

PTT raportteja
PTT reports
PTT rapporter

287

Jani Laturi, Laura Aalto, Paula Horne, Pekka Kinnunen, Olli Korhonen,
Antti Norkio, Kirsi Noro ja Matti Valonen

Vapaaehtoisten hiilimarkkinoiden kehityspolkujen vaikutukset maatalouteen ja metsäsektoriin



Helsinki 2024

PTT raportteja 287

PTT reports 287

Vapaaehtoisten hiilimarkkinoiden kehityspolkujen vaikutukset maatalouteen ja metsäsektoriin

Jani Laturi, Laura Aalto, Paula Horne, Pekka Kinnunen, Olli Korhonen, Antti Norkio, Kirsi Noro ja Matti Valonen

Helsinki 2023

Pellervon taloustutkimus PTT

Eerikinkatu 28 A

00180 Helsinki

Sähköposti ptt@ptt.fi

ISBN 978-952-224-253-2 (pdf)

ISSN 2489-9615 (pdf)

Tiivistelmä

Vapaaehtoisten hiilimarkkinoiden on ennustettu kasvavan merkittävästi tulevaisuudessa, mutta kasvun toteutuminen edellyttää vapaaehtoiseen hiilimarkkinoihin liittyvien ongelmien ratkaisemista sekä ilmastoyksiköiden tuotannossa että niiden käytössä. Hiilikompensaatioiden kehityspolkujen vaikutukset (KolKom) hankkeen aiempi raportti (Laturi ym. 2023) tarkasteli Suomen vapaaehtoisten hiilimarkkinoiden tarjontaa, kysyntää ja maankäyttösektorin hillintätoimien soveltuvuutta vapaaehtoisille hiilimarkkinoille.

Tässä raportissa selvitetään vapaaehtoisten hiilimarkkinoiden mahdollisia kehityspolkuja ja niiden vaikutuksia Suomen maatalous- ja metsäsektoreihin sekä ilmastopoliikkaan. Raportissa tarkastellaan kehityspolkuja vuoteen 2035 saakka hyödyntäen skenaarioita. Työssä keskitytään maankäyttösektorin ilmastoyksiköiden tarjontaan ja niiden käyttöön Suomessa. Skenaariotyön tuloksena oli kaksi ääripäätä edustavaa skenaariota: toisessa painotettiin tuotantomahdollisuuksia (tarjontalähtöinen skenaario), toisessa ilmastoyksiköiden käyttömahdollisuuksia (kysyntälähtöinen skenaario).

Vapaaehtoisilla hiilimarkkinoilla ei ole yhtä toimielintä tai tekijää, joka kykenisi ratkaisemaan hiilimarkkinoiden kehittymiseen liittyvät ongelmat ja ristiriidat. Skenaarioiden luominen ja analysointi osoitti, miten vaikeaa on yhteensovittaa vapaaehtoisen hiilimarkkinoiden tarjontaan ja kysyntään liittyvät tavoitteet. Tarjontalähtöisessä skenaariossa markkinat ovat vakaita ja joustavia, mikä voi pitkällä aikavälillä edistää vapaaehtoisen hiilimarkkinan kehitystä, vaikka ilmastoyksiköiden laatuun liittyikin epävarmuutta. Kysyntälähtöisessä skenaariossa tiukat kriteerit tekevät markkinoista epävakaita ja riskialttiit sekä ostajille että myyjille, koska maankäyttösektorin toimenpiteiden laadun varmistaminen on haastavaa. Maankäyttösektorin hillintätoimien ilmastovaikutuksiin liittyy paljon oletuksia ja todentamiseen liittyviä epävarmuuksia, joiden tulkintaerot voivat romahduttaa ilmastoyksiköiden käyttökelpoisuuden tiukkojen laatukriteerien vallitessa.

Suomen kansantaloudelle ja metsäsektorille hiilimarkkinoiden vaikutus on suurempi tarjontalähtöisessä skenaariossa, mutta ne jäävät silti pieniksi verrattuna metsäsektorin kokoon. Puumarkkinavaikutus on pitkällä aikavälillä hakuista lisäävä, mutta lisäys jää yhden prosentin luokkaan. Kysyntälähtöisessä skenaariossa tuotantoa lisäävät toimenpiteet eivät ole riittävän laadukkaita vapaaehtoisille hiilimarkkinoille ja laadukkaammat hillintätoimet ovat liian kalliita toteuttaa, joten tarjonta ja kysyntä eivät kohtaa ja tuotanto jää pienimuotoiseksi. Maatalouden osalta vapaaehtoinen hiilimarkkina ei näytä tarjoavan mahdollisuuksia tarkastelluille hillintätoimille kummassakaan skenaariossa.

Yhteiskunnan mahdollisuudet edistää vapaaehtoista hiilimarkkinaa on rajallinen molemmissa skenaarioissa, koska lainsäädännön keinot toimivat markkinoita rajoittaen. Lainsäädännöllä ei voida määritellä ilmastoyksiköiden ostajien saamia hyötyjä niin kauan, kun hiilimarkkina ja ilmastoyksiköiden käyttö pysyy vapaaehtoisena. Tarjontalähtöisessä skenaariossa yhteiskunnan mahdollisuudet tukea markkinoiden toimintaa ovat paremmat ja yhteiskunta voikin toimia aktiivisesti tarjoamalla ratkaisuehdotuksia sekä neuvotteluiden edistäjänä jättäen kuitenkin hyötyjen arvioinnin vapaiden markkinoiden varaan.

Asiasanat: Vapaaehtoinen hiilimarkkina, toimenpiteet, maankäyttösektori, tuotanto, kysyntä, puumarkkina, kansantalous

Esipuhe

Tämä raportti on hankkeen Hiilikompensaatioiden kehityspolkujen vaikutukset (KolKom) loppuraportti. Hankkeen tavoitteena on parantaa yhteiskunnallista näkemystä vapaaehtoisten hiilimarkkinoiden vaikutuksista Suomessa. Erityisesti keskitytään vapaaehtoisen hiilimarkkinan vaikutuksiin ja mahdollisuuksiin maatalous- ja metsäsektoreilla.

Hiilimarkkinoiden kehityksen vaikutuksia arvioidaan skenaarioanalyysillä, jonka tulokset ovat tässä raportissa. Tässä skenaariotyössä hyödynnettiin hankkeen aikaisempia tuloksia, jotka on koostettu Laturi ym. (2023) raporttiin: ”Vapaaehtoiset hiilimarkkinat maankäyttösektorilla kehitys, kysyntä ja toimenpiteet Suomessa”. Tarkastellut skenaariot tarjoavat vaihtoehtoisia kuvauksia vapaaehtoisen hiilimarkkinan erityispiirteistä vuonna 2035 ja niihin johtaneita kehityspolkuja. Vaikka skenaariot kuvaavat hiilimarkkinoiden näkökulmasta kaukana olevaa aikaa kehityspolkujen analyysi on varsin ajankohtainen, koska hiilimarkkinat ovat vasta syntyneissä ja kehittyneissä Suomessa. Tuloksia on hyödynnetty jo mm. Hiilestä kiinni -hankkeessa ”Kiertoajan pidennyksen ja lannoituksen tuottaman lisäyksen kaupallistaminen koulutuksissa”.

KolKom-hanke on rahoitettu MMM:n Hiilestä kiinni -kehittämishankehaun kautta. Haluamme kiittää hankkeen ohjausryhmää: Lotta Heikkosta (pj.), Eriika Melkasta, Karoliina Anttosta, kannustavuudesta, rakentavista kommentteista sekä hyvistä kysymyksistä.

Hankkeen seurantaryhmä oli hyvin aktiivinen ja tuki hankkeen etenemistä monin tavoin. Kiitämme kaikkia siihen osallistuneita. Seurantaryhmään osallistuivat: Lassi Ahlviik, Asta Ervola, Markku Granander, Tuulia Hakola-Uusitalo, Niklas Kaskeala, Kati Kuovesi, Anna Laine, Lasse Leipola, Tommi Maansilta, Antti Miettinen, Matti Mäkelä, Terhi Naukkarinen, Seppo Niskanen, Bernt Nordman, Juha Nousiainen, Marja Oja, Janne Peljo, Jimi Rajajärvi, Jukka Similä, Heikki Susiluoma, Matti Toivonen ja Jussi Uusivuori.

Suuret kiitokset myös kaikille hankkeen haastatteluihin osallistuneille henkilöille ja tahoille, sekä kaikille, jotka ovat osallistuneet hankkeen edistämiseen kommentoimalla ja keskustelemalla vapaaehtoisten hiilimarkkinoiden kehitysnäkymistä.

Jani Laturi
Vanhempi metsäekonomisti

Sisältö

Esipuhe.....	4
Sisältö.....	5
1 Johdanto	6
2 Skenaarioiden esittely	8
2.1 Oletukset ja rajaukset	10
Kaksoislaskenta ja vastaavien mukautusten pysyvyys	11
2.2 Tarjontalähtöinen skenaario	12
2.2.1 Maankäyttösektorin hillintätoimien toteutus ja ilmastoyksiköiden tarjonta	15
2.3 Kysyntälähtöinen skenaario.....	20
2.4 Yhteenvedo tarkasteltavista skenaarioista	26
3 Tarjontalähtöisen skenaarion vaikutukset	28
3.1 Arvoketju	28
3.1.1 Perinteinen arvoketju.....	28
3.1.2 Ekosysteemipalveluiden arvoketju	31
3.2 Puumarkkinat.....	34
3.3 Kansantalousvaikutukset.....	38
4 Hiilimarkkinoiden kehittäminen osana Suomen ilmastopolitiikkaa	44
4.1 Kehityspolkujen yhdenmukaisuus eri politiikkatavoitteiden kanssa.....	44
4.2 Yhteensovittaminen Maankäyttösektorin ilmastosuunnitelman tavoitteiden kanssa	46
4.3 Kehittymisen pullonkaulat	47
5 Johtopäätökset.....	50
6 Liitteet	54
7 Lähteet	60

1 Johdanto

Vapaaehtoisten hiilimarkkinoiden on ennustettu kasvavan merkittävästi tulevaisuudessa yritysten hiilineutraalisuustavoitteiden sekä ilmastonmuutokseen liittyvän kriisitietoisuuden vuoksi (TSVCM 2021). Ennusteiden mukaisen kysynnän ja tarjonnan toteutuminen käytännössä edellyttää useiden vapaaehtoista hiilimarkkinaa koskevien ongelmakohtien ratkaisemista, etenkin maankäyttösektorin hillintätoimiin liittyvien laatukriteereiden, kuten pysyvyyden ja lisäisyyden, suhteen. Lisäksi hiilimarkkinoihin toimivuuteen ja ilmastoyksiköiden käytöstä tulevaisuudessa saataviin hyötyihin liittyy riskejä, jotka täytyy ratkaista ennen kuin markkina voi kasvaa.

KolKom-hankkeen aikaisempi raportti Laturi ym. (2023) tarkasteli Suomen vapaaehtoisen hiilimarkkinoiden tarjontaa, kysyntää sekä erityisesti suomalaisten maankäyttösektorin mahdollisten hillintätoimien soveltuvuutta vapaaehtoisille hiilimarkkinoille. Tämä raportti jatkaa tätä työtä tarkastelemalla hiilimarkkinoiden kehityspolkuja vuoteen 2035 skenaarioanalyysillä. Skenaariot edustavat tulevan kehityksen ääripäitä. Skenaariot muodostettiin hankkeen aikana päätyen lopulta kahteen skenaarioon: 1) Tarjontalähtöinen skenaario sekä 2) Kysyntälähtöinen skenaario. Molemmat skenaariot perustuvat vapaaehtoisen hiilimarkkinan kehitykseen ja sen potentiaalin hyödyntämiseen ilmastonmuutoksen hillinnässä. Skenaariot eroavat näkemyksessä, miten vapaaehtoisen hiilimarkkinan potentiaalia hyödynnetään parhaiten. Tarjontalähtöisessä skenaariossa keskitytään joustavien tuotantomahdollisuuksien luomiseen, ja hiilimarkkinat kasvavat pääasiassa tarjonnan ollessa runsasta ja ilmastoyksiköiden hintojen ollessa edullisia. Kysyntälähtöisessä skenaariossa taas korostetaan ilmastoyksiköiden laadun ja tarkasti kohdennetun yritysviestinnän roolia vapaaehtoisen hiilimarkkinan laajentumisessa ja ilmastovaikutusten kasvattamisessa. Tässä tilanteessa kuluttajat ja yritykset ovat valmiita maksamaan korkeampaa hintaa ilmastoyksiköistä, jotka täyttävät tiukat laatuvaatimukset, ja tuotteista, joiden ilmastovaikutukset on viestitty selkeästi ja vakuuttavasti.

Skenaariotarkastelun avulla voidaan havaita hiilimarkkinoiden kehitykseen liittyviä ristiriitoja, vastakkainasetteluja, syy-seuraussuhteita ja arvioida vapaaehtoisen hiilimarkkinan vaikutuksia maankäyttösektorille ja Suomen ilmastopolitiikalle. On huomattava, että tuleva kehitys ei noudattele kummankaan skenaarion mukaista kulkua, eikä tämän työn tarkoitus ole toimia ennusteena. Skenaariot ovat tutkimuksellisia apuvälineitä, joiden avulla kuvataan erilaisia mahdollisia kehityskulkuja ja niiden vaikutuksia.

Luvussa 2 esitellään tarkemmin tarkasteltavat skenaariot. Luku 3 keskittyy skenaarioiden vaikutusten tarkasteluun Suomen kansantalouteen, puunmarkkinoille ja maankäyttöseкто-

rille. Luvun 3 vaikutusarviointi keskittyy vain tarjontalähtöiseen skenaarioon ja sen vaikutuksiin metsäsektoriin, koska se on ainoa tapaus, jolloin hillintätoimia toteutetaan merkittävässä määrin. Luvussa 4 arvioidaan skenaariotulosten yhteensopivuutta Suomen maatalouden ja metsäpolitiikan tavoitteiden kanssa sekä maankäyttösektorin ilmastosuunnitelman suhteen. Lisäksi luvussa 4 tarkastellaan vapaaehtoisen hiilimarkkinan kehittymisen pullonkauloja Suomessa. Luku 5 sisältää skenaariotyön johtopäätökset ja suositukset.

2 Skenaarioiden esittely

Vapaaehtoisten hiilimarkkinoiden tulevaisuuteen vaikuttavat lukuisat toimijat, joilla on keskenään erilaisia ja osin vastakkaisiakin tavoitteita. Yhteiskunta voi auttaa markkinoita kehittämään luomalla sääntelyä, joka edistää keskinäistä luottamusta ja helpottaa kaupankäyntiä. Ostajien ja myyjien tavoitteiden ristiriita sekä saatavien hyötyjen jakautuminen eri tahoille on ongelma, jota yhteiskunta ei pysty ratkaisemaan, koska toimijoilla ei ole veloitetta osallistua vapaaehtoisille hiilimarkkinoille. Ne toimijat, jotka kokevat markkinoilta saatavat hyödyt liian vähäisiksi tai tavoitteidensa vastaisiksi, voivat päättää olla osallistumatta hiilimarkkinoille ja suunnata resurssinsa kohteisiin, jotka tuottavat heille suurempaa hyötyä. Myös pitkällä aikavälillä toimijoilla on vaihtoehtoisia keinoja vapaaehtoisten hiilimarkkinoiden lisäksi tavoitteidensa toteuttamiseen, kuten uusien teknologioiden luomat päästövähennykset.

Tässä raportissa käytetään hiilimarkkinoiden toimijoista seuraavaa jaottelua ja käsitteitä:

Tarjontapuoli

1. Maanomistajat – sopivat hiilimarkkinayritysten kanssa maillaan tehtävistä hiilensidontatoimenpiteistä ja saavat siitä sopimuksen perusteella korvauksen
2. Hiilimarkkinayritykset – tekevät maanomistajien kanssa sopimuksen hiiltä sitovista toimenpiteistä ja siten ostavat hiilensidontapalvelun näiltä. Hiilimarkkinayritykset myyvät hiilensidontapalvelun yrityksille ilmastoyksiköinä

Kysyntäpuoli

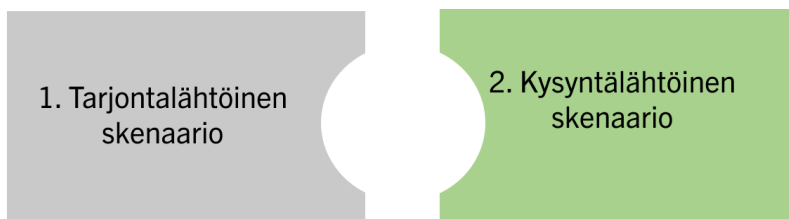
3. Yritykset – ostavat hiilimarkkinayrityksiltä ilmastoyksiköitä kumotakseen niillä omia päästöjään, osana vastuullisuusstrategiaansa ja/tai osoittaakseen kuluttajille ympäristöystävällisyyttään
4. Kuluttajat – ostavat yritysten tuotteita, ostopäätökseen voi vaikuttaa tuotteen tai yrityksen ilmastoväite. Kuluttajat voivat myös ostaa suoraa ilmastoyksiköitä omien ilmastotavoitteidensa saavuttamiseksi

Tarkastelemme vapaaehtoisten hiilimarkkinoiden mahdollisia kehitysvaihtoehtoja ja niiden vaikutuksia Suomen maatalous- ja metsäsektoreille hyödyntäen skenaarioanalyysiä. Luodut skenaariot eivät ole ennusteita, vaan ne edustavat mahdollisia kehityspolkuja ja maailman tilanteita, jotka muodostavat loogisen kokonaisuuden. Skenaariot perustuvat uskottaviin olettamuksiin kehityksestä ja liittyvät tulevaisuuden nykyhetkeen. Skenaariot mahdollistavat vaihtoehtoisten tulevaisuuden kehitysten kuvaamisen ja niissä ilmenevien seurausten arvioinnin. Käytämme skenaarioita tutkimustyökaluna, ja tulosten sekä johtopäätösten selkeyttämiseksi ne esittävät äärimmäisiä, mutta kuitenkin mahdollisia tulevaisuuden tulkintoja. Vapaaehtoiset hiilimarkkinat ovat tällä hetkellä suuressa muutoksessa ja mahdollisesti merkittävästi kasvamassa (Laine ym. 2021, 2023; Laturi ym. 2023). Tulevaisuuteen

liittyvät epävarmuuden ovat kuitenkin suuria. Suomen tämänhetkisen hiilimarkkinan koko on alle miljoona euroa vuodessa (PTT 2023). Luotujen skenaarioiden vaikutusten arviointi erityisesti suhteessa toisiinsa mahdollistaa vaikutusten arvioinnin ja niiden kytkeytyneisyyden tarkastelun.

Kehityspolkujen perustaksi valittiin se, miten merkittävästi eri markkinaosapuolten tavoitteet painottuvat vapaaehtoisten hiilimarkkinoiden kehityksessä. Hiilimarkkinoiden osalta merkittävimmät ristiriitaiset tavoitteet ja informaatiopuutteet liittyvät tarjontaosapuolten (tuottajien ja hiilimarkkinayritysten) sekä kysyntäosapuolten (yritykset ja kuluttajat) välille. Lisäksi tuottajien saamiin hyötyihin vaikuttavat valtion lainsäädännölliset ilmastovelvoitteet, jotka rajoittavat ilmastoyksiköiden käyttöä kaksoislaskennan kautta. Kaksoislaskennassa on kyse siitä, missä määrin ilmastohyötyjä voidaan hyväksilukea vapaaehtoisille hiilimarkkinoille. Valtio ja EU toimivat vapaaehtoisilla hiilimarkkinoilla sääntelijöinä. Yhteiskunnalliset toimijat pyrkivät edistämään hiilimarkkinoiden kehitystä ilmastomuutoksen hillitsemisen lisäksi maatalous- ja metsäsektoreilla elinkeinopoliittisten tavoitteiden vuoksi. Kuluttajansuoja ja siihen liittyvä sääntely koskevat hiilimarkkinoita ja ilmastoyksiköiden käyttöä markkinoinnissa ja yritysviestinnässä (Laine ym. 2021; Laine ym. 2023; Laturi ym. 2023).

Kun tarkastelemme vapaaehtoisia hiilimarkkinoita, yksikään osapuoli ei voi yksin määritellä niiden kehitystä. Kaupankäynnissä on tärkeää ottaa huomioon kaikkien osapuolten tavoitteet ja hyödyt osallistumisesta. Markkinoiden kehityksen ja osapuolten hyötyjen kannalta voi olla myös hyödyllistä edistää kehityssuuntaa, jossa korostuvat muiden saamat hyödyt. Tämä auttaa houkuttelemaan heidät markkinoille ja pitämään heidät mukana. Luodut skenaariot on nimetty sen mukaan, mitkä markkinaosapuolten suorat tavoitteet painottuvat hiilimarkkinoiden kehityksessä eniten, mutta ne sisältävät myös muiden osapuolten tavoitteita palvelevia kehityssuuntia. Tarkasteltavat skenaariota ovat: *tarjontalähtöinen ja kysyntälähtöinen skenaario*.



Kuva 1. Skenaariot vapaaehtoisten hiilimarkkinoiden kehityksestä Suomessa vuoteen 2035

2.1 Oletukset ja rajaukset

Skenaarioiden muodostamisessa taustamateriaalina hyödynnetään selvitysraporttia (Laturi ym. 2023), joka on julkaistu osana Hiilestä kiinni -ohjelman Hiilikompensaatioiden kehityspolkujen vaikutukset (KolKom) -hanketta. Skenaariotarkastelussa kiinnitetään erityisesti huomiota vapaaehtoisia hiilimarkkinoita koskevan sääntelyn kehitykseen, ilmastoyksiköiden kysyntään, tarjontaan sekä toteutettaviin hillintätoimiin.

Maantieteellisesti skenaariot keskittyvät vapaaehtoisten hiilimarkkinoiden kehitykseen Suomessa, ellei toisin ole mainittu. On tärkeää huomata, että vapaaehtoista hiilimarkkinaa ei ole mahdollista eikä tarkoituksenmukaista erottaa täysin omaksi kansalliseksi markkinakseen, edes skenaariotarkastelussa. Tästä syystä skenaariot ottavat huomioon EU-sääntelyn kehityksen sekä ei-valtiollisten toimijoiden, kuten erilaisten sertifiointiohjelmien ja kansainvälisten itsesääntelyhankkeiden, toiminnan. Skenaariot kuvaavat Suomen vapaaehtoisia hiilimarkkinoita vuonna 2035 ja olettavat, että kansallinen ilmastopolitiikka ja sen tavoitteet pysyvät nykyisen kaltaisina. Metsäsektorin ja maataloustuotannon toimintaympäristössä ei oleteta tapahtuvan merkittäviä muutoksia.

Kaksoislaskenta ja vastaavien mukautusten pysyvyys

Kaksoislaskenta on noussut keskeiseksi kysymykseksi liittyen erityisesti ilmastoyksiköiden kysyntään vaikuttaviin tekijöihin. Kaksoislaskentaa on käsitelty kattavasti mm. Lainisen ym. (2022) selvityksessä *Vapaaehtoiisiin päästökompensaatioihin liittyvät erityiskysymykset*. Selvityksen mukaan kaksoislaskennalla voidaan tarkoittaa ”saman hillintätuloksen laske- mista useampaan kertaan, kaksinkertaisen liikkeellelaskun, käytön ja/tai hyväksiluvun kautta”, mutta selvityksessä sekä yleisessä keskustelussa useimmiten kaksoislaskennalla tarkoitetaan ”kaksinkertaista hyväksilukua kompensaation ja isäntämaan tavoitteen välillä”.

Kaksoislaskentatematiikkaan liittyy kiinteästi ilmastoyksikön ostajan tekemä väittämä. Il- mastoyksiköiden käyttöä kutsuttiin pitkään kompensaatioksi, mikä johtui ajatustavasta siitä, että ostamalla ja mitätöimällä ilmastoyksiköitä niin sanotusti kompensoidaan eli kumotaan omia päästöjä. Tällä hetkellä puhutaan ilmastoyksiköiden käytöstä ja eri väittämien tekemi- sestä erikseen. Kaksoislaskenta koskee edelleen tilannetta, jossa ilmastoyksikön ostaja ja käyttäjä tekee kumoutumisväitteen eli ilmaisee, että yksikön käytöllä on kumottu omia päästöjä. Tämä ei ole sallittua tilanteessa, jossa ilmastoyksikön taustalla oleva hillintätulos näkyy kansallisessa kasvihuoneinventaariorissa ja sisältyy kansallisten ilmastotavoitteiden piiriin (Laininen ym. 2022) eli tällöin on kyse ns. kaksoislaskennasta.

Kaksoislaskennan välttämistä on käsitelty *Oppaassa vapaaehtoisten hiilimarkkinoiden hy- viin käytäntöihin* (Laine ym. 2023). Kaksoislaskennan voi välttää ostamalla ilmastoyksikön liittyen hillintätoimeen, joka ei ole kansallisten ilmastotavoitteiden piirissä tai tekemällä ns. kansallisen ilmastotukiväittämän, jolla tarkoitetaan sitä, että ilmastoyksikön ostaja ja käyt- täjä tukee tietyn valtion esim. Suomen ilmastotavoitteita eikä kumoa omia päästöjään (Laine ym. 2023).

Hiilimarkkinoilla tehtävät mukautukset voivat nostaa ilmastoyksikön arvoa, sillä niitä voi- daan käyttää muun muassa kumoamisväitteiden tueksi. Luontopohjaiset hiilivarastot ja nii- den perusteella luodut ilmastoyksiköt eroavat fossiiliisiin polttoaineisiin perustuvista päästö- vähennyksistä siinä, että ne edellyttävät jatkuvaa seurantaa ja säilytystä tulevaisuudessa. Luontopohjaisten yksiköiden kohdalla on tärkeää, että niiden mukautukset ovat pitkäaikai- sia, erityisesti kun otetaan huomioon vaatimus, ettei yksikköä käytetä tulevaisuudessa uu- delleen.

ässä raportin skenaariotyössä tarkastelemme maankäyttösektorin toimenpiteitä, joiden py- syvyys on pääosin lyhytikäistä, poikkeuksena toimenpiteet, joiden tuotantokustannukset ylittävät skenaarioissa oletetun hintatason. Skenaariotyössä emme ota huomioon mahdolli- suutta vastaaviin mukautuksiin, sillä valtion ei voida olettaa tekevän pysyväisluonteisia mu- kautuksia tavoitteisiinsa, jotka perustuvat lyhytikäisiltä pysyvyysominaisuuksiltaan ilmasto- yksiköihin.

2.2 Tarjontalähtöinen skenaario

Taustaoletus: Vapaaehtoisten hiilimarkkinoiden potentiaali ilmastomuutoksen hillitsemiseksi riippuu ensisijaisesti ilmastoyksiköiden tuotantomahdollisuuksista ja siitä, että tuotanto on laaja-alaista, määrällisesti suurta ja yksiköt ovat edullisia. Tässä tilanteessa tarjonnan laatuun liittyvät ongelmat ajatellaan voitavan ratkaista ilmastoyksiköiden suurella käyttömäärällä. Ostajat kohtaavat merkittäviä mainehaitan syntyriskejä liittyen ostamiensa yksiköiden laatupuutteisiin.

Lähtökohdat: Lainsäädännössä ja vapaaehtoisessa sääntelyssä pyritään huomioimaan, etteivät ne rajoita tarjontaa vaan tukevat sen kehitystä. Lisäksi skenaarioissa luotetaan markkinoiden toimintaan ja kysynnän ohjausvaikutukseen, niin että kuluttajien ja yritysten preferenssit ja maksuhalukkuus laadusta johtavat tilanteeseen, jossa laaja-alainen ilmastoyksiköiden valinnanvara mahdollistaa markkinoiden tasapainon. Kuitenkin yritykset ja kuluttajat toimivat omien tavoitteidensa ja käsitystensä mukaisesti, mikä ohjaa skenaarioissa tarjonnan ja kysynnän sekä laadullisesti että määrällisesti tasolle, joka oletetaan maksimoivan vapaaehtoisten hiilimarkkinoiden käytön ilmastomuutoksen hillitsemisessä.

Lainsäädäntö, minimikriteerit ja vapaaehtoisten hiilimarkkinoiden hyvät käytännöt: Skenaariossa oletetaan, ettei lainsäädäntöä kehitettäessä aseteta ilmastoyksiköiden tuotantoa rajoittavia tekijöitä. Myöskään kuluttaja-, yritys- tai muu lainsäädäntö eivät kehity nykyisestä suuntaan, joka rajoittaisi ilmastoyksiköiden tarjontaa tai niiden käyttökelpoisuutta. Skenaarioissa oletetaan, että vaaditut kuluttaja ym. lainsäädännölliset tarpeet voidaan kiertää hyödyntäen laskennallisia menetelmiä, joissa useamman yksikön käytöllä voidaan sovitaa vaaditut kriteerit. Vapaaehtoisten markkinoiden tämänhetkisistä minimikriteereistä ja hyvistä käytännöistä pidetään teoreettisesti kiinni, mutta mahdollistetaan jousto hyödyntäen määrä korvaa laadun ajattelua. Tällöin hyväksytään, että yksiköiden laskentamenetelmissä voidaan käyttää kertoimia, joilla useasta heikosta ilmastoyksiköstä saadaan markkinoille minimikriteerit täyttävä yksikkö.

Kaksoislaskenta ja ilmastoväittämät: Skenaariossa tarjolla olevien kotimaisten ilmastoyksiköiden laatu vaihtelee, mikä tekee niistä keskenään huonosti vertailtavia ja vaikeuttaa niiden yhdistämistä esimerkiksi kasvihuonekaasuinventaarion laskentamenetelmiin ja kertoimiin. Skenaariossa vapaaehtoinen hiilimarkkina täydentää Suomen ilmastopolitiikan sitovia tavoitteita, ja tuotetut hillintätulokset tulevat näkyviin Suomen raportoiduissa päätöissä ja niiden poistumisissa. Skenaariossa hiilimarkkinat toimivat periaatteella, jossa hyväksytään yksittäisten toimijoiden tarkkuuden vaihtelut ja epävarmuudet, mutta tämä heijastuu yksiköiden hintaan ja kysyntään. Yritykset käyttävät kuitenkin varoen yksiköitä mainonnassaan, koska kuluttajalainsäädäntö asettaa edelleen tiukkoja rajoituksia kuluttajien harhaanjohtamiselle, ja kuluttajat ovat tottuneet olemaan kriittisiä hiilimarkkinoiden suhteen.

Kaupankäynti ja standardien ja sertifiointien vaikutus: Tässä tilanteessa lainsäädäntö mahdollistaa ilmastoyksiköiden laaja-alaisen, sekä menetelmällisesti että laadullisesti monipuolisen tarjonnan markkinoille. Markkinoilla on runsaasti kokeiluihin perustuvia ja vakiintumattomien yritysten tuottamia yksiköitä, joiden arviointi on kuluttajille ja yrityksille haasteellista. Tämä lisää ostajien kaupankäyntikustannuksia ja sisältää riskejä sekä ostamiinseen että yksiköiden käyttöön. Ostajien näkökulmasta on helpompaa suosia vakiintuneiden toimijoiden tuottamia tai sertifioimia yksiköitä. Markkinoilla olevien heikkolaatuisten ja edullisten yksiköiden aiheuttama epävarmuus ja maineriski vaikuttavat negatiivisesti myös laadukkaiden yksiköiden kysyntään ja maksuhalukkuuteen.

Tarjonta: Koska lainsäädäntö ei aseta tiukkoja velvoitteita ilmastoyksiköiden myyjille tai ne voidaan laskennallisilla menetelmillä kiertää, vapaaehtoisilla hiilimarkkinoille on pyrkimässä paljon toimijoita ja menetelmiä. Hintatason ollessa matala ja tarjonnan ollessa laadullisesti laaja-alaista tarjottavien ilmastoyksiköiden laadun hyödyntäminen hinnan nostamisessa vaatii pitkäjänteistä markkinointi yms. työtä. Toisaalta paikallisesti toimijat voivat hyödyntää omia kontaktejaan ja tunnettuaan, jolloin muodostuu pieniä toimijoita, jotka palvelevat pientä uskollista asiakaskuntaa.

Metsänomistajien suora osallistuminen hiilimarkkinoille on epävarmaa, kun hintataso on matala ja markkinoiden tulevaisuuden riskit ovat suuret. Toisaalta yksiköiden laadullinen joustavuus mahdollistaa yksityisten metsänomistajien osallistumisen, tuottaen ilmastoyksiköitä, jotka vastaavat heidän tarpeitaan. He voivat yhdistää metsänhoitotavoitteensa ilmastoyksiköiden myyntiin, saaden näin lisätuloja hiilimarkkinoilta. Kuitenkin matalat korvaukset voivat rajoittaa heidän toimintaansa, vaikka kustannukset ja metsätalouden tulonmenetykset pysyvätkin pieninä osallistuttaessa hiilimarkkinoille. Sopimukseen perehtymisestä ja sitoutumisesta aiheutuvat kiinteät kustannukset sekä tulonsaannin epävarmuudet rajoittavat toimijoiden halukkuutta osallistua.

Kysyntä: Skenaariossa oletetaan, että kuluttajat ovat valveutuneita ja kriittisiä, tämänhetkisen tilan kaltaisesti (Laturi ym. 2023). Kuluttajat arvostavat ilmastoyksiköiden tietojen läpinäkyvyyttä ja saatavuutta (Laturi ym. 2023). Yritykset joutuvat huomioimaan nämä vaatimukset viestinnässään. Tässä maailmantilassa kuluttajat ovat tottuneet liittämään ilmastoyksiköihin epävarmuuden, ja he ovat kohdanneet laadultaan vaihtelevia yksiköitä. Ilmastoyksiköiden hankinta, käyttö ja hyödyntäminen vaatii kuluttajilta ja yrityksiltä suurempaa vaivannäköä. Skenaariossa ulkopuoliset pitävät kuluttajien ja yritysten ilmastoyksiköiden hyödyntämistä helposti viherpesuna, ja tämän väärinkäsityksen korjaaminen vaatii ponnisteluja yksiköiden käyttäjiltä. Yritykset arvostavat kotimaisuutta ja paikallisuutta, mutta kohtaavat suuria maineriskejä mahdollisten heikkolaatuisten yksiköiden vuoksi. Yritysten on oltava erityisen huolellisia viestinnässään ja yksiköiden valinnassa. Tämä tekee osallistumisen markkinoille erityisen haastavaksi pienille yrityksille.

Markkinadynamiikka ja hintataso: Hiilimarkkinoiden kokonaisvaltainen hyödyntäminen perustuu yksiköiden suureen käyttömäärään. Suurten käyttömäärien realisoituminen vaatii

yksiköiden edullista hintatasoa. Skenaarioissa oletetaan, että tarjontapuolen sääntely ei nosta tuotantokustannuksia nykyisestä ja ei muutenkaan rajoita toimintaa merkittävästi. Skenaariossa oletetaan, että ilmastoyksiköiden markkinahinta Suomessa säilyy noin vuoden 2022 tasolla ja on 15 €/ t CO₂-ekv. Skenaariossa oletetaan, että välittäjät ja hankekehittäjät saavat hinnasta puolet ja maanomistajat toisen puolikkaan eli 7,5 €/ t CO₂-ekv.

Ongelmat ja haasteet: Keskeinen kysymys on, kuinka paljon ilmastoyksiköiden käyttäjät ovat valmiita joustamaan laadusta ja millä hinnalla. On haasteellista luoda läpinäkyvä järjestelmä tai kuvaus siitä, miten ostajat ja käyttäjät voivat riittävästi arvioida ilmastoyksiköiden ilmastovaikutuksia. Ilmastoyksiköiden arviointiin liittyy jo tällä hetkellä vaikeuksia. Kun ilmastoyksiköiden käyttö lisääntyy ja arviointi muuttuu toistuvaksi, erilaisten ilmastoyksiköiden uskottavuuden sekä oikeellisuuden arvioiminen muodostuu työlääksi. Tämä lisää entisestään ostajien epävarmuutta ja kaupankäynnistä syntyviä kustannuksia. Yleisesti ottaen haasteena on, että tarjolla olevien heikkojen ilmastoyksiköiden suuri määrä vähentää kuluttajien ja yritysten luottamusta koko hiilimarkkinaan ja heidän halukkuuttaan osallistua niihin.

Mahdollisuudet: Luontopohjaisten, maatalouden ja metsäsektorin laadukkaiden yksiköiden tuottaminen on Suomessa haastavaa (Laturi ym. 2023). Kuitenkin markkinoiden kehityksen myötä, joka suuntautuu tuotantolähtöisyyden parantamiseen, avautuu mahdollisuuksia uusien kokeilujen ja menetelmien hyödyntämiseen. Näiden menetelmien vastavuus kuluttajien tarpeiden kanssa ratkaistaan markkinoilla. Tämä mahdollistaa toteutusmenetelmien ja niiden ilmastovaikutusten hyväksymistapojen löytämisen, jotka sekä palvelevat ostajien tavoitteita että tukevat tuotantomahdollisuuksia Suomessa.

Yhteenveto: Tässä skenaariossa vapaaehtoisista hiilimarkkinoista muodostuu mekanismi, joka auttaa kansainvälisten ilmastopöytäkirjojen tavoitteiden toteutusta. Markkinoiden kehitykseen liittyy monia haasteita erityisesti yksiköiden laadun suhteen. Kuitenkin joustava tulkinta ilmastoyksiköiden laatuvaatimuksissa ja markkinoilla olevien yksiköiden laadullinen moninaisuus tekee markkinoista vakaammat, koska laadullisiin ongelmiin on varauduttu. Samoin ilmastoväittämien käytössä on huomioitu ilmastoyksiköiden laadulliset puutteet ja siten riski niiden yhtäkkisen käyttökelpoisuuden muutoksesta on pieni. Skenaarion mukaisessa maailmassa sekä tuottajien että ostajien tulee olla tarkkana ja kriittisenä, jotta markkinat voivat toimia tehokkaasti ja kuluttajien ja yritysten vaatimusten mukaisesti riittävän läpinäkyvästi.

Markkinahinta: Skenaariossa ei ole juurikaan seikkoja, jotka nostaisivat hintatasoa hiilimarkkinoilla nykyisestä, mutta hintatasoa tukevia tekijöitä muodostuu joustavuuden myötä. Näin ollen tarjontalähtöisessä skenaariossa oletetaan hintatason olevan nykytasolla 15 €/ t CO₂-ekv. (PTT 2023).

2.2.1 Maankäyttösektorin hillintätoimien toteutus ja ilmastoyksiköiden tarjonta

Hiilimarkkinoiden hillintätoimien toteutusta, tarjontaa ja laatua on arvioitu KolKom-hankkeen aikaisemmassa raportissa Laturi ym. (2023). Raportin tuloksia hyödynnetään skenaariotyössä hillintätoimien tarjonnan, toteutuksen, kysynnän ja raaka-aineen tuotannon arvioimisessa.

Taulukko 1. Vapaaehtoisen hiilimarkkinan hillintätoimien toteutusalat, raaka-aineen tuotantovaikutukset ja ilmastovaikutus Suomessa tarjontalähtöisessä skenaariossa, jossa hiilimarkkinoiden hintataso on 15 €/t CO₂-ekv. ja maanomistajalle maksettava korvaus 7,5 €/t CO₂-ekv.

Hillintätoimi	Toteutusala 2025-	Raaka-aineen tarjontavaikutus 2035	Ilmastovaikutus 2035	Selitys
	ha/v		t CO ₂ ekv.	
Päätehakuun viivästäminen	8 000	360 000* m ³ 0**m ³ /v	<0* ~36 000**	Kysyntää ja tarjontaa kohtaavat hiilimarkkinoiden ja hillintätoimien muodostuu merkittävää tuotantoa. Kuitenkin kysyntä rajoittaa laatu (taloudellinen lisäisyys, pysyvyys)
Talouss metsän lannoitus turvemailla (tuhkalannoitus)	-	-	-	Kysyntää rajoittaa laatu (taloudellinen lisäisyys, Metka-tuki, ja ilmastolliset epävarmuudet turvemailla). Tarjontaa rajoittaa Metka-tuki ja hiilimarkkinoiden alhainen hintataso.
Talouss metsän lannoitus kivennäismailla (typpilannoitus)	67 000	1 100 000* m ³ 0** m ³ /v	0* 110 000**	Kysyntä ja tarjontaa kohtaavat hiilimarkkinoiden ja hillintätoimien muodostuu merkittävää tuotantoa. Kuitenkin kysyntä rajoittaa laatu (taloudellinen lisäisyys, pysyvyys)
Huonotuottoisen metsäojitetun turvemaan vettäminen	Pienimuotoista tarjontaa paikalliselle ostajille	pienimuotoista, ei havaittavaa vaikutusta	pienimuotoista, ei havaittavaa vaikutusta	Kysyntää rajoittaa laatu (ajallisuus, ilmastolliset epävarmuudet). Paikallisesti muita hyötyjä
Käytöstä poistuneen turvetuotantoalueen metsitys ja käyttö talouss metsänä	Pienimuotoista tarjontaa paikalliselle ostajille	pienimuotoista, ei havaittavaa vaikutusta	pienimuotoista, ei havaittavaa vaikutusta	Kysyntää rajoittaa laatu (ajallisuus, taloudellinen lisäisyys,

				pysyvyys). Paikallisesti muita hyötyjä
Maatalouskäytöstä poistetun ohuturpeisen turvepellon metsitys ja käyttö talousmetsänä	Pienimuotoista tarjontaa paikalliselle ostajille	pienimuotoista, ei havaittavaa vaikutusta	pienimuotoista, ei havaittavaa vaikutusta	Kysyntää rajoittaa, laatu (ajallisuus, taloudellinen lisäisyys, pysyvyys). Paikallisesti muita hyötyjä
Joutoalueen metsitys kivennäismaalla ja käyttö talousmetsänä	Pienimuotoista tarjontaa paikalliselle ostajille	pienimuotoista, ei havaittavaa vaikutusta	pienimuotoista, ei havaittavaa vaikutusta	Kysyntää rajoittaa, laatu (ajallisuus, taloudellinen lisäisyys, pysyvyys). Paikallisesti muita hyötyjä
Biohiilen lisääminen maatalousmaahan	Pienimuotoista tarjontaa rajatulle kohderyhmälle	pienimuotoista, ei havaittavaa vaikutusta	pienimuotoista, ei havaittavaa vaikutusta	Tarjontaa rajoittaa, tuotantokustannus yli markkinahinta. Niche-kysyntää
Maanparannuskuidut	-	-	-	Kysyntää rajoittaa, laatu (taloudellinen lisäisyys, pysyvyys)
Pitkäikäiset puutuotteet	-	-	-	Kysyntää rajoittaa, laatu (taloudellinen lisäisyys)
Huonotuottoisen turvepellon vettäminen	-	-	-	Kysyntää rajoittaa laatu (taloudellinen lisäisyys, EU-tuki vetämiselle). Tarjontaa rajoittaa korkea EU-tuki (perustamiselle ja hoidolle)
Kosteikkoviljely	-	-	-	Tarjontaa rajoittaa hillintätoimeen liittyvät epävarmuudet, ja investointi vaatimukset ja EU- tukien menetys. Kysyntää rajoittaa hillintätoimen ilmastolliset ja taloudelliset epävarmuudet
Lypsylehmien metaanipäästöjen vähentäminen rehunlisäaineilla	-	-	-	Tarjontaa rajoittaa elintarvikesektorin omat ilmastotavoitteet ja yksiköiden käyttö niiden hyväksi
Hakkuista pidättäytyminen talousmetsässä	-	-	-	Tarjontaa rajoittaa, tuotantokustannus yli markkinahinta.
Säästöpuun määrän lisääminen päätehakuiden yhteydessä	-	-	-	Tarjontaa rajoittaa, tuotantokustannus yli markkinahinta.

* kumulatiivinen vaikutus vuosilta 2025–2034 ** Marginaalivaikutus vuonna 2035

Päätehakkuun viivästäminen: Päätehakkuun viivästäminen on vapaaehtoisille hiilimarkkinoille soveltuva toimenpide, jonka ilmasto hyödyt perustuvat metsien hyvää kykyyn sitoa hiiltä vielä iässä, joka maksimoi paljaanmaanarvon. Esimerkiksi puuston keskikasvu 60-vuotiaissa männiköissä Suomessa on n. 3–6 m³/v/ha (Haakana ym. 2022). Metsätaloudessa yleisesti käytetään käsitettä kiertoajan pidentäminen, mutta hiilimarkkinoille tarjottava hiilensidontapalvelu, koskee vain olemassa olevan metsän päätehakkuun muutosta Laturi ym. (2023). Suomessa Metsän uudistamiseen tähtäävien hakkuiden pinta-ala oli vuonna 2019 yhteensä n. 141 000 ha (Kulju ym. 2023).

Metsänhoitotoimenpiteiden hyväksyttävyyttä tarkastelleessa tutkimuksessa (Husa ja Kosenius 2021) yli puolet metsänomistajista ei ollut juuri tai lainkaan kiinnostunut käyttämään pidempää kiertoaikaa metsissään. Suomalainen metsänomistaja 2020-tutkimuksen (Karpinen ym. 2020) mukaan 19,4 prosenttia metsänomistajista kuuluu ryhmään, jotka korostavat metsänomistuksen tavoitteissa turvaa ja tuloja. Tämä kohderyhmä on periaatteessa soveltuvin kohde tarjoamaan metsiään hiilimarkkinoille, koska heidän tavoitteensa mukaisesti uudistushakkuut ajoittuvat hetkeen, jossa korostuu taloudellisesti optimaalinen uudistamisen ajankohta. Metsämaasta yksityishenkilöiden omistuksessa on 59 prosenttia.

Olettaen että uudistamishakkuu pinta-alat säilyvät vuoden 2019 tasolla ja vapaaehtoiselle hiilimarkkinoille osallistuvat yksityiset metsämaanomistajat, joiden tavoitteissa korostuvat turva ja tulot. Lisäksi olettaen, että puolet kiinnostuneista ovat kiinnostuneita pidentämään kiertoaikaa, niin potentiaalinen pinta-ala hiilimarkkinoiden hillintätoimelle päätehakkuu viivästämiselle olisi n. 8 000 ha vuodessa. Arvioon liittyy erittäin paljon epävarmuuksia puoleen ja toiseen, mutta antanee kuvan mitkä tekijät ainakin rajoittavat metsänomistajien kiinnostusta ja mahdollisuutta osallistua tuottaa yksiköitä hiilimarkkinoille hyödyntäen päätehakkuun viivästämistä. Olettaen, että näiden 8 000 hehtaarin keskikasvu on 4,5 m³/ha vuodessa 10 vuoden ajan, puusto kasvaa yhteensä 360 000 m³.

Mikäli päätehakkuiden viivästäminen toteutusala on vuodesta 2025 alkaen 8 000 ha/v sen hakkuukertymä- ja ilmastovaikutukset voidaan jakaa kolmeen ajanjaksoon. Ensimmäisen 10-vuoden aikana hakkuukertymä pienenee, koska päätehakkuiden pinta-ala vähenee ja metsänhiilivarasto on hakkuiden pienemmän poistuman takia korkeampi sekä lisääntynyt metsänkasvu lisää hiilensidontaa tällä alalla. Seuraavassa vaiheessa, noin 10–60 vuoden kuluttua, hillintätoimen yhä toteutuessa saavutetaan tasapaino hakkuissa. Tällöin uudistamishakkuidenala palautuu samalle tasolle kuin se olisi ilman hillintätoimen vaikutusta, mutta hakkuukertymä on 360 000 m³ vuodessa korkeampi. Tällä ajanjaksolla metsien hiilivarasto on korkeampi kuin tilanteessa, jossa hillintätoimia ei toteuteta, mutta vuotuinen nielu pienempi. Tällöin toimenpiteen aikaansaaman lisäkasvun verran hakataan vuosittain lisää puustoa, mutta uudistetut metsät ovat nuorempia ja kasvavat hitaammin. Kolmannessa ajanjaksossa perusuran mukaiset metsät olisivat jo uudistamiskäisiä, mutta päätehakkuunviivästämisestä takia hillintätoimen alaiset metsät 10-vuotta nuorempia. Tämän

ajanjakso päättyy siihen, että metsät ovat uudistamisikäisiä ja siten potentiaalisia tarjonta kohteita hiilimarkkinoille ja päätehakkuun viivästämiseen.

Vaikka tarjontalähtöisessä skenaariossa oletetaan markkinoiden olevan joustavia ja pystyvän hyödyntämään erilaisia ilmastoyksiköitä päätehakkuun viivästämällä tuotettujen yksiköiden kysyntää rajoittaa tuotettujen ilmastoyksiköiden laatu etenkin taloudellisen lisäisyyden ja pysyvyyden osalta.

Talousmetsän lannoitus turvemaidella (tuhkalannoitus): Tuhkalannoituksen kannattavuutta turvemaidella tarkastelleissa tutkimuksissa sitä on pidetty metsänomistajalle kannattavana toimenpiteenä myös ilman tukia siihen soveltuvilla kohteilla (Moilanen ym. 2015; Väättäinen ym. 2011). Turvemaiden tuhkalanhoitus oli Kemera-tuen alainen toimenpide ja uudessa Metka-tuessa toimenpiteen tuki on 270 €/ha. Toimenpiteen tukijärjestelmän ja toimenpiteen yleisen kannattavuuden takia, hiilimarkkinoilla vaaditun taloudellisen lisäisyyden näyttäminen toteen on haasteellista merkittävällä osalla turvemaita. Vapaaehtoisen hiilimarkkinan rahoittamana hillintätoimena tuhkalanhoituksen toteutusala jää tässä skenaariossa merkitsemättömäksi.

Talousmetsän lannoitus kivennäismailla (typpilannoitus): Kasvatustaloudellisuudella säävytetään n. 6–20 m³/ha lisäkasvu kymmenen vuoden aikana (0,6–2 m³/ha/v.) (mm. Ilvesniemi ja Kukkola 2017). Kasvatustaloudellisuutta tehtiin Suomessa vuonna 2019 noin 46 000 hehtaaria (SVT, Metsänhoito- ja perusparannustyöt 2023). Laturi ym. (2022) arvioivat potentiaalisen kasvatustaloudellisuusalan olevan Suomessa noin 307 000 hehtaaria vuodessa. Arvio perustui oletuksiin kasvatustaloudellisuuden ajoittamisesta harvennusten jälkeen tai ennen päähakkuuta ja hakkuualojen säilymiseen vuoden 2019 tasolla.

Oletetaan että kasvatustaloudellisuuden marginaalikasvuvaikutus heikkenee lineaarisesti lannoitusalan kasvaessa Suomessa, koska lannoitus kohdistuu heikommin lannoitukseen soveltuville kohteille. Oletetaan lisäksi, että edellä oleva suurin lisäkasvu (20 m³/ha) saavutetaan kun lannoitusala Suomessa lähestyy nollaa ja edellä oleva pienin lisäkasvu (6 m³/ha) kun lannoitusala Suomessa lähestyy edellä olevaa kasvatustaloudellisuuden potentiaalista alaa 307 000 ha. Näillä oletuksilla toteutuneella 46 000 hehtaarin kasvatustaloudellisuus alalla lisäkasvunmarginaali olisi 17,9 m³/ha. Kasvulisäyksen realisoituessa hakkuuksi heti kymmenen vuoden kuluttua lannoituksesta, puun kantorahahinnan ollessa 60 €/m³ ja käyttäen diskonttokorkoa kymmenen prosenttia muodostuu lannoituksen nettonykyarvo nolaksi marginaalikasvulla 17,9 €/ha, kun kasvatustaloudellisuuden kustannus on 413 €/ha. Jos käytetään muuntokertoimena hiilensidonnalle 1,04 t CO₂ ekv / kiintokuutiometri puuta ja maanomistajalle maksettava korvaus on skenaarion mukainen 7,5 €/ t CO₂-ekv, niin lannoitus alan ollessa 114 000 hehtaaria marginaalihyödyt lannoituksesta ovat nolla. Olettaen, että maanomistajat lähtevät mukaan toimintaa, jos siitä saa positiivisen taloudellisen hyödyn, skenaarion mukaisella hiilenhinnalla lisääntyy lannoitusala 67 000 ha vuodessa.

Huonotuottoisen metsäojitetun turvemaan vettäminen: Hillintätoimen kysyntää rajoittaa toimenpiteen ilmastollisiin vaikutuksiin liittyvät epävarmuudet sekä toimenpiteen taloudellisen lisäisyyden osoittaminen, koska metsätalouden jatkamisen kannattavuus kyseenalaista Laturi ym. (2023). Kuitenkin skenaariossa pienimuotoinen tuotanto on mahdollista paikallisille ostajille, joissa voidaan huomioida biodiversiteetti, maisema, virkistys yms. hyötyjä.

Käytöstä poistuneen turvetuotantoalueen metsitys ja käyttö talousmetsänä: Toimenpiteen ilmastovaikutukset ovat hitaita ja taloudellisen lisäisyyden osoittaminen on haasteellista mm. Laturi ym. (2023). Hillintätoimen toteutusala jää vapaaehtoisten hiilimarkkinoiden kautta minimaaliseksi. Kuitenkin skenaariossa pienimuotoinen tuotanto on mahdollista paikallisille ostajille, joissa voidaan huomioida biodiversiteetti, maisema, virkistys yms. hyötyjä.

Maatalouskäytöstä poistetun ohutturpeisen turvepellon metsitys ja käyttö talousmetsänä: Turvemaapellon metsityksen onnistuminen on epävarmaa ja tulos vaihtelee kohteen mukaan, minkä lisäksi se on kallista (Lehtonen ym. 2021; Viitala ym. 2022). Ensimmäisen 20-vuoden ajan käytöstä poistetun turvepellon metsityksellä on päästöjä lisäävä vaikutus (Lehtonen ym. 2021 s.15 taulukko 4). Tällä hillintätoimella lisäisten ilmastovaikutusten tuottaminen on haasteellista ja siten niiden toteutus ala vapaaehtoisen hiilimarkkinan kautta minimaaliseksi. Kuitenkin pienimuotoinen tuotanto on mahdollista paikallisille ostajille, joille voidaan osoittaa myös muita saatavia hyötyjä kuten biodiversiteetti, virkistys, maisema yms.

Joutoalueen metsitys kivennäismaalla ja käyttö talousmetsänä: Toimenpiteen ilmastovaikutukset ovat hitaita ja taloudellisen lisäisyyden osoittaminen on haasteellista mm. Laturi ym. (2023). Hillintätoimen toteutusala jää vapaaehtoisten hiilimarkkinoiden kautta minimaaliseksi. Kuitenkin skenaariossa pienimuotoinen tuotanto on mahdollista paikallisille ostajille, joissa voidaan huomioida biodiversiteetti, maisema, virkistys yms. hyötyjä.

Biohiilen lisääminen maatalousmaahan: Toimenpiteen tuotantokustannukset (510 €/ t CO₂-ekv. Laturi ym. 2022) ovat merkittävästi yli skenaarion hintatason, vaikka hillintätoimen kustannuksia ja hävikkiä saataisiin pieneneään. Biohiilellä on kuitenkin mahdollisuuksia toimia pienimuotoisesti hiilimarkkinoilla tarjoamalla laadukkaista yksiköitä ostajille, joilla on korkeat laatuvaatimukset (niche-markkina) ja jotka pystyvät hyödyntämään laatua ja erottumista muista toimijoista.

Maanparannuskuidut: Hillintätoimen pysyvyyteen ja sen taloudelliseen lisäisyyteen liittyvät seikat rajoittavat yksiköiden kysyntää tällä hinnalla (Laturi ym. 2023).

Pitkäikäiset puutuotteet: Hillintätoimen taloudelliseen lisäisyyteen liittyvät seikat rajoittavat yksiköiden kysyntää tällä hinnalla (Laturi ym. 2023).

Huonotuottoisen turvepellon vettäminen: Huonotuottoisen turvepellon vettämiselle on mahdollista saada tukea EU:n yhteisen maatalouspolitiikan ohjelmakaudella 2023–2027. Tuki muodostuu vuotuisesta hoitokorvauksesta sekä ei-tuotannollisesta kosteikkoinvestointituesta, joilla katetaan kosteikon perustamiskustannuksia. Hoitokorvauksen suuruus on 500 €/ha/v. Ilmastohyötyjä vetämisestä saavutetaan noin 24 t CO₂-ekv. vuodessa, jolloin tuki hoitokorvaus on 20,8 €/ t CO₂-ekv. Hoitokorvauksen taso ylittää skenaarionmukaisen vapaaehtoisen hiilimarkkinoiden kautta maanomistajalle maksettavan korvauksen 7,5 €/ t CO₂-ekv. (Laturi ym. 2023) Skenaariossa oletetaan EU-tuen jatkuvan tälle hillintätöille.

Kosteikkoviljely: Toimenpide on maanviljelijöille riskialtis ja sen ilmastohyötyihin liittyy epävarmuuksia, jotka rajoittavat sen tarjontaa ja kysyntää (mm. Laturi ym. 2023).

Lypsylehmien metaanipäästöjen vähentäminen rehunlisäaineilla: Toimenpide on potentiaalinen toimi ilmastonmuutoksen hillintään maataloudessa, mutta sillä tuotettujen yksiköiden tarjonta vapaaehtoisille hiilimarkkinoille on epätodennäköistä. Elintarvikesektorin omat ilmastotavoitteet ohjaavat tulokset näiden tavoitteiden saavuttamiseksi. (Laturi ym. 2023)

Hakkuista pidättäytyminen talousmetsässä: Skenaarion mukainen korvaus maanomistajalle (7,5 €/ t CO₂-ekv) vastaa noin raakapuun hintaa 7,5 €/m³. Mikäli huomioidaan hakkuista pidättäytymisen aiheuttama hiilivuoto sekä perusuran mukainen puusto jää toimenpiteen ilmastollinen lisäisyys reilusti alle yhden olemassa olevaa puukuutiota kohden. Näin ollen maanomistajan saama korvaus jää alle 7,5 €/m³, joka on merkittävästi alempi kuin kuitu- ja tukkipuun markkinahinta n. 30–70 €/m³.

Säästöpuun määrän lisääminen päätehakuiden yhteydessä: Kuten hakkuista pidättäytymisen talousmetsissä yhteydessä hiilimarkkinoiden puusta maksukyky ei ole riittävä, jotta toimenpide olisi metsänomistajalle kannattava. Lisäksi kysyntää rajoittaa sertifiointien vaatimukset säästöpuista ja siten lisäisyyden osoittaminen on hankalaa.

2.3 Kysyntälähtöinen skenaario

Taustaoletus: Vapaaehtoisten hiilimarkkinoiden potentiaali ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi riippuu ensisijaisesti ilmastoyksiköiden käyttö- ja hyödyntämismahdollisuuksista, ja siitä että ilmastoyksiköt vastaavat ostajien vaatimuksia. Näin ollen vapaaehtoisten hiilimarkkinoilla on menestyneet toimijat, jotka ovat pystyneet vastaamaan ostajien vaatimuksiin ja markkinoilla olevat ilmastoyksiköt ovat laadukkaita, yhdenmukaisia ja vastaavat ilmastovaikutuksiltaan mahdollisimman hyvin fossiilisten polttoaineiden päästövähenemiä. Tämän seurauksena ilmastoyksiköiden ostaminen on helppoa ja niitä voidaan käyttää hyväksi mainonnassa täsmällisesti määritellyissä ilmastoväittämissä.

Lähtökohdat: Lainsäädännössä ja vapaaehtoisessa sääntelyssä keskitytään varmistamaan ilmastoyksiköiden laatu, ja vaatimukset voivat olla tiukkoja. Markkinoiden kehittymistä ohjaa laatu, ja kuluttajien sekä yritysten preferensseillä ja maksuhalukkuudella on suuri vaikutus tarjontaan ja kysyntään. Toimijat toimivat tavoitteidensa ja käsitystensä mukaisesti, mikä johtaa korkealaatuisten ilmastoyksiköiden kysyntään ja tarjontaan. Tuotantomäärällä ei ole tässä skenaariossa ensisijaista tavoitetta, vaan painotus on korkealaatuisissa yksiköissä. Tämän ajatellaan luovan kysyntää siinä määrin, että tämä ohjaa markkinatasapainon sekä laadullisesti että määrällisesti tasolle, jonka oletetaan maksimoivan vapaaehtoisten hiilimarkkinoiden hyödyntämisen ilmastomuutoksen hillintään.

Lainsäädäntö, minimikriteerit ja vapaaehtoisten hiilimarkkinoiden hyvät käytännöt:

Skenaariossa oletetaan, että lainsäädäntö ja vapaaehtoiset hiilimarkkinoilla käytettävät kriteerit asettavat tiukat vaatimukset ilmastoyksiköiden laadulle. Kuluttajia ja yrityksiä suojellaan heikkolaatuisilta yksiköiltä. Markkinoilla noudatetaan tiukkoja sertifiointivaatimuksia, ja laatu on keskeisessä asemassa.

Kaksoislaskenta ja ilmastoväittämät: Skenaariossa ilmastoyksiköiden laatu on korkea ja ilmastoyksiköt ovat keskenään vertailukelpoisia ja niissä hyödynnetään Suomen kasvihuonekaasuinventaarion maankäyttösektorin laskentamenetelmiä ja kertoimia. Epävarmuudet ovat suhteellisen vähäisiä, ja laadukkaat ilmastoyksiköt tukevat hyvin Suomen ilmastopoliitikkaa. Skenaariossa Suomi ei tee vapaaehtoisten hiilimarkkinoiden yksiköitä vastaavia mukautuksia ilmastotavoitteeseensa. Yritykset käyttävät ostamiaan kotimaisia ilmastoyksiköitä markkinoinnissaan ja viestinnässään, tukien näin ilmastoväitteitään.

Kaupankäynti ja standardien ja sertifiointien vaikutus: Markkinoille on muodostunut isoja ja vakiintuneita kauppapaikkoja ilmastoyksiköille. Kaupankäynti ja ilmastoyksiköiden hyödyntäminen keskittyy sertifioitujen yksiköiden käyttöön. Ostajien on helppo hankkia yksiköitä, koska markkinoille on muodostunut tuote, eli laadukas ilmastoyksikkö ja sille vakiintunut ja vertailtavissa oleva hintataso.

Tarjonta: Tuottajat pyrkivät tuottamaan korkealaatuisia ilmastoyksiköitä vastaamaan tiukkoja vaatimuksia. Laatu on keskeisessä asemassa, ja tarjonta keskittyy laadukkaisiin yksiköihin. Pienet toimijat voivat erikoistua korkealaatuisten yksiköiden tuotantoon.

Metsänomistajien osallistuminen: Metsänomistajat ovat periaatteessa motivoituneita osallistumaan hiilimarkkinoille, koska korkealaatuiset yksiköt tarjoavat heille mahdollisuuden saada hyvää korvausta hiilinieluistaan. Korkeat korvaukset houkuttelevat osallistumaan, ja sopimukseen ollaan valmiita sitoutumaan luottavaisesti, mutta laadulliset kriteerit vähentävät myytäviksi kelpaavien ilmastoyksiköiden tuotantomahdollisuuksia.

Kysyntä: Kuluttajat ja yritykset arvostavat korkealaatuisia ilmastoyksiköitä ja ovat valmiita maksamaan enemmän laadusta. Ilmastoyksiköiden hankinta on vaivatonta ja luotettavaa.

Markkinadynamiikka ja hintataso: Markkinahinta korkealaatuisille ilmastoyksiköille on korkea, koska niiden kysyntä on suurta. Tuottajat saavat hyvää korvausta laadukkaista yksiköistään, ja hintataso tukee laadun ylläpitämistä.

Ongelmat ja haasteet: Skenaariossa tarjonnan suurin haaste liittyy laadun ylläpitoon, joka vaatii resursseja ja sisältää riskejä. Ilmastoyksiköiden käyttöön liittyy tiukkoja vaatimuksia ja rajoitteita, jotka vastaavat täsmällisesti kuluttajien ja ostajien tavoitteita. Täsmällisyys ja korkeat laadulliset tavoitteet ilmastoyksiköiden käytölle johtavat tiukkoihin laadullisiin rajanvetoihin. Näin ollen pienikin laadullinen vaatimusten kiristyminen voi johtaa merkittäviin vaikutuksiin ilmastoyksikön markkinakelpoisuudessa. Vastaavasti, kun kuluttajalainsäädännössä tapahtuu pieniäkin tulkintamuutoksia, ne voivat johtaa jonkin olemassa olevan ilmastoväittämän tai hillintätuloksen käyttökieltoon. Tämän seurauksena ilmastoväittämien ja -yksiköiden käyttö ja niihin sitoutuminen muuttuvat yrityksille riskialttiiksi, mikä voi vähentää yritysten halukkuutta hyödyntää niitä.

Mahdollisuudet: Skenaarion mukaisessa maailmassa on tilaa laadukkaille toimijoille, ja laatuvaatimusten täyttäminen tarjoaa mahdollisuuden kasvuun. Ilmastoyksiköitä hankkivat yritykset voivat saavuttaa kunnianhimoiset ilmastotavoitteensa, kuten hiilineutraaliuden, käyttämällä tieteellisesti hyväksytyjä laskentamenetelmiä.

Yhteenveto: Tässä skenaariossa korostuu korkealaatuisten ilmastoyksiköiden merkitys, ja markkinoiden kehittyminen perustuu nimenomaan laatuun. Vaikka tiukat laatuvaatimukset asettavat haasteita, ne ovat avainasemassa kuluttajien ja yritysten luottamuksen kehittämisessä ja säilymisessä vapaaehtoisilla hiilimarkkinoilla. Markkinoiden uskottavuus edistää kaupankäynnin pitkäjänteisyyttä ja vakautta. Kuitenkin täsmällisyyden ja tarkkuuden vaatimukset tuovat mukanaan riskejä luontopohjaisten ilmastoyksiköiden käytölle, sillä näiden yksiköiden pysyvyyteen ja lisäisyyteen liittyy usein lähtökohtainen epävarmuus, kuten suomalaisten ilmastoyksiköiden osalta on arvioitu Laturin ym. (2023) raportissa.

Markkinahinta: Hiilimarkkinoilla heikkolaatuisten yksiköiden tarjonnan väheneminen johtaa hintatason nousuun, ja kun laatuun liittyvät ongelmat vähenevät, myös maksuhaluus kasvaa. Kuitenkin maankäyttösektorin toimenpiteisiin liittyvien epävarmuuksien vuoksi ilmastoyksiköiden hintataso pysyy merkittävästi alempana kuin EU:n päästöoikeuden. Lisäksi kotimaisten ilmastoyksiköiden tulokset lasketaan ja hyödynnetään edelleen Suomen kasvihuonekaasuintentaariossa ja ilmastotavoitteissa, joten skenaariossa oletetaan ilmastoyksikön markkinahinnaksi 50 €/ t CO₂-ekv.

Taulukko 2. Vapaaehtoisen hiilimarkkinan hillintätoimien toteutusalat, raaka-aineen tuotantovaikutukset ja ilmastovaikutus kysyntälähtöisessä skenaariossa, jossa hiilimarkkinoiden hintataso on 50 €/ t CO₂-ekv. ja maanomistajalle maksettava korvaus 25 €/ t CO₂-ekv.

Hillintätoimi	Toteutusala 2025– ha/v	Raaka-aineen tuotanto- vaikutus 2035	Ilmastovaikutus 2035 t CO ₂ ekv.	Selitys
Päätehakkuun viivästäminen	-	-	-	Kysyntää rajoittaa, laatu (taloudellinen lisäisyys, pysyvyys).
Taloustmetsän lannoitus turvemaidilla (tuhkalannoitus)	-	-	-	Kysyntää rajoittaa, laatu (taloudellinen lisäisyys, pysyvyys).
Taloustmetsän lannoitus kivennäismailla (typpilannoitus)	-	-	-	Kysyntää rajoittaa, laatu (taloudellinen lisäisyys, pysyvyys).
Huonotuottoisen metsäojitetun turvemaan vettäminen	Pienimuotoista tarjontaa paikalliselle ostajille	pienimuotoista, ei havaittavaa vaikutusta	pienimuotoista, ei havaittavaa vaikutusta	Kysyntää rajoittaa, laatu (ajallisuus). Paikallisesti muita hyötyjä
Käytöstä poistuneen turvetuotantoalueen metsitys ja käyttö taloustmetsänä	Pienimuotoista tarjontaa paikalliselle ostajille	pienimuotoista, ei havaittavaa vaikutusta	pienimuotoista, ei havaittavaa vaikutusta	Kysyntää rajoittaa, laatu (ajallisuus, taloudellinen lisäisyys, pysyvyys). Paikallisesti muita hyötyjä
Maatalouskäytöstä poistetun ohutturpeisen turvepellon metsitys ja käyttö taloustmetsänä	Pienimuotoista tarjontaa paikalliselle ostajille	pienimuotoista, ei havaittavaa vaikutusta	pienimuotoista, ei havaittavaa vaikutusta	Kysyntää rajoittaa, laatu (ajallisuus, taloudellinen lisäisyys, pysyvyys). Paikallisesti muita hyötyjä
Joutoalueen metsitys kivennäismailla ja käyttö taloustmetsänä	Pienimuotoista tarjontaa paikalliselle ostajille	pienimuotoista, ei havaittavaa vaikutusta	pienimuotoista, ei havaittavaa vaikutusta	Kysyntää rajoittaa, laatu (ajallisuus, taloudellinen lisäisyys, pysyvyys). Paikallisesti muita hyötyjä
Biohiilen lisääminen maatalousmaahan	Pienimuotoista tarjontaa rajatulle kohderyhmälle	pienimuotoista, ei havaittavaa vaikutusta	pienimuotoista, ei havaittavaa vaikutusta	Tarjontaa rajoittaa, tuotantokustannus yli markkinahinta. Niche-kysyntää
Maanparannuskuidut	-	-	-	Kysyntää rajoittaa, laatu (taloudellinen lisäisyys, pysyvyys)
Pitkäikäiset puutuotteet	-	-	-	Kysyntää rajoittaa, laatu (taloudellinen lisäisyys)
Huonotuottoisen turvepellon vettäminen	-	-	-	Kysyntää rajoittaa laatu (taloudellinen lisäisyys, EU-tuki vetämiselle). Tarjontaa rajoittaa korkea EU-tuki (perustamiselle ja hoidolle)
Kosteikkoviljely	-	-	-	Tarjontaa rajoittaa hillintätoimeen liittyvät epävarmuudet, ja investointi vaatimukset ja EU-tukien menetys. Kysyntää rajoittaa hillintätoimen ilmastolliset ja taloudelliset epävarmuudet
Lypsylehmien metaanipäästöjen vähentäminen rehunlisäaineilla	-	-	-	Tarjontaa rajoittaa elintarvikesektorin omat ilmastotavoitteet ja yksiköiden käyttö niiden hyväksi

Hakkuista pidättäytyminen talousmetsässä	-	-	-	Tarjontaa rajoitta, tuotantokustannus yli markkinahinta.
Säästöpuun määrän lisääminen päätehakuiden yhteydessä	-	-	-	Tarjontaa rajoitta, tuotantokustannus yli markkinahinta.

Päätehakkuun viivästäminen: Päätehakkuun viivästämisessä ei voida tuottaa tiukoilla laatukriteerien tulkinnalla riittävän pysyviä (100 vuotta) yksiköitä. Lisäksi osa metsänomistajista toteuttaa päätehakkuun viivästämistä jo nyt ilman hiilimarkkinoilta saatavaa korvausta esim. HILMARI-hankkeen metsänomistajakyselyssä 49 prosenttia vastaajista ilmoitti jo pidentäneensä kiertoaikaa ainakin osassa metsistään edellisen kymmenen vuoden aikana (Peltoniemi ym. 2023).

Talousmetsän lannoitus turvemilla (tuhkalannoitus): Tuhkalannoituksella ei voida tuottaa tiukoilla laatukriteerien tulkinnan mukaisia yksiköitä, koska tuettuna toimenpiteenä sekä puuston kasvua lisäävänä taloudellisuuden lisäisyyden todentaminen on vaikeaa. Lisäksi lannoituksen pysyvät vaikutukset metsän hiilivarastoon ei täyty laadukkaan yksikön (100-vuoden) pysyvyyttä.

Talousmetsän lannoitus kivennäismailla (typpilannoitus): Kasvatuslannoituksella ei voida tuottaa tiukoilla laatukriteerien tulkinnan mukaisia yksiköitä, koska taloudellisen lisäisyyden todentaminen on vaikeaa (ks. tarjontalähtöinen skenaario). Lisäksi lannoituksen pysyvät vaikutukset metsän hiilivarastoon ei täyty laadukkaan yksikön (100-vuoden) pysyvyyttä.

Huonotuottoisen metsäojitetun turvemaan vettäminen: Hillintätoimen kysyntää rajoittaa toimenpiteen ilmastollisiin vaikutuksiin liittyvät epävarmuudet sekä toimenpiteen taloudellisen lisäisyyden osoittaminen, koska metsätalouden jatkamisen kannattavuus on kyseenalaista huonotuottoisissa metsissä muutenkin (ks. Laturi ym. (2023)). Kuitenkin skenaariossa pienimuotoinen tuotanto on mahdollista paikallisille ostajille, joissa voidaan huomioida biodiversiteetti, maisema, virkistys yms. hyötyjä joista paikalliset ostajat saavat lisähyötyä.

Käytöstä poistuneen turvetuotantoalueen metsitys ja käyttö talousmetsänä: Toimenpiteen ilmastovaikutukset ovat hitaita ja taloudellisen lisäisyyden osoittaminen on haasteellista mm. Laturi ym. (2023). Hillintätoimen toteutusala jää vapaaehtoisten hiilimarkkinoiden kautta minimaaliseksi. Kuitenkin skenaariossa pienimuotoinen tuotanto on mahdollista paikallisille ostajille, joissa voidaan huomioida biodiversiteetti, maisema, virkistys yms. hyötyjä.

Maatalouskäytöstä poistetun ohutturpeisen turvepellon metsitys ja käyttö talousmetsänä: Turvemaapellon metsityksen onnistuminen on epävarmaa ja tulos vaihtelee

kohteen mukaan, minkä lisäksi se on kallista (Lehtonen ym. 2021; Viitala ym. 2022). Ensimmäisen 20-vuoden ajan käytöstä poistetun turvepellon metsityksellä on päästöjä lisäävä vaikutus (Lehtonen ym. 2021 s.15 taulukko 4). Tällä hillintätoimella lisäisten ilmastovaikutusten tuottaminen on haasteellista ja siten niiden toteutus ala vapaaehtoisen hiilimarkkinan kautta minimaaliseksi. Kuitenkin pienimuotoinen tuotanto on mahdollista paikallisille ostajille, joille voidaan osoittaa myös muita saatavia hyötyjä kuten biodiversiteetti, virkistys, maisema yms.

Joutoalueen metsitys kivennäismaalla ja käyttö talousmetsänä: Toimenpiteen ilmastovaikutukset ovat hitaita ja taloudellisen lisäisyyden osoittaminen on haasteellista mm. Laturi ym. (2023). Hillintätoimen toteutusala jää vapaaehtoisten hiilimarkkinoiden kautta minimaaliseksi. Kuitenkin skenaariossa pienimuotoinen tuotanto on mahdollista paikallisille ostajille, joissa voidaan huomioida biodiversiteetti, maisema, virkistys yms. hyötyjä.

Biohiilen lisääminen maatalousmaahan: Toimenpiteen tuotantokustannukset (510 €/tCO₂ ekv. Laturi ym. 2022) ovat merkittävästi yli skenaarion hintatason, vaikka hillintätoimen kustannuksia ja hävikkiä saataisiin pieneneään. Biohiilellä on kuitenkin mahdollisuuksia toimia pienimuotoisesti hiilimarkkinoilla tarjoamalla laadukkaista yksiköitä ostajille, joilla on korkeat laatuvaatimukset (niche-markkina) ja jotka pystyvät hyödyntämään laatua ja erottumista muista toimijoista.

Maanparannuskuidut: Hillintätoimen pysyvyyteen ja sen taloudelliseen lisäisyyteen liittyvät seikat rajoittavat yksiköiden kysyntää (Laturi ym. 2023).

Pitkäikäiset puutuotteet: Hillintätoimen taloudelliseen lisäisyyteen liittyvät seikat rajoittavat yksiköiden kysyntää (Laturi ym. 2023).

Huonotuottoisen turvepellon vettäminen: Huonotuottoisen turvepellon vettämiselle on mahdollista saada tukea EU:n yhteisen maatalouspolitiikan ohjelmakaudella 2023–2027. Tuki muodostuu vuotuisesta hoitokorvauksesta sekä ei-tuotannollisesta kosteikkoinvestointituesta, joilla katetaan kosteikon perustamiskustannuksia. Hoitokorvauksen suuruus on 500 €/ha/v. Ilmastohyötyjä vetämisestä saavutetaan noin 24 t CO₂-ekv. vuodessa, jolloin tuki hoitokorvaus on 20,8 €/ t CO₂-ekv. Hoitokorvauksen taso ylittää skenaarionmukaisen vapaaehtoisen hiilimarkkinoiden kautta maanomistajalle maksettavan korvauksen 7,5 €/ t CO₂-ekv. (Laturi ym. 2023)

Skenaariossa oletetaan EU-tuen jatkuvan tälle hillintätoimelle.

Kosteikkoviljely: Toimenpide on maanviljelijöille riskialtis ja sen ilmastohyötyihin liittyy epävarmuuksia, jotka rajoittavat sen tarjontaa ja kysyntää (mm. Laturi ym. 2023).

Lypsylehmien metaanipäästöjen vähentäminen rehunlisäaineilla: Toimenpide on potentiaalinen toimi ilmastomuutoksen hillintään maataloudessa, mutta sillä tuotettujen yksiköiden tarjonta vapaaehtoisille hiilimarkkinoille on epätodennäköistä. Elintarvikesektorin

omat ilmastotavoitteet ohjaavat tulokset näiden tavoitteiden saavuttamiseksi. (Laturi ym. 2023)

Hakkuista pidättäytyminen talousmetsässä: Skenaarion mukainen korvaus maanomistajalle (25 €/ t CO₂ ekv.) vastaa noin raakapuun hintaa 25 €/m³. Mikäli huomioidaan hakkuista pidättäytymisen aiheuttama hiilivuoto sekä perusuran mukainen puusto jää toimenpiteen ilmastollinen lisäisyys reilusti alle 1:n olemassa olevaa puukuutiota kohden. Hiilivuodon alentava vaikutus on kokoluokaltaan noin 40 prosenttia (Laine ym.2023) ja perusuran vähentävä vaikutus n. 50 prosenttia, joka vastaa metsämaan puuston keskitilavuuden (122 m³/ha) suhdetta puuntuotannon metsämaan uudiskypsien metsien keskitilavuuteen (237 m³/ha) (Luke: Metsävarat, 2023). Näin ollen maanomistajan saama korvaus jäisi 30 prosentin edellä olevasta, eli korvaus olisi 7,5 €/m³. Korvaus on merkittävästi alempi kuin kuitu- ja tukkipuun markkinahinta n. 30–70 €/ m³. Lisäksi hiilimarkkinatuloilla tulisi kattaa maanarvon muutoksen vaikutus metsänomistajalle, mikä vähentää edelleen hakkuista pidättäytymisen kilpailukykyä suhteessa puuntuotannon jatkamiseen.

Säästöpuun määrän lisääminen päätehakkuiden yhteydessä: Kuten hakkuista pidättäytymisen talousmetsissä yhteydessä hiilimarkkinoiden puusta maksukyky ei ole riittävä, jotta toimenpide olisi metsänomistajalle kannattava. Lisäksi kysyntää rajoittaa sertifiointien vaatimukset säästöpuista ja siten lisäisyyden osoittaminen on hankalaa.

2.4 Yhteenveto tarkasteltavista skenaarioista

Taulukko 3. Kooste tarkasteltavien skenaarioiden mukaisten maailmantilojen ominaisuuksista

Ominaisuus	Tarjontalähtöinen skenaario	Kysyntälähtöinen skenaario
Taustaoletus	Laaja tarjonta	Korkea laatu
Lähtökohdat	Niukka lainsäädäntö	Tiukka ja laaja lainsäädäntö ja sertifiointivaatimukset
Kaksoislaskenta ja ilmastoväittämät	Ilmastoyksiköt vertailukelvottomia KHK-inventaarion kanssa	Ilmastoyksiköt KHK-inventaarion menetelmien mukaisia
Vastaavat mukautukset	Ei	Ei
Kaupankäynti ja standardien vaikutus	Vaihtelevat yksiköt	Vakiintuneet yksiköt
Kotimainen tuotanto	Edullista	Kallista

Tarjonta	Laatuongelmat, paljon menetelmiä ja toteutustapoja	Laatu keskeistä, menetelmien niukkuus
Metsänomistajien osallistuminen	Epävarmaa, matalat korvaukset	Aktiivista, korkeat korvaukset
Kysyntä ja yksiköidenkäyttö	Kuluttajakriittisyys	Kuluttajat luottavat yksiköihin
Markkinadynamiikka	Ostamisessa vaivannäköä, myyjän vaikea erottua	Ostaminen ja myyminen helppoa
Hintataso	Matala, 15 €/ t CO ₂ -ekv	Korkea, 50 €/tCO ₂ -ekv.
Kotimainen tuotanto vuonna 2035	n. 1,5 milj. t CO ₂ -ekv /v	Pienimuotoista
Kotimaisen tuotantoon perustuvan hiilimarkkinana koko vuonna 2035	n. 23 milj. € /v.	Pienimuotoista
Ongelmat ja haasteet	Laatu, epävarmuus	Laatu, tarkkuus
Mahdollisuudet	Menetelmien ja käytön luova ja sopeutuva kehitys Epävarmuus, luottamuksen puute, halpa hinta, määrä korvaa laadun	Korkealaatuiset toimijat, selkeät tulokset ja vaatimukset
Yhteenveto		Uskottava ja vakaa tarjonta, väittämien käyttö riskialtista

3 Tarjontalähtöisen skenaarion vaikutukset

Tässä luvussa keskitytään ainoastaan tarjontalähtöisen skenaarion vaikutuksiin metsäalalla sekä maa- ja elintarviketaloudessa. Kysyntälähtöisen skenaarion osalta maa- ja metsäsektorin olemassa olevat ja potentiaaliset hillintätoimet eivät täytä ostajien vaatimuksia (ks. luku 2). Tämän seurauksena niiden tuotanto jää enintään pienimuotoiseksi, jolla ei ole vaikutusta Suomen elintarvike- ja raakapuumarkkinoihin. Siksi kysyntälähtöisen skenaarion arvoketjuvaikutuksia ym. ei ole syytä tarkastella.

Metsäalan osalta tarkastellaan tarjontaskenaarion vaikutuksia arvoketjuun, puumarkkinoihin sekä kansantalouteen. Tarjontalähtöisellä skenaarioilla ei ole vaikutusta maatalouteen, sillä olemassa olevat ja potentiaaliset hillintätoimet eivät sovellu vapaaehtoisille hiilimarkkinoille tai niitä hyödynnetään elintarvikesektorin omiin ilmastotavoitteisiin (ks. luku 2). Sen vuoksi Tarjontalähtöisessä skenaariossa ei tarkastella vaikutuksia maa- ja elintarviketalouteen. Kuitenkin maa- ja elintarviketalouden tuotantorakenne esitetään taustatietona alaluvussa 3.3, joka keskittyy maankäyttösektorin kansantaloudellisiin vaikutuksiin.

3.1 Arvoketju

Tarjontalähtöisen skenaarion vaikutuksia metsäalan arvoketjuun tarkasteltiin toteuttamalla kirjallisuuskatsaus. Kirjallisuuskatsaus aloitettiin laatimalla lista tarkastelun kannalta keskeisistä hakusanoista. Näiden hakusanojen erinäisillä yhdistelmillä haettiin artikkeleita Helsingin yliopiston kirjaston kokoelmahausta (Helka). Hakujen tuloksena saaduista artikkeleista otsikon perusteella sopivimmat valittiin toiseen vaiheeseen. Toisessa vaiheessa luettiin valittujen artikkeleiden tiivistelmät ja valittiin kolmanteen vaiheeseen aiheen ja Suomen olosuhteiden kannalta olennaisimmat artikkelit. Näihin artikkeleihin perehdyttiin tarkemmin kolmannessa vaiheessa. Tarkempaan kirjallisuustarkasteluun otettiin myös muita vastaan tulleilla artikkeleilla sekä raportteja ja selvityksiä, jotka eivät nousseet esiin kirjaston kokoelmiin tehdyissä hauissa. Seuraavissa alaluvuissa on kuvattu kirjallisuuskatsauksen havainnot sekä niihin nojautuen laaditut asiantuntija-arviot skenaarion 1 vaikutuksista metsäalan arvoketjuun, niin perinteiseen arvoketjuun kuin ekosysteemipalveluiden arvoketjuun.

3.1.1 Perinteinen arvoketju

Metsäalan perinteinen arvoketju alkaa metsästä ja päättyy lopputuotemarkkinoille. Arvoketjun vaiheita ovat mm. metsänhoito, puunkorjuu, metsätalouden palvelut, logistiikka sekä jalostus (Laturi ym. 2023). Perinteinen arvoketju jakautuu mekaaniseen metsäteollisuuteen, joka tuottaa puutuotteita ja kemialliseen metsäteollisuuteen, joka tuottaa sellua ja jatkojalostaa siitä erinäisiä tuotteita. Metsäteollisuuden tuotannossa syntyy merkittävä määrä

sivutuotteita, kuten haketta ja purua, jatkojalostettavaksi tai energiantuotannossa hyödynnettäväksi.

Puuntuotannon kannalta metsänhoidon rooli on olennainen puuston kasvun parantamiseksi, sillä kannattavan metsätalouden harjoittamisessa korostuu metsänhoitotoimenpiteiden oikea-aikainen toteutus (Karppinen ym. 2016). Puuntuotantoa lisäävien toimenpiteiden suurin vaikutus näkyisi käytännön tasolla arvoketjun alkupäässä kasvattaen metsänhoidollisten toimenpiteiden määrää ja puun saatavuuden lisääntyminen parantaisi toimintaedellytyksiä koko arvoketjussa. Vastaavasti puuntuotantoa vähentävät toimenpiteet vaikuttaisivat heikentävästi puun saatavuuteen vähentäen perinteisen arvoketjun toimintaedellytyksiä (Laturi ym. 2023).

Lannoitus

Metsälannoituksella, joka tehostaa puuston kasvua, voidaan puuntuotantoa lisätä soveltuvilla kohteilla. Lannoittaminen olisi myös metsänhoidollisena toimenpiteenä metsänomistajalle taloudellisesti kannattava riippuen lannoitteen hinnasta, korkokannasta ja kantohinnoista (Pukkala 2017). Lannoituksen vaikutus puun tarjontaan riippuu siitä, milloin lisäkasvu realisoituisi hakkuina. Lannoituksen avulla pystytään tuottamaan sama määrä puuta aikaisemmin tai suurempi määrä puuta tiettyyn ajankohtaan mennessä kuin ilman lannoittamista. Tehokkain kasvun lisäys saadaan, kun lannoitus toteutetaan nuorissa metsissä vahvan kasvuvaiheen aikana (Lehto ym. 2023).

Taloudellisesti optimaalisin ajankohta lannoitukselle on noin kymmenen vuotta ennen päätehakkuuta, kun otetaan huomioon lannoituksen sijoitetun pääoman tuotto (Lehto ym. 2023). Skenaariossa 1 lannoitus tuottaa kuutioina mitattuna enemmän puuraaka-ainetta mekaanisen metsäteollisuuden tarpeisiin, mutta myös kemiallinen metsäteollisuus voi hyötyä, sillä päätehakkuusta kertyy tukkipuun ohella merkittävästi kuitupuuta.

Lehdon ja Ilvesniemen (2023) mukaan lannoituksella saadaan lisättyä myös hiilensidontaa puuston nopeamman kasvun myötä, mitä kautta hiiltä olisi enemmän sitoutuneena puutuotteissa. Toisaalta tämä edellyttäisi puusta valmistettavan enemmän pitkäikäisiä tuotteita, jolloin hiili pysyisi varastoituneena tuotteen elinkaaren ajan (Lehtonen ym. 2021). Suomessa lyhytikäisten puutuotteiden merkitys on suuri merkittävän sellun tuotannon takia. Puuraaka-aineesta vain vajaasta viidenneksestä tuotetaan pitkäikäisiä puutuotteita (Kalliokoski ym. 2020).

Lannoituksella voidaan tehostaa puuntuotantoa verrattain lyhyellä aikavälillä, mistä hyötyisi koko arvoketju. Puuston kasvun lisäys kasvattaa puun tarjontaa, jos oletetaan lisäkasvun realisoituvan hakkuina. Tämä lisää puunmyyntituloja, korjuun ja logistiikan tarvetta sekä puun saatavuutta. Skenaariossa 1 lannoitus lisää jossain määrin myös metsätalouden palveluiden kysyntää olettaen, että lannoittamiseen tarvitaan kolmannen osapuolen palveluita (Laturi ym. 2023).

Kiertoajan pidentäminen

Kiertoajan pidentämisen vaikutukset puuntuotantoon ovat lannoitusta moninaisemmat ja riippuvat useista tekijöistä. Vaikutus on ensisijaisesti kiinni siitä, kuinka paljon kiertoaikaa pidennetään, missä vaiheessa kiertoaikaa pidennys toteutettaisiin sekä kasvupaikasta ja puuston rakenteesta (Juutinen ym. 2018; Lundmark ym. 2018; Pihlainen ym. 2014). Pidempi kiertoaika tuottaa järeämpää puuta, mikä näkyisi päätehakkuusta kertyvässä puun määrässä (Felton ym. 2017). Lyhyellä aikavälillä kiertoajan pidentäminen vähentää puun saatavuutta, mikä vaikuttaa koko arvoketjuun negatiivisesti, mutta pidemmällä aikavälillä tilanne voi tasaantua (Laturi ym. 2023). Jos puun saatavuus heikentyy pidennetyn kiertoajan seurauksena, negatiivinen vaikutus kohdistuu sekä mekaaniseen että kemialliseen metsäteollisuuteen. Toisaalta kiertoajan pidentäminen vähentää päätehakkuusta saatavan kuitupuun osuutta (Roberge ym. 2018). Siten mekaaniseen metsäteollisuuteen kiertoajan pidennys vaikuttaa ainakin pitkällä aikavälillä vähemmän.

Tarjontalähtöisessä skenaariossa kiertoaikaa pidennettäisiin Suomessa 8 000 ha vuodessa. Kun puuston tilavuus on Suomessa keskimäärin 237 m³/ha (Luke: Metsävarat, 2023) tarkoittaisi kiertoajan pidentäminen 8 000 ha sitä, että vuosittainen hakkuupotentiaali vähenisi alkuvaiheessa 1,9 milj. m³. Tukin osuus vuosittaisista pystykaupoista uudistuskohteilla oli keskimäärin 63 prosenttia ja kuidun 35 prosenttia vuosina 2018–2022 (Luke: Teollisuuspuun kauppa, 2023), jolloin tästä 1,9 miljoonan kuution hakkuupotentiaalın vähenemisestä tukin osuus olisi 1,2 milj. m³ vuodessa ja kuidun 0,7 milj. m³. Vuosina 2018–2022 tukin osuus pystykaupoista uudistuskohteilla oli keskimäärin 15,1 milj. m³ vuodessa ja kuidun 8,2 milj. m³ (Luke: Teollisuuspuun kauppa, 2023), joten päätehakkuun viivästämisen aiheuttama 1,2 miljoonan m³ vähennys tukin hakkuupotentiaalissa laskisi vuosittaisia tukin pystykauppoja 6,7 prosenttia ja kuidun hakkuupotentiaalın 0,7 milj. m³ vähennys kuidun pystykauppoja 3,9 prosenttia.

Luvut ovat suuria, mutta on syytä pitää mielessä, että tarjontalähtöinen skenaario edustaa yhtä kehityksen ääripäätä. Lisäksi puukaupparamäärät vaihtelevat vuosittain huomattavasti puumarkkinoiden suhdanteista riippuen. Viimeisen viiden vuoden aikana tukkipuun vuosittainen kokonaiskaupparamäärä on pystykaupoissa ollut 13,2–22,1 milj. m³ ja kuitupuun 15,7–21,0 milj. m³. Puukaupparamäärien vuotuisen vaihteluun suhteutettuna kiertoajan pidentämisen vaikutus on maltillinen. Keskimäärin puuta on edellisen viiden vuoden aikana myyty pystykapoissa 37,1 milj. m³ vuodessa, jolloin kokonaiskertymä laskisi tarjontalähtöisessä skenaariossa keskimäärin 1,9 milj. m³. Kaupparamäärien vuosittaisesta vaihtelusta huolimatta pystykauppojen väheneminen skenaarion toteutuessa sellaisenaan vaikuttaisi negatiivisesti metsäsektorin puunhankintaan. Päätehakkuun viivästämisen heikentäisi erityisesti mekaanisen metsäteollisuuden toimintaedellytyksiä, sillä tukkipuun pystykauppakertymästä yli 80 prosenttia saadaan uudistuskohteilta. Todennäköisesti päätehakkuun viivästämistä toteutettaisiin kuitenkin huomattavasti 8 000 ha pienemmällä pinta-alalla, jolloin vaikutukset pystykaupparamääriin olisivat myös merkittävästi pienemmät.

Kokonaisvaikutus

Ensimmäinen skenaario vahvistaa puuntuotannon perinteistä arvoketjua pitkällä aikavälillä. Kuitenkin vuoteen 2035 mennessä vaikutukset ovat rajallisia. Lannoitus lisää puuston kasvua ja siten hakkuumahdollisuuksia, joka parantaa puun saatavuutta. Lähivuosina tehtävä lannoitus metsissä, joiden päätehakkuikä on vuonna 2035, tuottaa siihen mennessä järeämpää tukkipuuta ja lisää päätehakkuusta saatavan puun määrää. Nuoren kasvuvaiheessa olevan metsän lannoittaminen tehostaa kasvua voimakkaammin, mutta vaikutus puun tarjontaan riippuu siitä, näkyykö kasvanut puuston määrä lisääntyneinä hakkuina. Toisaalta lyhyellä aikavälillä kiertoaikojen pidentäminen vaikuttaa alentavasti puun saatavuuteen, millä on negatiivisia vaikutuksia koko arvoketjuun. Vaikutuksen voimakkuus on riippuvaista siitä, minkä verran kiertoaikaa pidennetään.

3.1.2 Ekosysteemipalveluiden arvoketju

Luonto- ja matkailuyrittäjyys

Luonnon virkistyskäyttö ja matkailu rakentuvat monimuotoisen ja maisemaltaan vetovoimaisen metsä- ja vesiluonnon ympärille (Aapala ym. 2017). Luontopalveluita tarjoavat yritykset pitävät toimintansa kannalta tärkeimpänä kaunista ympäristöä ja biodiversiteettiä (Mäntymaa ym. 2021) sekä muina mahdollistavina tekijöinä järviä ja jokia (Margaryan 2016). Matkailun kannalta tärkeimpiä metsäkohteita ovat ulkoilureittien varret sekä maisemapaikoilta avautuvat näkymät (Konu ja Tyrväinen 2020). Luontomatkailu keskittyy matkailukeskusten läheisyyden suojele-, virkistys- ja metsätalousalueille (Neuvonen ym. 2022).

Luontopalveluiden perässä matkustavat kaipaavat kauniita ja luonnollisennäköisiä ympäristöjä ja luontokokemuksia (Tyrväinen ym. 2001; Uusitalo 2017), joten luonto- ja matkailuyrittäjyyden näkökulmasta intensiivistä metsätaloutta tulisi välttää reittien ja polkujen välittömässä läheisyydessä (Tyrväinen ym. 2017). Matkailun kannalta tärkeät alueet voidaan jaotella ydinalueisiin ja laajempaan alueeseen. Jos ympäristön laatu kohenee ydinalueella, kasvaa luontoyritysten liiketoiminta. Jos laatu paranee laajemmalla alueella asiakkaiden määrä ja liiketoiminnan volyyymi kasvavat. (Mäntymaa ym. 2021).

Talousmetsissä paremmat edellytykset luonto- ja matkailuyrittäjyydelle tarjoavat varttuneet ja järeät metsät, sillä ihmiset ovat mieltyneempiä tällaisiin metsiin, joissa on hyvä näkyväisyys (Gundersen ja Frivold 2008; Silvennoinen 2017; Tyrväinen ym. 2017). Päätehakkuun viivästäminen pitää metsän järeänä 10–20 vuotta tavallista pidempään. Simkinin ym. (2021) mukaan asutuksen tai matkailun kannalta tärkeiden alueiden lähellä metsien kiertoaikaa pitäisi pidentää, sillä monesti metsät uudistetaan 60–80-vuotiaina ennen kuin ne tarjoavat tehokkaimmin hyvinvointihyötyjä.

Päätehakkuun viivästyksen voidaan siis katsoa ylläpitävän 10–20 vuoden ajan päätehakkuukypsien metsien kykyä tarjota virkistys- ja maisemahyötyjä. Erityisesti jos sitä toteutetaan kaupunkien, taajamien ja matkailukeskusten läheisyydessä sijaitsevien järvien, jokien, ulkoilureittien ja maisemapaikkojen vieressä. Taustalla se, että valtaosa 15-74-vuotiaiden suomalaisten lähivirkistyskerroista kohdistuu enintään kymmenen kilometrin päähän kotiaan sijaitseville alueille (Neuvonen ym. 2022). Talusmetsien lannoitus kivennäismailla auttaa metsää järeytymään entisestään kymmenen vuoden aikajänteellä, jonka päätteeksi suoritetaan päätehakkuu. Lannoitettavat kohteet ovat jo lähtökohtaisesti sellaisia, joilla puusto on varttuneempaa. Näin ollen lannoituksen ei voi katsoa olennaisesti lisäävän metsän houkuttelevuutta virkistykseen kannalta, eikä täten paranna luonto- ja matkailuyrittäjyyden harjoittamisen edellytyksiä.

Luontomatkaa tarjoavia yrityksiä leimaa pieni koko, liiketoiminnan kausiluontoisuus, sijainti maaseudulla, riippuvaisuus maanomistajista, suhdanneherkkyys ja lyhyt elinkaari. (Brouder ja Eriksson 2013; Fredman ja Tyrväinen 2010). Kaunis ympäristö lisää matkailuyrittäjien liikevaihtoa, muttei takaa kannattavuutta (Lerner ja Haber 2001). Kannattavuuden pääseminen on riippuvaista eritoten yrittäjän liiketoiminnallisesta osaamisesta (Lerner ja Haber 2001). Ruotsissa luotoyrittäjyyden keskeisinä esteinä yritykset näkevät pääoman ja tiedon puutteen, ulkoiset rajoitteet ja sijainnin (Lundberg ja Fredman 2012). Kuitenkaan pelkkä luonnonympäristö ei riitä, vaan luotoyrittäjyys edellyttää infrastruktuuria, kuten fasilitteetteja ja opasteita (Margaryan 2016).

Vuoteen 2035 ulottuvalla tarkastelujaksolla ensimmäinen skenaario voi parantaa matkailu- ja luotoyrittäjyyden edellytyksiä, mikäli kiertoaikaa pidennetään ekosysteemipalveluihin perustuvaa liiketoimintaa harjoittavien yritysten kannalta tärkeissä paikoissa tai niiden läheisyydessä. Tällaiset paikat sijaitsevat usein kaupunkien, taajamien ja matkailukeskusten läheisyydessä sijaitsevien järvien, jokien, ulkoilureittien ja maisemapaikkojen vieressä. Talusmetsien lannoituksen ei katsottu lisäävän olennaisesti metsän houkuttelevuutta virkistykseen kannalta.

Luonnontuoteala

Marja- ja sienisato on tunnetusti sääältäis (Issakainen ja Moilanen 1998; Väre ym. 1996), jonka rinnalla luonnontuotealalla katsotaan hiilimarkkinatoimenpiteiden kuten kiertoajan pidentämisen ja kivennäismaan lannoituksen kalpenevan (Laturi ym. 2023).

Mustikan ja puolukan esiintymiseen ja satoiin vaikuttavat kasvupaikka ja metsien käsittely (Miina ym. 2020). Päätehakkuun seurauksena valon sekä ruohojen ja heinien määrä lisääntyy uudistuslalla ja maanmuokkaus rikkoo kasvien maavarsia. Maanmuokkauksen seurauksena rikkoutuvat maavarret hidastavat mustikan ja puolukan kasvua, vaikkakin mustikka kärsii siitä puolukkaa vähemmän (Tolvanen 1994). Puuston tihentyminen ja latvustojen sulkeutuminen heikentävät marjasatoja (Kuusipalo 1988). Mustikka palautuu kunolla avohakkuun aiheuttamista muutoksista vasta harvennusten aikoihin, mutta puolukka

voi saavuttaa päätehakkuuta edeltävän peittävyuden metsän kasvettua noin 30-vuotiaaksi (Tonteri ym. 2016). Valokasvi puolukan kannalta yhdeksi tuottoisimmaksi kasvuympäristöksi katsotaan päätehakkuuta odottava väljä ja valoisa mäntykangas ja varjokasvi mustikan kannalta tuore tai kuivan kankaan päätehakkuuta lähestyvä kuusikko tai männikkö (Isakainen ja Moilanen 1998). Mäntyvaltaisissa metsissä mustikkasadon on havaittu olevan korkeampi kuin kuusivaltaisissa metsissä (Miina ym. 2009).

Typpilannoitus tuuheuttaa mustikanvarpuja, muttei lisää marjasatoa tilastollisesti merkittävästi (Lehto ym. 2023, viit. Martikainen 1994; Raatikainen ja Niemelä 1994). Granathin ja Strengbomin (2017) mukaan typpilannoitus vähensi sekä mustikan että puolukan satoa. Puolukan osalta tämä johtui kilpailevan kasvillisuuden lisääntymisestä ja mustikalla välittömistä muutoksista itse marjantuotannossa. Joissakin tapauksissa on viitteitä, että ureatyyppi lisää lyhytaikaisesti puolukan määrää ja vaikuttavan myönteisesti mustikkaan (Isakainen ja Moilanen 1998). Kaiken kaikkiaan typpilannoitteilla ei katsota olevan positiivista vaikutusta marjasatoon (Lehto ym. 2023).

Suomen tärkeimpiä kauppasieniä ovat herkkutatti ja rouskut (Ruokavirasto 2022; Tahvanainen ym. 2018). Avohakkuun seurauksena näiden mykorritsasienten sadot romahtavat useiden vuosien ajaksi (Ohenoja 1988a). Sienisadot voivat saavuttaa avohakkuuta edeltävät sienisadot jo nuorissa kasvatusmetsissä (Miina ym. 2020, viit. Hintikka 1988). Itä-Suomen kuusikoissa sienisatojen on havaittu olevan parhaimmillaan puuston ollessa noin 30 vuoden iässä (Miina ym. 2013; Tahvanainen ym. 2016 ja 2018). Sienten ja puun tuotannon voidaan katsoa sopivan hyvin yhteen lukuun ottamatta metsän uudistamisvaihetta (Miina ym. 2020). Jos herkkutattien ja rouskujen satoa haluttaisiin optimoida, tulisi kiertoajan olla tavallista lyhyempi (Tahvanainen ym. 2018).

Lannoituksen vaikutusta kauppasienien satoihin on tutkittu varsin vähän (Lehto ja Ilvesniemi 2023). Kivennäismaan lannoituksen vaikutus sienisatoon riippuu metsän maaperän ravinnetilanteesta, iästä, kasvupaikasta ja itse lannoitteesta (Ohenoja 1988a) sekä sienilajeista (Ohenoja 1988b). Puiden elinvoiman ja kasvun lisäyksen kautta lannoitus vaikuttaa myönteisesti mykorritsasiiniin, mutta suora typenlisäys maaperään vaikuttaa niihin kielteisesti (Lehto ym. 2023). Osa sienilajeista hyötyy lannoituksesta, mutta monet mykorritsasienet vähentävät maanpäällisten osiensa tuotantoa lannoituksen jälkeen (Ohenoja 1988a).

Luonnontuotealan osalta vuoteen 2035 ulottuvalla tarkastelujaksolla kiertoajan pidentäminen ylläpitää mustikan ja puolukan sekä tärkeimpien kauppasienten satoa. Lannoituksella ei voida katsoa olevan marjasatoon tarkastelujaksolla kuin pieni positiivinen vaikutus jos sitäkään. Lannoituksen vaikutus tärkeimpien kauppasienten satoihin on epäselvä, mutta se voi mahdollisesti vähentää satoa joksikin aikaa. Ensimmäinen skenaario parantaa luonnontuotteiden satopotentiaalia maltillisesti. Tästä huolimatta skenaarion parannus luonnontuotealan toimintaedellytyksiin jäänee olemattomaksi, sillä vain pieni osa marja- ja sienisadosta korjataan talteen.

3.2 Puumarkkinat

Puumarkkinoiden mallinnuksessa tavoitteena oli tarkastella, miten hakkuumäärien muutokset vaikuttavat puun hintaan. Näin voidaan arvioida, mikä vaikutus tarjonnan muuttumisella olisi mahdollisesti hintakehitykseen. Tarkastelua tehtiin hakkuiden ja hintatietojen menneisiin havaintoihin perustuen, ja näillä tiedoilla pyritään ennustamaan todennäköisiä tulevia lyhyen aikavälin muutoksia. Kuitenkin puun hinta määräytyy markkinoilla, jolloin siihen vaikuttavat hakkuiden lisäksi muutkin tekijät. Mallinnuksen tuloksia tarkastellessa onkin syytä muistaa, ettei voida olettaa hakkuumäärän vaikuttavan suoraan puun hintakehitykseen, vaan tuloksilla pyritään selittämään menneiden havaintojen perusteella tulevaa kehitystä.

Metsäsektorin lyhyen aikavälin ennustemalleja on aiemmin tehty Hetemäen ym. (2004) tutkimuksessa, jossa tarkasteltiin puutavaran tuontikysynnän lyhytaikaisia muutoksia Saksassa ja sen vaikutusta Suomen metsäsektoriin. Hetemäki ym. (2004) mallinsivat Saksan tuontikysyntää, Suomen puunvientiä ja sahatavaran kysyntää. Selittävinä muuttujina malleissa käytettiin esimerkiksi Saksan puutavaran tuontimääriä, Suomen puutavaran vientiä Saksaan, puun hintaa Suomessa sekä Ruotsissa ja Saksan bruttokansantuotetta. Hetemäen ym. (2004) tutkimuksessa hyödynnettiin lyhyen aikavälin ennustamiseen sekä yksinkertaisia autoregressiivisiä malleja että järjestelmämalleja (vektori-autoregressiivinen malli (vector autoregression (VAR) model) ja virheen korjaus malli (vector error correction (VEC) model). VAR-malli soveltuu lyhyen aikavälin ennustamiseen ja järjestelmämallit osoittautuivat Hetemäen ym. (2004) mukaan toimivimmiksi kuin yksinkertaiset autoregressiiviset mallit.

Tässä tutkimuksessa hakkuumäärien muutoksen suhdetta eri puutavaralajien hinnan muutoksiin mallinnetaan vektori-autoregressiivisellä mallilla (VAR). Mallilla pyritään ennustamaan kuinka hakkuumäärän muutos ennustaa seuraavan vuoden hinnan muutoksia. Aineisto kerättiin Luonnonvarakeskuksen tilastotietokannasta, josta poimittiin vuosilta 1995–2022 vuotuinen kantohinta puutavaralajeittain (Luke: Teollisuuspuun kauppa, 2023), teollisuuspuun kokonaishakkuukertymä (SVT, Puun markkinahakkuut, 2023) sekä raakapuun tuonnin kokonaismäärä (SVT, Metsäteollisuuden ulkomaankauppa 2023). Puun ulkomaankauppaa kuvattiin ainoastaan tuonnin määrällä johtuen vientitilaston heteroskedastisuudesta, minkä takia se ei soveltunut mallinnukseen.

Tarkastelu tehdään erikseen mänty-, kuusi- ja koivutukille (taulukko 4) sekä mänty-, kuusi- ja koivukuitupuulle (taulukko 5). Puutavaralajien hinnalle, hakkuumäärälle ja maahan tuodun puun määrälle tehtiin ensin logaritminen transformointi, jonka jälkeen ne differoitiin. Differoidut muuttujat ovat stationäärisiä eikä myöskään kointegraatiota havaita. Lisäksi selittävänä muuttujana on Suomen bruttokansantuotteen vuosimuutos, jolla kontrolloidaan talouden suhdannemuutoksia. Aineistossa ei havaita tilastollisesti merkitsevää autokorrelaatiota eikä ehdollista heteroskedastisuutta. Informaatiokriteerit testit puolsivat kahdella

vuodella viivästetyn muuttujan käyttämistä lukuun ottamatta koivukuidun hinnan mallintamista, jonka mallintamisessa käytetään kolmella vuodella viivästettyä muuttujaa. Informaatiokriteeri-testien tulokset ovat pyydettyä saatavissa raportin tekijöiltä. Muut testitaulukot ja niiden tarkastelut ovat liitteessä 1.

Taulukossa 4 on esitetty mallinnuksen tulokset tukkipuulle puulajeittain. Hakkuiden lisäämisen havaittiin ennustavan lyhyellä aikavälillä tilastollisesti merkitsevästi ainoastaan havutukin hintoja. Tulosten mukaan hakkuiden kasvu prosentilla tänä vuonna ennustaa mäntytukin hintaan noin prosentin laskua seuraavana vuonna. Tulos oli samansuuntainen kuusitukin osalta. Koivutukin hintojen muutoksen osalta tulokset eivät ole tilastollisesti merkitseviä, mihin vaikuttaa todennäköisesti havutukkia maltillisempi nimellinen hinnanvaihtelu tarkastelujakson aikana.

Taulukko 4. Tukkipuun hinnan estimointi VAR-mallilla.

	Hinnanmuutos, Δy_t		
	Mäntytukki	Kuusitukki	Koivutukki
Δy_{t-1}	0.510 * (0.284)	0.017 (0.316)	-0.152 (0.347)
Δy_{t-2}	-1.160 *** (0.257)	-1.069 *** (0.296)	-0.263 (0.285)
$\Delta \text{hakkuut}_{t-1}$	-1.002 *** (0.310)	-0.857 ** (0.327)	0.166 (0.270)
$\Delta \text{hakkuut}_{t-2}$	0.374 (0.272)	0.162 (0.287)	-0.222 (0.239)
bkt_{t-1}	0.007 (0.007)	0.021 ** (0.008)	0.008 (0.007)
$\Delta \text{puun tuonti}_{t-1}$	-0.001 (0.082)	-0.02 (0.090)	-0.181 * (0.100)
vakio	0.019 (0.017)	0.021 (0.018)	-0.01 (0.018)

Keskivirheet sulkeissa. Δ kuvaa suhteellista muutosta edeltävästä vuodesta. Muuttuja y_{t-i} kuvaa selitettävän muuttujan viivästettyjä arvoja. Selitettävät muuttujat ovat hintoja eri puutavaralajeille. *** = p-arvo < 0.01, ** = p-arvo < 0.05, * = p-arvo < 0.1.

Kuviossa 1 esitetään tukkipuun hinnanmuutokset ja VAR-mallilla tuotettu ennuste, joka on niin sanottu one-step-ahead -ennuste. Siinä ennustus tehdään vuosittain vain yksi vuosi eteenpäin. Kuvioista nähdään, että malli ennustaa melko hyvin todellista hinnanmuutosta

erityisesti vuodesta 2010 eteenpäin. Koivutukin osalta malli aliarvioi vuonna 2009 tapahtunutta voimakasta hinnan laskua, mutta sekä mänty- että kuusitukin osalta myös finanssi-kriisin aikaiset suuret heilahtelut hinnassa pystytään mallintamaan melko hyvin.

Kuvio 1. Tukkipuun hinnanmuutos ja ennuste.



Kuitupuun mallinnuksen tulokset esitetään taulukossa 5. Kuitupuutavaroalajeille tilastollisesti merkitseviä tuloksia ilmeni ainoastaan koivukuitupuun osalta, jossa käytettiin kolmella vuodella viivästettyä muuttujaa johtuen informaatiokriteeri-testin tuloksista. Kuitupuun ni-

mellinen hintakehitys on ollut verrattain tasaista koko tarkastelujakson ajan, mikä on todennäköinen syy siihen, että hakkuumäärien vaihtelu ei heijastu malleissa kuitupuun hintoihin yhtä voimakkaasti kuin tukkipuun kohdalla.

Taulukko 5. Kuitupuun hinnan estimointi VAR-mallilla.

	Hinnanmuutos, Δy_t		
	Mäntykuitu	Kuusikuitu	Koivukuitu
Δy_{t-1}	0.370 (0.268)	0.471 (0.376)	0.458 (0.306)
Δy_{t-2}	-0.462 (0.285)	-0.238 (0.284)	-0.176 (0.343)
Δy_{t-3}			-0.817 ** (0.310)
$\Delta \text{hakkuut}_{t-1}$	-0.274 (0.263)	-0.282 (0.260)	-0.18 (0.251)
$\Delta \text{hakkuut}_{t-2}$	-0.223 (0.216)	-0.294 (0.184)	-0.474 * (0.268)
$\Delta \text{hakkuut}_{t-3}$			0.361 * (0.202)
bkt_{t-1}	0.004 (0.006)	0.005 (0.007)	-0.003 (0.007)
$\Delta \text{puun tuonti}_{t-1}$	-0.194 ** (0.086)	-0.082 (0.083)	-0.229 ** (0.079)
vakio	0.009 (0.017)	-0.002 (0.017)	0.02 (0.016)

Keskivirheet sulkeissa. Δ kuvaa suhteellista muutosta edeltävästä vuodesta. Muuttuja y_{t-i} kuvaa selitettävän muuttujan viivästettyjä arvoja. Selitettävät muuttujat ovat hintoja eri puutavaralajeille. *** = p-arvo < 0.01, ** = p-arvo < 0.05, * = p-arvo < 0.1.

VAR-mallin ennuste ja kuitupuun hinnanmuutokset esitetään kuviossa 2. Tukkipuun tapaan (kuvio 1) ennuste on laadittu vuositasona aina seuraavalle vuodelle. Malleissa ennusteet seuraavat kuitupuun todellista hintakehitystä aliarvioiden kuitenkin hintavaihtelua vuosien välillä. Verrattuna tukkipuuhun kuitupuun hinnat ovat pysyneet verrattain tasaisena, eivätkä hinnat ole tarkastelujakson aikana vaihdelleet yhtä voimakkaasti. Kuten edellä mainittiin, kuitupuun ennustemalli toimii heikommin kuin tukkipuun ennustemalli, mikä näkyy myös tässä kuviossa.

Kuvio 2. Kuitupuun hinnanmuutos ja ennuste.



Tulosten perusteella mallinnuksella pystyttiin paremmin ennustamaan hakkuiden vaikutus tukkipuun hintakehitykseen. Kuitupuun hintakehitystä hakkuumäärien muutokset eivät ennustaneet tilastollisesti merkitsevästi lukuun ottamatta koivukuitupuuta, jossa käytettiin kolmella vuodella viivästettyjä muuttujia. Kuitenkin tulosten tarkastelussa on syytä huomioida, että kyse on menneisiin havaintoihin pohjautuvista tiedoista. Ei voida olettaa muutosten hakkuumäärissä vaikuttavan puun hintaan, vaan historialliset tiedot ennustavat tulevaa kehitystä.

3.3 Kansantalousvaikutukset

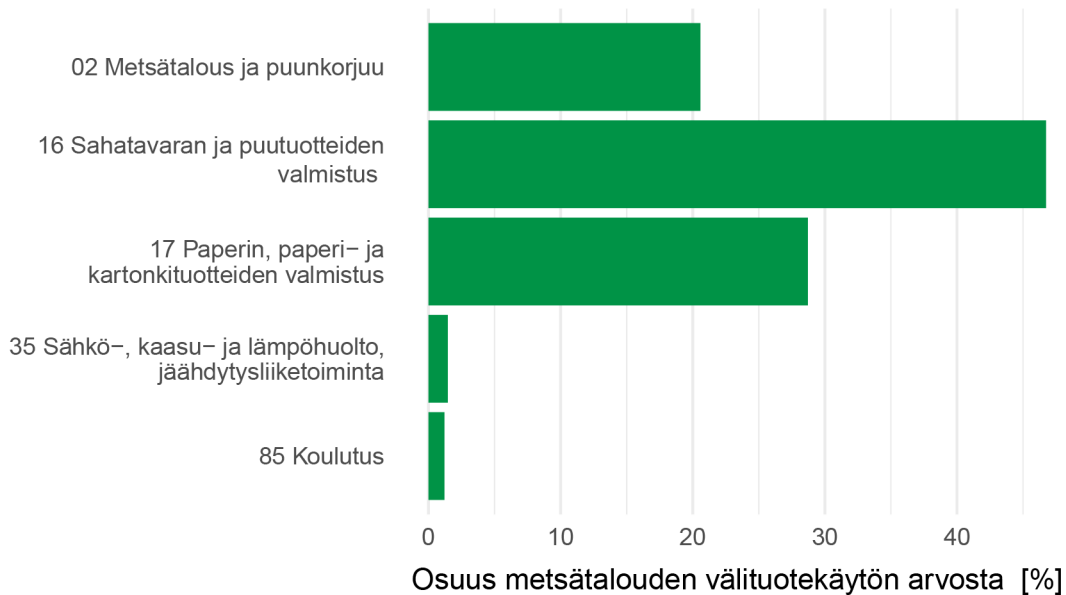
Panos-tuotosmenetelmällä voidaan arvioida talouden eri osa-alueisiin kohdistuvien muutosten vaikutuksia koko kansantalouteen (Miller ja Blair 2021). Menetelmä perustuu siihen, että tuotanto tapahtuu eri toimialoilla, joilla on keskinäistä vaihdantaa ja riippuvuuksia toisiinsa. Kun tuotannossa tapahtuu muutoksia, panos-tuotosmenetelmä mahdollistaa näiden

muutosten vaikutusten arvioinnin. Menetelmän avulla voidaan tutkia yhden toimialan välittömiä ja välillisiä vaikutuksia koko kansantalouteen ja muihin toimialoihin. Tämä tehdään analysoimalla panostietoja, kuten tuotannon määriä, työvoimakustannuksia ja muiden tuotantontekijöiden käyttöä. Välittömät vaikutukset heijastavat toimialan omaa tuotantoa ja sen käyttämiä tuotantopanoksia, kuten raaka-aineita, työvoimaa ja pääomaa. Näitä tietoja kerätään osana yritysten talous- ja toimialatilastointia. Raportissa hyödynnetty panos-tuotosmenetelmä on kuvattu tarkemmin liitteessä 2.

Tässä raportissa hyödynnetään Tilastokeskuksen julkaisemia panos-tuotostilastoja vuodelle 2019, jotka kuvaavat eri toimialojen tuotantopanosten käyttöä, toimialojen välisiä välituotevirtoja sekä lopputuotteiden kysyntää (SVT, Kansantalouden tarjonta-, käyttö- sekä panos-tuotostaulukot, 2023). Panos-tuotostaulukoissa tuotantopanostuskäyttö ja välituotevirrat ovat esitetty euromääräisinä, jotta eri toimialoja ja niiden välituotekäyttöä voidaan vertailla keskenään. Tarkastelussa käytetään Tilastokeskuksen Toimialaluokitus 2008-luokittelua keskittyen kolmeen metsätalouden ja -teollisuuden kannalta keskeiseen toimialaan:

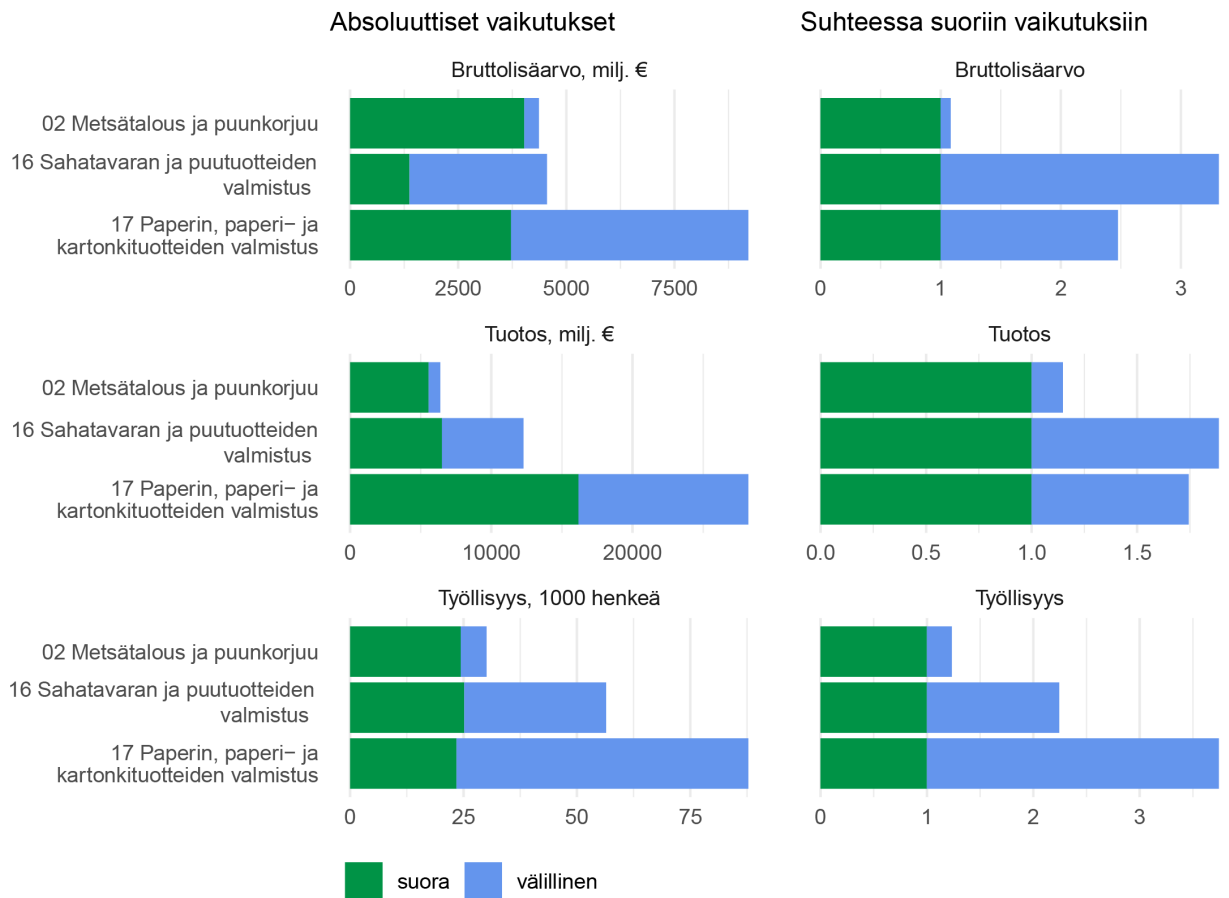
- 02 Metsätalous ja puunkorjuu
- 16 Sahatavaran sekä puutuotteiden valmistus
- 17 Paperin, paperi- ja kartonkituotteiden valmistus

Nämä toimialat käyttävät lähes kaikki metsätalous ja puunkorjuu -toimialan tuottamat välituotteet (kuva 2). Luonnollisesti tällöin metsätaloudesta saatavaan raaka-aineeseen vaikuttavat muutokset näkyvät erityisesti näillä toimialoilla. Maatalouden osalta skenaarion toimenpiteillä ei ole vaikutusta. Maa- ja elintarviketalouden (TOL 01 ja TOL 10-12) osalta toimialojen välituotekysyntä on keskittynyt toimialojen sisälle (Liite 2).



Kuva 2 Viisi suurinta Metsätalous ja puunkorjuu -toimialan tuottamia välituotteita käyttävää toimialaa ja niiden osuus välituotekäytöstä.

Toimialojen välillä on merkittäviä eroja arvonmuodostuksen osalta. Metsätalous ja puunkorjuu -toimialalla 85 prosenttia arvonlisästä muodostuu toimialan sisällä, jolloin muiden alojen merkitys toimialan vaikutuksista on melko pieni (Liite 2, kuva 2). Metsäteollisuuden toimialoilla (TOL 16 ja 17) muiden toimialojen osuus on noin 25 prosenttia, mikä on samaa kokoluokkaa toimialojen sisällä syntyvän arvonlisän kanssa. Samoin myös työllisyysvaikutukset syntyvät metsätaloudessa ja puunkorjuussa (TOL 02) pääosin välittömistä vaikutuksista kun taas metsäteollisuuden toimialoilla merkittävä osa työllisyysvaikutuksista syntyy välillisesti muilla toimialoilla (kuva 3).



Kuva 3 Suorat ja välilliset arvoketjuvaikutukset kolmella keskeisimmällä toimialalla. Vasemmalla puolella olevat kuvat kertovat absoluuttiset vaikutukset bruttolisäarvon muodostukseen, tuotokseen ja työllisyyteen. Oikean puoleinen sarake kuvaa välillisten vaikutusten suhdetta suoriin vaikutuksiin. Lähde: (SVT, Kansantalouden tarjonta-, käyttö- sekä panos-tuotostaulukot ei pvm.)

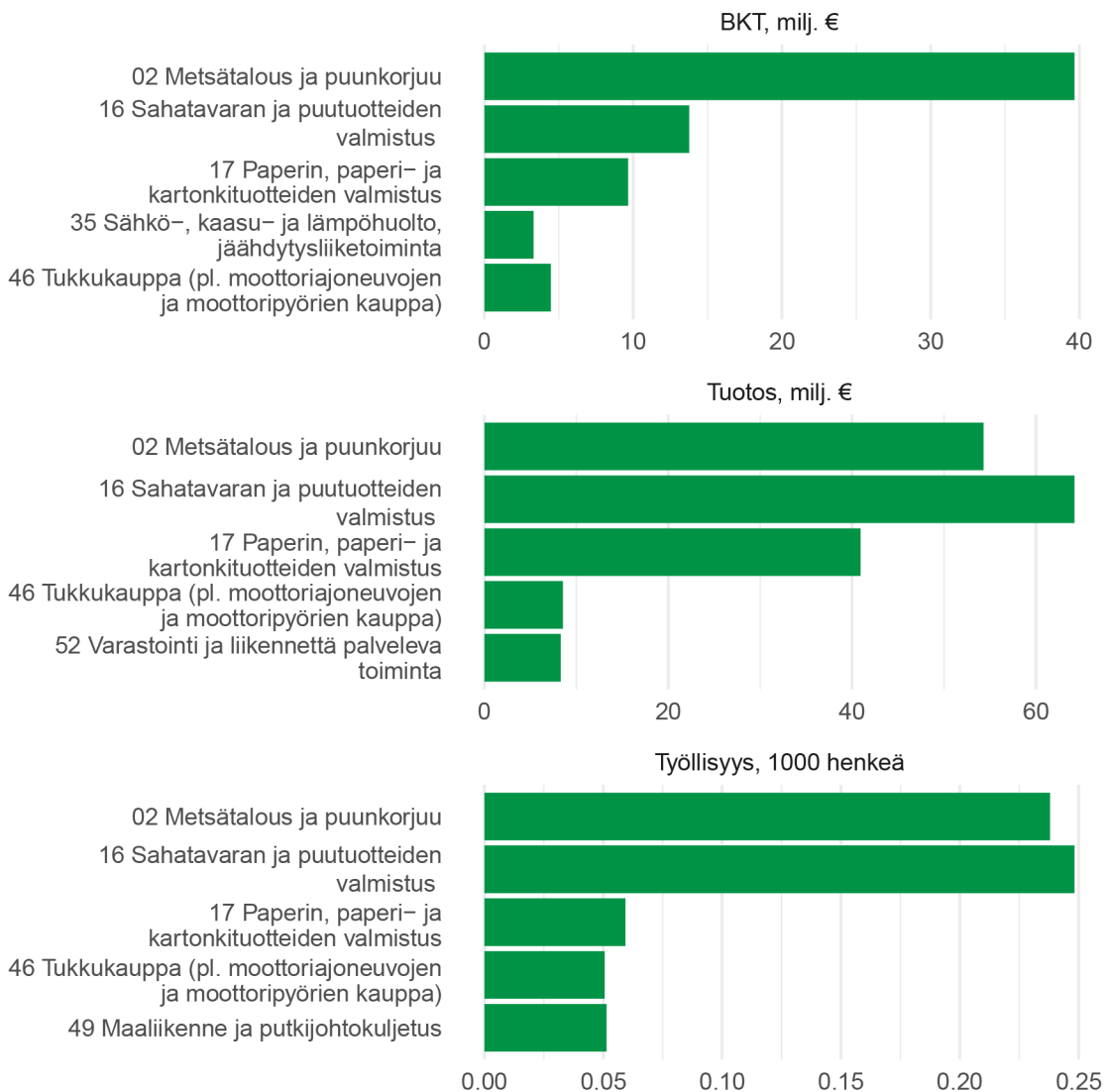
Tarjontalähtöisen skenaarion vaikutusten oletetaan kohdistuvan "02 Metsätalous ja puunkorjuu" -toimialalle. Skenaariossa vaikutuksia tulisi kasvatuslannoituksesta sekä päätehakkuun viivästämisestä. Tuotantovaikutukset kasvatuslannoituksen osalta olisivat noin 1,1 miljoonan kuution vuotuinen lisäys vuodesta 2035 lähtien (taulukko 6). Päätehakkuun viivästämisestä oletetaan lisäävän hakkuumääriä noin 360 000 kuutiota vuodesta 2035 lähtien. Toimenpiteet kohdistuvat pääsääntöisesti havumetsiin ja tuotannonlisäyksen rahallinen arvo on arvioitu kuitu- ja tukkipuun kantohintojen vuosien 2017–2019 vuosikeskiarvolla. Keskimääräisen kauppamäärällä painotetun kantohinnan arvioitiin olevan noin 37,17 euroa kuutiometriä kohden. Skenaarion toimenpiteiden vaikutus tuotannon kasvuun olisi noin 1,5 prosenttia verrattuna Suomen keskimääräisiin hakkuumääriin. Tuotannon lisäämisen ei oleteta vaikuttavan kuitenkaan muun tuotannon arvoon.

Taulukko 6 Tarjontalähtöinen skenaario käsiteltävien toimenpiteiden vaikutukset toimenpide aloihin, puuston kasvuun ja hakkuisiin.

Toimenpide	Kasvatuslannoitus	Päätehakuun viivästäminen
Toimenpidealan lisäys	67 000 ha/v	8 000 ha/v
Raaka-aineen tuotannon lisäys keskimäärin	1,63 m ³ /ha/v	4,5 m ³ /ha/v
Puuston vuotuinen kasvun lisäys Suomessa (vuodesta 2024 lähtien)	110 000 m ³ /v	36 000 m ³ /v
Vaikutus hakkuisiin (vuodesta 2035 lähtien)	1 100 000 m ³ /v	360 000 m ³ /v
Kasvaneiden hakkuiden lisäystuotokseen vuodesta 2035 lähtien	40,9 milj. €/v	13,4 milj. €/v

Skenaarion vaikutuksia tarkasteltiin tilanteessa, jossa puutuotteiden loppukysyntä kasvaa vastaamaan 54,3 miljoonan euron lisäystä ”02 Metsätalous ja puunkorjuu” -toimialan tuotoksessa. Mikäli tuotannon kasvulla vastataan kasvavaan kysyntää nykyisen kysyntärakenteen mukaisesti, suurimmat työllisyysvaikutukset kohdistuvat erityisesti toimialoihin ”16 Sahatavaran sekä puutuotteiden valmistus” sekä ”02 Metsätalous ja puunkorjuu”, joissa molemmissa voidaan nähdä työllisyyden kasvu reilulla 200 työllisellä (kuva 4). Toimialalla ”17 Paperin, paperi- ja kartonkituotteiden valmistus” nähdään vain noin 60 työllisen kasvu. Työllisten määrän kehityksen arviointi on kuitenkin hyvin epävarmaa, sillä panos-tuotostarkastelun kautta ei pystytä arvioimaan esimerkiksi skaalaetujen vaikutuksista työvoiman kysyntään tai eri toimialojen tuotannon nykyistä kapasiteettia suhteessa työvoiman tarpeeseen.

Koko kansantalouden tasolla muutokset olisivat hyvin maltillisia. Skenaarion oletusten myötä koko kansantalouden tuotos kasvaisi noin 230 miljoonaa euroa ja työllisyys noin 1 000 työllisen verran. Toimialojen kokoon verrattuna skenaarion toimenpiteiden arvoketjuvaikutukset jäisivät hyvin marginaaliseksi. Toimialojen suorien tuotosten arvo yhteensä yli 25 000 miljoonaa euroa, jolloin skenaarioissa huomioitujen toimenpiteiden vaikutukset olisivat kooltaan alle yhden prosentin. Alueellisten vaikutusten osalta potentiaalisten toimenpiteille sopeutuva pinta-ala kohdistuu laajalla alueelle, eikä niistä erotu yksittäisiä alueita joihin toimenpiteet erityisesti kohdistuisivat.



Kuva 4 Skenaarion toimenpiteiden vaikutukset koko kansantalouden tasolla BKT:n, tuotoksen ja työllisyyden osalta.

Skenaariovaikutuksia tarkasteltaessa on kuitenkin tärkeää huomata, että puuntuotannon lisääntymisellä ei välttämättä täytetä kasvavaa kulutusta vaan on myös mahdollista, että tuotannon kasvulla korvataan tuontiraaka-aineita. Lisäksi tässä tarkastelussa oletettiin tuotannon kasvun jakaantuvan aikaisemman puun käytön mukaisesti eri toimialoille. Todellisuudessa eri toimenpiteiden myötä kasvava tuotanto voi kohdistua hintasuhteista riippuen tietyille toimialoille, jolloin kyseisten alojen vaikutukset ovat suurempia.

4 Hiilimarkkinoiden kehittäminen osana Suomen ilmastopolitiikkaa

4.1 Kehityspolkujen yhdenmukaisuus eri politiikkatavoitteiden kanssa

Kansallinen metsästrategia 2035 (MMM 2023) kokoaa yhteen metsiin liittyviä politiikkatavoitteita, joista tärkeimmät ovat Suomen biotalousstrategia (Valtioneuvosto 2022), kansallinen luonnon monimuotoisuusstrategia (Valtioneuvosto 2023), kansallinen luonnon virkistyskäytön strategia 2030 (YM 2022), ilmasto ja energiastrategia (TEM 2022), kansallinen ilmastomuutokseen sopeutumissuunnitelma (MMM 2022a) ja maankäyttösektorin ilmastosuunnitelma (MMM 2022b). Lisäksi ekologiseen kestävyteen liittyen Kansallista metsästrategiaa täydentävät METSO- ja Helmi-ohjelma. Kansallinen metsästrategia sisältää kolme eri kärkihanketta: metsien kasvu, hiilensidonta ja puuntuotanto, talousmetsien elonkirjon parantaminen ja kilpailukykyisen toimintaympäristön luominen metsäalalle.

Tarkastelussa keskitytään ensisijaisesti hiilimarkkinoiden toimintaympäristön kannalta olennaisimpiin metsästrategiassa oleviin toimenpiteisiin sekä arvioidaan skenaarioiden yhdenmukaisuutta suhteessa eri politiikkatavoitteisiin. Kansallisen metsästrategian kärkihankkeista metsien kasvu, hiilensidonta ja puuntuotanto sisältää useita metsien kasvua edistäviä toimenpiteitä. Metsästrategiassa mainituista toimenpiteistä hiilimarkkinoiden hillintätoimiin kytkeytyvät suoraan metsäpinta-alan lisääminen, metsänuudistaminen laadukkaasti ja viipymättä sekä puuston kasvun lisääminen metsälannoituksella.

Toimenpiteistä metsäpinta-alan lisäys on hiilimarkkinoilla pienimuotoista, mutta tarjontaa on joidenkin ilmastoyksiköiden myyjien toimesta. Metsityshankkeissa rajoittavana tekijänä ovat laadulliset epävarmuudet, joten tarjonta- ja kysyntälähtöisessä skenaariossa ilmastoyksiköiden tuotanto metsityshankkeilla jää pienimuotoiseksi. Toisaalta tarjontaa kasvattavana tekijänä on metsitystuen päätyminen vuoteen 2023, mikä on ollut päällekkäinen hiilimarkkinoilla toteutettujen hankkeiden kanssa. Skenaarioissa metsityshankkeilla ei ole lyhyellä aikavälillä vaikutusta politiikkatavoitteisiin, mutta pitkällä aikavälillä ne tukevat Suomen ilmastotavoitteita sekä biotalousstrategian bioressien käytettävyyttä metsäpinta-alan ja puuntuotannon lisääntyessä.

Päättehakuun viivästäminen vähentää lyhyellä aikavälillä puun saatavuutta. Pitkällä aikavälillä tukkipuun tarjonta voi kasvaa, mutta kuitu- ja energiapuun vähenee. Suomen biotalousstrategian tavoitteiden kanssa toimenpide on ristikkäinen olettaen puun saatavuuden laskevan lyhyellä aikavälillä. Tällä on negatiivinen vaikutus metsäbiotalouden toimintaympäristöön puunhankinnan heikentyessä. Metsästrategiassa esitetty metsätuhojen ennakointi ja torjunta huomioiden, päättehakuun viivästäminen tai hakkuista pidättäytyminen

lisäävät metsän ikääntymisen myötä metsätuhoriskiä. Tuotetut ilmastoyksiköt tukevat kansallisia ilmastotavoitteita, jos ilmastovaikutus on selkeästi osoitettavissa. Tarjontalähtöisessä skenaariossa hiilimarkkinoilla rajoittavana tekijänä on metsänomistajien pienempi osallistumishalukkuus ja ilmastoyksiköiden laadullinen epävarmuus. Kysyntälähtöisessä skenaariossa ilmastoyksiköt ovat verrattain laadukkaampia ja metsänomistajien halukkuus osallistua korkeampi olettaen korvauksen olevan lähempänä puun hintatasoa.

Metsien kasvun lisääminen lannoituksella on yhdenmukainen jo nykyisin hiilimarkkinoilla ilmastoyksiköiden tuottamiseksi toteuttavien hillintätoimien kanssa. Lannoitushankkeet tukevat Suomen ilmastotavoitteita puuston nopeamman kasvun myötä. Hillintätoimena lannoitus edistää samanaikaisesti Suomen biotalousstrategian tavoitteita, jos lannoittaminen lisää käytettävissä olevan puuraaka-aineen määrää. Metsätalouden sopeutuminen ilmastomuutokseen uudistetulla kannustinjärjestelmällä on mainittu myös ilmastomuutokseen sopeutumissuunnitelmassa. Hiilimarkkinoilla talousmetsien tuhkalannoitus turvemaiden päällekkäisen Metka-tuen kanssa, mikä vähentää tuhkalannoitukseen keskittyvien hillintätoimien tarjontaa hiilimarkkinoilla. Talousmetsien lannoitus kivennäismailla tukee metsien kasvua lisäämistä ilman päällekkäisyyttä Metka-tuen kanssa.

Tarjontalähtöisessä skenaariossa turvemaiden toteutettavilla lannoitushankkeilla on enemmän tarjontaa, mutta metsänomistajien osallistuminen on matalamman korvauksen takia vähäisempää. Osallistumishalukkuutta laskee mahdollisuus saada Metka-tukea turvemaiden tuhkalannoitukseen soveltuvilla kohteilla. Kysyntälähtöisessä skenaariossa hankkeilta edellytetään korkeampaa laatua, jolloin tarjontaa on rajallisemmin.

Kansallisessa metsästrategiassa on lisäksi metsien hiilensidontaan liittyen tavoitteena kehittää hiilen varastoinnin keinoja. Tarjontalähtöisessä skenaariossa ilmastoyksiköiden tuottamiseksi toimijat voivat kehittää hillintätoimia, joita ei nykyisin toteuteta markkinoilla erotuakseen muista. Hillintätoimien kirjo on laajempi tarjontalähtöisessä skenaariossa, mutta laadukkaiden ilmastoyksiköiden osalta epävarmuuksia on enemmän, mikä rajoittaa kysyntää. Kysyntälähtöisessä skenaariossa hillintätoimet ovat vakiintuneita ja laadukkaiden menetelmien luominen olemassa olevien hillintätoimien rinnalle vaatii resursseja. Toisaalta ilmastoyksiköiden korkeampi hinta toimii kannustimena kehittää uusia hillintätoimia kysyntälähtöisessä skenaariossa.

Metsäalan toimintaympäristön kilpailukykyisyyden kannalta hiilimarkkinoiden vaikutus kytkeytyy ekosysteemipalveluiden markkinalähtöisen liiketoiminnan kehittymiseen. Hiilimarkkinoiden vaikutus biomassojen markkinoihin on nostettu esiin myös Suomen biotalousstrategiassa. Riippuen hiilimarkkinoilla toteutettavista hillintätoimista vaikutus metsäsektoriin kytkeytyviin politiikatavoitteisiin on vaihteleva. Lannoitukseen keskittyvillä hankkeilla pysytään puolestaan vaikuttamaan positiivisesti ilmastotavoitteisiin ja perinteiseen metsäalaan, mutta luonnon monimuotoisuuden ja virkistyskäytön kannalta vaikutukset ovat epävarmoja. Lannoittamalla puuntuotantoa, metsien kasvua ja hiilensidontaa saadaan tehostettua, millä on myönteinen vaikutus puuntuotannollisiin politiikatavoitteeseen. Kiertoajan

pidentäminen tai hakkuista pidättäytyminen vaikuttavat lyhyellä aikavälillä negatiivisesti puun saatavuuteen, mikä vaikeuttaa metsäteollisuuden puunhankintaa. Samanaikaisesti sillä voi olla positiivisia vaikutuksia ilmastotavoitteisiin ja metsien virkistyskäyttöön.

4.2 Yhteensovittaminen Maankäyttösektorin ilmastosuunnitelman tavoitteiden kanssa

Maankäyttösektorin ilmastosuunnitelma MISU julkaistiin vuonna 2022. Suunnitelman tavoite on edistää maankäytön, metsätalouden ja maatalouden päästöjen vähentämistä, nielujen aikaansaamien poistumien vahvistamista sekä sopeutumista ilmastonmuutokseen (MMM 2022a). MISU:n tavoitteet ovat yhtenevät maankäyttösektorin vapaaehtoisten hiilimarkkinoiden hillintätulosten kanssa lukuun ottamatta ilmastonmuutokseen sopeutumista. Ilmastoyksiköiden hankinnalla ei tavoitella ensisijaisesti ulkopuolisen toimijan Ilmastonmuutokseen sopeutumisen edistämistä, vaan positiivisen ilmastovaikutusten aikaansaamista.

Yhtenä toimenpiteenä MISU:ssa on maankäyttösektorin hiilimarkkinoiden edistäminen. Toimenpiteen ohjauskeinoina ovat hiilimarkkinoita koskevien pelisääntöjen kehittäminen sekä soveltuvien menetelmien ja ratkaisumallien pilotointi kokeiluhankkeiden kautta. Pilotoinnit ja kokeiluhankkeet soveltuvat hiilimarkkinoiden kehittämiseen niin tarjonta- kuin kysyntälähtöisessä skenaariossakin. Tarjontalähtöisessä skenaariossa hiilimarkkinoiden edistäminen valtion toimesta keskittyy hiilimarkkinatoimijoiden yhteistyön kehittämiseen ja tukemiseen. Valtio voi luoda edellytyksiä markkinaratkaisujen kehittämiseksi, jotka tukevat hiilimarkkinoiden kehittymistä ja mahdollistavat tasapainon saavuttamisen ostajien ja tuottajien tavoitteiden välillä. Kysyntälähtöisessä skenaariossa yhteiskunnan rooli keskittyy lainsäädännölliseen ohjaukseen. MISU:ssa esitellyt hiilimarkkinoiden edistämisen ohjauskeinot, kuten raportissa Laine ym. (2023) mainitut pelisäännöt, pilotoinnit ja kokeilut, ovat vapaaehtoisia toimijoille.

MISU:ssa on toimenpiteitä, jotka ovat päällekkäisiä nykyisten ja potentiaalisten vapaaehtoisten hiilimarkkinoiden hillintätoimien kanssa. MISU:ssa on erillisinä toimenpiteenä tai ohjauskeinona tukia ja niiden valmistelua, jotka koskevat vapaaehtoisen hiilimarkkinan nykyisiä tai potentiaalisia hillintätoimia, kuten joutoalueiden metsityksen määräaikainen tuki, suometsien tuhkalannoituksen tuki, kosteikko viljelyn tuet sekä heikkotuottoisten peltojen metsityksen tukemisen valmistelu. Joutoalueiden määräaikaiselle tuelle ei kuitenkaan ole tulossa jatkoa vuoden 2023 jälkeen. Vapaaehtoisten hiilimarkkinoiden näkökulmasta valtion tuet vähentävät hillintätoimen taloudellista lisäisyyttä tai ainakin vaikeuttavat sen osoittamista ja valtion tuet heikentävät näiden hillintätulosten laatua ja maksuhalukkuutta vapaaehtoisilla hiilimarkkinoilla.

MISU:ssa on toimenpiteitä, joiden ohjauskeinoina on informaatio-ohjaus ja neuvonta esimerkiksi toimenpiteen ”Lisätään lahopuun hiilivarastoa talousmetsiin monimuotoisuus- ja ilmastoyksiköistä säästöpuita jättämällä” kohdalla. Hiilimarkkinoille myytävien hillintätulosten kohdalla tällä on vaikutusta lisäisyyden arviointiin, jos neuvonta ja informaatio-ohjaus lisää hillintätoimen toteutusta ja siten vaikeuttaa hiilikorvausten aikaansaaman lisäisyyden osoittamista, mikä korostuu kysyntälähtöisen skenaarion tapauksessa.

Maankäyttösektorin ilmastotoimien tutkimuksen ja kehittämisen tukeminen on MISU:ssa toteutettu Hiilestä kiinni -tutkimus- ja innovaatio-ohjelman kautta. Tässä ohjelmassa on suoraan vapaaehtoiseen hiilimarkkinaan kohdistuvia kehittämishankkeita, kuten tämäkin raportin toteuttanut KolKom-hanke. Lisäksi Hiilestä kiinni kokonaisuuden tuloksia voidaan hyödyntää vapaaehtoisten hiilimarkkinoiden hillintätoimien tuotteistamisessa ja kehittämisessä.

MISU:n toimenpiteiden ja hiilimarkkinoilla olevien maankäyttösektorin hillintätoimien päällekkäisyys johtuu siitä, että niiden tavoitteet ovat samat, ja molempiin on valikoitunut ilmastovaikutuksiltaan kustannustehokkaita ja maanomistajien kannalta hyväksyttäviä toimenpiteitä. Sekä valtion tukien tehokkuuden että hiilimarkkinoiden hillintätoimien lisäämisen ongelmana on se, miten rajata tuki ja hiilikorvaus niin, ettei niitä makseta maanomistajille, jotka toteuttavat toimenpiteen ilman ulkopuolista rahoitusta. Yhteiskunnan hyödyt toimien tukemisesta voivat kuitenkin olla laajemmat, esimerkiksi työllisyyden, puuntuotannon kasvun ja virkistyskäytön muodossa, joita ei mitata ja arvoteta vapaaehtoisilla hiilimarkkinoilla.

Tämän raportin skenaarioissa tarjontalähtöinen kehityspolku tarjoaa paremmat mahdollisuudet löytää keinot, miten sovitetaan yhteen yhteiskunnan tuet ja hiilimarkkinoiden toiminta. Laturin ym. (2023) raportin kyselyn perusteella kuluttajat arvostavat hillintätoimien tietojen raportoinnin läpinäkyvyyttä ja helppoa saatavuutta, mikä vaikeutuu, kun hillintätoimelle on mahdollisesti useampi rahoittaja. Kysyntälähtöisessä skenaariossa tuet määrittelevät selkeämmin ne maankäyttösektorin toimenpiteet, jotka jäävät hiilimarkkinoiden ulkopuolelle, erityisesti ne, jotka liittyvät raaka-aineen tuotantoa ja muita ympäristöhyötyjä. Tällaiset toimenpiteet potentiaalisia kohteita yhteiskunnan tuelle, jollin niihin sisältyy riski menettää hiilimarkkinakelpoisuus kysyntälähtöisessä skenaariossa.

4.3 Kehittymisen pullonkaulat

Laatu

Hiilimarkkinoilla ei ole tarjolla vakiintuneita ilmastoyksiköitä, jonka seurauksena ilmastoyksiköiden laatu vaihtelee runsaasti. Tämä on haaste ilmastoyksiköiden ostamista harkitseville yrityksille ja kuluttajille. Markkinoiden toimivuuden kannalta olennaista olisi, että ilmastoyksiköistä olisi saatavilla riittävästi tietoa ja sellaisessa muodossa, joka mahdollistaa eri

laatuisten ilmastoyksiköiden vertailun toisiinsa. Tämä tarkoittaa käytännössä ilmastoyksiköiden laadunarviointia. Laadunarvioinnista vaikeaa tekee se, että ostajan pitää olla perehtynyt yleisesti hiilensidontaan, hiilensidonnan minimikriteereihin, vapaaehtoisten hiilimarkkinoiden hyviin käytäntöihin ja eri standardeihin, jos harkinnassa olevat ilmastoyksiköt on sertifioitu. Laadunarvioinnin haastavuus ja mahdollisuus virhearvioille lisää myös yksiköiden ostamiseen ja käyttöön liittyviä riskejä. Ilmastoyksiköiden ilmastovaikutuksen uskottavuuden ja oikeellisuuden arviointi on haastavaa, vaikka sitä selkeyttävät jo nykyisellään vapaaehtoiset hyvät käytänteet ja tulevaisuudessa luultavasti myös lainsäädäntö. Laadunarvioinnin vaikeus voi estää monen kuluttajan ja yrityksen osallistumisen hiilimarkkinoille.

Laadunarvioinnin edellyttämä perehtyneisyys vaatii resursseja ja aikaa. Tämä kerryttää kustannuksia jo ennen ostopäätöksen tekemistä ja yksiköiden ostamista. Tämä vähentää ostajien mahdollisuuksia ja halukkuutta osallistua hiilimarkkinoille. Yrityksissä tiedostetaan heikompilaatuisten ilmastoyksiköiden ostamiseen liittyvät maineriskit, joten yritykset eivät ota tarpeettomia riskejä vajavaisilla tiedoilla. Laadunarviointiin perehtymiseen liittyvät kustannukset voivat toimia pullonkaulana pienten yritysten, joilla ei ole käytettävissään yhtä paljon resursseja kuin suuremmilla yrityksillä, hiilimarkkinoille osallistumiselle.

Hiilensidontahankkeiden ja niissä tehtävien hillintätoimien sekä niistä maksettavien korvausten toisiinsa vertaamisen hankaluus nostavat myös metsänomistajan kynnystä osallistua hiilimarkkinoille. Punnitun päätöksen tekeminen vaatii myös metsänomistajalta aikaa ja osaamista verrata eri ilmastoyksiköitä toisiinsa. Kustannuksia kerryttää myös ilmastoyksiköiden laadun ylläpitämiseen vaadittavat resurssit ja ylläpitämiseen sisältyvät riskit.

Ilmastoyksiköiden laadulla on keskeinen rooli hiilimarkkinoiden kehittymisen ohjaamisessa. Laadulliset kriteerit rajoittavat myytäväksi kelpaavien ilmastoyksiköiden tuotantomahdollisuuksia. Nykyisellä ja tulevalla lainsäädännöllä, minimikriteereillä, hyvillä käytänteillä ja sertifikaateilla pyritään varmistamaan ilmastoyksiköiden laatu, mutta luontopohjaisten ilmastoyksiköiden kohdalla on haastavaa asettaa yhtäläistä rajaa riittävälle laadulle. Ilmastoyksiköiden laadullinen arviointi voidaan jättää markkinoiden hoidettavaksi, jolloin ilmastoyksikön laatuvaatimukset heijastuvat niistä maksettavaan hintaan, mutta tällöin lisätään ostajien hankintakustannuksia ja -kynnystä, joiden alentaminen on yksi minimikriteerien tehtävä. Tiukkojen laatuvaatimusten täyttäminen tarjoaa ilmastoyksiköiden tuottajille ja välittäjille mahdollisuuden kasvuun, sillä yritykset ovat kiinnostuneita laadukkaista yksiköistä, joiden avulla niiden on mahdollista kumota aiheuttamia ilmastohaittoja (Laturi ym. 2023). Tiukat laatuvaatimukset estävät hiilimarkkinoiden kehittymisen rajaamalla osan ilmastoyksiköistä pois markkinoilta, mutta toisaalta mahdollistavat hiilimarkkinoiden kehittyminen edistämällä kuluttajien ja yritysten luottamuksen rakentumista vapaaehtoisin hiilimarkkinoihin.

Markkinoiden toimivuus ja yksiköiden hinta

Markkinoilla saattaa tulevaisuudessa olla samaan aikaan sekä korkealaatuisia ilmastoyksiköitä, joilla yritykset voivat pyrkiä kumoamaan omia ilmastohaittojaan, että heikompileatuisia yksiköitä, joilla voi tukea valtion ilmastotavoitteen saavuttamista. Hiilimarkkinoiden toimivuuden perusedellytys on, että markkinoille muodostuisi vakiintuneita ilmastoyksiköitä, joiden ominaisuuksia ja hintaa yksiköiden ostajan on mahdollisimman vaivatonta verrata luotettavasti toisiinsa. Markkina toimii, kun ilmastoyksikön tarjoaja kohtaa ostajan, jonka preferenssit vastaavat ilmastoyksikön laatua ja yksiköstä pyydetty hinta ostajan maksuhalukkuutta. Yritykset ovat kiinnostuneita korkealaatuisista ilmastoyksiköistä, jotka mahdollistavat niiden aiheuttamien ilmastohaittojen kumoamisen. Jos korkealaatuisille yksiköille on enemmän kysyntää kuin heikkolaatuisille ja korkealaatuisten hinta on ilmastoyksiköiden tarjoajien kannalta houkuttelevalla tasolla ohjaa markkina korkealaatuisten yksiköiden tuotantomäärään, joka vastaa kysyntää.

Markkinoiden kehittymisen kannalta pullonkaula on laadukkaiden ilmastoyksiköiden hinta, joka ei kohtaa yritysten ja kuluttajien maksuhalukkuutta. Laadukkaiden ilmastoyksiköiden tuottamisella on kustannuksensa, joka näkyy hinnassa. Ilmastoyksiköitä ostavien yritysten näkökulmasta ne eivät saa maksaa liikaa, mutta alhainen hintataso rajoittaa tuotantoa. Metsänomistajien mukaan lähtö hiilintähankkeisiin edellyttää sitä, että välittäjä maksaa riittävän korvauksen ilmastoyksiköiden tuottamisesta. Riittävä korvaus sekä sopiva hintataso tukisivat ilmastoyksiköiden laadun ylläpitämistä. Laadun ylläpitämisen kustannukset eivät ole ongelma, mikäli panostukset heijastuvat ilmastoyksikön hintaan. Hiilimarkkinoiden hintatason ja tuottajille maksettujen korvausten vakiintumattomuus toimii monelle metsänomistajalle esteenä hiilimarkkinoille osallistumiseen. Ennenkin odotetaan ja katsotaan, kehittykö hinta houkuttelevalle tasolle.

Kysyntälähtöisessä skenaariossa, jossa vaaditaan tiukempaa tulkintaa lisäisyydestä ja edellytetään, että toimenpiteet toteutetaan nimenomaan krediittien ansiosta, voi olla riskinä se, että hiilimarkkinoille voivat osallistua vain ne toimijat, jotka ovat aikaisemmin toimineet ilmaston kannalta epäsuotuisasti. Samalla ne toimijat, jotka ovat jo huomioineet ilmaston toiminnassaan ja ottaneet näitä toimenpiteitä käyttöön, voivat jäädä hiilimarkkinoiden ulkopuolelle. Tällä voi johtaa etenkin tuottajien kokeman oikeudenmukaisuuden kannalta epätydyttävään tilanteeseen ja vaikutuksiin.

Välittäjien ja ostajien osallistumishalukkuutta hiilimarkkinoille vähentävät hiilenmarkkinoiden ennakoimattomuus. Täsmälliset kriteerit ja korkeat laadulliset tavoitteet ilmastoyksiköiden käytölle johtavat tiukkoihin laadullisiin rajanvetoihin, jonka seurauksena pienikin laadullinen vaatimusten kiristyminen voi johtaa merkittäviin vaikutuksiin ilmastoyksikön markkinakelpoisuudessa. Tämän takia ilmastoväittämien käyttö ja sitoutuminen ilmastoyksiköiden ostamiseen on riskialtista, mikä vähentää yritysten halukkuutta käyttää ilmastoväittämiä ja -yksiköitä.

5 Johtopäätökset

Raportissa tarkasteltiin Suomen vapaaehtoisten hiilimarkkinoiden kehitysskenaarioita vuoteen 2035. Analyysissa on keskitytty maankäyttösektorin ilmastoyksiköiden tarjontaan ja käyttöön Suomessa. Skenaariotyö tuotti kaksi ääripäätä edustavaa skenaariota: toisessa korostetaan tuotantomahdollisuuksia (Tarjontalähtöinen skenaario), toisessa ostajien ja yksiköiden käyttäjien ilmastollisten tavoitteiden merkitystä (Kysyntälähtöinen skenaario). Skenaariot kuvaavat hiilimarkkinoiden ristiriitoja, niiden ratkaisuja sekä ääripäissä syntyviä ongelmia tavoitteiden saavuttamisessa.

Vapaaehtoisten hiilimarkkinoiden kehitys on monen tekijän summa ja siihen liittyy paljon tavoiteristiriitoja ja hyväksyttävyyteen liittyviä näkökulmia. Hiilimarkkinoilla ei ole olemassa toimielintä, joka pystyisi päättämään tai ratkaisemaan ristiriidat. Kyseessä on vapaaehtoinen tuotemarkkina, jossa ei kuitenkaan ole ominaisuuksiltaan yhtäläistä tuotetta. Hiilimarkkinoille pyritään luomaan ominaisuuksiltaan tietyntasoisia tuotteita standardeilla ja sertifioiduilla. Luontopohjaisten ilmastoyksiköiden kohdalla hiilimarkkinoiden hyvien käytäntöjen mukainen laatuarviointi edellyttää lukuisten oletuksien tekemistä ja niiden vaikutusten määrittämistä, jolloin yhtäläinen toimenpiteiden arviointi samankaltaisesti on haasteellista.

Luontopohjaisten yksiköiden tuotantomahdollisuudet huomioivien pysyvyyden ja lisäisyyden vaatimusten sovittaminen ostajien tavoitteiden ja yksiköiden käyttöön liittyvien vaatimusten kanssa on monimutkaista, etenkin kun niihin liittyy vielä epävarmuuksia. Yhtä vastausta, joka täyttäisi kaikkien vapaaehtoisten hiilimarkkinoiden kaikkien osapuolten tavoitteet, tuskin löytyy. Näin ollen tarvitaan joustavampia menetelmiä tavoitteiden yhteensovittamiseksi, esimerkiksi ilmastoyksiköiden hinnan avulla, mutta tällöin joudutaan joustamaan myös yhtenäisen tuotteen olemassaolosta markkinoilla. Vapaaehtoinen hiilimarkkina voi kehittyä suuntaan, jossa se palvelee vain tiettyä osaa kuluttajista ja yrityksistä, joiden tavoitteet ovat yhtenevät hiilimarkkinoiden tuotantomahdollisuuksien kanssa. Tällaisessa tapauksessa maankäyttösektorin hillintätoimille voi löytyä rahoitusta vapaaehtoisilta hiilimarkkinoilta. On kuitenkin tärkeää, että markkinoilla olevissa tuotteissa huomioidaan laadullinen epävarmuus. Kuluttajien on ymmärrettävä ja hyväksyttävä tämä, jotta heitä ei johdeta harhaan.

Tarjontalähtöisessä skenaariossa hiilimarkkinat näyttävät vakaina, vaikka markkinoilla on epävarmuutta ja -selvyyttä. Vapaassa kaupankäynnissä markkina voi itsenäisesti löytää tasapainon ostajien ja käyttäjien tavoitteiden välillä. Tarjontalähtöisen skenaarion joustavuus luo mahdollisuuksia kehittää pitkäjänteisesti toimintatapoja, myös tilanteessa, jossa niihin liittyy laadullisia puutteita. Yksittäinen raja-arvo ei ole tällöin ratkaisevassa roolissa ja laatuongelmiin voidaan löytää ratkaisu pitemmällä aikavälillä. Tulevaisuuden tuotantomahdollisuuksien suhteen tarjontalähtöinen ja joustavampi toimintaympäristö on myös vakaampi, koska yksittäisten kriteerien muodostamat esteet tuotannolle ja ilmastoyksiköistä saatavalle hinnalle ovat pienempiä. Toisaalta laadukkaiden ilmastoyksiköiden osalta, kuten

biohiilen tai teknisten hiilenpoistomenetelmien, joustavalla hiilimarkkinalla on vaikea saada laadusta riittävästi lisähintaa, jotta nämä toimenpiteet yleistyisivät.

Kysyntälähtöisessä skenaariossa painottuvat ostajien ilmastoyksiköille asettamat tavoitteet ja kuluttajien oikeudet ilmastoyksiköiden laatuun ja niiden käyttöön liittyen. Tällöin yritysten on varmistettava ilmastoyksiköiden laatukriteerien täyttyminen, mikäli niitä käytetään ilmastoväittämien yhteydessä. Luontopohjaisten hillintätoimien osalta ilmastoyksiköiden laatukriteerien täyttäminen on haasteellista ja niissä on paljon tulkinnanvaraa liittyen käytettyihin oletuksiin ja niiden tulkintaan. Kysyntälähtöinen skenaario voi olla hiilimarkkinoiden sääntelyn osalta vakaa toimintaympäristö, mutta ilmastoyksiköiden tuottajien ja ostajien kannalta ei. Kysyntälähtöisen skenaarion tiukkojen vaatimusten pienetkin tulkintamuutokset voivat aiheuttaa merkittäviä rajoituksia ilmastoyksiköiden ja ilmastoväittämien käytölle. Tässä tapauksessa vapaaehtoinen hiilimarkkina on toimintaympäristönä riskialtis ja siihen sitoutuminen on vaikeaa. Yritysten on vaikeampi perustella omistajilleen laadukkaiden ja kalliiden ilmastoyksiköiden hankintaa, kun niistä saatavien hyötyjen realisoituminen ilmastoväittämien kautta on epätodennäköisempää.

Tarjontalähtöinen skenaario vahvistaa puuntuotannon perinteistä arvoketjua useamman vuosikymmenen kuluessa. Lannoituksella voidaan tehostaa puuston kasvua, mikä lisää hakkuumahdollisuuksia ja puun saatavuutta. Lähivuosina toteutettava kivennäismaiden kasvatuslannoitus kasvattaa päätehakkuusta saatavan puun määrää metsän hakkuussa jo vuonna 2035. Lannoituksen vaikutus nuorena kasvuvaiheessa olevassa metsässä on voimakkaampi puuston kasvun kannalta, mutta vaikutus puun saatavuuteen on riippuvaista hakkuumahdollisuuksista. Talousmetsien lannoituksen ei katsottu lisäävän olennaisesti metsän houkuttelevuutta virkistykseen kannalta, eikä siten parantavan matkailu- ja luontoyrittäjyyden edellytyksiä. Luonnontuotteiden satojen osalta lannoituksella on tarkastelujaksolla marjasatoon mahdollisesti pieni positiivinen vaikutus, mutta tärkeimpien kauppasiementen satoja lannoitus voi mahdollisesti vähentää joksikin aikaa.

Lyhyellä aikavälillä kiertojen pidentämisellä on negatiivinen vaikutus puun saatavuuteen, mikä vaikuttaa kielteisesti metsäteollisuuden puun hankintaan. Kokonaisvaikutus riippuu siitä, minkä verran päätehakkuuta lykätään. Kiertojen pidentäminen voi parantaa matkailu- ja luontoyrittäjyyden edellytyksiä, mikäli sitä pidennetään liiketoiminnan kannalta tärkeissä paikoissa, jotka sijaitsevat yleensä asutus- ja matkailukeskusten läheisyydessä. Luonnontuotealan osalta kiertojen pidentäminen ylläpitää mustikan ja puolukan sekä tärkeimpien kauppasiementen satoja parantaen luonnontuotteiden satopotentiaalia maltillisesti.

Puutavaralajien hintoihin hakkuumäärien muutos vaikuttaa vain vähäisesti. Havutukin hintoihin hakkuumäärien muutosten ennustettiin vaikuttavan lyhyellä aikavälillä. Hakkuumäärän nousu laskee todennäköisesti mänty- ja kuusitukin hintoja tarjonnan lisääntyessä. Koi- vutukin ja kuitupuun hintoihin hakkuilla ei ollut vaikutusta. Kuitenkin puun hinta määräytyy markkinoilla, jolloin siihen liittyy muitakin tekijöitä kuin hakkuumäärä. Kysyntälähtöisessä

skenaariossa vaikutus puuntuotantoon on vähäinen. Hakkuumahdollisuudet eivät merkittävästi lisääny, jolloin hillintätoimilla ei ole vaikutusta puun hintatasoon. Tarjontalähtöisessä skenaariossa puuntuotannon lisääntyminen voi lyhyellä aikavälillä laskea puun hintaa, kun puuta on enemmän tarjolla hakkuumahdollisuuksien kasvaessa.

Tarjonta- ja kysyntälähtöiset skenaariot näkyvät toimenpiteissä sekä ilmastoyksiköiden hintatasossa. Tarjontalähtöisessä skenaariossa metsäsektoriin ja sen liitännäistoimialoihin vaikuttavia toimenpiteistä on laajemmin käytössä vain päätehakun viivästäminen ja kasvatustalanto. Skenaariossa ilmastoyksiköiden hinta on verrattain matala, mikä pienentää maanomistajien kiinnostusta osallistua vapaaehtoisille hiilimarkkinoille. Skenaariossa käytettävät hillintätoimet kasvattavat puuraaka-aineen tuotantoa Suomessa vuonna 2035, mutta vähäisen kiinnostuksen vuoksi vaikutukset metsäsektoriin ja koko kansantalouteen jäävät hyvin pieniksi. Toisaalta kotimaisen puuraaka-aineen tuotannon lisääminen voi vähentää toimialojen riippuvuutta tuontiraaka-aineista.

Kysyntälähtöisessä skenaariossa ilmastoyksiköiden kysyntä ja siten myös tarjonta on merkittävästi suppeampi verrattuna tarjontalähtöiseen skenaarioon, koska ostajien asettamat ostokriteerit ilmastoyksiköiden laadulle ovat erittäin tiukat. Vaikka kysyntälähtöisen skenaarion hinta on korkeampi kuin tarjontalähtöisessä skenaariossa, se ei kuitenkaan riitä kattamaan laadukkaiden ja tuotantokustannuksiltaan kalliiden maankäyttösektorin hillintätoimien kustannuksia. Tämä vähentää maanomistajien kiinnostusta osallistua vapaaehtoisille hiilimarkkinoille. Seurauksena hillintätoimien käyttö jää hyvin pieneksi, ja vaikutukset metsäsektoriin ja sen liitännäistoimialoihin jäävät melko merkityksettömiksi.

Vapaaehtoinen hiilimarkkina ei näyttäisi skenaariotyön perusteella johtavan merkittävään muutokseen maankäyttösektorilla. Vapaaehtoinen hiilimarkkina näyttäisi kohdistuvan Suomessa vain metsäsektorin hillintätoimenpiteisiin maataloussektorin jäädessä hiilimarkkinoiden ulkopuolelle. Metsäsektorinkin kohdalla vapaaehtoinen hiilimarkkina näyttäisi muodostuvan puuntuotantoa tukevien hillintätoimien ympärille ja siten puumarkkinavaikutukset jäävät suurimmillaankin muutamiin prosentteihin.

Skenaariot edustavat tulevaisuuden kehityksen ääripäitä, jotta tarkastelussa voitiin hahmottaa vaikutuskanavia ja skenaarioiden mukaisia eroa ja kehityskulkuja. Skenaariotyön perusteella havaittiin, että vapaaehtoisten hiilimarkkinoiden tulevaisuus ei tule olemaan kummankaan ääripään mukainen ainakaan lähivuosikymmeninä. Kysyntälähtöisen skenaarion ongelmana on sen epävakaus. Vaikka tulevaisuus näyttäytyykin skenaariossa ennustettavana ja tarkkana, maankäyttösektorin hillintätoimiin liittyvät epävarmuudet ja tulkittamahdollisuudet tekevät niiden käytöstä riskialtista. Tämä johtaa yritysten epäröintiin sitoutua niihin perustuviin ilmastoväittämiin. Tarjontalähtöisessä skenaariossa hiilimarkkinat muodostuvat joustaviksi, mutta osallistuminen edellyttää toimijoilta muun muassa tietämystä, aikaresurssien käyttöä ja ennen kaikkea epävarmuuden hyväksymistä. Tässä skenaariossa muodostuu kotimainen ilmastoyksiköiden tuotanto perustuen pääosin kahteen

metsäsektorin toimenpiteeseen: päätehakun viivästäminen ja kasvatuslannoitukseen. Molempien skenaarioiden kohdalla muodostuu lisäksi pienimuotoista paikallista toimintaa metsitykseen ja soiden ennallistamiseen liittyen, joissa voidaan hyödyntää laajempaa ekosysteemipalveluiden myyntiä. Myös biohiilen tuotanto on mahdollista molemmissa skenaarioissa pienimuotoisesti, kun raaka-aineena käytetään jäteperäisiä materiaaleja. Tässä tapauksessa niiden ilmastollinen ja taloudellinen lisäys ei muodostu ongelmaksi.

Ilmasto-ohjauksen näkökulmasta kysyntälähtöinen skenaario on haastava, koska yhteiskunnan tulisi pystyä arvioimaan tarkasti yritysten, kuluttajien ja tuottajien rajoitteet, mahdollisuudet, tietämys sekä koettu hyöty. Tämä on tarpeen, jotta se voisi tukea vapaaehtoisen hiilimarkkinoiden kehittämistä kohti ilmastollisesti myönteistä lopputulosta. Tarjontalähtöisessä skenaariossa yhteiskunnan ei tarvitse ratkaista hiilimarkkinoiden ongelmia, mutta se voi toimia aktiivisesti aloitteen tekijänä, kokoontumisfoorumien ja yhteistyöalustojen järjestäjänä sekä neuvotteluiden edistäjänä vapaaehtoisen hiilimarkkinan osalta, jättäen kuitenkin hyötyjen arvioinnin vapaiden markkinoiden varaan.

6 Liitteet

Liite 1. Puumarkkinoiden tilastollisen mallinnuksen testitaulukot

Taulukko 1. Lagrange multiplier -testi, jonka nollahypoteesi olettaa, ettei muuttuja ole auto-korreloitunut.

viivästys	hinnanmuutos, Δy_t											
	mäntytukki		kuusitukki		koivutukki		mäntykuitu		kuusikuitu		koivukuitu	
	testiarvo	p-arvo	testiarvo	p-arvo	testiarvo	p-arvo	testiarvo	p-arvo	testiarvo	p-arvo	testiarvo	p-arvo
1	1.69	0.793	1.23	0.872	3.30	0.510	1.17	0.882	3.65	0.455	5.57	0.233
2	3.46	0.484	3.85	0.426	2.07	0.724	8.99	0.061	3.41	0.492	8.46	0.076
3	3.51	0.476	0.96	0.916	7.37	0.118	4.28	0.369	6.29	0.179	0.66	0.956
4	3.15	0.533	1.56	0.817	1.98	0.740	2.74	0.602	3.60	0.462	2.81	0.591
5	2.17	0.704	2.15	0.707	4.08	0.396	4.95	0.293	3.30	0.509	3.55	0.471

Taulukko 2. ARCH-LM -testi, jonka nollahypoteesi olettaa, ettei havaita ehdollista heteroskedastisuutta.

hinnanmuutos, Δy_t	testiarvo	p-arvo
mäntytukki	0.027	0.870
kuusitukki	0.078	0.780
koivutukki	0.309	0.578
mäntykuitu	0.592	0.442
kuusikuitu	0.566	0.452
koivukuitu	0.177	0.674

Taulukko 3. Dickey-Fuller ja Phillips-Perron -testit, joilla testataan muuttujien stationäärisyyttä. Nollahypoteesi on, että muuttuja ei ole stationäärinen.

	Dickey-Fuller		Phillips-Perron	
	testiarvo	p-arvo	testiarvo	p-arvo
mäntytukki	-2.74	0.220	-3.802	0.017
Δ mäntytukki	-3.739	0.020	-5.562	0.000
kuusitukki	-2.26	0.456	-3.119	0.102
Δ kuusitukki	-3.502	0.039	-5.703	0.000
koivutukki	-2.297	0.436	-3.187	0.087
Δ koivutukki	-4.214	0.004	-5.632	0.000
mäntykuitu	-1.796	0.707	-1.887	0.661
Δ mäntykuitu	-3.66	0.025	-5.218	0.000
kuusikuitu	-1.228	0.905	-2.162	0.511
Δ kuusikuitu	-2.761	0.212	-4.006	0.009
koivukuitu	-2.051	0.573	-1.657	0.769
Δ koivukuitu	-2.794	0.199	-5.166	0.000

Viite: Δ kuvaa differoitua muuttujaa, joita käytetään estimoinneissa. Tässä taulukossa esitetään testitulokset myös differoimattomille tasomuuttujille. Tulokset osoittavat, että differoinnin jälkeen muuttujat ovat stationäärisiä. Poikkeuksena ovat Δ kuusikuitu ja Δ koivukuitu, joiden testitulokset Dickey-Fuller -testissä indikoivat niiden olevan epästationäärisiä. Kuitenkin Phillips-Perron -testi indikoi niiden olevan stationäärisiä, joten emme usko niiden aiheuttavan varsinaisia ongelmia tulosten tulkinnessa.

Taulukko 4. Johansen-testi, jolla testataan kointegraatiota.

	H0	Testiarvo	Kriittinen arvo 5%
mäntytukki	r=0	7.86	15.41
	r<=1	3.15	3.76
kuusitukki	r=0	6.55	15.41
	r<=1	1.94	3.76
koivutukki	r=0	13.91	15.41
	r<=1	2.06	3.76
mäntykuitu	r=0	11.16	15.41
	r<=1	0.96	3.76
kuusikuitu	r=0	19.21	15.41
	r<=1	2.87	3.76
koivukuitu	r=0	10.71	15.41
	r<=1	0.03	3.76

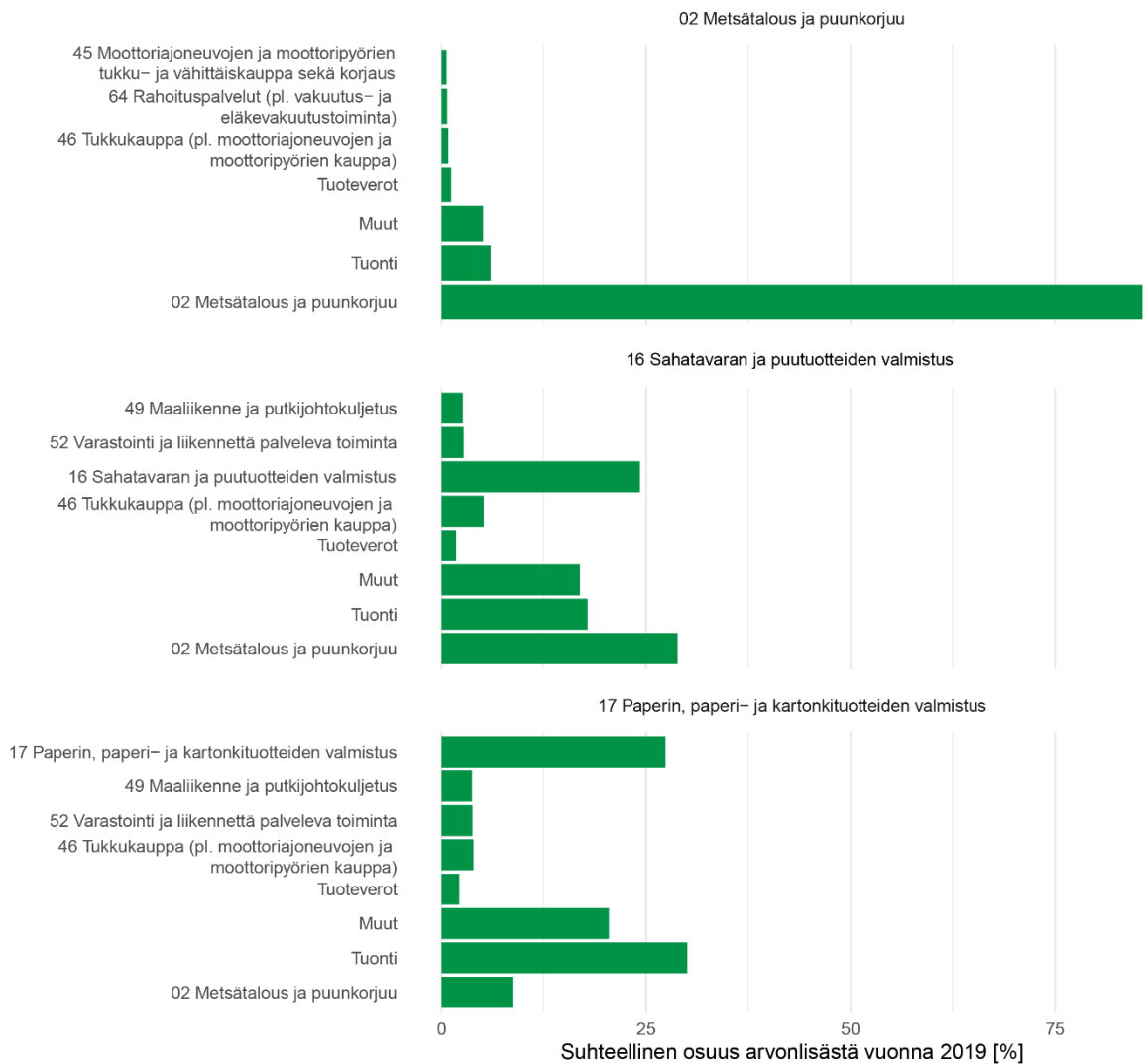
Liite 2. Panos-tuotos malli

Panos-tuotomallissa eri toimialojen tuottamat ja käyttämät tuotteet ovat järjestetty taulukkomuotoon siten että ne kuvaavat talouden sisäisiä virtauksia eri toimialojen välillä. Panos-tuotos taulukot antavat kuvan talouden ja toimialojen kokonaisrakenteesta tietyinä ajan-kohtana, esimerkiksi vuosittain. Mallissa esimerkiksi kokonaistuotannon lisääntyminen johtaa tiettyyn lisäykseen kussakin väliuotekategoriassa, ja näitä käytetään kyseisen tuotoksen tuotannossa. Keskeistä panos-tuotomallien käytössä on oletus siitä, että panoksien käyttö on kiinteässä suhteessa kokonaistuotantoon, eivätkä esimerkiksi työvoiman tai muiden tuotantopanosten saatavuus rajoita tuotannon kasvua.

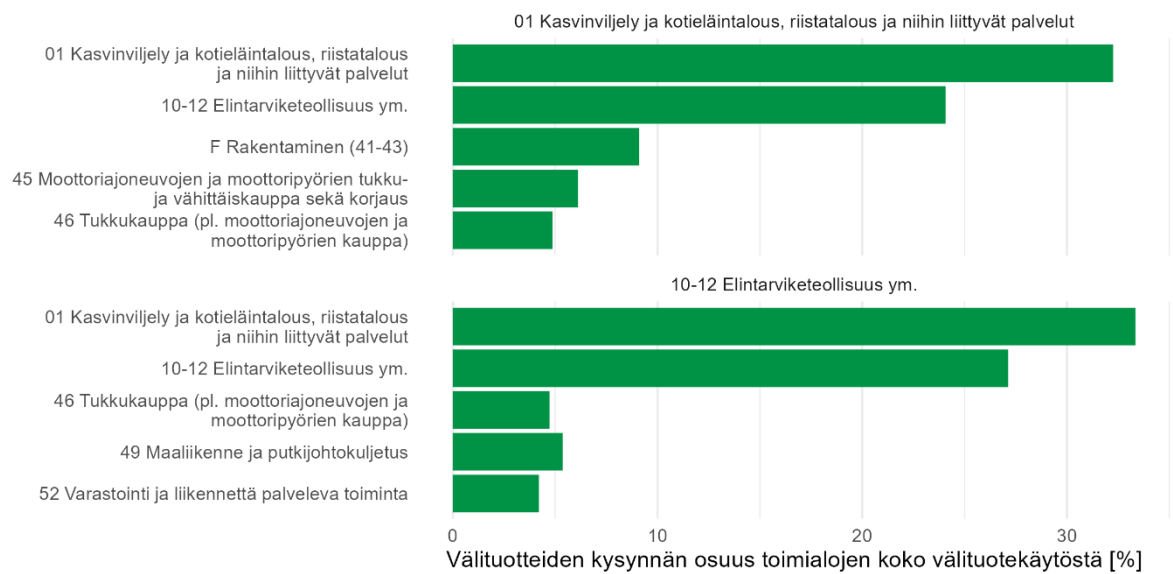
Perinteinen panos-tuotomalli muodostuu toimialojen tuotoksista, lopputuotekysynnästä ja panoskäytöstä, jotka ovat kuvattu yhteismitallisessa yksikössä, yleensä rahallisena arvona. Matriisimuodossa malli on

$$\mathbf{X} = (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}\mathbf{F}$$

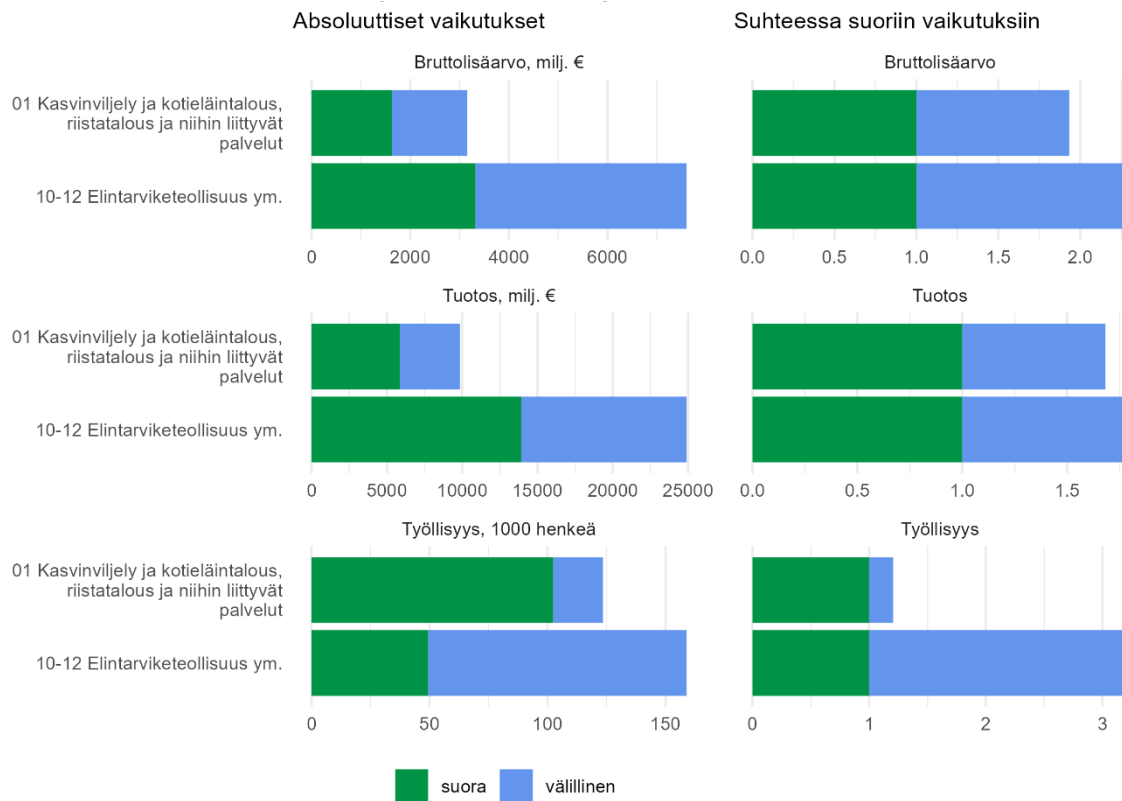
missä \mathbf{X} on toimialojen tuotoksia kuvaava vektori ja \mathbf{F} lopputuotekysyntää kuvaava vektori. Tekijä $(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}$ on ns. Leontiefin käänteismatriisi, missä \mathbf{I} on yksikkömatriisi ja \mathbf{A} on panoskerroinmatriisi, joka kuvaa yhden toimialan tuotosta hyödynnetään toisen toimialan väli-tuotteena. Käänteismatriisin kuvaa, miten muutokset lopputuotannossa vaikuttavat panosten käyttöön eri sektoreilla. Mallin avulla voidaan laskea, esimerkiksi miten tietty prosentuaalinen muutos lopputuotannossa vaikuttaa panosten kysyntään eri sektoreilla, ja arvioida, miten talous reagoi ulkoisiin muutoksiin. Eri toimialojen yhdistämisellä väliuotekäytön kautta voidaan arvioida sekä suorat vaikutukset toimialaan että epäsuorat kerrannaisvaikutukset koko talouden kannalta.



Kuva 1 Arvonmuodostus eri metsätalouteen liittyvien toimialojen (02, 16 ja 17) osalta. Kunkin toimialan osalta on arvioitu kuinka suuri osuus arvonnalisästä syntyy milläkin toimialalla. Suurimmat toimialat kunkin toimialan osalta ovat eritelty omakseen ja loput yhdistetty kategoriaan "Muut".



Kuva 2 Maa- ja elintarviketalouden toimialojen käyttämien välituotteiden kysyntä.



Kuva 3 Suorat ja välilliset arvoketjuvaikutukset kahdella keskeisimmällä maatalouteen liittyvällä toimialalla. Vasemmalla puolella olevat kuvat kertovat absoluuttiset vaikutukset bruttolisäarvon muodostukseen, tuotokseen ja työllisyyteen. Oikean puoleinen sarake kuvaa välillisten vaikutusten suhdetta suoriin vaikutuksiin.

7 Lähteet

- Aapala, K., Tyrväinen, L., Reinikainen, M., Lehtoranta, V., Usva, K., Ojala, O. ja Viher-vaara, P. (2017), Uusia keinoja vetovoimaisen luonnon turvaamiseen, Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 83/2017.
- Brouder, P. ja Eriksson, R. H. (2013), Staying Power: What Influences Micro-firm Survival in Tourism?, *Tourism Geographies* 15(1): 125–144.
- Felton, A., Sonesson, J., Nilsson, U., Lämås, T., Lundmark, T., Nordin, A., Ranius, T. ja Roberge, J.-M. (2017), Varying rotation lengths in northern production forests: Implications for habitats provided by retention and production trees, *Ambio* 46: 324–334.
- Fredman, P. ja Tyrväinen, L. (2010), Frontiers in Nature-Based Tourism, *Scandinavian Journal of Hospitality and Tourism* 10(3): 177–189.
- Granath, G. ja Strengbom, J. (2017), Nitrogen fertilization reduces wild berry production in boreal forests, *Forest Ecology and Management* 390: 119–126.
- Gundersen, V. S. ja Frivold, L. H. (2008), Public preferences for forest structures: A review of quantitative surveys from Finland, Norway and Sweden, *Urban Forestry & Urban Greening* 7(4): 241–258.
- Haakana, M., Haikarainen, S., Henttonen, H., Hirvelä, H., Hynynen, J., Korhonen, K. T., ... Vikfors, S. (2022), Suomen LULUCF-sektorin 2021–2025 velvoitteen toteutuminen, Luonnonvarakeskuksen lausunto maa- ja metsätalousministeriölle.
- Hetemäki, L., Hänninen, R. ja Toppinen, A. (2004), Short-term forecasting models for the Finnish forest sector: lumber exports and sawlog demand, *Forest Science* 50(4): 461–472.
- Husa, M. ja Kosenius, A.-K. (2021), Non-industrial private forest owners' willingness to manage for climate change and biodiversity, *Scandinavian Journal of Forest Research* 36(7–8): 614–625.
- Ilvesniemi, H. ja Kukkola, M. (2017), Kivennäismailla lisäkasvua typpilisäyksellä, teoksessa METSÄ 150 – Metsänkasvatuksen keinot lisätä puuntuotantoa kestävästi ja kannattavasti 39–45., Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 16/2017. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 89 s.
- Issakainen, J. ja Moilanen, M. (1998), Lannoituksen vaikutus puolukka- ja mustikkasatoihin ja marjojen ravinnepitoisuuksiin kangasmailla, *Metsätieteen aikakauskirja* 1998(3).
- Juutinen, A., Ahtikoski, A., Lehtonen, M., Mäkipää, R. ja Ollikainen, M. (2018), The impact of a short-term carbon payment scheme on forest management, *Forest Policy and Economics* 90: 115–127.
- Kalliokoski, T., Bäck, J., Boy, M., Kulmala, M., Kuusinen, N., Mäkelä, A., Minkkinen, K., Minunno, F., Paasonen, P., Peltoniemi, M., Taipale, D., Valsta, L., Vanhatalo, A., Zhou, L., Zhou, P. ja Berninger, F. (2020), Mitigation Impact of Different Harvest Scenarios of Finnish Forests That Account for Albedo, Aerosols, and Trade-Offs of Carbon Sequestration and Avoided Emissions, *Frontiers in Forests and Global Change* 3, 562044.

- Karppinen, H., Hänninen, H. ja Horne, P. (2020), Suomalainen metsänomistaja 2020, Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 30/2020. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 73 s.
- Karppinen, H., Kraama, M., Ovaskainen, V., Hujala, T. ja Leppänen, J. (2016), Metsänomistajien käsitykset metsätalouden kannattavuudesta ja sen mittaamisesta, *Metsätieteen aikakauskirja* 2016(1): 15–32.
- Konu, H. ja Tyrväinen, L. (2020), Matkakohteen luontoympäristön vetovoimaisuuden ylläpitäminen maisema- ja virkistysarvokaupan avulla, *Matkailututkimus* 16: 40–44.
- Kulju, I., Niinistö, T., Peltola, A., Rätty, M., Sauvula-Seppälä, T., Torvelainen, J., Uotila, E. ja Vaahtera, E. (2023), *Metsätalastollinen vuosikirja 2022*, Luonnonvarakeskus.
- Kuusipalo, J. (1988), Factors Affecting the Fruiting of Bilberries: An Analysis of Categorical Data Set, *Vegetatio* 76(1/2): 71–77.
- Laine, A., Ahonen, H.-M., Pakkala, A., Laininen, J., Kulovesi, K. ja Mäntylä, I. (2023), Opas vapaaehtoisten hiilimarkkinoiden hyviin käytäntöihin: Vapaaehtoisten ilmastotokekojen edistäminen ilmastoyksiköillä, *Valtioneuvoston julkaisuja 2023:3*. Verkkosivusto: <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/164604>.
- Laine, A., Airaksinen, J., Ylihelfo, E., Ahonen, H.-M. ja Halonen, M. (2021), Vapaaehtoisten päästökompensaatioiden sääntely, *Ympäristöministeriön julkaisuja 2021:26*. Verkkosivusto: <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/163347>.
- Laininen, J., Ahonen, H.-M., Laine, A. ja Kulovesi, K. (2022), Selvitys - Vapaaehtoiisiin päästökompensaatioihin liittyvät erityiskysymykset, *Ympäristöministeriö*. Verkkosivusto: https://ym.fi/documents/1410903/33891761/Selvitys_Vapaaehtoiisiin+p%C3%A4%C3%A4st%C3%B6kompensaatioihin+liittyv%C3%A4t+erityiskysymykset-FINAL-.pdf/ece9af07-2cf1-e9f3-206f-7c8bbc90d4c5/Selvitys_Vapaaehtoiisiin+p%C3%A4%C3%A4st%C3%B6kompensaatioihin+liittyv%C3%A4t+erityiskysymykset-FINAL-.pdf?t=1664526153936.
- Laturi, J., Aalto, L., Forsman-Hugg, S., Horne, P., Laine, A., Kinnunen, P., Korhonen, O., Kujala, P., Noro, K., Mäntylä, I. ja Valonen, M. (2023), Vapaaehtoiset hiilimarkkinat maankäyttösektorilla - kehitys, kysyntä ja toimenpiteet Suomessa, *PTT raportteja* 285.
- Laturi, J., Aalto, L., Horne, P., Kinnunen, P., Kujala, P. ja Sen, T. (2022), Maankäyttösektorin ilmastosuunnitelman kustannusvaikutusten arviointi, *PTT raportteja* 273.
- Lehto, T. ja Ilvesniemi, H. (2023), Metsänlannoitus nyt ja tulevaisuudessa: Synteesiraportti, *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 56/2023*. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 146 s.
- Lehto, T., Salminen, H., Ilvesniemi, H. ja Hökkä, H. (2023), Lannoitusajankohta. Julkaisussa: Lehto, T. & Ilvesniemi, H. (toim.) 2023. *Metsänlannoitus nyt ja tulevaisuudessa : Synteesiraportti.*, *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 56/2023*. Luonnonvarakeskus. Helsinki. s. 38-40.
- 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. ja Mäkipää, R. (2021), *Maankäyt-*

- tösektorin ilmastotoimenpiteet: Arvio päästövähennysmahdollisuuksista, Luonnonvarakeskus Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 7/2021. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 121 s.
- Lerner, M. ja Haber, S. (2001), Performance factors of small tourism ventures: The interface of tourism, entrepreneurship and the environment, *Journal of Business Venturing* 16(1): 77–100.
- Luke: Metsävarat, (2023), Puuston keskitilavuus puuntuotannon metsämaalla kehitysluokittain. Luke Tilastotietokanta. Verkkosivusto: <https://statdb.luke.fi/PXWeb/pxweb/fi/LUKE/>.
- Luke: Teollisuuspuun kauppa, (2023), Vuositilastot. 2023. Luke Tilastotietokanta. Verkkosivusto: <https://statdb.luke.fi/PXWeb/pxweb/fi/LUKE/>.
- Lundberg, C. ja Fredman, P. (2012), Success factors and constraints among nature-based tourism entrepreneurs, *Current Issues in Tourism* 15(7): 649–671.
- Lundmark, T., Poudel, B., Stål, G., Nordin, A. ja Sonesson, J. (2018), Carbon balance in production forestry in relation to rotation length, *Canadian Journal of Forest Research* 48 (6): 672–678.
- Margaryan, L. (2016), Nature as a commercial setting: the case of nature-based tourism providers in Sweden, *Current Issues in Tourism* 21(16): 1893–1911.
- Miina, J., Hotanen, J.-P. ja Salo, K. (2009), Modelling the abundance and temporal variation in the production of bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) in Finnish mineral soil forests, *Silva Fennica* 43(4).
- Miina, J., Kurttila, M. ja Salo, K. (2013), Kauppasienisadot itäsuomalaisissa kuusikoissa - koealaverkosto ja tuloksia vuosilta 2010-2012. Working Papers of the Finnish Forest Research Institute 266. 30 p.
- Miina, J., Tolvanen, A., Kumpula, J. ja Tyrväinen, L. (2020), Metsien luonnontuotteet, virkistyskäyttö ja porolaitumet jatkuvapeitteisessä ja jaksollisessa kasvatuksessa, *Metsätieteen aikakauskirja* 2020(10345).
- Miller, R. E. ja Blair, P. D. (2021), *Input-Output Analysis: Foundations and Extensions* 3. painos. Cambridge University Press, Cambridge, UK ; New York.
- MMM (2022a), Kansallinen ilmastonmuutokseen sopeutumissuunnitelma 2030 (KISS2030), Verkkosivusto: <https://mmm.fi/hanke2?tunnus=MMM035:00/2021>.
- MMM (2022b), Valtioneuvoston selonteko maankäyttösektorin ilmastosuunnitelmasta (MISU), Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja 2022:15. Verkkosivusto: <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/164301>.
- MMM (2023), Kansallinen metsästrategia 2035, Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja 2023:22. Verkkosivusto: <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/165182>.
- Moilanen, M., Hytönen, J., Hökkä, H. ja Ahtikoski, A. (2015), Fertilization increased growth of Scots pine and financial performance of forest management in a drained peatland in Finland, *Silva Fennica* 49(3).
- Mäntymaa, E., Tyrväinen, L., Juutinen, A. ja Kurttila, M. (2021), Importance of forest landscape quality for companies operating in nature tourism areas, *Land Use Policy* 107: 104095.

- Neuvonen, M., Lankia, T., Kangas, K., Koivula, J., Nieminen, M., Sepponen, A.-M., Store, R. ja Tyrväinen, L. (2022), Luonnon virkistyskäyttö 2020, Luonnonvarakeskus (Luke) Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 41/2022.
- Ohenoja (1988a), Effect of forest management procedures on fungal fruit body production in Finland, *Acta Botanica Fennica* 136: 81–84.
- Ohenoja, E. (1988b), Behaviour of mycorrhizal fungi in fertilized forests, *Karstenia* 28(1): 27–30.
- Peltoniemi, M., Huttunen, S., Hyyrynen, M., Similä, J., Halonen, K.-M., Haltia, E., Leppänen, J., Pohjola, J., Tikkanen, V.-M., Arola, T., Assmuth, A., Autto, H., Lehto, T., Lonkila, A., Pitzén, S., Uusivuori, J., Vesala, J., Viitala, E.-J. ja Lintunen, J. (2023), Hiilinieluja ja ilmastohyötyjä hallituin riskein: Metsäsektorin ohjauskeinojen monitieteinen analyysi., Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 110/2023. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 164 s.
- Pihlainen, S., Tahvonen, O. ja Niinimäki, S. (2014), The economics of timber and bioenergy production and carbon storage in Scots pine stands, *Canadian Journal of Forest Research* 44(9): 1091–1102.
- PTT (2023), Hiilimarkkinoiden tilasto 2023, alkuvuosi: Myytyjen yksiköiden määrä väheni verrattuna viime vuoteen. Verkkosivusto: <https://www.ptt.fi/hiilimarkkinoiden-tilasto-2023-alkuvuosi-myytyjen-yksikoiden-maara-vaheni-verrattuna-viime-vuoteen/>.
- Pukkala, T. (2017), Optimal nitrogen fertilization of boreal conifer forest, *Forest Ecosystems* 4(1): 1–10.
- Roberge, J.-M., Öhman, K., Lämås, T., Felton, A., Ranius, T., Lundmark, T. ja Nordin, A. (2018), Modified forest rotation lengths: Long-term effects on landscape-scale habitat availability for specialized species, *Journal of Environmental Management* 210: 1–9.
- Ruokavirasto (2022), Luonnonmarjojen ja –sienten kauppaantulomäärät, MARSII-raportit 2013-2022.
- Silvennoinen, H. (2017), Metsämaiseman kauneus ja metsänhoidon vaikutus koettuun maisemaan metsikkötasolla, *Dissertationes Forestales* 2017(242).
- Simkin, J., Ojala, A. ja Tyrväinen, L. (2021), The Perceived Restorativeness of Differently Managed Forests and Its Association with Forest Qualities and Individual Variables: A Field Experiment, *International Journal of Environmental Research and Public Health* 18: 422.
- SVT, Kansantalouden tarjonta-, käyttö- sekä panos-tuotostaulukot (2023) [verkkajulkaisu]. Suomen virallinen tilasto, Helsinki: Tilastokeskus, Saantitapa: <https://stat.fi/tilasto/pt>.
- SVT, Metsänhoito- ja perusparannustyöt (2023), Hakkuupinta-alat maakunnittain (metsänkäyttöilmoituksista) [verkkajulkaisu]. Suomen virallinen tilasto, Helsinki: Luonnonvarakeskus.
- SVT, Metsäteollisuuden ulkomaankauppa (2023), Ulkomaankauppa maittain vuosittain [verkkajulkaisu]. Suomen virallinen tilasto, Helsinki: Luonnonvarakeskus.
- SVT, Puun markkinahakkuut, (2023), Vuositilastot 2023 [verkkajulkaisu]. Suomen virallinen tilasto, Helsinki: Luonnonvarakeskus.

- Tahvanainen, V., Miina, J., Kurttila, M. ja Salo, K. (2016), Modelling the yields of marketed mushrooms in *Picea abies* stands in eastern Finland, *Forest Ecology and Management* 362: 79–88.
- Tahvanainen, V., Miina, J., Pukkala, T. ja Kurttila, M. (2018), Optimizing the joint production of timber and marketed mushrooms in *Picea abies* stands in eastern Finland, *Journal of Forest Economics* 32: 34–41.
- TEM (2022), Hiilineutraali Suomi 2035 – kansallinen ilmasto- ja energiastrategia, Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja 2022:53. Verkkosivusto: <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/164321>.
- Tolvanen, A. (1994), Differences in recovery between a deciduous and an evergreen ericaceous clonal dwarf shrub after simulated aboveground herbivory and belowground damage, *Canadian Journal of Botany* 72(6): 853–859.
- Tonteri, T., Salemaa, M., Rautio, P., Hallikainen, V., Korpela, L. ja Merilä, P. (2016), Forest management regulates temporal change in the cover of boreal plant species, *Forest Ecology and Management* 381: 115–124.
- TSVCM (2021), Taskforce on scaling voluntary carbon markets, Final report, Verkkosivusto: https://www.iif.com/Portals/1/Files/TSVCM_Report.pdf.
- Tyrväinen, L., Silvennoinen, H. ja Hallikainen, V. (2017), Effect of the Season and Forest Management on the Visual Quality of the Nature-based Tourism Environment: A case from Finnish Lapland, *Scandinavian Journal of Forest Research* 32: 1–33.
- Tyrväinen, L., Silvennoinen, H., Nousiainen, I. ja Tahvanainen, L. (2001), Rural Tourism in Finland: Tourists' Expectation of Landscape and Environment, *Scandinavian Journal of Hospitality and Tourism* 1(2): 133–149.
- Uusitalo, M. (2017), How to maintain naturalness in nature-based tourism resorts? : approaches to assessments of landscape quality for tourism planning, University of Lapland, *Acta Universitatis Lapponiensis* 351.
- Valtioneuvosto (2022), Suomen biotalousstrategia. Kestävästi kohti korkeampaa arvonlisää, Valtioneuvoston julkaisuja 2022:3. Verkkosivusto: https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/163967/VN_2022_3.pdf?sequence=4&isAllowed=y.
- Valtioneuvosto (2023), Kansallinen luonnon monimuotoisuus -strategia, Verkkosivusto: <https://valtioneuvosto.fi/hanke?tunnus=YM039:00/2021>.
- Viitala, E.-J., Assmuth, A., Koikkalainen, K., Miettinen, A., Mutanen, A., Wall, A., Wejberg, H. ja Lehtonen, H. (2022), Maa- ja metsätalouden kannustinjärjestelmien ilmastovaikutukset, Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 21/2022. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 97 s.
- Väre, H., Ohenoja, E. ja Ohtonen, R. (1996), Macrofungi of oligotrophic Scots pine forests in northern Finland, *Karstenia* 36: 1–18.
- Väättäin, K., Sirparanta, E., Räisänen, M. ja Tahvanainen, T. (2011), The costs and profitability of using granulated wood ash as a forest fertilizer in drained peatland forests, *Biomass and Bioenergy* 35(8): 3335–3341.
- YM (2022), Jo lähes 90 prosenttia METSO-ohjelman suojelutavoitteesta saavutettu - ympäristötukiin ja luonnonhoitoon tarvitaan lisää rahoitusta, Verkkosivusto:

<https://ym.fi/-/jo-lahes-90-prosenttia-metso-ohjelman-suojelutavoitteesta-saavutettu-ymparistotukiin-ja-luonnonhoitoon-tarvitaan-lisaa-rahoitusta> (viitattu 14.3.2023).

