittaista lisänielua noin -3 – -6 t CO₂ ha⁻¹ a⁻¹ verrattuna jalostamattomaan taimimateriaaliin, riippuen kasvupaikasta ja puulajista.

Simulaatiotutkimuksessa Serrano-León ym. (2021) havaitsivat, että jalostettu mänty tuotti 7–40 % suuremman keskimääräisen vuosikasvun ja mahdollisti kiertoajan lyhentämisen 5–13

vuodella ilman hiilivarastojen pienenemistä. Yhteenvedona jalostettu siemen- ja taimiaineisto vahvistaa hiilinielua noin $-3 - -6 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$.

6.13.3 Ilmastonmuutokseen sopeutumisen sekä biodiversiteettivaikutusten arviointi

Jalostetun siemen- ja taimiaineoksen käyttö vaikuttaa metsien sopeutumiskykyyn ennen kaikkea kasvun nopeutumisen, paremman keston esim. tuholaisia ja kuivuttaa vastaan, ja yhtenäisemmän rakenteen kautta. Haapasen (2020) mukaan jalostetut kuusen jälkeläisryhmät menestyivät tasaisesti eri kasvupaikoilla, eikä geneettisten ryhmien ja ympäristöjen välillä havaittu merkittävää vuorovaikutusta. Jansson ym. (2016) raportoivat, että metsänjalostus lyhentää kiertoaikaa ja lisää tuottavuutta ilman, että eloonjäämisprosentit tai laatuominaisuudet olisivat heikentyneet. Jalostetun materiaalin käytön ei havaittu heikentävän lajiston monimuotoisuutta tutkimuksissa, sillä kokeet kohdistuivat puulajien sisäiseen geneettiseen vaihteluun, ei lajien väliseen. Jalostusohjelmat säilyttävät laajan geneettisen perustan useista pluspuista, mikä tukee metsien pitkän aikavälin sopeutumiskykyä myös muuttuvissa ilmasto-olosuhteissa (Jansson ym. 2016). Simulointitulokset Serrano-León ym. (2021) tutkimuksessa osoittivat, että jalostetut populaatiot kasvavat nopeammin myös niissä ympäristöissä, joissa lämpö- ja kosteusolosuhteet poikkeavat nykyisestä, mikä viittaa niiden geneettiseen joustavuuteen.

6.13.4 Kustannusarviointi

Jalostetun aineoksen käyttö lisää metsien kannattavuutta ilman lisäpanostuksia lannoitukseen tai maankäyttöön, sillä kustannusraja muodostuu pääosin taimituotannosta ja siemenviljelyiden ylläpidosta. Haapanen (2020) totesi, että ensimmäisen ja 1,5. sukupolven kuusimateriaalin kasvuparannus toteutui ilman heikennyksiä rungon laadussa tai eloonjäämisessä, mikä vähentää riskiä tuoton vaihtelulle. Simulointitutkimuksessa Serrano-León ym. (2021) jalostettu männyn materiaali lisäsi metsikön nettonykyarvoa 7–25 % ja tuotti merkittävästi suuremman hiilensidonnän ilman lisäkustannuksia muihin hoitotoimiin verrattuna.

6.13.5 Suositukset

Metsien hidas uudistaminen päätehakkuun jälkeen koettiin ongelmalliseksi, ja suositeltavana pidettiin lainsäädännöllisen veloitteen lisäämistä taimikon perustamiseen, jos luontainen uudistuminen ei ole todennäköistä. Jalostetun siemen- ja taimiaineoksen tutkimusta ja käyttöä tulisi vahvistaa siten, että huomioidaan entistä paremmin metsien sopeutuminen muuttuvaan ilmastoon ja kasvavat tuhoriskit. Lisäksi metsänomistajien aktivointia ja kuolinpesien purkamista tulisi edistää, jotta metsien uudistuminen nopeutuisi ja hoitorästit vähenisivät. Seurannan kehittämiseksi suositellaan viranomais- ja yksityisdatan yhdistämistä, jotta taimikon perustamisen toteutusta voidaan arvioida kattavasti ja reaaliaikaisesti.

6.14 Muut hiilensidontaa ja -varastointia edistävät toimenpiteet (7.10): Lisätään lahopuun hiilivarastoa talousmetsiin monimuotoisuus ja ilmastosyistä säästöpuita jättämällä (7.10.4)

6.14.1 Toteutuksen arviointi ja mahdolliset haasteet, ehdotukset jalkauttamiseen

Lahopuun määrän ja säästöpuiden lisääminen nähtiin metsäalalla sekä ilmastollisesti että ekologisesti perusteltuna toimenpiteenä, joka on jo laajasti sisällytetty vapaaehtoiisiin sertifiointijärjestelmiin ja yritysten omiin ohjelmiin. Metsäalan toimijan (10) mukaan esimerkiksi FSC- ja PEFC-sertifikaatit edellyttävät, että vähintään 5 % metsistä on erityiskäytössä, kuten lahopuuteemakohteina, ja tämän osuutta on mahdollista kasvattaa etenkin talousmetsissä, joissa säästöpuita voidaan jättää harvennusten ja uudistushakkuiden yhteydessä. Lahopuun tuottaminen nähdään siten enemmän metsänhoidon käytännön kysymyksenä kuin uuden hallinnollisen ohjauskeinon tarpeena.

Yrityslähtöiset vapaaehtoiset mallit tarjoavat jo nyt metsänomistajille kertakorvauksen tai bonuksen säästöpuiden jättämisestä ja sitoutumisesta niiden säilyttämiseen (10). Tämä markkinaehtoinen ohjausmalli nähtiin tehokkaana keinona kasvattaa lahopuun määrää ilman, että joudutaan turvautumaan uusien tukijärjestelmien rakentamiseen. Toisaalta jotkut metsänomistajat erityisesti Kaakkois-Suomessa eivät ole uskaltaneet lisätä lahopuustoa kannustimienkaan myötä kirjanpainajariskin vuoksi.

Haasteena pidettiin ennen kaikkea seuranta ja vaikutusten mittaamista. Nykyinen VMI-seuranta ei tavoita lahopuun määrän muutoksia kattavasti, ja metsäalan tutkijan (20) mukaan rekisteripohjaista tai satelliittiaineistoon perustuvaa seuranta olisi kehitettävä, jotta vaikutuksia voidaan arvioida pitkällä aikavälillä.

Metsäalan intressijärjestön edustajan (16) mukaan toimenpiteet tulee sovittaa kasvupaikkakohtaisesti: lahopuun lisääminen ja monimuotoisuuden tukeminen eivät ole ristiriidassa talousmetsien hoidon kanssa, kun hakkuut ja harvennukset suunnitellaan tapauskohtaisesti.

Käytännön jalkautuksessa korostettiin informaatio-ohjausta ja metsänhoidon suositusten päivityksiä, joilla voidaan vaikuttaa laajasti ilman lainsäädännön muutoksia. Uudet Tapion harvennusmallit ohjaavat kasvattamaan metsiä aiempaa tiheämpinä ja jättämään enemmän puustoa harvennusten jälkeen, mikä tukee sekä hiilivarastojen että lahopuun määrän kasvua (10). Myös koulutusmateriaalien ja suunnitteluohjelmien, kuten metsä.fi -palvelun, päivittäminen mainittiin tehokkaana keinona informaatio-ohjauksen vahvistamisessa.

6.14.2 Ilmastovaikutuksen arviointi

Säästöpuiden jättäminen talousmetsiin lisää ekosysteemin hiilivarastoa sekä ylläpitää lahopuun kautta pitkäkestoista hiilen sidontaa. Pikkarainen ym. (2024) mallinsivat boreaalisessa metsämaisemassa, että suojele- ja säästöpuita sisältävissä käsittelyissä lahopuun määrä kasvoi keskimäärin $0,5\text{--}1,5 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$, ja koko ekosysteemin hiilivarasto (elävä + kuollut + maaperä) oli 6–12 % suurempi kuin intensiivimetsänhoidossa. Vastaavasti

Mäkelä ym. (2023) raportoivat kansallisella tasolla, että rakenteellista monimuotoisuutta ja säästöpuita sisältävät hoitostrategiat lisäsivät elävän ja kuolleen biomassan hiilivarastoa 5–15 %, mikä vastaa keskimäärin $-2 - -4 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ suurempaa nielua verrattuna tavanomaiseen metsänhoitoon. Kirjallisuuskatsauksessa Wijas ym. (2024) kokoavat, että lahoppuvarastot voivat sitoa boreaalisissa metsissä tyypillisesti $-30 - -70 \text{ t C ha}^{-1}$ ($\approx -110 - -260 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1}$) ja hajoavat hitaasti, 50–80 vuoden aikaskaalassa, mikä pidentää hiilen viipymää ekosysteemissä.

6.14.3 Ilmastonmuutokseen sopeutumisen sekä biodiversiteettivaikutusten arviointi

Mäkelä ym. (2023) mallinsivat, että rakenteellisesti monimuotoiset metsät, joissa säilytetään säästöpuita ja lahoppuuta, kasvattivat elinympäristöjen pinta-alaa ja lajien potentiaalista esiintymistä 20–35 % verrattuna intensiivisiin käsittelyihin. Samoissa skenaarioissa metsien rakenne pysyi viileämpänä ja kosteampana, mikä hillitsi lämpö- ja kuivuusstressiä etenkin eteläisessä Suomessa. Pikkarainen ym. (2024) osoittivat, että lahoppuun ja sekapuustoisuuden lisääminen vähensi ilmaston lämpenemisen (skenaariot RCP 4.5 ja 8.5) vaikutusta hiilivaraston heikkenemiseen ja paransi metsien palautumiskykyä sään ääri-ilmiöistä. Heidän tuloksensa viittasivat siihen, että nämä toimenpiteet pienensivät hiilivarastojen vaihtelua 15–25 % verrattuna tavanomaiseen tasaikäismetsätalouteen. Wijas ym. (2024) korostivat lahoppuun keskeistä roolia paitsi hiilen varastona myös elinympäristönä: yli 20 % boreaalisten metsien sienistä, hyönteisistä ja lahoppuuriippuvaisista lintulajeista on suoraan riippuvaisia kuolleesta puusta. Näin ollen lahoppuun lisääminen säästöpuiden avulla tukee sekä lajiston monimuotoisuutta että metsien ekosysteemipalveluiden jatkuvuutta muuttuvissa ilmasto-olosuhteissa.

6.14.4 Kustannusarviointi

PTT:n tutkimuksessa (Laturi ym., 2022) arvioitiin talousmetsien lahoppuun hiilivaraston lisäämisen kustannuksia. Säästöpuiden jättäminen vähentää metsänomistajan tuloja, mutta tappioita voidaan pienentää valitsemalla vähemmän arvokkaita runkoja. Pitkäaikaisena hiilivarastona toimenpiteen kustannusvaikuttavuuden arvioitiin olevan 98–123 €/t CO₂-ekv.(säästöpuun hinta 35,8 €/m³, hiilisisältö 0,733 t CO₂-ekv./m³). Mäkelä ym. (2023) arvioivat kansallisissa PREBAS-mallinnuksissaan, että rakenteellisesti monimuotoisten käsittelyjen aiheuttama välitön puuston kasvutappio jää 1–4 %:iin kokonaisvolyymista vuosisadan aikana. Tämä vastaa taloudellisena menetyksenä noin 5–15 €/ha/v. Pikkarainen ym. (2024) raportoivat, että säästöpuiden jättäminen vähensi lyhyen aikavälin hakkuutuloja alle 2 %, mutta lisäsi ekosysteemipalveluiden arvoa, kuten hiilivarastoja ja elinympäristöjen jatkuvuutta, 5–10 % verrattuna intensiiviseen metsätalouteen. Heidän tulostensa mukaan kokonaisnettohyöty oli positiivinen, kun hiilen hinnoitteluarvona käytettiin yli 30 €/t CO₂.

6.14.5 Suositukset

Lahoppuun ja säästöpuiden määrän lisäämistä edistetään jo myös markkinaehtoisin keinoin, kuten metsäteollisuuden omien ohjelmien kautta. Toimenpiteen vaikuttavuutta voidaan vahvistaa kehittämällä yhteistyössä metsänomistajien, teollisuuden ja viranomaisten kanssa kannustinjärjestelmiä, jotka huomioivat myös alueelliset tuhoriskit ja kasvupaikkakohtaiset

erot. Erityisen tärkeää on edistää lahopuun lisäämistä osana sekapuustoisuuden edistämisen kanssa yhdessä, jotta myös esimerkiksi kirjanpainajatuhoja voidaan ennaltaehkäistä tehokkaammin. Lisäksi seurannan ja riskienhallinnan kehittäminen, esimerkiksi satelliittidatan ja paikkatietopohjaisten järjestelmien avulla, tukisi toimenpiteen pitkäjänteistä ja kustannustehokasta toimeenpanoa. Lahopuun hiilivaraston kasvattaminen on siten monihyötyinen keino, joka tukee sekä ilmasto- että monimuotoisuustavoitteita ilman tarvetta uusille hallinnollisille ohjausmekanismeille, mikäli sekametsäisyyden lisääminen etenee samanaikaisesti.

6.15 Muut hiilensidontaa ja -varastointia edistävät toimenpiteet (7.10): Edistetään hiilivarastoja pitkäikäisissä puutuotteissa ja -rakenteissa (7.10.6)

6.15.1 Toteutuksen arviointi ja mahdolliset haasteet, ehdotukset jalkauttamiseen

Haastateltavien asiantuntijoiden mukaan hiilivarastojen edistäminen pitkäikäisissä puutuotteissa ja -rakenteissa ei ole onnistunut vaadittavalla tasolla. Haastateltavan metsäalan intressijärjestön edustajan (16) mukaan tulevaisuuden määrittää pitkälti tuotantokustannukset. Mikäli raakamateriaalin hinta (tukkipuun hinnat) säilyvät korkeina, pienet sahat eivät pärjää ja näiden tulisi erikoistua esimerkiksi koivuvaneriin yleisempien sahatuotteiden sijasta (16). Tilannetta vaikeuttaa koivun huono saatavuus Venäjän tuonnin loppumisen myötä, joka maalaa haastateltavien mukaan uhkakuvia koivuvanerin tuotantokapasiteetin pitkäaikaisesta laskusta vähintään keskipitkällä aikavälillä (16,15). Tiukentuneen tilanteen myötä monet sahat yhdistyvät, sekä integroituvat yhä enemmän kuiduttavan teollisuuden kanssa (15,16). Toivoa kuitenkin olisi lisätä esimerkiksi erikoissahatuotteiden kysyntää, niin sanottujen EWP (Engineered Wood Products) -tuotteiden muodossa (16). Tämä kuitenkin vaatisi esimerkiksi puurakentamisen markkinoiden kehittymistä (15,16).

Metsäalan asiantuntijat (15,16,18) nostivat yhdeksi mahdolliseksi kotimaan sahateollisuutta tukevaksi toimeksi kotimaan puurakentamisen markkinoiden kehityksen. Intressijärjestöjen edustajat arvioivat, että esimerkiksi uusien rakennusten sekä korjausrakentamisen hiiliraja-arvoja laskemalla Tanskan mallin mukaiseksi voitaisiin lisätä puurakentamisen kysyntää kotimaassa ja näin tukea pitkän eliniän tuotteiden tuotantoa (18,16). Asiantuntijoiden näkemys on linjassa kotimaisen selvityksen kanssa, joka suosittelee puupohjaisten ratkaisujen integrointia rakentamisen sääntelyyn ja koulutukseen (Österberg ym. 2024), mutta hiiliraja-arvojen laskeminen ei suoraan suosi mitään yksittäistä materiaalia. Haastateltu ympäristöalan intressijärjestön edustaja (6) toivoikin, ettei rakentamisen vähähiilistymisessä keskityttäisi vain yksittäisiin materiaaleihin, vaan kokonaisuuksiin.

6.15.2 Ilmastovaikutuksen arviointi

Pitkäikäisten puutuotteiden hiilivaraston muutosta ei voida arvioida yksiselitteisesti, sillä vaikutus riippuu tuoteportfolion rakenteesta ja esim. sivuvirtojen käytöstä sekä epäsuorista vaikutuksista. Puutuotteiden hiilivarasto luonnollisesti kasvaa, jos puutuotteiden kysyntä painottuu pitkäikäisiin tuotteisiin kuten saha- levy- ja vanerituotteisiin. Niemi ym. (2025) arvioivat, että puutuotteiden hiilivarasto voi kasvaa nettohyötynä -0,3 – -0,6 Mt C vuodessa

Suomessa vuoteen 2050 mennessä mikäli pitkän eliniän tuotteiden osuus portfolioissa kasvaa. Jos sen sijaan lyhytikäisten tuotteiden ja bioenergian osuus kasvaa, hiilivarasto voi pienentyä. Varaston kehitys on herkkä muutoksille myös sivuvirtojen käytössä ja vientiosuuksissa, minkä vuoksi pitkäikäisten puutuotteiden ilmastohyötyjä ei voida arvioida ilman koko tuotantorakenteen ja markkinadynamiikan huomioimista (Kunttu ym. 2021; Hurmekoski ym. 2023).

6.15.3 Ilmastonmuutokseen sopeutumisen sekä biodiversiteettivaikutusten arviointi

Pitkäikäisillä puutuotteilla ei ole selkeitä suoria vaikutuksia biodiversiteettiin tai ilmastonmuutokseen sopeutumiseen, mutta epäsuorasti kylläkin. Pitkäikäisten puutuotteiden kuten sahatavaran ja rakennusmateriaalien lisääminen edellyttää, ilmastonmuutoksen kasvattamien sääolosuhteiden ja tekniikkavaatimusten huomioon ottamista rakennusmateriaalikehityksessä ja -käytössä. Sama pätee tosin myös ei-puupohjaisiin rakennusmateriaaleihin. Lehtipuupohjaisten innovaatioiden markkina-aseman yleistyminen voisi tukea osaltaan sekametsäisyyden lisäämistä ja siten biodiversiteettiä sekä ilmastonmuutokseen sopeutumista. EU:ssa on jo kehitetty uusia lehtipuupohjaisia ratkaisuja, kuten pyökki-CLT ja pyökki-kuusi-CLT (Cross Laminated Timber) (Franke, 2016).

6.15.4 Kustannusarviointi

PTT:n tutkimuksessa "Maankäyttösektorin ilmastosuunnitelman kustannusvaikutusten arviointi" (Laturi ym. 2022) todettiin ettei pitkäaikaisten puutuotteiden käytölle pysty määrittämään kustannuksia tämän hetken olemassa olevalla tiedolla. Haastateltava metsäalan intressijärjestön edustaja (16) kuitenkin arvioi, että rakennuksien päästöjen raja-arvojen laskemisen ja erityisesti näiden seuranta voisi muodostua ongelmaksi kustannusten kannalta, sillä kuntien rakennusvalvojat toimivat näissä tilastojina ja he ovat ilmaisseet puutteen resurssoinnissa tehokkaaseen seurantaan. Haastateltava metsäalan toimija (15) toi esiin, että esimerkiksi lehtipuupohjaiset uudet rakennusinnovaatiot, kuten massiivipuutuotteet, vaatisivat ensin käytännön pilotointia sekä puurakentamisen opetukseen satsausta.

6.15.5 Suositukset

Pitkäikäisten puutuotteiden osuuden kasvattamista tuoteportfolioissa voisi tukea markkinaehtoinen innovointi, sekä puupohjaisten rakennusratkaisujen kehittäminen ja markkinoiden edistäminen. Haastateltavien asiantuntijoiden mukaan matalien hiiliraja-arvojen asettaminen niin uudis- kuin korjausrakentamiselle tukisi kotimaista puurakentamista, ja tätä kautta pitkäikäisiä puutuotteita. Samalla voisi tukea uusien lehtipuupohjaisten ja muiden massiivipuurakenteiden pilotointeja sekä tuotekehitystä, jotta sahateollisuuden ja puutuotealan tuoteportfolio monipuolistuisi ja näin osaltaan tukisi myös sekametsäisyyden lisäämistä.

7 Muihin strategioihin linkittyvät toimenpiteet, joita suositellaan kytkettäväksi MISU:un yhä vahvemmin

7.1 Kiertoaikojen pidentäminen, tiheämpi alkutiheys, loivemmat harvennukset (A)

7.1.1 Toteutuksen arviointi ja mahdolliset haasteet, ehdotukset jalkauttamiseen

Haastateltujen metsäalan toimijoiden (2, 15, 22) mukaan kiertoaikojen pidentäminen ja loivemmat harvennukset, sekä suurempi alkutiheys (Tapion uudet suositukset 2024) tarjoavat merkittävän mahdollisuuden lisätä metsien hiilivarastoja ilman, että puuntuotannon kannattavuus heikkenee merkittävästi.

Haasteiksi tunnistettiin toimenpiteiden vaikutusten todentaminen ja alueellisten erojen seuranta. Metsäalan toimijan (2) mukaan tarvittaisiin parempaa data-analytiikkaa ja yhtenäistä seuranta, jotta kiertoaikojen ja harvennusmallien muutokset voitaisiin liittää luotettavasti ilmastovaikutusten arviointiin.

Jalkauttamisessa korostettiin informaatio-ohjausta ja Tapion suositusten jalkauttamista esim. metsään.fi -palvelun kautta, joiden avulla voidaan ohjata metsänomistajia kohti monipuolisempaa metsänhoitoa ilman lainsäädäntömuutoksia. Lisäksi ehdotettiin kansallisen puulajistrategian laatimista tukemaan ilmastomuutokseen sopeutumista ja metsien rakenteellista monimuotoisuutta (15). Informaatio-ohjauksen tehokkuudesta oli tosin myös eriäviä mielipiteitä, toiset näkevät, että esimerkiksi Tapion hyvän metsänhoidon suosituksia todella seurataan ja metsänomistajat toimivat niiden mukaan rohkeasti jopa uutta kokeillen (10, 1,22), toiset taas näkivät, että informaatio-ohjaus ilman taloudellista panostusta tuottaa heikosti tuloksia (6).

7.1.2 Ilmastovaikutuksen arviointi

Kiertoaikojen pidentäminen ja loivemmat harvennukset vahvistavat metsien hiilinielua ja pienentävät kokonaisilmastovaikutusta erityisesti kuusivaltaisissa boreaalimetsissä. Kellomäki ym. (2023) osoittivat, että kiertoajan pidentäminen 80 vuodesta 120 vuoteen lisäsi puuston hiilivarastoa. Samalla loivempi harvennus vähensi hakkuujätteen ja maaperän hajotustoiminnan aiheuttamia päästöjä ilman merkittävää kasvunmenetystä. Kokonaiskasvu hidastui noin 20–25 %, mutta hiilivarasto kasvoi. Heinonen ym. (2017) mukaan alhaisempi hakkuuintensiteetti ja pidemmät kiertoajat lisäsivät metsien kokonaishiilivarastoa ja kasvavan puuston määrää. Samalla metsät toimivat vahvempana nieluna verrattuna nykyisiin kiertoaikoihin ja hakkuutasoihin. Lisäksi kuolleen puun määrä kasvoi ja lehtipuuosuus lisääntyi, mikä vahvisti sekä hiilivarastoja että biodiversiteettiä.

Kokonaisuutena pidemmät kiertoajat ja maltillisempi harvennus voivat vahvistaa metsien nielua keskimäärin $-3 - -5 \text{ t CO}_2\text{-ekv ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ verrattuna nykyiseen intensiivisempään malliin.

7.1.3 Ilmastonmuutokseen sopeutumisen sekä biodiversiteettivaikutusten arviointi

Heinonen ym. (2017) osoittivat, että pidemmät kiertoajat lisäävät vanhojen metsien ja lehtipuuvaltaisten sekametsien osuutta sekä kuolleen puun määrää, mikä tukee erityisesti lahoppuusta riippuvaa lajistoa ja ylläpitää luonnonmukaisempaa metsärakennetta. Biodiversiteetti-indikaattorit (kuollut puu, sekapuustoisuus, metsien ikäjakauman tasoittuminen) paranivat kaikissa maltillisen hakkuun skenaarioissa.

Loivemmat harvennukset ja tiheämpi alkutiheys vahvistavat myös metsien sopeutumiskykyä ilmastonmuutokseen. Kellomäki ym. (2023) havaitsivat, että suurempi latvuspeittävyys ja tiheämpi puusto tasaavat mikroilmastoa ja vähentävät haihdunnan kautta tapahtuvaa maaperän kuivumista. Tämä pienentää lämpö- ja kuivuusstressiä ja parantaa metsien kykyä selviytyä äärevistä sääilmiöistä. Lisäksi puuston rakenteellinen vaihtelu pienentää tuuli- ja hyönteistuhoriskejä ja ylläpitää vedenpidätyskykyä, mikä vahvistaa metsän resilienssiä pitkässä aikaskaalassa.

7.1.4 Kustannusarviointi

Kiertoaikojen pidentäminen ja maltillisemmat harvennukset aiheuttavat lyhyellä aikavälillä taloudellisia menetyksiä viivästetyn raakamateriaalisäännin sekä -kantotulojen kautta, mutta voivat parantaa metsien pitkän aikavälin tuottavuutta ja riskinsietoa. Heinonen ym. (2017) osoittivat, että alhaisempi hakkuuintensiteetti ja pidennetyt kiertoajat vähentävät hakkuukertymää lyhyellä aikavälillä ja siten välittömiä tuloja, mutta metsien kokonaistilavuus ja hiilivarasto kasvavat, mikä mahdollistaa suuremman puumäärän korjuun myöhemmin kiertoajan loppupuolella. Tutkimuksessa ei esitetty tarkkoja yksikkökustannuksia, mutta taloudellinen tappio lyhyellä aikavälillä oli selvästi pienempi kuin hiilivarastojen kasvuun liittyvä ilmastohyöty. Kellomäki ym. (2023) havaitsivat, että pidennetyt kiertoajat ja loivemmat harvennukset eivät merkittävästi heikentäneet metsän kokonaiskasvua, vaikka vuosittainen tuotantovirta hidastui noin 20–25 %. Tämä viittaa siihen, että taloudellinen menetys jää maltilliseksi, etenkin jos ilmastohyöty tai hiilinielun arvo huomioidaan.

7.1.5 Suositukset

Kiertoaikojen pidentämisen ja loivempien harvennusten jalkauttaminen nähtiin parhaiten jalkautuvan informaatio-ohjauksen ja metsänhoitosuositusten kautta. Metsänomistajille on tärkeää konkretisoida toimenpiteiden hyödyt esimerkiksi tukkisaannon, puuston laadun ja hiilivarastojen kasvun näkökulmasta, jotta ne saavat käytännön hyväksynnän. Tapion uusien suositusten ja metsään.fi-palvelun hyödyntäminen toimii osaltaan tehokkaana väylänä tiedon välittämiseen.

7.2 Sekapuustoisuuden ja suojelualueiden lisääminen, sekä metsätuhojen ehkäisy (B)

7.2.1 Toteutuksen arviointi ja mahdolliset haasteet, ehdotukset jalkauttamiseen

Haastatteluissa korostui puulajien valinnan ja sekametsäisyyden merkitys metsien rakenteellisen monimuotoisuuden ja sopeutumiskyvyn vahvistamisessa. Metsäalan toimijan

mukaan tämä edellyttää suunnitelmallista jalkauttamista, sillä kaikki puulajit eivät kestä varjostusta taimikkovaiheessa, ja myös aluskasvillisuuden vaikutukset biodiversiteettiin tulee huomioida (15).

Työpajoissa monimuotoisuuden lisäämistä pidettiin tarpeellisena erityisesti metsien rakenteen tasolla. Haastateltavat arvioivat, että sekametsien ja moni-ikäisrakenteisten metsien kasvattaminen sekä lahoppuun jättäminen uhanalaisille lajeille, olosuhteista riippuen, parantavat sekä hiilivarastoja että lajiston elinolosuhteita. Käytännön toimiksi mainittiin harvapuiden jättäminen, lahoppuun lisääminen tehopötkkelöillä, lehtipuuston osuuden kasvattaminen, kantojen nostamatta jättäminen sekä jatkuvapeitteinen metsänhoito turvemailla, jotka tukevat samalla hiilinieluja ja vesitaloutta (15,22,10).

Suojelukohteiden kysynnän nähtiin kasvavan, ja haastateltavat ehdottivat, että suojelumutoja olisi tulevaisuudessa enemmän – esimerkiksi vuokramuotoinen määräaikaissuojelu (15). Runsaspuustoisia metsiä tulisi suojella nykyistä enemmän, ja kuolleen puuaineksen määrää olisi lisättävä myös talousmetsissä hiilivarastojen vahvistamiseksi (2).

Metsäalan toimijan mukaan kansallinen puulajistrategia tulisi laatia ilmastonmuutokseen sopeutumisen tueksi, jotta lajiston sopeuttaminen uusiin olosuhteisiin voitaisiin aloittaa hallitusti ja riittävän varhain (15).

Työpajan asiantuntijoiden mukaan sekapuustoisuus lisää sekä metsien sopeutumiskykyä metsätuhoja vastaan sekä tukee kasvua. Tuhoriskien suhteen kuitenkin korostettiin erityisesti ennakointia: Jo nyt tulisi kehittää tekoälyyn ja satelliittidataan perustuvia järjestelmiä metsätuhojen ehkäisyyn, sillä niitä pidettiin sekä tehokkaimpina että kustannustehokkaimpina sopeutumiskeinoina.

7.2.2 Ilmastovaikutuksen arviointi

Sekapuustoisuuden lisääminen vahvistaa metsien hiilivarastoja ja vähentää kuusettumisen aiheuttamia hiilitappioita. Hyyrynen ym. (2025) osoittivat mallinnuksessaan, että sekapuustoiset metsät säilyttivät hiilivarastonsa keskimäärin 10–20 % suurempana verrattuna kuusivaltaisiin metsiköihin, kun tuulituhojen riski huomioitiin. Assmuth ym. (2021) havaitsivat, että monilajiset metsät pystyivät varastoimaan hiiltä 10–15 % enemmän kuin yksilajiset rakenteet. Henttonen ym. (2024) analysoivat kansallisen inventointiaineiston perusteella, että lehtipuuosuuden kasvu ei heikentänyt kokonaistuotosta, mikä viittaa siihen, että sekapuustoisuus voi lisätä hiilivarastoa ilman merkittävää kasvatappiota.

7.2.3 Ilmastonmuutokseen sopeutumisen sekä biodiversiteettivaikutusten arviointi

Sekapuustoisuuden lisääminen on erityisen kriittistä tuhojen ehkäisyn kannalta. Sekapuustoisuus parantaa metsien sopeutumiskykyä ja vähentää ilmastonmuutoksen aiheuttamia riskejä, erityisesti kuusettuneissa metsissä. Hyyrynen ym. (2025) osoittivat, että sekapuustoisten metsien rakenteellinen monimuotoisuus vähentää tuulituhojen aiheuttamia hiilitappioita 10–20 % verrattuna kuusikoihin. Sekapuustoisuus jakaa tuulikuormitusta ja ylläpitää metsän kasvukykyä myös häiriöiden jälkeen, mikä pienentää sekä taloudellisia että

hiiliriskejä muuttuvassa ilmastossa. Myös Henttonen ym. (2024) havaitsivat metsien inventointiaineiston perusteella, että lehtipuiden osuuden kasvaessa metsiköiden kokonaiskasvu ei heikentynyt, mutta rakenteellinen vaihtelu lisääntyi ja vahvisti metsien kykyä toipua vaurioista. Tämä rakenteellinen monimuotoisuus toimii puskurina äärisäiden, tuholaiden ja taudinaiheuttajien vaikutuksia vastaan.

7.2.4 Kustannusarviointi

Hyyrynen ym. (2025) arvioivat, että jo 50 €/t CO₂ hiilen hinnalla sekapuustoisuus muuttuu taloudellisesti kannattavammaksi kuin kuusivaltaiset metsät, vaikka tuulituhojen riski kasvaisi vain maltillisesti (25 %). Heidän mallinnuksessaan sekapuustoisuuden valinta lisäsi metsän odotusarvoa 5–10 % verrattuna yksipuolisiin metsiköihin, koska hiilensidonnan vakaus ja häiriökustannusten pieneneminen kompensoivat mahdolliset tuotannon erot.

7.2.5 Suositukset

Sekapuustoisuuden ja monimuotoisen metsärakenteen lisääminen tulisi nostaa yhdeksi keskeisistä toimenpiteistä metsien ilmastoriskien ja tuhojen ehkäisyssä. Toimet olisi käynnistettävä viipymättä, sillä sekapuustoisuus parantaa metsien sopeutumiskykyä ja vähentää tuhojen todennäköisyyttä ilman merkittävää kasvutappioriskiä. Jalkauttaminen voidaan toteuttaa ensisijaisesti metsänhoitosuosituksen ja koulutuksen kautta. Innovatiivisten lehtipuupohjaisten tuotteiden ja puurakentamisratkaisujen kehittäminen tukisi epäsuorasti sekametsäisyyden lisäämistä ja vahvistaa puulajiston monipuolistamista myös taloudellisesti.

Suojelun määrän kasvattaminen nähtiin tärkeänä keinona kompensoida metsien muuttumista muuhun maankäyttöön. Tämä edellyttää vapaaehtoisten suojeleohjelmien määrärahojen kasvattamista ja markkinaehtoisten kompensatiomallien kehittämistä, jotta suojelualueiden laajentaminen olisi mahdollista pitkällä aikavälillä.

Samalla tulisi panostaa ennakkoivaan riskienhallintaan: Tekoälyyn ja satelliittidataan perustuvien järjestelmien kehittäminen metsätuhojen havaitsemiseen ja ehkäisyyn tarjoaa kustannustehokkaan keinon vahvistaa metsien resilienssiä muuttuvassa ilmastossa.

8 Hankkeen suositukset maankäyttösektorin ilmastosuunnitelmaan

Tämä hanke on toteutettu Maa- ja metsätalousministeriön toimeksiannosta tukemaan maankäyttösektorin ilmastosuunnitelman (MISU) arviointia. Tavoitteena oli arvioida ilmastosuunnitelman ajantasaisuutta muuttuvassa toimintaympäristössä, tarkastella toimenpiteiden vaikuttavuutta ja riittävyttä, sekä tunnistaa toimeenpanon pullonkaulat ja kehittämistarpeet.

Asiantuntijat arvioivat MISU:n toimenpiteet kokonaisuudessaan toimiviksi. Haasteeksi nostettiin kuitenkin osassa toimenpiteiden kohdalla jalkauttaminen, jota hidastaa mm. maanomistajien vanhoihin toimintatapoihin nojaavat tottumukset ja tulon- tai tukien menetyksen pelko, sekä puutteellinen tieto. Kirjallisuuskatsaus tuki sitä, että MISU:n toimenpiteiden tuomat ilmastovaikutukset ovat MISU:ssa arvioitu realistisesti, sillä arviot osuivat tässä kirjallisuuskatsauksessa tehtyjen minimi-maksimi vaihteluvälien sisään, hyvin pieniä poikkeuksia vettämistoimenpiteissä lukuunottamatta. Minimi- ja maksimi-arvioihin peilattuna MISU:n arvioidut toimenpiteet tuottaisivat +0,7 - -0,5 Mt CO₂ vähemmän tai enemmän ilmastohyötyjä, joka epävarmuudet kuten yleistykset huomioiden tukee johtopäätöstä, että MISU:n alkuperäiset arvoinnit ovat nykytiedon perusteella ajan tasalla. Uuden tutkimustiedon myötä arvioita on kuitenkin syytä tarkastella aika-ajoin.

Toimintaympäristön muutokset peilattuna PEIKKO-hankkeen WEM-P skenaarioon voivat tuottaa haasteita toimenpiteiden onnistumisessa. Arvion mukaan maankäytön muutokset, kuten tuulivoimarakentaminen, tie- ja asuinalueiden laajeneminen, aiheuttavat yhtenä suurimpana tekijänä nielumenetystä perusskenaarioon (PEIKKO WEM-P) verrattuna vuoteen 2035 mennessä. Pelkästään aurinko- ja maatuulivoimarakentaminen voi aiheuttaa metsäkatoa noin 1 400 ha enemmän vuodessa (vrt. PEIKKO WEM-P) kuin aiemmin arvioitu. Vaikka osuus Suomen metsäpinta-alasta on pieni, sen vaikutus hiilinieluun on suhteessa suuri ja pitkäaikainen, ja vaikutukset biodiversiteettiin ovat vielä laajemmat elinympäristöjen pirstaloitumisen vuoksi (Balotari-Chiebáo & Byholm, 2024). Uusiutuvan aurinko- ja maatuulivoiman kehitys on toivottavaa energiasektorin vähähiilistymisen kannalta, mutta hankkeet tulisi kohdentaa niin, etteivät ne sijoitu kohtuuttomassa määrin metsäisille kivennäismaaille, eivätkä lisää esimerkiksi tulvariskejä maan vedenpidätyskyvyn heikentymisen myötä tai aiheuta merkittävää lajikatoa (Balotari-Chiebáo & Byholm, 2024). Aurinkovoimaloiden yhteyteen turvepelloille on kuitenkin mahdollista yhdistää esimerkiksi pohjaveden nostaminen tai vettäminen toimenpiteeksi, joka tuottaisi ilmastohyötyjä.

Asiantuntija-arvioiden mukaisesti kevytmallinnuksessa oletettiin, että aurinko- ja tuulivoiman kapasiteetin kasvu sekä teollisuuden sähköistyminen vähentävät puupohjaisen energian käyttöä noin 10–15 % vuoteen 2035 mennessä, mikä voi asiantuntijoiden mukaan lievittää painetta harvennuksiin ja epäsuorasti tukea Tapion uusien metsänhoidon suositusten (2024) jalkautumista. Pitkän eliniän tuotteiden suhteellisen osuuden vähenemisen kautta puutuotteiden hiilivarasto voi kuitenkin pienentyä vuoteen 2030 mennessä. Mallinnuksen mukaan toimintaympäristön muutosten yhteisvaikutuksena voi olla noin 0,46 Mt CO₂

pienempi hiilinielu perusskenaarioon verrattuna vuonna 2035, silloinkin kun jalostetun siemen- ja taimiaineksen tuomat puuston kasvuhyödyt on otettu huomioon.

Asiantuntijat olivat yksimielisiä siitä, että metsien raivaus pelloiksi tulee vähentymään tulevaisuudessa maatalouden tehostumisen ja uusien tekniikoiden, kuten kattoviljelyn ja täsmäviljelyn, myötä. On kuitenkin epäselvää, missä määrin tällaiset ratkaisut tulisivat yleistymään koko Suomen tasolla. Asiantuntijat myös painottivat, että metsämaata voi muuttua rakennetuksi maaksi infrastruktuurin ja asuinalueiden laajentuessa, erityisesti Etelä-Suomessa. Rakennetun ympäristön muutoksia voisi kuitenkin hillitä aluesuunnittelulla ja lupakäytännöillä, jotka velvoittavat sekä arvioimaan että hillitsemään jatkosuunnittelulla rakentamisen vaikutukset hiilinieluihin, biodiversiteettiin ja ilmastomuutokseen sopeutumiseen. Suunnitelmissa tulisi huomioida esimerkiksi puuston ja viheralueiden, tekokosteikkojen ja pientarekasvillisuuden lisääminen, sillä niiden avulla voidaan kompensoida osaa nielumenetyksistä sekä vähentää tulva- ja lämpösaarekeriskejä (Feng et al. 2021; Gallotti ym. 2021; Thölix ym. 2025; Oldén et al. 2021). Raportin kirjallisuusarvioiden mukaan tällaisilla ratkaisuilla voidaan vähentää 20–30 % hiilinielumenetyksiä ja jopa 40 % biodiversiteettitappioita verrattuna tilanteeseen, jossa rakennettuun ympäristöön ei tehdä kompensoivia toimenpiteitä (Gallotti ym. 2021; Thölix ym. 2025; Oldén et al. 2021).

Mittavamman riskin toimintaympäristössä MISU:n tavoitteiden toteutumiselle aiheuttaa todennäköinen metsätuhoriskien yleistyminen. Ruosteenoja ym. (2025) arvioivat, että lämpötilan nousu ja talvien lyheneminen lisäävät metsien tuhoriskejä ja lajikohtaista kasvun epätasapainoa. Honkaniemi ym. (2024) osoittivat, että kuusettuneissa metsissä kirjanpainajatuhojen osuus voi nousta yli 60 %:iin Etelä-Suomessa, mikä karkeasti vähentyneen elinvoimaisen puuston myötä arvioituna voisi vähentää varastoa noin 2 m³/ha/a eli 0,5–1 Mt CO₂-ekv/vuosi kansallisella tasolla. Vauhkonen ym. (2023) ennakoivat hirvituhojen kasvavan karkeasti kolmanneksella seuraavan 30 vuoden aikana, mikä heikentää taimikoiden uudistumista.

Tuhoriskien lisäksi metsien kuusettuminen ja ikärakenteen yksipuolistuminen vähentävät ekosysteemien resilienssiä ja heikentävät monimuotoisuuden rakenteellisia edellytyksiä. Lehtipuiden osuuden väheneminen tai pysyminen nykytasolla pienentää lahopuujatkumoa ja lisää tuhoriskejä, kun taas turvemaiden kuivatus heikentää kosteikkolajien elinympäristöjä ja hiilen pysyvyyttä maaperässä. Yhteensä metsätuhojen lisääntyminen yhdessä maankäytön muutosten kanssa voi aiheuttaa noin 1–1,5 Mt CO₂ nielumenetyksen perusskenaarioon (PEIKKO WEM-P) verrattuna, sekä mittavat tulonmenetykset kansallisella tasolla. Mallinnustuloksien mukaan jo maltillinen sekapuustoisuuden lisääminen (mallinnuksessa koivun hehtaarimääräinen kasvu valtapuuna 20 % ja muiden lehtipuiden kasvu vastaavasti 5 %, sekä vastaavasti kuusivaltaisten osuuksien hehtaarimääräinen väheneminen kivennäismailla), sekä 0,5 M ha suojelalueen lisääminen yhdessä Tapion uusien metsänhoidon suositusten jalkautusten kanssa voi tuottaa -2,09 Mt CO₂ suuremmat ilmastohyödyt perusskenaarioon verrattuna vuonna 2035. Ajan yli mitattuna vaikutus on noin -1,32 Mt CO₂. Hyyrynen ym. (2025) osoittivat, että sekapuustoiset metsät säilyttävät hiilivarastonsa 10–20 % suurempina verrattuna kuusikoihin, kun tuulituhojen riski otetaan

huomioon, ja Assmuth ym. (2021) arvioivat monilajisten metsien varastoivan hiiltä 10–15 % enemmän kuin yksilajiset rakenteet. Lehtipuiden osuuden kasvattaminen tukee myös lahoppuujatkumoa ja lajiston monimuotoisuutta, eikä se heikennä metsien kokonaiskasvua (Henttonen ym. 2024). Tämä tekee sekapuustoisuuden lisäämisestä yhden kustannustehokkaimmista sopeutumis- ja hillintätoimista. Sekapuustoisuuden lisäämistä tukisi myös tehokkaasti kotimaiset lehtipuupohjaiset tuoteinnovaatiot ja rakennusratkaisut, jotka lisääisivät lehtipuun kysyntää. Hiiliraja-arvojen asettaminen tarpeeksi alhaalle niin uudis- kuin korjausrakentamiselle voisi osaltaan tukea lehtipuupohjaisten rakennusratkaisujen kehitystä sekä ylipäänsä pitkäikäisten puutuotteiden osuuden kasvua tuoteportfoliossa.

Metsätuhojen ennakointi tekoäly- ja satelliittidatan perusteella arvioitiin yhdeksi tärkeimpiä toimia MISU:n onnistumisessa, ja se tulisi ottaa osaksi useita toimenpiteitä, kuten lahoppuun lisäämistä ja metsien nopeaa uudistumista. Tuhoriskien seurannan digitalisointi ja ennakointi esimerkiksi satelliittidatan, kaukokartoitusaineiston, sekä tekoälyn yhdistämisen myötä mahdollistavat toimenpiteiden kohdentamisen tehokkaammin ja aikaisemmassa vaiheessa kuin nykyisin. Työpajan keskusteluissa esitettiin, että valtakunnallisen seuranta-alustan kehittäminen olisi kustannuksiltaan pieni mutta vaikuttavuudeltaan laaja toimenpide, koska se loisi yhtenäisen tietopohjan metsätuhojen, lahoppuun määrän ja hydrologisten riskien arvioinnille. Tämä tukisi sekä ilmasto- että monimuotoisuustavoitteiden seuranta- ja loisi pohjan riskienhallinnan sisällyttämiselle maankäytön suunnitteluprosesseihin, esimerkiksi ennakoimalla kaavoituksessa sekä rakennusprojektien sijoituksessa riskialueita.

Metsätuhoriskien torjunnassa tärkeimmät toimenpiteet ovat Metsien kasvupaketissa korostetut toimet kuten sekapuustoisuuden lisääminen, uusien metsänhoidon suositusten jalkauttaminen korkeammilla alkutiheyksillä, loivemmillä harvennuksilla ja pidennetyillä kiertoajoilla. Kustannusvaikutusten osalta kiertoaikojen pidentäminen ja loivemmat harvennukset aiheuttavat lyhyellä aikavälillä tulonmenetyksiä, mutta kasvattavat metsien kokonaisvolyymiä ja hiilivarastoja pitkällä aikavälillä. Heinonen ym. (2017) ja Kellomäki ym. (2023) osoittivat, että vaikka tuotantovirta hidastuu 20–25 %, taloudellinen menetys jää pienemmäksi kuin saavutettu ilmastohyöty, sillä hakkuukertymä kasvaa kiertoajan loppupuolella. Hakkuukertymän pienentyminen alussa mutta kasvaminen myöhemmin nähtiin myös tämän hankkeen kevyt mallinnuksella.

MISU-toimenpiteet kuten suojellun alan kasvattaminen, sekä kunnostusojituksen välttäminen rehevillä turvemailla, itsessään vähentävät myös tuhoriskejä. Asiantuntijat kuitenkin arvioivat, että kunnostusojituksen välttäminen turvemailla on haastavaa maaomistajien vakiintuneista ojitustottumuksista johtuen. Mikäli kunnostusojituksen trendi jatkuu, ja vaikka jopa puolet MISU:n tavoitteesta välttää kunnostusojitusta saavutettaisiin, menetetään nettohyötyjä 0,08–0,12 Mt CO₂/v vuonna 2035 verrattuna perusskenaarioon (PEIKKO WEM-P), samalla kun kuivuuden aiheuttamat ongelmat kasvavat.

Kunnostusojituksen välttäminen ja jatkuvapeitteinen kasvatus muodostavat selkeän synergian, joka lisää turvemaiden hiilen pysyvyyttä ja pienentää kirjanpainajatuhojen riskiä. Metsäomistajille kohdennettu neuvonta, todistepohjaiset tulokset uusien suositusten sekä ojituksen välttämisen hyödyistä rehevillä turvemailla, voisivat asiantuntijoiden mukaan vahvistaa toimenpiteiden toteutumista huomattavasti. Kunnostusojituksen välttämiseksi yksi

vaihtoehto olisi kytkeä ehto kunnostusojituksesta pidättäytymisestä, tai ojien madaltamisesta (vedenpinnan nosto ojien täytön kautta) tuhkalannoituksen Metka -tukiin.

Työpajassa kasvatuslannoituksia pidettiin erittäin tärkeinä keinoina tukea metsien kokonaiskasvun paranemista sekä resilienssiä ilmastomuutosta vastaan. Typpilannoitus säännöllisesti lisättynä tuottaa noin $-2 - -5 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ nielulisäyksen alle 10 €/t CO_2 - yksikkökustannuksella – tehden siitä kustannustehokkaan toimenpiteen (Pukkala, 2017). Koska toimenpide on markkinaehtoisesti kannattava ilman tukia, sen edistäminen perustuu ennen kaikkea neuvontaan, ohjeistukseen ja seurantaan. Tuhkalannoituksen ilmastohyöty on arvioitu $-0,3 - -0,7 \text{ Mt CO}_2$ vuodessa vuoteen 2035 mennessä 390 000 hehtaarin toteumalla. Työpajassa asiantuntijat katsoivat, että vuotuista lannoitusala olisi mahdollista kasvattaa huomattavasti, esimerkiksi 60 000 hehtaariin vuodessa. Tuhkalannoitus on metsäomistajalle nettohyödyllinen investointi samoin kuin typpilannoitus puuston parantuneen kasvun kautta, joten tukien perusteena on pääasiassa terveyslannoituksen muodot sekä toimenpiteen seurantatietojen saanti. Toisaalta metsäalan toimijat ja intressijärjestöt korostivat, että tuhkalannoituksen kannustimia tulisi lisätä METKA-tuen sisällä tai erillisenä tukikohteena, sillä nykyiset tuet eivät kata toimenpiteen todellisia kustannuksia. He ehdottivat myös alueellisten logistiikkaketjujen ja tuhkan hyödyntämisverkostojen kehittämistä, jotta tuhkalannoituksen käytännön jalkautus ja tuhkan varastointi olisivat kustannustehokkaita.

Metsityksen eteneminen oli asiantuntijoiden mukaan jäänyt tavoitteistaan joustoalueiden ja heikkotuottoisten peltojen osalta, vaikka nämä alueet tarjoaisivat nopeimmin realisoituvia hiilensidontahyötyjä. Haastatteluissa useat asiantuntijat korostivat, että epäaktiiviset kuolinpesät muodostavat keskeisen esteen sekä metsitys- että vettämis-toimien jalkautumiselle. Päätöksenteko jää usein tekemättä, minkä seurauksena huomattava osa metsitys- ja vettämis-potentiaalista jää hyödyntämättä. Työpajassa ehdotettiin ratkaisuksi kuolinpesien aktivointia purkujen tai muunlaisten sääntelytoimien kautta, sillä tämän arvioitiin olevan kustannustehokkain keino vauhdittaa metsitys- ja vettämis-toimenpiteiden käytännön toteutusta. Työpajassa painotettiin myös, että vettämis ja ennallistamisen tulisi olla tasavertaisia vaihtoehtoja metsityksen rinnalla. Vettämis toimeenpanoa on kuitenkin rajoittanut ennen kaikkea taloudellisten kannustimien ja käytännön toteutuksen tiedon puute maanomistajilla, esimerkiksi siitä kuinka ennakoida vaikutuksia ympäröiviin (ja naapurien) alueisiin. Vettämis kustannukset ovat myös jonkin verran suuremmat jo perustamisvaiheessa kuin metsityksen, ja lisäkustannuksia syntyy vedenpinnan kontrolloinnista. Kustannuksiin nähden vettäminen on kuitenkin yksi nopeimmista ja kustannustehokkaimmista toimenpiteistä, kun tarkastellaan sen ilmastovaikutusta ja sivuhyötyjä biodiversiteetille ja vesitaloudelle. Maanomistajat tarvitsevat tukien lisäksi nykyistä enemmän asiantuntijatukea suunnitteluun ja toimenpiteiden vaikutusten arviointiin, erityisesti valuma-alueen kokonaisuuden ja naapuritilojen huomioon ottamiseksi. Mikäli vettämis-toimenpiteitä saataisiin tuettua nykyistä laajemmin, tavoitetasoa voitaisiin työpajaosallistujien mukaan kasvattaa jopa 50–100 %, mikä vastaisi karkeasti jopa $-0,1 - -0,4 \text{ Mt CO}_2$ lisäistä vuosittaista ilmastohyötyä verrattuna nykyiseen toteumatasoon vuoteen 2035 mennessä.

Maankäyttösektorin ilmastosuunnitelman toimeenpanon onnistuminen edellyttää MISU:n toimenpiteiden jalkauttamisen vahvistamista ja eri toimenpiteiden synergioiden vahvistamista, entistäkin vahvempaa kansallisten strategioiden (kuten Metsien kasvun ja hiilinielujen vahvistamisen toimenpidepaketti ja Kansallinen ilmastomuutokseen sopeutumissuunnitelma 2030) kytkemistä MISU:un, sekä eri sektoreiden yhteistyön vahvistamista. Maatalouden, energiasektorin ja maankäytön rajapinnoilla tapahtuvat toimenpiteet – esimerkiksi viljelytoiminnan sopeuttaminen kosteampiin olosuhteisiin, kosteikkoviljely sekä ravinteiden kiertoon perustuva biomassan hyödyntäminen sekä biopolttoainepohjaiset ratkaisut – tarjoavat merkittävän mahdollisuuden kasvattaa hiilivarastoja ja vähentää päästöjä.

Hankkeen kevytmallinnuksen ja kirjallisuusanalyysin perusteella arvioimme, että mikäli toimintaympäristön ennakoidut trendit toteutuvat ja jalkautuksen kannalta haastavia toimenpiteitä kuten kunnostusojituksen välttämistä ei saada tavoitteiden verran etenemään, maankäyttösektorin nettonielu voi heiketä vuoteen 2035 mennessä noin +1,1 – +1,7 Mt CO₂ekv./v verrattuna perusskenaarioon (PEIKKO WEM-P). Sen sijaan, mikäli MISU-toimenpiteet saadaan toteutettua tavoitellussa laajuudessaan tai joidenkin toimenpiteiden osalta vielä laajemmin (kasvatuslannoitusten lisääminen, turvemaiden ja –peltojen vedenpinnan noston sekä vettämisen edistäminen ja joutoalueiden metsitys), sekä muihin strategioihin kytkeytyvät toimenpiteet saadaan onnistuneesti jalkautettua (sekapuustoisuuden lisääminen, Tapion uusien metsänhoidon suositusten jalkautus, suojeltujen alueiden osuuden lisäys), saavutettava ilmastohyöty on arviolta -3,3 – -4,3 Mt CO₂ekv./v vuonna 2035.

9 Arviointikehikko ja suunnitelman toimeenpanoprosessi

Toimenpidekohtaisten suositusten lisäksi, osana hanketta laadittiin Excel -pohjainen arviointikehikko maankäyttösektorin ilmastosuunnitelman toimeenpanon seurantaan ja arviointia varten. Kehikko kokoaa yhteen toimenpiteiden tavoitteet, toteumat, kustannukset sekä arvioidut vaikutukset ja suositukset, sekä tarjoaa jäsennellyn menetelmän kokonaisuuden tarkasteluun.

Arviointikehikko koostaa tässä hankkeessa kerätyn aineiston yhteen ja on päivitettävissä tietojen kehittyessä. Arvioituja ilmastovaikutuksia seurataan minimi- ja maksimi haarukoinnein, sekä toteutumista arvioidaan laadullisella aineistolla. Arviointia tukee liikennevalomalli, jota sovelletaan sekä toteutuksen etenemisen että ilmastovaikutusten arvioinnissa ja joka mahdollistaa seurannan, onko toimenpiteen jalkauttamista saatu tehostettua. Arvioinnissa tarkastellaan suunnitelman toimeenpanoprosessia ja sen vaikuttavuuteen liittyviä näkökulmia. Tässä hyödynnetään osin samoja periaatteita kuin Kansallisen ilmastomuutokseen sopeutumissuunnitelman 2022 toimeenpanon väliarvioinnissa, jossa käytetyt arviointikriteerit (MMM julkaisuja 2019:11) luovat vertailupohjan prosessin tarkastelulle.

Arviointikehikkoa on tarkoitus päivittää vuosittain tai kun merkittäviä muutoksia ilmaantuu toimintaympäristöön. Työkaluun sisältyy erillinen lokisivu, joka dokumentoi kaikki keskeiset muutokset ja varmistaa seurannan läpinäkyvyyden ja jäljitettävyyden.

Kokonaisuutena arviointikehikko luo MMM:lle välineen, jonka avulla voidaan seurata toimenpiteiden etenemistä, tunnistaa kriittisiä pullonkauloja ja arvioida, missä määrin ilmastosuunnitelman lisäisyystavoite – 3 Mt CO₂-ekv vuosittain vuoteen 2035 mennessä on saavutettavissa.

Kirjallisuusluettelo

- Ahtikoski, A. et al. (2024). Trade-offs between nutrient export, greenhouse gas balance and financial performance in continuous cover and rotation forestry in drained peatlands in northern Finland. *Mires and Peat*, 31, Article 22. <https://doi.org/10.19189/MaP.2023.OMB.Sc.2411678>
- Ahtikoski, A., Hökkä, H. & Siipilehto, J. (2022). Strip cutting management in Scots pine stands on peatlands – a financial comparison to rotation forestry. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 37(2), 119–129. <https://doi.org/10.1080/02827581.2022.2055135>
- Alm, J., Wall, A., Myllykangas, J.-P., Ojanen, P., Heikkinen, J., Henttonen, H.M., Laiho, R., Minkkinen, K., Tuomainen, T. & Mikola, J. (2023). A new method for estimating carbon dioxide emissions from drained peatland forest soils for the greenhouse gas inventory of Finland. *Biogeosciences*, 20, 3827–3855.
- Assmuth, A., Rämö, J. & Tahvonen, O. (2021). Optimal Carbon Storage in Mixed-Species Size-Structured Forests. *Environmental and Resource Economics*, 79, 249–275. <https://doi.org/10.1007/s10640-021-00559-9>
- Balotari-Chiebáo, F. & Byholm, P. (2024). Quantifying land impacts of wind energy: a regional-scale assessment in Finland. *Environment, Development and Sustainability*. <https://doi.org/10.1007/s10668-024-05048-9>
- Dahl, P. (2024). Environmental impacts of large-scale solar power construction in Finland in accordance with the EU Solar Energy Strategy. Master's thesis. Nordic Master Programme in Innovative Sustainable Energy Engineering, Aalto University.
- Elinkeinoelämän keskusliitto (EK). (2025). Vihreiden investointien dataikkuna. Saatavilla: <https://ek.fi/tutkittua-tietoa/vihreiden-investointien-dataikkuna> [Viitattu 20.8.2025].
- Feng, B., Zhang, Y. & Bourke, R. (2021). Urbanization impacts on flood risks based on urban growth data and coupled flood models. *Natural Hazards*, 106, 613–627. <https://doi.org/10.1007/s11069-020-04480-0>
- Fingrid Oyj. (2023). Fingridin sähköjärjestelmävisio 2023. Helsinki: Fingrid Oyj. Saatavilla: <https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/ajankohtaista/raportit/sahkojarjestelmavisio-2023.pdf> [Viitattu 20.8.2025].
- Franke, S. (2016). Mechanical properties of beech CLT. Conference paper. Bern University of Applied Sciences, Biel, Switzerland. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/312198447> (Accessed 30 October 2025).
- Gallotti, G., Santo, M.A., Apostolidou, I., Alessandri, J., Armigliato, A., Basu, B., Debele, S., Domeneghetti, A., Gonzalez-Ollauri, A., Kumar, P., Mentzafou, A., Pilla, F., Pulvirenti, B., Ruggieri, P., Sahani, J., Salmivaara, A., Sarkar Basu, A., Spyrou, C., Pinardi, N., Toth, E., Unguendoli, S., Ayyappan Pillai, U.P., Valentini, A., Varlas, G., Verri, G., Zaniboni, F. & Di Sabatino, S. (2021). On the management of Nature-Based Solutions in open-air laboratories: New insights and future perspectives. *Resources*, 10(4), 36. <https://doi.org/10.3390/resources10040036>
- Haapanen, M. (2020). Performance of genetically improved Norway spruce in one-third rotation-aged progeny trials in southern Finland. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 35(4), 221–226. <https://doi.org/10.1080/02827581.2020.1776763>

- Hakala, K., Hannukkala, A. O., Huusela-Veistola, E., Jalli, M., & Peltonen-Sainio, P. (2011). Pests and diseases in a changing climate a major challenge for Finnish crop production. *Agricultural and Food Science*, 20(1), 3-14. <https://doi.org/10.2137/145960611795163042>
- Havu, M., Kulmala, L., Kolari, P., Vesala, T., Riikonen, A. & Järvi, L. (2022). Carbon sequestration potential of street tree plantings in Helsinki. *Biogeosciences*, 19(8), 2121–2143. <https://doi.org/10.5194/bg-19-2121-2022>
- Heinonen, T., Pukkala, T., Mehtätalo, L., Asikainen, A., Kangas, J. & Peltola, H. (2017). Scenario analyses for the effects of harvesting intensity on development of forest resources, timber supply, carbon balance and biodiversity of Finnish forestry. *Forest Policy and Economics*, 80, 80–98. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2017.03.011>
- Henttonen, H.M., Smolander, A. & Mäkinen, H. (2024). Consequences of tree species mixture for growth and damage based on large-scale inventory data in Finland. *Forest Ecology and Management*, 556, 121752. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2024.121752>
- Hildebrandt, J., Hagemann, N. & Thrän, D. (2017). The contribution of wood-based construction materials for leveraging a low-carbon building sector in Europe. *Sustainable Cities and Society*, 34, 405–418. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.06.013>
- Honkaniemi, J., Albrich, K., Repo, A., Aalto, J., Graf, L., Haikarainen, S., Huitu, O., Hantula, J., Hynynen, J., Jantunen, A., Kolstela, J., Lehtonen, I., Matala, J., Nikula, A., Poutanen, J., Salminen, H. & Vauhkonen, J. (2024). Multifunctional forests and their risks under climate change. *Natural Resources and Bioeconomy Studies* 28/2024. Natural Resources Institute Finland, Helsinki. ISBN 978-952-380-896-6. URN: urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-896-6
- Hurmekoski, E., Kunttu, J., Heinonen, T., Pukkala, T. & Peltola, H. (2023). Does expanding wood use in construction and textile markets contribute to climate change mitigation? *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 174, 113152. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113152>
- Hytönen, J. & Hökkä, H. (2020). Comparison of granulated and loose ash in fertilization of Scots pine on peatland. *Silva Fennica*, 54(2), Article 10259. <https://doi.org/10.14214/sf.10259>
- Hyrynen, M., Lintunen, J. & Peltoniemi, M. (2025). To mix or not to mix—efficient adaptation to windthrow risk. *Environmental Research Communications*, in press. <https://doi.org/10.1088/2515-7620/ae136f>
- 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., Miettinen, J. & Karhu, J. (2025). Development of natural regeneration after different regeneration cuttings in a Norway spruce peatland forest in northern Finland. *New Forests*, 56:22. <https://doi.org/10.1007/s11056-024-10090-6>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU). Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Hayama, Japan. Saatavilla osoitteessa: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>

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

Jansson, G., Hansen, J.K., Haapanen, M., Kvaalen, H. & Steffenrem, A. (2016). The genetic and economic gains from forest tree breeding programmes in Scandinavia and Finland. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 32(4), 273–286. <https://doi.org/10.1080/02827581.2016.1242770>

Jetsonen, J., Laurén, A., Peltola, H., Muhonen, O., Nevalainen, J., Ikonen, V.-P., Kilpeläinen, A., Tuittila, E.-S., Männistö, E., Kokkonen, N. & Palviainen, M. (2024). Effects of nitrogen fertilization on the ground vegetation cover and soil chemical properties in Scots pine and Norway spruce stands. *Silva Fennica*, 58(1), Article id 23058. <https://doi.org/10.14214/sf.23058>

John B. Robinson, J. B. (1990) Futures under glass: A recipe for people who hate to predict. *Futures*, 22(8), 820–842. [https://doi.org/10.1016/0016-3287\(90\)90018-D](https://doi.org/10.1016/0016-3287(90)90018-D)

Juutinen, A., Tolvanen, A., Saarimaa, M., Ojanen, P., Sarkkola, S., Ahtikoski, A., Haikarainen, S., Karhu, J., Haara, A., Nieminen, M., Penttilä, T., Nousiainen, H., Hotanen, J.-P., Kurttila, M., Heikkinen, K., Sallantausta, T., Aapala, K. & Tuominen, S. (2020). Cost-effective land-use options of drained peatlands – integrated biophysical-economic modeling approach. *Ecological Economics*, 175, 106704. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2020.106704>

Karim, M.R., Anttila, J., Rinne-Garmston, K.T. & Sarkkola, S. (2025). Estimating fine-root production in three forestry-drained boreal peatlands dominated by Downy birch (*Betula pubescens* Ehrh.). *Scandinavian Journal of Forest Research*, 40(2), 107–115. <https://doi.org/10.1080/02827581.2025.2492319>

Kekkonen, H., Salmivaara, A., Honkanen, H., Saarnio, S., Lehtonen, A., Peltoniemi, M., Ojanen, H. & Lång, K. (2025). Explorative analysis of depth-to-water index in identifying rewettable agricultural peat soils. *Journal of Environmental Management*, 383, 125443. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.125443>

Kellomäki, S., Strandman, H., Kirsikka-Aho, S., Kirschbaum, M. U. F. & Peltola, H. (2023). Effects of thinning intensity and rotation length on albedo- and carbon stock-based radiative forcing in boreal Norway spruce stands. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 96(4), 518–529. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpac058>

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. Valtioneuvoston kanslia. Saatavilla: <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-219-0>

Koljonen, T., Silfver, T., Soimakallio, S., Lehtilä, A., Mutanen, A., Koreneff, G., Forsberg, T., Koskivaara, O. & Vainio, T. (2025). KEITO: Keskipitkän aikavälin ilmasto- ja energiapoliittisten toimenpiteiden vaikutusarviot – WEM ja WAM -skenaariot. VTT Technology -sarja, luonnosversio 1.7.2025. Espoo: Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy.

Korkiakoski, M. et al. (2020). Impact of partial harvest on CH₄ and N₂O balances of a drained boreal peatland forest. *Agricultural and Forest Meteorology*, 295, 108168. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.108168>

- Korkiakoski, M. et al. (2023). Partial cutting of a boreal nutrient-rich peatland forest causes radically less short-term on-site CO₂ emissions than clear-cutting. *Agricultural and Forest Meteorology*, 332, 109361. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2023.109361>
- Kou, D., Virtanen, T., Treat, C.C., Tuovinen, J.-P., Räsänen, A., Juutinen, S., Mikola, J., Aurela, M., Heiskanen, L., Heikkilä, M., Weckström, J., Juselius, T., Piilo, S.R., Deng, J., Zhang, Y., Chaudhary, N., Huang, C., Välranta, M., Biasi, C., Liu, X., Guo, M., Zhuang, Q., Korhola, A. & Shurpali, N.J. (2022). Peatland heterogeneity impacts on regional carbon flux and its radiative effect within a boreal landscape. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 127, e2021JG006774. <https://doi.org/10.1029/2021JG006774>
- Kunttu, J., Hurmekoski, E., Myllyviita, T., Wallius, V., Kilpeläinen, A., Hujala, T., Leskinen, P., Hetemäki, L. & Heräjärvi, H. (2021). Targeting net climate benefits by wood utilization in Finland: Participatory backcasting combined with quantitative scenario exploration. *Futures*, 134, 102833. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2021.102833>
- Laatikainen, A., Kolari, T. H. M. & Tahvanainen, T. (2025). Sphagnum moss layer growth after restoration of forestry-drained peatlands in Finland. *Restoration Ecology*, 33(4), e70008. <https://doi.org/10.1111/rec.70008>
- Lampinen, J., Huovinen, M., Pouta, P. & Kotzee, D. (2025). Tracing changes in the extent of urban grasslands through space and time. *Urban Forestry & Urban Greening* 107, 128796. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2025.128796>
- Laturi, J., Aalto, L., Horne, P., Kinnunen, P., Korhonen, O., Norkio, A., Noro, K. & Valonen, M. (2023). Vapaaehtoisten hiilimarkkinoiden kehityspolkujen vaikutukset maatalouteen ja metsäsektoriin. PTT Raportteja 287. Pellervon taloustutkimus PTT. Saatavilla osoitteessa: https://www.ptt.fi/wp-content/uploads/2024/02/ptt_raportteja_287.pdf
- Laturi, J., Aalto, L., Horne, P., Kinnunen, P., Kujala, P. ja Sen, T. (2022) Maankäyttösektorin ilmastosuunnitelman kustannusvaikutusten arviointi. PTT Raportteja 273. saatavilla osoitteessa: Maankäyttösektorin ilmastosuunnitelman kustannusvaikutusten arviointi - PTT
- Lehtilä, A., Ghani, H.U., Liu, X., Forssén, A. & Leinonen, I. (2025). Land use and land use change emissions of forest land in Finnish provinces—an LCA dataset. *Int. J. Life Cycle Assessment*, 30, 896–905. <https://doi.org/10.1007/s11367-025-02456-5>
- Lehtonen, H. & Rämö, J. (2023). Globally-consistent national pathways towards sustainable food and land-use systems: The case of Finland. *Sustainability Science*, 18, 425–439. <https://doi.org/10.1007/s11625-022-01244-6>
- 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., Rikkinen, P., Rätty, 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 7/2021. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 121 s
- Li, X., Markkanen, T., Korkiakoski, M., Lohila, A., Leppänen, A., Aalto, T., Peltoniemi, M., Mäkipää, R., Kleinen, T. & Raivonen, M. (2024). Modelling alternative harvest effects on soil CO₂ and CH₄ fluxes

from peatland forests. *Science of the Total Environment*, 951, 175257.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.175257>

Luonnonvarakeskus (Luke). Hakkuukertymä ja puuston poistuma. Suomen virallinen tilasto (SVT).

Saatavilla: <https://www.luke.fi/fi/tilastot/hakkuukertyma-ja-puuston-poistuma> (09-09-2024)

Lång, K., Honkanen, H., Heikkinen, J., Saarnio, S., Larmola, T. & Kekkonen, H. (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 (MMM) (2019). Kansallisen ilmastonmuutokseen sopeutumissuunnitelman 2022 toimeenpanon väliarviointi: arviointikriteerit. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja 2019:11. Helsinki.

Maa- ja metsätalousministeriö (MMM) 2025. Metsien kasvun ja hiilinielujen vahvistamisen toimenpidepaketti. Muistio 03.03.2025.

Maljanen, M., Liimatainen, M., Hytönen. (2025). The effect of granulated wood-ash fertilization on soil properties and greenhouse gas (GHG) emissions in boreal peatland forests. *Boreal Environment Research*, 31(1). <https://doi.org/10.46490/BF778>

McIntosh, A. J. ja Cockburn-Wooten, C. (2016) Using Ketso for engaged tourism scholarship, *Annals of Tourism Research*, 56, 148-151, <https://doi.org/10.1016/j.annals.2015.11.003>

Metsähallitus (2024). Vuosikertomus ja kestävyysraportti 2024. Helsinki: Metsähallitus. Saatavilla osoitteessa: <https://www.metsa.fi/julkaisut/>

Metsänhoitoyhdistykset. (2024) Kuolinpesä metsänomistajana. Saatavilla: <https://www.mhy.fi/metsatietoa/kuolinpesa-metsanomistajana>

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

Myllyviita, T., Grönroos, J., Mattila, T. & Lång, K. (2024). Climate change mitigation potential of paludiculture in Finland: greenhouse gas emissions of abandoned organic croplands and peat substitution. *Carbon Management*, 15(1), 2365903. <https://doi.org/10.1080/17583004.2024.2365903>

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

Nebasifu, A.A., Pietarinen, N., Fridén, A., Ekström, H., Harrinkari, T., D'Amato, D. & Droste, N., (2024). Forest policy in Nordic countries: Expert opinions on future needs, uncertainties, and recommendations. *Trees, Forests and People*, 16, 100582. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2024.100582>

Niemi, J., Korhonen, J., Kalliokoski, T., Kunttu, J., Forsström, J., Lintunen, J. & Hurmekoski, E. (2025) Carbon credits through wood use: Revisiting the maximum potential and sensitivity to key assumptions in the Finnish context. *GCB Bioenergy*, 17(2), 451–470. <https://doi.org/10.1111/gcbb.70017>

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*, 146, 107329. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2024.107329>

Oldén, A., Pitkämäki, T., Halme, P., Komonen, A. & Raatikainen, K.J. (2021). Road verges provide alternative habitats for some, but not all, meadow plants. *Applied Vegetation Science*, 24, e12594. <https://doi.org/10.1111/avsc.12594>

Peltonen-Sainio, P., Niemi, M. & Jauhiainen, L. (2024). Legacy effects of crop sequencing on biomass and their variability on farmers' fields in Finland are shaped by weather, farm conditions and rationales for land use. *Agricultural Systems*, 215, 103850. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2023.103850>

Peltoniemi, M., Li, Q., Turunen, P., Tupek, B., Mäkiranta, P., Leppä, K., Müller, M., Rissanen, A.J., Laiho, R., Anttila, J., Jauhiainen, J., Koskinen, M., Lehtonen, A., Ojanen, P., Pihlatie, M., Sarkkola, S., Vainio, E., & Mäkipää, R. (2023). Soil GHG dynamics after water level rise – Impacts of selection harvesting in peatland forests. *Science of The Total Environment*, 901, 165421. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165421>

Pietarinen, N., Pecurul-Botines, M. & Brockhaus, M. (2025). Politics of delay hinder the implementation of EU Forest Strategy in Finland. *Ambio*, 54, p. 2154–2169. <https://doi.org/10.1007/s13280-025-02207-8>

Pikkarainen, L., Strandman, H., Vento, E., Petty, A., Tikkanen, O.-P., Kilpeläinen, A. & Peltola, H. (2024). Effects of forest conservation and management on timber, ecosystem carbon, dead wood and habitat suitability area in a boreal forest under climate change. *Silva Fennica*, 58(2), article id 23045. <https://doi.org/10.14214/sf.23045>

Pukkala, T. (2017). Optimal nitrogen fertilization of boreal conifer forest. *Forest Ecosystems*, 4, 3. <https://doi.org/10.1186/s40663-017-0090-2>

Pussinen, A., Schelhaas, M.J., Verkaik, E., Heikkinen, E., Liski, J., Karjalainen, T., Päivinen, R. & Nabuurs, G.J. (2001). Manual for the European Forest Information Scenario Model (EFISCEN 2.0). EFI Internal Report 5. European Forest Institute, Joensuu.

Rauhala, A.-M., Broman, I., Korri, J. & Lehtonen, M. (2024). Aurinkovoimaloiden kaavoitus ja lupamenettelyjen opasaineiston taustaselvitys. Ramboll Finland Oy. Raportti Ympäristöministeriölle, versio 3, 17.1.2024.

Ruosteenoja, K. & Jylhä, K. (2025) 'Extreme Cold Days and Spells in Northern Europe at 0.5°C–2.0°C Global Warming Levels', *International Journal of Climatology*, 45, e8875. Saatavilla: <https://doi.org/10.1002/joc.8875>

Rämö, J., Tupek, B., Lehtonen, H. & Mäkipää, R. (2023). Towards climate targets with cropland afforestation – effect of subsidies on profitability. *Land Use Policy*, 124, 106433. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2022.106433>

Schelhaas, M.J., Eggers, J., Lindner, M., Nabuurs, G.J., Päivinen, R., Schuck, A., Verkerk, P., van der Werf, D. & Zudin, S. (2007). Model documentation for the European Forest Information Scenario model (EFISCEN 3.1.3). Alterra Report 1559 & EFI Technical Report 26. Alterra, Wageningen / European Forest Institute, Joensuu.

Seppälä, S. and Syri, S. (2025). Wind, PV, and Hybrid Power Plant Operation in Competitive Nordic Electricity Market With High Profit Cannibalization. *Energy Reports*. Available at: <https://doi.org/10.1155/er/8850556>

- Serrano-León, H., O'Reilly, C., Lelu-Walter, M.A., Högberg, K.A., Martin Garcia, J., Fernández-Golfín, J.I. & Alía, R. (2021). From genetic gain to economic gain: simulated growth and financial performance of genetically improved *Pinus sylvestris* and *P. pinaster* in Europe. *Canadian Journal of Forest Research*, 51(10), 1491–1503. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpab004>
- Shanin, V., Juutinen, A., Ahtikoski, A., Frolov, P., Chertov, O., Rämö, J., Lehtonen, A., Laiho, R., Mäkiranta, P., Nieminen, M., Laurén, A., Sarkkola, S., Penttilä, T., Ľupek, B. & 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>
- Smolander, A., Henttonen, H. M., Nöjd, P., Soronen, P. & Mäkinen, H. (2022). Long-term response of soil and stem wood properties to repeated nitrogen fertilization in a N-limited Scots pine stand. *European Journal of Forest Research*, 141(2), 421–431. <https://doi.org/10.1007/s10342-022-01448-6>
- Sorvali, J., Kaseva, J. & Peltonen-Sainio, P. (2021). Farmer views on climate change—A longitudinal study of threats, opportunities and action. *Climatic Change*, 164(50). <https://doi.org/10.1007/s10584-021-03020-4>
- Suvanto, S., Lehtonen, A., Nevalainen, S., Lehtonen, I., Viiri, H., Strandström, M. & Peltoniemi, M., 2021. Mapping the probability of forest snow disturbances in Finland. *PLOS ONE*, 16(7), e0254876. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0254876>
- Thölix, L., Backman, L., Havu, M., Karvinen, E., Soininen, J., Trémeau, J., Nevalainen, O., Ahongshangbam, J., Järvi, L. & Kulmala, L. (2025). Carbon sequestration in different urban vegetation types in Southern Finland. *Biogeosciences*, 22, 725–749. <https://doi.org/10.5194/bg-22-725-2025>
- Timonen, R. (2020). Selvitys rakentamisen maankäyttömuutosmaksusta. Ympäristöministeriön julkaisuja 2020: 11. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-361-204-4>
- Valtioneuvosto. (2024). Valuma-aluesuunnittelun tiekartta vuoteen 2030. Valtioneuvoston julkaisuja 2024:6. Saatavilla: https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/165409/VN_2024_6.pdf
- Vauhkonen, J., Matala, J. & Nikula, A., 2023. Future browsing damage in seedling stands according to projected forest resources and moose population density. *Silva Fennica*, 57(2), article id 23012. <https://doi.org/10.14214/sf.23012>
- Verkerk, P.J., Schelhaas, M.J., Immonen, V., Hengeveld, G., Kiljunen, J., Lindner, M., Nabuurs, G.J., Suominen, T. & Zudin, S. (2016). Manual for the European Forest Information Scenario model (EFISCEN 4). EFI Technical Report 99. European Forest Institute, Joensuu.
- Viitanen, J., Mutanen, A. & Karvinen, S. (eds.) (2024). Finnish Forest Sector Economic Outlook 2024–2025. Natural Resources Institute Finland (Luke), Helsinki. ISBN: 978-952-380-969-7.
- Wijas, B.J., Allison, S., Austin, A., Cornwell W., Cornelissen, H., Eggleton, P., Fraver, S., Ooi, M., Powell, J., Woodall, C., & Zanne, A.E. (2024). The Role of Deadwood in the Carbon Cycle: Implications for Models, Forest Management, and Future Climates. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 55, 133–155. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-110421-102327>
- Xiao, Y. ja Watson, M. (2017) Guidance on Conducting a Systematic Literature Review. *Journal of Planning Education and Research*, 39(1), 93-12. <https://doi.org/10.1177/0739456X17723971>

zu Ermgassen, S.O.S.E., Hawkins, I., Lundhede, T., Liu, Q., Thorsen, B.J. & Bull, J.W. (2025). The current state, opportunities and challenges for upscaling private investment in biodiversity in Europe. *Nature Ecology & Evolution*, 9, pp.515–524. <https://doi.org/10.1038/s41559-024-02632-0>

Äijälä, O., Koistinen, A., Sved, J., Vanhatalo, K. & Väisänen, P. (toim.) (2019). *Metsänhoidon suositukset*. Tapio Oy.

Österberg, M., Karjalainen, M., Lintunen, J., Tammelin, T., Asikainen, A., Vakkilainen, E., Toivonen, R., Virta, P., Henn, A., Nuutinen, E.-M., Kohl, J. & Hassinen, J. (2024). From timber to medicine – Value added for the forest sector through broadening the product portfolio. Report of the Finnish Forest Bioeconomy Science Panel 1/2024. Finnish Forest Bioeconomy Science Panel, Helsinki.

Liitteet

LIITE 1: Kirjallisuuskatsauksen hakutermit sekä saadut osumat

Taulukko 1. Haku 1.

Haku nro	Hakuteksti	Tulosten määrä
1	TITLE-ABS-KEY (finland AND land AND use AND *forest*) AND PUBYEAR > 2014 AND PUBYEAR < 2026	474
2	TITLE-ABS-KEY (nordic* AND land AND use) AND PUBYEAR > 2014 AND PUBYEAR < 2026	361
3	TITLE-ABS-KEY (finland OR finnish AND land AND use AND change AND *forest*) AND PUBYEAR > 2014 AND PUBYEAR < 2026	236

Taulukko 2. Haku 2.

Haku nro	Hakuteksti	Tulosten määrä
4	TITLE-ABS-KEY (nordic OR finland OR sweden OR Norway OR denmark AND peatland) AND PUBYEAR > 2014 AND PUBYEAR < 2026	543
5	TITLE-ABS-KEY (finland OR finnish AND peatland) AND PUBYEAR > 2014 AND PUBYEAR < 2026	345
6	TITLE-ABS-KEY (nordic OR finland OR sweden OR Norway OR Denmark AND grassland) AND PUBYEAR > 2014 AND PUBYEAR < 2026	518
7	TITLE-ABS-KEY (finland OR finnish AND grassland) AND PUBYEAR > 2014 AND PUBYEAR < 2026	108
8	TITLE-ABS-KEY (Nordic OR finland OR Sweden OR Norway OR Denmark AND wetland) AND PUBYEAR > 2014 AND PUBYEAR < 2026	776
9	TITLE-ABS-KEY (finland OR finnish AND wetland) AND PUBYEAR > 2014 AND PUBYEAR < 2026	292

Taulukko 3. Haku 3.

Haku nro	Hakuteksti	Tulosten määrä
10	TITLE-ABS-KEY (nordic OR finland AND land AND use AND biodiversity) AND PUBYEAR > 2014 AND PUBYEAR < 2026	186

Taulukko 4. Haku 4.

Haku nro	Hakuteksti	Tulosten määrä
1T	TITLE-ABS-KEY (finland OR finnish AND land AND use AND change AND *forest*) AND PUBYEAR > 2019 AND PUBYEAR < 2026 AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENVI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "AGRI")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English"))	109
2T	TITLE-ABS-KEY (finland OR finnish AND peatland) AND PUBYEAR > 2019 AND PUBYEAR < 2026 AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENVI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "AGRI")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English"))	155
3T	TITLE-ABS-KEY (finland OR finnish AND grassland) AND PUBYEAR > 2019 AND PUBYEAR < 2026 AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENVI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "AGRI")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English"))	51
4T	TITLE-ABS-KEY (finland OR finnish AND wetland) AND PUBYEAR > 2019 AND PUBYEAR < 2026 AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "AGRI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENVI")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English"))	124
5T	TITLE-ABS-KEY (nordic OR finland AND land AND use AND biodiversity) AND PUBYEAR > 2019 AND PUBYEAR < 2026 AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENVI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "AGRI")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English"))	90

LIITE 2: Haastattelurunko

1	Kertoisitko yleisesti toimenkuvastasi?
2	Miten tuttu maankäyttösektorin ilmastosuunnitelma on sinulle?
3	Oletko itse osana toteuttamassa jotain näistä toimenpiteistä? [näytetään erillistä taulukkoa]
4	Mikäli ei toteuta virallisia ilmastotoimia: Teettekö/ohjaatteko itse toimenpiteitä, jotka joko lisäävät puutuotteiden hiilivarastoa, tai metsien/maan hiilivarastoa tai pienentävät niiden päästöjä?
5	Mikäli tekee joko omia tai virallisia toimia: a) Kuinka dokumentoitte toimenpiteiden toteutumista? Onko teillä tutkimusdataa toimenpiteiden taustalle? b) Kuinka toimenpiteiden toteuttamiseen on kannustettu valtiotasolta? c) Kuinka toimenpiteet ovat mielestäsi toteutuneet (esim. oma tai kansallinen tavoite)? d) Onko toimenpiteiden toteutumiselle havaittu esteitä? e) Onko toimenpiteet toteutuneet siinä laajuudessa kuin suunniteltu ja jos ei tai jopa laajemmin, miksi näin? f) Onko toimenpiteiden toteutuksessa huomattu positiivisia tai negatiivisia rinnakkaisvaikutuksia? Mistä arvelet tämän johtuvan? g) Onko jostain toimenpiteen toteutumisesta vaikea saada dataa? h) Mitä pitäisi lisätä? Mitä puuttuu? Arvio kustannusvaikutuksista? i) Minkä toimen toteuttaminen on ollut vaikeampaa kuin on suunniteltu / tavoite? a. Mikä on toiminut - mikä ei? j) Miten uudet mahdolliset toimet voisivat vaikuttaa biodiversiteettiin ja sopeutumiseen? k) Jos metsähallituksen alueilla aloitettaisiin rajoittaa hakkuita, niin erityisesti sahoilla on huoli, ettei puu tule riittämään. Miten näet tämän? l) Miten näet muut suunnitellut toimenpiteet tulevaisuuden suhteen? m) Miten toimintaympäristö on muuttunut sitten vuoden 2020 jälkeen?
6	Onko osaaminen ja tieto ilmastovaikutuksista lisääntynyt toimijakentässä maankäyttösektorin ilmastosuunnitelman myötä?
7	Onko mielestäsi tietoa jäänyt keräämättä ilmastoon vaikuttavista toimenpiteistä, esimerkiksi yksityiseltä sektorilta?
8	Mitä sinun mielestäsi tulisi lisätä toimenpiteisiin, jotta hiilivarastoja saataisiin kasvatettua ja päästöjä maankäyttösektorilla vähennettyä?
9	Mikä olisi näiden kustannusvaikutus toteuttamisessa?
10	Mitkä toimenpiteet mielestäsi eniten vaikuttavat positiivisesti maankäyttösektorilla sopeutumiseen ilmastonmuutoksessa? Entä biodiversiteettiin?
11	Kuinka toimintaympäristö on muuttunut vuodesta 2022 peilaten siihen, mikä eniten maankäyttösektorin ilmastosuunnitelman toteutumiseen mielestäsi vaikuttaa?
12	Näkyykö jotain, mikä ei vaikuta todennäköiseltä nykyisen kehityksen valossa? [Näytetään erillistä taulukkoa]

LIITE 3: Harvennusrajat 2019 vs 2024

Taulukko 1. Alustusaineisto kevytmallinnukseen (perusskenaarion arvot).

Type	Age min	Age max	Area (ha)	Area weighted volume (m ³ /ha)	Area weighted Increment (m ³ /ha/year)
Pine mineral	0	20	2325657	13,52682	1,770634
Pine mineral	21	40	2001521	67,5331	6,878263
Pine mineral	41	60	1302846	97,86885	5,717408
Pine mineral	61	80	1333176	131,1111	5,591874
Pine mineral	81	100	1095451	170,4891	5,715675
Pine mineral	101	120	731792,6	167,7738	4,869413
Pine mineral	121	140	495300	146,0927	3,793043
Pine mineral	141	160	320098,7	135,3391	2,948897
Pine mineral	161	180	804117,4	109,8727	1,709399
Spruce mineral	0	20	455190,7	18,44281	0,75043
Spruce mineral	21	40	499329,6	75,55134	4,058851
Spruce mineral	41	60	728659,5	163,1775	5,91209
Spruce mineral	61	80	845009,7	192,8394	6,255521
Spruce mineral	81	100	767174,1	198,9637	6,654235
Spruce mineral	101	120	388013,4	184,0114	6,19537
Spruce mineral	121	140	218989,5	154,0351	4,710533
Spruce mineral	141	160	139066,5	121,6834	3,374992
Spruce mineral	161	180	469744	91,40124	2,071209
Birch mineral	0	20	113432,1	25,09962	1,0956
Birch mineral	21	40	305366,3	101,0408	3,768573
Birch mineral	41	60	163770,6	150,9185	3,60425
Birch mineral	61	80	128387	207,9863	3,241956
Birch mineral	81	100	82692,69	200,0748	2,942422
Birch mineral	101	120	27754,6	183,9362	2,692361
Birch mineral	121	140	14688,94	121,8655	2,973706
Birch mineral	141	160	11740,13	114,0318	1,860704
Birch mineral	161	180	1407,12	73,5	1,152073
Other broadleaved mineral	0	20	13193,87	43,47253	0,687694
Other broadleaved mineral	21	40	74035,93	149,1903	1,792725
Other broadleaved mineral	41	60	27698,44	223,2737	2,622692
Other broadleaved mineral	61	80	9673,952	305,3752	1,866678
Other broadleaved mineral	81	100	2359,681	200,0287	2,00659
Other broadleaved mineral	101	120	977,991	192,8451	5,164694

Type	Age min	Age max	Area (ha)	Area weighted volume (m ³ /ha)	Area weighted Increment (m ³ /ha/year)
Other broadleaved mineral	121	140	704,6197	171	2,320843
Other broadleaved mineral	141	160	0	0	0
Other broadleaved mineral	161	180	980,1102	287,0108	2,475175
Pine peat	0	20	336732,8	13,83631	1,264887
Pine peat	21	40	718068,1	39,62867	3,75169
Pine peat	41	60	1256973	67,05632	4,601787
Pine peat	61	80	1175902	95,44801	5,385801
Pine peat	81	100	573134	122,1031	5,664356
Pine peat	101	120	265164,8	131,1986	5,128785
Pine peat	121	140	138292,4	135,9642	4,54718
Pine peat	141	160	48030,33	106,3057	3,287907
Pine peat	161	180	59677,05	277,2685	1,952305
Spruce peat	0	20	112660	35,64855	1,683401
Spruce peat	21	40	93842,39	77,31834	4,19717
Spruce peat	41	60	154917,9	138,7019	5,399176
Spruce peat	61	80	248319,8	185,0647	6,138469
Spruce peat	81	100	272889,5	201,0886	6,514309
Spruce peat	101	120	149995,8	206,708	6,293801
Spruce peat	121	140	101772,1	162,2275	4,546173
Spruce peat	141	160	43949,91	145,1919	3,415947
Spruce peat	161	180	105461,5	122,1341	2,218175
Birch peat	0	20	67539,89	18,30893	1,573728
Birch peat	21	40	350068,6	93,77664	4,923296
Birch peat	41	60	343815	127,8945	5,322569
Birch peat	61	80	172802,2	163,257	5,247291
Birch peat	81	100	63100,41	180,4134	5,116113
Birch peat	101	120	15266,32	153,069	4,119619
Birch peat	121	140	9655,201	124,4167	2,166732
Birch peat	141	160	2695,083	128,9709	3,534192
Birch peat	161	180	966,683	147	2,120483
Other broadleaved peat	0	20	3545,473	60	0,062981
Other broadleaved peat	21	40	8735,035	136,8757	0,381882
Other broadleaved peat	41	60	4388,595	201,6588	3,961291
Other broadleaved peat	61	80	792,244	195	0,708921
Other broadleaved peat	81	100	372,1366	408	8,302441
Other broadleaved peat	101	120	0	0	0
Other broadleaved peat	121	140	0	0	0
Other broadleaved peat	141	160	473,8927	211,5	7,597005
Other broadleaved peat	161	180	0	0	0

Tässä liitteessä on esitetty mallinnuksessa käytetyt harvennusrajat kahdessa versiossa: Tapion vuoden 2019 metsänhoitosuosituksen mukaiset oletukset (Taulukko 2) ja Tapion vuoden 2024 päivitettyjen suositusten mukaiset oletukset (Taulukko 3). Molemmat taulukot ovat identtisesti rakenteeltaan, jotta ne toimivat sellaisenaan mallin syöttötietoina. Vuoden 2024 rajat on muodostettu prosentuaalisina muutoksina vuoden 2019 oletuksiin verrattuna, perustuen Tapion julkaisemiin uusiin runkoluku-, valtapituus- ja pohjapinta-alasuosituksiin sekä webinaarimateriaaliin (Vanhatalo 2025).

Taulukko 2. Tapio 2019 -oletukset.

Species	Site	Stage	Vol_min	Vol_max	Remove_frac	Target_vol
Pine	Mineral	Ensiharvennus	80	120	0.25	70
Pine	Mineral	Jatkoharvennus	150	180	0.25	120
Pine	Mineral	Viimeinen	250	280	0.3	190
Spruce	Mineral	Ensiharvennus	100	120	0.25	85
Spruce	Mineral	Jatkoharvennus	180	220	0.25	150
Spruce	Mineral	Viimeinen	280	320	0.3	210
Birch	Mineral	Ensiharvennus	70	90	0.2	55
Birch	Mineral	Jatkoharvennus	140	170	0.25	115
Birch	Mineral	Viimeinen	210	240	0.3	170
Pine	Peat	Ensiharvennus	80	120	0.2	75
Pine	Peat	Jatkoharvennus	150	180	0.2	130
Pine	Peat	Viimeinen	250	280	0.24	200
Spruce	Peat	Ensiharvennus	100	120	0.2	90
Spruce	Peat	Jatkoharvennus	180	220	0.2	160
Spruce	Peat	Viimeinen	280	320	0.24	220
Birch	Peat	Ensiharvennus	70	90	0.16	60
Birch	Peat	Jatkoharvennus	140	170	0.2	120
Birch	Peat	Viimeinen	210	240	0.24	180

Taulukko 3. Tapio 2024 -oletukset.

Species	Site	Stage	Vol_min	Vol_max	Remove_frac	Target_vol
Pine	Mineral	Ensiharvennus	101	151	0.192	80
Pine	Mineral	Viimeinen	275	308	0.270	204
Spruce	Mineral	Ensiharvennus	132	158	0.176	98
Spruce	Mineral	Viimeinen	308	352	0.270	226
Birch	Mineral	Ensiharvennus	91	116	0.144	63
Birch	Mineral	Viimeinen	231	264	0.270	183
Pine	Peat	Ensiharvennus	101	151	0.152	86
Pine	Peat	Viimeinen	275	308	0.270	204
Spruce	Peat	Ensiharvennus	132	181	0.173	114
Spruce	Peat	Viimeinen	308	352	0.270	226
Birch	Peat	Ensiharvennus	91	168	0.153	100
Birch	Peat	Viimeinen	190	227	0.243	192

Vuoden 2024 Tapion suositukset ohjaavat harvennukset toteutettavaksi hieman myöhemmin ja jättämään enemmän puustoa hehtaarille. Tämä näkyy taulukossa 2 korotettuina volyymirajoina (Vol_min, Vol_max) sekä suurempana jäävän puuston määränä (Target_vol). Prosentuaalisesti rajat siirtyivät keskimäärin 5 % ylöspäin ja jäävä puusto 10 % ylöspäin vuoden 2019 tasosta. Lisäksi Tapion suosituksissa on todettu yhden harvennuksen riittävän, joten jatkoharvennus on poistettu 2024 mallista.

LIITE 4: Skenaariot

Taulukko 1. Perusskenaario (mallina PEIKKO WEM-P), tuotteisiin sitoutunut hiili C.

Perusskenaario (mallina PEIKKO WEM-P), tuotteisiin sitoutunut hiili C	2025	2026–2030	2030–2035	2035 eteenpäin
Sahatavara	2150390	2595811	2521994	2630256
Vaneri- ja levyteollisuus	221051,4	282078,4	297212,7	248668,1
Massa ja sellu	3167553	2592078	1807047	1839391

Taulukko 2. Toimintaympäristön muutokset -skenaario tuotteisiin sitoutunut hiili C.

Toimintaympäristön muutokset -skenaario tuotteisiin sitoutunut hiili C	2025	2026–2030	2030–2035	2035 eteenpäin
Sahatavara	2150390	2406138	2488223	2462405
Vaneri- ja levyteollisuus	221051,4	336133,8	360629,8	333668,2
Massa ja sellu	3167553	2966129	2003466	3174834

Taulukko 3. Uudet toimenpiteet sekä toimintaympäristön muutokset -skenaario, tuotteisiin sitoutunut hiili C.

Uudet toimenpiteet sekä toimintaympäristön muutokset -skenaario, tuotteisiin sitoutunut hiili C	2025	2026–2030	2030–2035	2035 eteenpäin
Sahatavara	2150390	2358670	2483004	2531748
Vaneri- ja levyteollisuus	221051,4	351262,8	359873,4	377038,3
Massa ja sellu	3167553	1944072	1999264	3151192

LIITE 5: Muut toimenpiteet

Muut MISU-toimenpiteet joihin hankkeen osallistettut asiantuntijat eivät suoraan ottaneet kantaa ja/tai kirjallisuuskatsaus ei tuottanut hyödynnettäviä tuloksia:

Taulukko 1. Muut toimenpiteet.

Toimenpide	Ilmastovaikutus	Vaikutus ilmastomuutokseen sopeutumiseen ja biodiversiteettiin	Kustannusvaikutukset
Turveltojen nurmet (7.4.3)	Päästövähennys perustuu yksivuotisten kasvien ja monivuotisten nurmien päästökertoimien eroon: 35,1 vs. 25,3 t CO ₂ -ekv./ha/v → vähennys 9,8 t CO ₂ -ekv./ha/v. Toteutettuna 20 000 ha alalla saavutettaisiin 196 000 t CO ₂ -ekv./v vähennys. (Laturi, 2022)	Ei arvioitu.	Jos lisäinvestointeja ei tarvita, kustannusvaikuttavuus 10,8 €/t CO ₂ -ekv (Laturi, 2022). Viherlannoitus- ja biokaasunurmilla kustannusvaikuttavuus 95 €/t CO ₂ -ekv. (Laturi ym. 2022)
Turveltojen käytön tiekartta (7.4.5)	Ei kokonaisuuden arviota tässä hankkeessa	Ei kokonaisuuden arviota tässä hankkeessa	Ei kokonaisuuden arviota tässä hankkeessa
Valuma-alue suunnittelu (7.6)	Menetelmien ja välineiden kehittäminen tukee ilmastokestävien hankkeiden toteutusta ja vesiensuojelua. Paikkatietopohjaiset työkalut mahdollistavat tehokkaan kohdentamisen. (Valtioneuvosto, 2024)	Osa tiekartan toimista vahvistaa sopeutumista: luonnonmukaiset menetelmät ja valuma-alueen suunnittelu ehkäisevät haittoja ja tukevat hiilensidontaa. (Valtioneuvosto, 2024)	Valuma-alue suunnittelu parantaa kustannustehokkuutta ja yhteisvaikutusten hallintaa; laskennallisia malleja tulee kehittää. (Valtioneuvosto, 2024)

Toimenpide	Ilmastovaikutus	Vaikutus ilmastomuutokseen sopeutumiseen ja biodiversiteettiin	Kustannusvaikutukset
Hiilen sidonnan ja päästövähennysten markkinoiden kehittäminen (7.7)	Vapaaehtoiset hiilimarkkinat voivat edistää kotimaisia hillintätoimia Parhaana pidetään kehitystä, jossa suomalaisyritysten nettonollatavoitteet ja kotimaiset yksiköt kasvavat (Laturi ym. 2023)	Ei arvioitu	Ei arviota.
Hiilestä kiinni – tutkimus- ja innovaatio-ohjelma (7.8)	Ei arvioitu.	Ei arvioitu.	Ei arvioitu.
Hiilestä kiinni – kehittämishankkeet (7.9)	Ei arvioitu.	Ei arvioitu.	Ei arvioitu.
Suonpohjien ilmastokestävää jatkokäyttö (7.10.5)	Rahkasammalten kasvu palautui ojitetuilla soilla 2–5 vuoden kuluessa ennallistamisesta, kun vedenpinta pysyi 10–20 cm syvyydessä (Laatikainen ym. 2025). Tutkimuksessa todettiin, että vedenpinnan nousu vähensi hajotusta ja loi olosuhteet pysyväälle hiilensidonnalle, erityisesti niillä kohteilla, joissa alkuperäinen sammallajisto palautui nopeasti.	Rahkasammalten palautuminen ennallistamisen myötä luo mikrohabitaatteja myös muulle suolajistolle ja parantaa vedenpidätyskykyä, mikä lisää ekosysteemin resilienssiä äärevien sääilmiöiden, kuten kuivuuden, aikana (Laatikainen ym., 2025)	Ei arvioitu.



BDO Oy (Y-tunnus 2776089-4) on itsenäinen BDO International Limitedin (UK) jäsenyritys. BDO on yhteinen nimi sekä kansainväliselle jäsenyritysten verkostolle että kunkin maan jäsenyritykselle.

© BDO Oy 2025

Porkkalankatu 3
00180 Helsinki

www.bdo.fi
www.bdo.global

