

Kansantaloudellisesti tasapainoinen nielupolku Suomen hiilineutraaliustavoitteen saavuttamiseen

LUONNOSVERSIO 28.8.2025, SISÄLTÖ JA KUVAT TARKENTUVAT.

Tiivistelmä	1
1 Johdanto	1
2 Tarkasteltavat toimet, ohjauskeinot ja lähestymistapa	4
2.1 Valitut nielua vahvistavat toimenpiteet	4
2.2 Taloudellisen laskennan toteuttaminen	7
3 Metsänielun kasvattamisen keinot ja niiden kustannusvaikuttavuus metsätaloudessa	8
3.1 Metsien käytön perusura: 73 Mm3 hakataan vuosittain	8
3.2 Metsälain uudistaminen	11
3.3 Hiilivuokramekanismi	14
3.4 Valtion metsien hakkuiden supistaminen	17
4 Päästövähennyksiä edistävät ja nielua vahvistavat toimet muilla sektoreilla	20
4.1 Sähkökattilat korvaamaan puuta kaukolämmön tuotannossa	20
4.2 Biogeenisen hiilidioksidin talteenotto ja varastointi	23
4.3 ITMOjen käyttö ja hankinta: kustannustehokkuus ja realisoituneiden riskien hallinta	25
5 Sektorikohtaiset toimet: yhteenvedo nielu- ja talousvaikutuksista	26
6 Toimenpiteiden kansantaloudelliset vaikutukset ja nielupolku hiilineutraaliuteen 2035	30
6.1 Bruttokansantuotteen perusura	30
6.2. Metsänielun vahvistamiskeinojen kansantaloudelliset vaikutukset	33
6.3 Päästövähennyksiä edistävät ja nielua vahvistavat toimet muilla sektoreilla	40
6.4 Valittujen toimien vertailu ja nielupolku hiilineutraaliuteen	47
7 Tarkastelun johtopäätökset ja suositukset /TARKENTUU/	52

Tiivistelmä

Tämän raportin tavoitteena on etsiä kansantaloudellisesti toteuttamiskelpoisimmat tavat kasvattaa maankäyttösektorin ja teknologista hiilinielua siten, että Suomi saavuttaa vuoden 2035

hiilineutraaliustavoitteen. Samalla selvitys vastaa kysymyksiin: Onko hiilineutraaliustavoite enää saavutettavissa? Tuleeko tavoitteen saavuttaminen kalliiksi? Pitääkö taloudellista kasvua uhrata tavoitteen saavuttamiseksi?

Metsänielua koskevinä toimina tarkastellaan metsälain uudistamista Tapion hyvän metsänhoidon suositusten mukaiseksi, hiilivuokramekanismin luomista korvaamaan metsänomistajille hiilensidontaa sekä valtion metsien hakkuiden lievää rajoittamista. Vihreän siirtymän toimia ovat energiasektorin siirtyminen sähkökattiloihin sekä biogeenisen hiilidioksidin talteenoton ja varastoinnin edistäminen, mikä jouduttaisi myös vetytalouden ratkaisuja. Turpeen hajoamisen ennakoimatonta nopeutumista kompensoidaan hankkimalla Pariisin sopimuksen mukaisia sertifioituja hiilikrediittiyksiköitä, ITMOja (Internationally Transferred Mitigation Outcomes).

Valituilla toimilla uutta nielua syntyy 20 Mt ja muiden ohjelmien kautta lisänielua tulee noin 3Mt. Maankäyttösektorin ilmastosuunnitelman ennakoitua maaperäpäästöt 2030–2035 ovat 9 Mt, joten nettוניeluksi saadaan 14 Mt, mikä vastaa ennakoitujen fossiilipäästöjen (14–18 Mt) alarajaa vuonna 2035. Täten päättäväinen fossiilipäästöjen väheneminen on myös tarpeen tukemaan hiilineutraaliustavoitetta.

Yleisellä tasapainomallilla tehty analyysi osoittaa, että valituista toimista syntyvä nielupolku voimistaa kansantuotteen kasvun tarkasteluperiodin loppuun noin 2 miljardia suuremmaksi kuin perusurassa. Kasvun lisäyksen lähteenä ovat vihreän siirtymän investointien tuoma tuottavuuden ja materiaalihokkuuden kasvu. Sähkökattiloihin investointi vapauttaa polttoon menevää kuitupuuta metsätalouden käyttöön. Tapion suositusten noudattaminen voimistaa nielun ohella metsätalouden kestävyttä ja monimuotoisuutta, ja pysäyttää järeän puun vähenemisen.

Tutkimuksesta voidaan tehdä kaksi johtopäätöstä:

Suomeen on luotavissa nielupolku, jolla on realistista saavuttaa hiilineutraalius vuonna 2035.

Hiilineutraaliuden saavuttaminen vahvistaa kansantalouden kasvua ja metsätalouden kestävyttä.

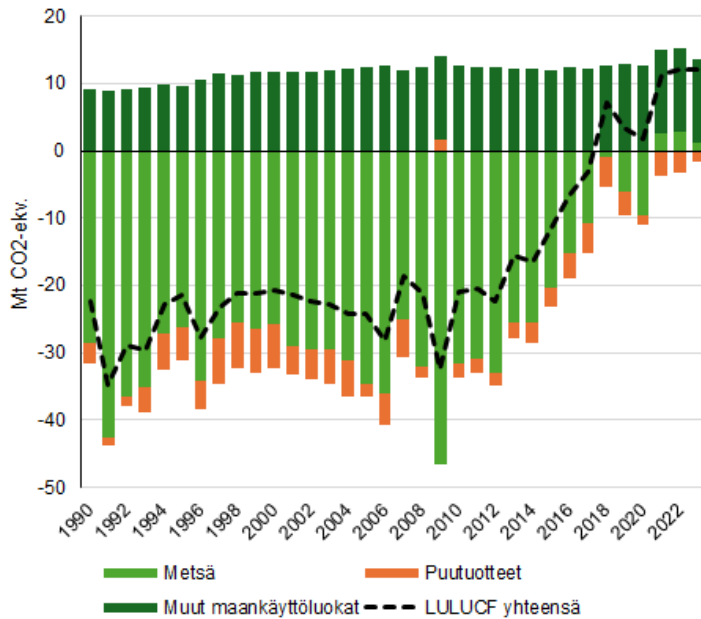
1 Johdanto

Ilmastolain mukaan Suomen kasvihuonekaasujen päästöjen tulee olla enintään yhtä suuret kuin poistumat viimeistään vuonna 2035. Lisäksi poistumien määrän tulee kasvaa ja päästöjen vähentyä myös sen jälkeen. Suomen tavoite johdettiin Pariisin ilmastopimuksen sitoumusten mukaiseksi panokseksi globaaleihin ilmastotoimiin ja siitä puhutaan termillä hiilineutraaliustavoite. Ilmastolain päästövähennystavoitteet hahmottavat vähennyspolun fossiilisille- ja prosessipäästöille. Päästöt saavat olla korkeintaan 28 Mt vuonna 2030 ja 14 Mt vuonna 2040. Laki ei aseta erillistä tavoitetta nielulle, eli hiilidioksidin poistolle ilmakehästä. Hiilineutraalius edellyttää kuitenkin, että hiilidioksidin poistot ilmakehästä ovat yhtä suuret kuin ilmakehään laskettavat kasvihuonekaasupäästöt vuonna 2035. Tällöin Suomi ei enää jouduta ilmastomuutosta.

Suomen fossiiliset ja prosessiperäiset päästöt ovat vähentyneet viime vuosina nopeasti ennen muuta EU:n päästökaupan ja energiasektorin päästöjen vähentymisen ansiosta. Vuodesta 2015 lähtien päästöt ovat laskeneet 55 miljoonasta tonnista 38,8 miljoonaan tonniin vuonna 2024 (keskimääräinen vähennys 1,8 Mt/vuosi). Suomen maankäyttösektorin (LULUCF) nettוניelun kehitys on ollut

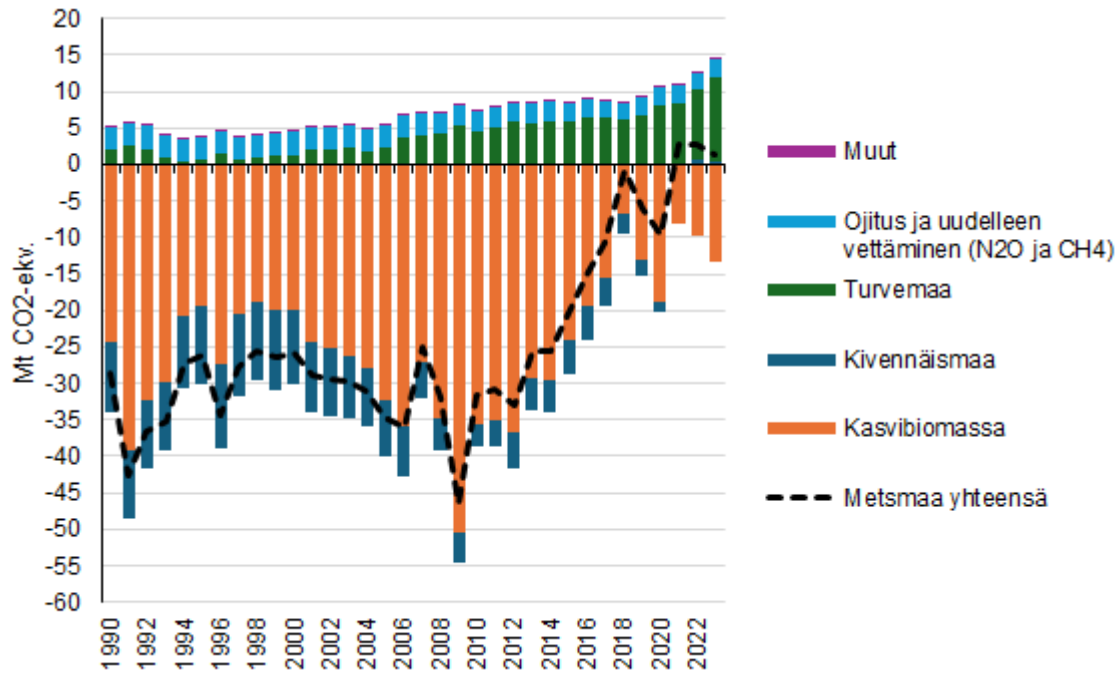
päinvastainen: kun nettonielu oli vuonna 2015 –11,3 Mt, se on sulanut kokonaan ja oli vuonna 2023 päästölähde, +12 Mt. Huomionarvoisaa on, että jopa metsät ovat muuttuneet päästölähteeksi ollen 1,2 Mt vuonna 2023 (Suomen virallinen tilasto (SVT): Kasvihuonekaasut). Kuva 1 havainnollistaa koko maankäyttösektorin nettonielun kehitystä.

Kuva 1. Maankäyttösektorin päästöjen ja poistumien kehitys 1990–2023. Kuvan kategoria ”Muut maankäyttöluokat” sisältää viljelysmaan, ruohikkoalueiden, kosteikkojen ja rakennettujen alueiden päästöt ja poistumat.



Maankäyttösektorin nettonielun sulamiseen on useita syitä. Hakkuut ja puun energiakäyttö ovat kasvaneet merkittävästi. Myös intensiiviset ensiharvennukset, metsien kasvun hidastuminen, kivennäismaan maaperän hiilivaraston kasvun pysähtyminen sekä turpeen hajoamisen kiihtyminen suometsissä ovat heikentäneet nielua. Toisaalta Suomi ei ole tarttunut toimiin maaperäpäästöjen vähentämiseksi, esimerkiksi turvepelloilta ja turpeenottoalueilta, ja on sallinut metsäkadon jatkuvan. Täten nettonielun sulamista ehkäisevät tekijät ovat puuttuneet. Kuvasta 2 ilmenee hyvin, että puustoon sidottu hiilinielu on supistunut korkeiden hakkuutasojen myötä ja maaperäpäästöt kasvaneet hakkuiden ja turpeen hajoamisen kiihtymisen myötä. Jälkimmäinen kehityskulku on ollut yllätyksellisen nopea. Menetelmäkehityksen myötä tilastot voivat päivittyä takautuvasti myös tulevaisuudessa, mutta ei ole odotettavissa, että menetelmäkehitys muuttaisi nettonielun laskutrendin nousutrendiksi.

Kuva 2. Metsämaa-luokan päästöt ja nielut 1990–2023.



LULUCF-nielun pienentyessä vihreän siirtymän edistyminen on luomassa uusia mahdollisuuksia kasvattaa teknologista nielua hiilidioksidin talteenoton, hiiltä sitovien rakennusmateriaalien sekä biohiilen käytön kautta. Sähkökattiloiden markkinaehtoinen yleistymisen mahdollistaa myös tällä hetkellä polttoon menevän kuitupuun palaamisen metsäteollisuuden käyttöön. Näiden toimien edistäminen voimistaa yhtä aikaa taloudellista kasvua ja lisää hiilinielua. Hiilineutraaliuden saavuttamisen edellyttämää hiilen sidontaa onkin perusteltua tarkastella maankäyttösektorin ja teknologisen nielun summana, kuten Ilmastopaneelin raportit ovat nielun suhteen usein korostaneet (Suomen ilmastopaneeli 2021 ja 2023).

Nielun kasvattaminen kaikkien edullisesti käsillä olevien keinojen kautta onkin tarpeen, jotta vuoden 2035 hiilineutraaliustavoite saavutetaan. Hiilineutraaliustavoite on paitsi Suomen reilu osuus Pariisin ilmastopöytäkirjan mukaisiin sitoumuksiin, myös olennainen osa Suomen maabrändiä ja se on lisännyt ulkomaista puhtaiden ratkaisujen kysyntää Suomen teollisuudelta.

Päästövähennysten nopeus vaikuttaa siihen, kuinka suuri nielu tarvitaan vuonna 2035. Mitä enemmän vähennetään päästöjä, sitä pienempi nielu on tarpeen hiilineutraaliuden saavuttamiseen. Suomen fossiilipäästöjen voi odottaa vähenevän voimakkaasti vuoteen 2035. Nykypäätösten valossa sähkön ja lämmön tuotannon päästöt eliminoidaan kokonaan, samoin useimpien prosessiteollisuuden yritysten päästöt. Suurimmiksi päästölähteiksi jäävät liikenne ja maatalous. Tässä raportissa nojataan arvioon, että päästöjen kokonaismäärän on vuonna 2035 noin 14–18 Mt vuonna 2035 (Ilmastopaneeli 2023). Päästöt ovat siten selvästi alhaisemmalla tasolla kuin mihin Ilmastolain edellyttämä lineaarinen päästövähennyspolku vuosien 2030 ja 2040 tavoitteiden välillä johtaisi (2035 taso 21 Mt), mikä vähentää hiilineutraaliuden saavuttamiseen tarvittavan nielun suuruutta.

Sanottu osoittaa, että hiilineutraaliustavoitteen saavuttamiseen tarvittava nielu on endogeeninen ja riippuu ilmastopolitiikan kokonaisuudesta. Suomi voi pyrkiä hiilineutraaliustavoitteeseen useilla eri tavoilla. Päästöjen osalta nykyistä ilmastopolitiikkaa voidaan entisestään tehostaa erityisesti

erillislämmityksen (1,6 Mt), työkoneiden (2,4 Mt), liikenteen (9,3 Mt) ja maatalouden (6,2 Mt) päästöjen vähentämiseksi. Vanhojen turpeenottoalueiden vettäminen ja metsäkadon lopettaminen ovat varsin edullisia keinoja LULUCF-nettonielun voimistamiseen, ja kumpikin edistää luonnon monimuotoisuuden suojelua (Suomen ilmastopaneelin raportti 2022) Myös metsänielua voidaan vahvistaa suhteellisen edullisin toimin, kuten tässä raportissa osoitetaan. EU:n ennallistamisasetuksen toimeenpano luonnon monimuotoisuuden voimistamiseksi erityisesti turvemaiden tarjoaa toisen kanavan turvemaiden maaperäpäästöjen vähentämiseen. Teknologisten nielujen luominen on uusi mahdollisuus ja siihen tarttuminen jouduttaisi laajemminkin hiilidioksidin talteenottoa ja edistäisi vihreää siirtymää ja fossiilisten polttoaineiden korvaamista vetypohjaisten ratkaisujen avulla.

Tämän raportin tavoitteena on etsiä kansantaloudellisesti edullisimmat ja toteuttamiskelpoisimmat tavat kasvattaa metsien (maankäyttösektorin) ja teknologista hiilinielua niin, että Suomi saavuttaa vuoden 2035 hiilineutraaliustavoitteen. Samalla se vastaa useisiin julkisuudessa esitettyihin kysymyksiin, kuten

- Onko hiilineutraaliustavoite enää saavutettavissa?
- Tuleeko tavoitteen saavuttaminen kalliiksi?
- Pitääkö taloudellista kasvua uhrata hiilineutraaliustavoitteen saavuttamiseksi?

Suomella on myös maankäyttösektorin nettonielua ja taakanjakosektorin päästöjä koskevia EU-velvoitteita. Näiden velvoitteiden tarkastelu sivuutetaan tässä ja keskitytään Suomen oman tavoitteen saavuttamiseen.¹

Metsätalouden osalta tarkasteluun valitaan metsälain uudistaminen, positiivisten taloudellisten kannustimien, hiilivuokramekanismin, luominen metsänielun voimistamiseksi sekä valtion metsien hakkuiden lievä rajoittaminen. Vihreää siirtymää edistävinä toimina tarkastellaan energiasektorin nopeutettua siirtymistä sähkökattiloihin, jotta kuitupuu ohjataan nykyistä paremmin energiakäyttöä metsäteollisuuden käyttöön. Teknologisten nielujen osalta tarkastellaan biogeenisen hiilidioksidin talteenottoa ja varastointia, mikä jouduttaa samanaikaisesti hiilidioksidin talteenoton hyödyntämistä vetytalouden ratkaisuihin ja niiden myötä kasvuvaikutuksia kansantalouteen. Suhteessa mallinnuksen nielua koskevaan epävarmuuteen, toimet teknologisen nielun vahvistamiseksi tuottavat jokseenkin varmaa nielua. Turpeen hajoamisen ennakoimatonta nopeutumista kompensoidaan hankkimalla Pariisin sopimuksen mukaisia hiilikrediittiyksiköitä, ITMOja (engl. Internationally Transferred Mitigation Outcomes).

Nielupolkua analysoidaan ensiksi sektoritarkasteluna, josta johdetaan kustannusvaikuttavuusluvut kullekin valitulle toimenpiteelle. Sen jälkeen toimenpiteiden vaikutukset ja kokonaiskustannukset syötetään yleisen tasapainon malliin, jossa voidaan määrittää toimien kansantaloudelliset vaikutukset. *Tarkastelussa kiinnitetään erityistä huomiota metsäteollisuuden käyttöön tulevaan kuitu- ja tukkipuun määrään, koska metsäteollisuudella on erityisesti vientitulojen suhteen suuri kansantaloudellinen merkitys.* Teknologisten ratkaisujen ottaminen mukaan nielupolkuun on strateginen elinkeinopoliittinen toimi, investointi, vihreän siirtymän edistämiseksi ja samalla se luo nielua ja keventää merkittävästi rasisitusta, joka hiilinielupolusta muutoin syntyisi metsäteollisuudelle.

¹ Velvoitteita tarkastellaan mm. vuosittain annettavassa Ilmastovuosikertomuksessa. Taakanjakosektori: <https://ym.fi/ilmastovuosikertomus-2025#/4/2> Maankäyttösektori: <https://ym.fi/ilmastovuosikertomus-2025#/4/3>

2 Tarkasteltavat toimet, ohjauskeinot ja lähestymistapa

Kun lähtökohdaksi otetaan arvio vuoden 2035 päästöjen määrästä (14–18 Mt), tarvitaan nettonielua samaa määrä vuonna 2035. Tämä tarkoittaa nielua vahvistavia nykytilaan (maankäyttösektorin nettopäästöt +12 Mt v. 2023) nähden noin 25 Mt, kun maaperäpäästöt muilta kuin metsämaalta ovat Maankäyttösektorin ilmastosuunnitelman mukaisesti 9 Mt vuosina 2030–2035. Seuraavassa kuvataan lähemmin tarkasteluun otettavat keinot metsänielun tai teknologisen nielun vahvistamiseen sekä kuvataan laskennan peruseräpäätökset.

2.1 Valitut nielua vahvistavat toimenpiteet

Metsälain uudistaminen: Tapion hyvän metsänhoidon suositukset pakolliseksi

Tapion hyvän metsänhoidon suositukset tarjoavat parhaita ja kokeiltuja keinoja suomalaisen metsän kestäväan ja pitkäjänteiseen hoitoon (Äijälä ym. 2014). Suositukset ovat metsäammattilaisten kehittämia ja niiden tavoitteena vahvistaa metsien tuottopotentialiaa kunkin metsänomistajan tavoitteiden mukaisesti. Suositukset koskevat muun muassa harvennusten ja päätehakkuiden minimiikää ja minimikokoa. Niiden noudattaminen on ollut tähän saakka vapaaehtoista, eikä niitä läheskään aina ole noudatettu. Tutkijat ovat kiinnittäneet huomiota siihen, että erityisesti viime aikoina metsien ensiharvennukset ovat olleet erittäin intensiivisiä ja puut hakataan aiempaa merkittävästi nuorempina, jolloin metsästä ei saada käyttöön sen koko kasvupotentiaalia.

On myös syytä huomata, että useimmissa Etelä- ja Keski-Suomen maakunnissa on jo vuosia hakattu enemmän kuin kestävästi ylläpidettävä aines- ja energiapuun hakkuutaso sallisi (79,8 miljoonaa kuutiometriä runkopuuta vuodessa 10-vuotiskaudella 2019–2028, LUKE <https://www.luke.fi/fi/tilastot/hakkuukertyma-ja-puuston-poistuma/hakkuukertyma-ja-puuston-poistuma-alueittain-2024>). Tämä kehitys on syönyt Etelä- ja Keski-Suomen parasta metsänkasvua ja hiilinielua, eikä täytä metsätalouden pitkäaikaisen kestävyuden vaatimusta. Jatkuessaan tämä kehitys uhkaa myös heikentää metsäteollisuuden raaka-ainepohjaa, millä olisi merkittäviä kielteisiä taloudellisia seurauksia.

Ratkaisuksi kestävyysuositusten sivuuttamiselle on ehdotettu metsälain uudistusta. Metsälakiin voitaisiin kirjata Tapion hyvän metsänhoidon suositukset kaikkia sitoviksi. Lain avulla voitaisiin voimistaa hyvää metsänhoitoa, mikä vähentää liian voimakkaiksi ensiharvennuksia sekä pidentää kiertoaikaa ja järeyyttää puustoa samalla, kun metsien tuottopotentialia kasvaa. Lakiuudistuksen etuna on, että Tapion suositukset tähtäävät juuri parhaisiin metsänhoitokäytäntöihin ja metsien tuottopotentialin hyödyntämiseen, sillä tämä on metsänomistajan etu. Lainuudistuksen sivuhyötynä myös nielu vahvistuu, vaikka se ei ole uudistuksen päätavoite.

Hiilivuokramekanismi korvaukseksi metsänomistajille hiilensidonnasta

Hiilivuokramekanismi on taloudellinen ohjauskeino, jolla tähdätään nimenomaisesti metsien hiilinielun voimistamiseen. Se palkitsee metsänomistajia rahallisesti hiilensidonnasta metsiin, jolloin hiilinielun huomioivasta metsänhoidosta tulee omistajalle taloudellisesti kannattavaa toimintaa, eikä yksityismetsätalouden kannattavuus heikkene. Ohjauskeino on taloustieteellisesti perusteltu, sillä sitoessaan hiiltä metsäänsä metsänomistaja tuottaa yhteiskunnalle positiivisen ulkoisvaikutuksen

(Lintunen ym. 2016). Hiilivuokramekanismi voi olla vapaaehtoinen tai pakollinen. Tässä selvityksessä tarkastellaan vapaaehtoista järjestelmää, eli metsänomistaja osallistuu siihen vain, jos kokee korvauksen itselleen kannattavaksi. Hiilivuokraa maksetaan vuosittain. Se kannustaa metsänomistajia vähentämään harvennusten intensiteettiä ja lykkäämään päätehakkuita (esim. Pohjola et al. 2018).

Järjestelmän ollessa vapaaehtoinen hakkuut voivat kuitenkin kasvaa niiden metsänomistajien parissa, jotka eivät osallistu järjestelmään, sillä puun hintaan tulee nousupainetta. Hakkuu- ja hiilivuodon voimakkuudesta on tarpeen tehdä vaihtoehtoisia oletuksia. Hiilivuoto vähentää mekanismin tuottamaa nielua. Suomessa ei ole tutkimusta, jonka nojalla voisi päätellä osallistumishalukkuutta juuri tähän mekanismiin. Toisaalta metsänomistajat osallistuvat varsin aktiivisesti metsien suojeluun METSO-ohjelman kautta. Laskennassa tehdään eksogeenisiä oletuksia osallistumisasteen suhteen. Hiilivuokrajärjestelmän etuja ovat paitsi hiilinielun hinnoittelu, erityisesti se, että hiilivuokra palkitsee metsänomistajia hiilinielun tuottamisesta ja lisää ilmastopoliittikan hyväksyttävyyttä.

Valtionmetsien hakkuiden tilapäinen supistaminen

Valtio voi vaikuttaa metsänieluun rajoittamalla omien metsiensä hakkuita, mitä on toisinaan julkisuudessa esitetty. Yllä mainittuja toimia täydentävänä analysoidaan vaikutuksia, kun valtion metsien hakkuita supistetaan 2 Mm³ koko tarkastelujakson ajan (2027–2037). Myös tässä tapauksessa tulee ottaa huomioon, että valtionmetsien hakkuiden supistuminen aiheuttaa nousupainetta puun hinnan nousulle ja hakkuuvuotoa yksityismetsiin. Vuodon suuruudesta tehdään arvioita ja se otetaan huomioon tarkasteluissa.

Sähkökattilainvestoinnit kuitupuun energiapolton vähentämiseksi

Puun polttaminen erityisesti lämmöksi on ollut energiateollisuudelle hyvin tärkeä keino syrjäyttää kivihiilen ja turpeen päästöt ja niistä koituva päästöoikeuksien hankinnan kustannus. Puun energiapoltto on ollut siten hyödyllinen siirtymäkauden ratkaisu, jolla sähkön ja lämmön yhteistuotantoa ja lämmön tuotantoa on puhdistettu kivihiilestä ja turpeesta. Valitettavasti puun joukossa on palanut energiaksi myös merkittävä määrä kuitupuuta, jonka parempi paikka olisi puuta jalostavassa teollisuudessa. Arviot polttoon menevistä ainespuun määristä ovat kuitenkin epävirallisia ja epävarmoja, vaihdellen 3–6 Mm³ ja jopa 8 Mm³. Mikäli pääosa tästä määrästä ohjataan takaisin metsäteollisuuteen, se mahdollistaisi hakkuiden laskua ilman, että metsäteollisuuden puunkäyttö vähenisi lainkaan ja samalla metsänielu vahvistuisi.

Kehitys energia- ja prosessiteollisuudessa on ollut nopeaa ja sähkökattilat ovat yleistymässä markkinaehtoisesti sekä lämmön että teollisuushöyryjen tuotannossa. Sähkökattiloilla on monia etuja polttoon nähden. Ne ovat erittäin energiatehokkaita ja niiden tehoa voidaan säätää nopeasti. Kun sähkökattilat yhdistetään lämmön varastointijärjestelmiin, voidaan sähkökattiloilla ajaa lämpöä varastoon halvan sähkön aikaan ja saavuttaa merkittäviä kustannusetuja suhteessa puunpoltoon. Sähkökattilainvestointeja voitaisiin jouduttaa ilmastopoliittisin perustein ja laajemminkin vihreän siirtymän edistämiseksi kaikkialla prosessiteollisuudessa.

Toimenpiteenä oletetaan, että Suomessa investoidaan nopeutetusti sähkökattiloihin niin, että niiden lämmöntuotannolla voidaan syrjäyttää energiamäärää, joka nyt saadaan polttamalla 5 Mm³ kuitupuuta energiaksi. Toimenpiteen etuna on varmistaa kuitupuun saanti metsäteollisuuden

tarpeisiin ja samalla jouduttaa vihreää siirtymää, mikä kasvattaa tuottavuutta energia- ja prosessiteollisuudessa.

Biogeenisen hiilidioksidin talteenotto, varastointi ja hyödyntäminen (BeCCS ja BeCCU).

Biogeenisen hiilidioksidin talteenotto ja hyödyntäminen uusissa tuotteissa liittyy kiinteästi tulevaisuuden vetytalouden ratkaisuihin. Talteenottoinvestointien edistäminen on luonteeltaan strateginen elinkeinopoliittinen toimi ja investointi, jolla joudutetaan vihreää siirtymää ja kansantalouden tuottavuutta vetypohjaisten ratkaisujen nopeuttamisen myötä. Samalla tuotetaan teknologista nielua ilmastotavoitteisiin. Kaikissa Pohjoismaissa on jo tehty markkinaehtoisia päätöksiä biogeenisen hiilidioksidin talteenottoon ja talteenottoteknologiat kehittyvät nopeasti. Markkinoilla on jo saatavissa modulaarisia talteenottolaitoksia, joiden kapasiteetti on jopa 0,4 Mt ja joita voidaan joustavasti yhdistää suuremman määrän talteenottoon.

Suomessa valtion tulisi edistää tätä kehitystä jouduttamalla investointeja biogeenisen hiilidioksidin talteenottoon ja samalla ostaa osa talteen otetusta hiilidioksidista sijoitettavaksi Pohjanmeren kaasukenttiin (esim. 4–6 Mt). Tämän määrän voi tulkita joko kasvattavan nielua sellaisenaan tai vähentävän päästöjä. Toimenpiteellä on lukuisia etuja. Se luo edellytyksiä hiilidioksidin hyödyntämiseen fossiilisia polttoaineita korvaavissa tuotteissa, jouduttaa vetytaloutta ja kasvattaa teollisuuden tuottavuutta. Samalla se on varautumista EU:n 2040 ilmastopolitiikan myötä mahdollisesti tuleviin teknologista nielua koskeviin vaatimuksiin.

Päästövähennys- ja nieluysiköt kansainvälisistä mekanismeista (ITMOt).

Pariisin ilmastopoliittisen sääntökirjan artiklassa 6 määritetään kansainvälisten hiilikrediittien ilmastokestävää käyttöä maiden ilmastotavoitteiden tueksi ja näille krediteille on juuri luotu kestävyyskriteerit. Näitä kredittejä kutsutaan ITMOiksi (Internationally Transferred Mitigation Outcomes). Vaikka kansalliset ilmastotavoitteet tulisi saavuttaa lähtökohtaisesti maan omilla toimilla, ITMOjen käyttöä kansallisten tavoitteiden saavuttamiseen voi perustella kahdella seikalla. Toinen on kustannustehokkuus, eli kotimaisten toimien osoittautuessa erittäin kalliiksi, voidaan kansantalouden kustannusrasitusta laskea ITMOjen avulla, jos niiden hinta on kotimaisia toimia alempi. Toinen peruste on varautuminen ilmastopolitiikkaa kohdanneisiin riskeihin ja yllätyksiin. Suomen tapauksessa juuri suometsien maaperäpäästöjen nopea ja ennakoinnaton kasvu erityisesti vuoden 2018 jälkeen on tällainen tekijä. Kun verrataan Luonnonvarakeskuksen vuoden 2025 alussa julkaisemia nielutietoja vuonna 2020 käytössä olleisiin tietoihin, nähdään, että turpeen hajoaminen suometsissä ja kivennäismaan nielu uusien tietojen valossa olivat vuonna 2018 lähes 6 Mt heikommissa tilassa kuin tuolloin arvioitiin. Tätä kehityskulkua ei voitu ennakoida silloisessa päätöksentekotilanteessa. Lisäksi erityisesti turpeen hajoamisen voi odottaa jatkuvan ja kiihtyvän ilmaston lämmetessä.

Suomi voisi hankkia toimenpiteenä ITMOja korvaamaan juuri maaperäpäästöjen kasvua vuodesta 2018 lähtien ja turpeen lisääntyvää hajoamista ennakoiden yhteensä 8 Mt. Toimenpiteen etuna on, että näin vältetään kohdistamasta maankäyttösektorin toimiin lisärasitusta ilmiöistä, joka on johtunut lämpenemisestä.

Muut toimet

Tämän raportin toimien ohella syntyy nielua vahvistavia tai maaperäpäästöjä laskevia toimia markkinaehtoisesti, sekä maatalouspolitiikan ja EU:n ennallistamisasetuksen toimeenpanon kautta. Maankäyttösektorin ilmastosuunnitelman skenaariotarkennuksissa maankäyttösektorin muut päästöt kuin metsämaan ja puutuotteiden osalta ovat noin 9 Mt vuosina 2030–2035. Tämän ohella voi syntyä politiikasta riippumatonta markkinaehtoista nielua, kuten Vantaan Energian investointisuunnitelma koskien hiilidioksidin talteenottoa ja varastointia (0,656 Mt) osoittaa.

2.2 Taloudellisen laskennan toteuttaminen

Kaikkien valittujen toimien taloudelliset vaikutukset määritetään ensiksi sektorikohtaisesti ja sitten koko talouden kattavassa yleisen tasapainon mallissa. Metsien käyttöä koskevien toimien vaikutukset tuotetaan Monsu-mallilla (Pukkala 2016, Diaz-Yanez ym 2020, ks. mallin tekninen esittely, Liite 1). Sen avulla määritetään metsien hakkuiden perusura, 73 Mm³/vuosi ja sen jakauma tukki-, kuitu- ja energiapuuhun sekä kantorahatulo nykyhinnoin ja hakkuista vastaava metsänielun kehitys. Metsätaloutta koskeville toimenpiteille (metsälain uudistus, hiilivuokra ja valtion metsien hakkuut) määritetään samat muuttujat. Toimenpiteiden oloissa hakkuut ja niiden jakauma ei ole vakio vaan vaihtelevat ajassa. Koska Monsu-malli ei ole markkinamalli, toimenpiteiden osalta on arvioitava erikseen, vaikuttaako se puun tarjontaan, hintaan ja sen myötä eri toimien mukaiseen kantorahatuloon.

Kustannusvaikuttavuusluvut määritellään sekä metsä- että muille toimenpiteille. Ne mahdollistavat erilaisten toimien tehokkuuden arvioinnin – myös suhteessa fossiilipäästöjen vähentämiseen. Metsään ajallisesti vaikuttavien toimien tapauksessa tulee ottaa huomioon, että hakkuumäärät, hakkuutulot ja metsänielu vaihtelevat vuosittain. Lisäksi puun hinta voi vaihdella ajassa. Metsän tapauksessa kustannusvaikuttavuusluku voidaan määrittää *tarkastelunjaksolla koituvien kustannusten, eli menetettyjen hakkuutulojen ja kertyvän nielun diskontattuna suhdelukuna*. Vihreän siirtymän investoinneissa ja ITMOjen hankinnassa kustannusvaikuttavuusluku määritetään *nykyarvoisten investointi- ja käyttökustannusten ja saatavan nielun suhdelukuna*.

Yleisessä tasapainomallissa tarkastellaan valittujen toimenpiteiden yksittäisiä kokonaistaloudellisia vaikutuksia bruttokansantuotteen kasvuun sekä valitun nielunpolun, eli valitun toimenpidejoukon yhteisvaikutuksia taloudelliseen kasvuun. Tulokset raportoidaan sekä poikkeamana perusuran mukaisesta kasvusta että kasvupolkuina. Tarkastelun aikahorisontti on 2026–2040. Monsu-mallista saadut hakkuista koskevat tulokset sekä sektoritarkastelusta saatavat kokonaiskustannukset toimivat syötteenä yleisen tasapainon malliin. Näin turvataan, että sektoritarkastelusta siirtyy mahdollisimman suuri informaatio yleisen tasapainon malliin. Kansantaloutta koskevat ajot tehdään Finage-mallilla, jota on jo vuosia käytetty Suomen energia- ja ilmastopolitiikan suunnittelun tukena. Malliversiona käytetään Keito-hankeeseen kalibroituja malliversiota (<https://hiilineutraalisuomi.syke.fi/projektit/repower-cest/keito-hankeyhteisty/>). Mallissa ratkaistaan bruttokansantuotteen kehityksen perusura vuosille 2026–2040. Sen jälkeen tutkitaan kunkin yksittäisen toimenpiteen kansantaloudelliset kasvuvaikutukset suhteessa perusuraan sekä määritetään myös koko nielupolun vaikutus talouskasvuun (mallin tarkempi kuvaus ks. Liite 1).

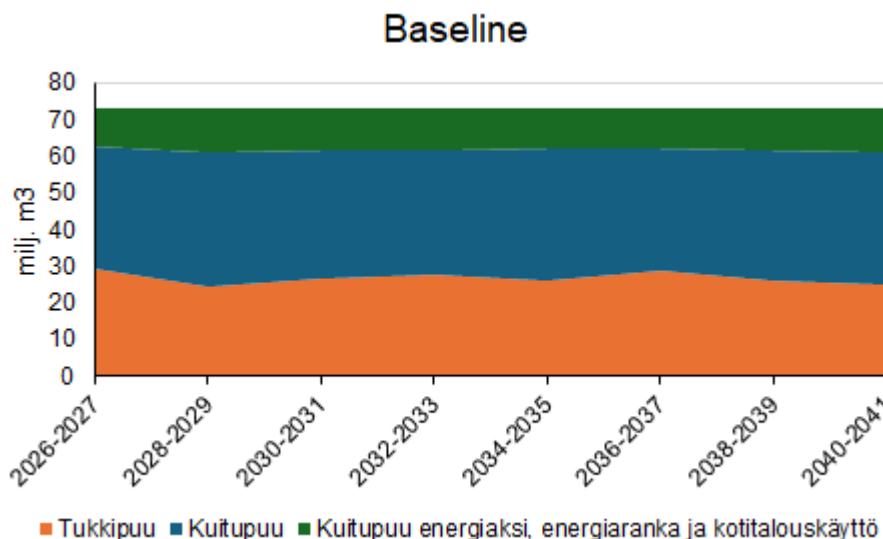
3 Metsänielun kasvattamisen keinot ja niiden kustannusvaikuttavuus metsätaloudessa

Metsien käytön osalta tarkastelu kattaa vuodet 2026–2041. Perusurassa oletetaan, että hakkuut ovat vuosittain 73 Mm³. Hakkuut tuottavat teollisuuden käyttöön tukkipuuta, kuitupuuta ja energiapuuta. Energiapuuta käytetään energiateollisuudessa tuottamaan lämpöä ja jonkin verran puuta menee pientalojen lämmitykseen. Perusurassa määritetään myös metsänomistajien saaman kantorahatulon sekä metsänielun kehitys.

3.1 Metsien käytön perusura: 73 Mm³ hakataan vuosittain

Kuvassa 3 esitetään Monsu-mallin tuottama perusura, 73 Mm³ vuotuiset hakkuut, ja sen jakauma tukki-, kuitu- ja energiapuuksi raportoituna kaksivuotiskausittain. Osa hakatusta kuitu- ja tukkipuun mitat täyttävästä puusta menee polttoon kotitarvekäytössä, noin 5–6 milj m³. Energiapuun saanto hakkuista on mallin mukaan 5–6 Mm³. Viime vuosille tilastoitu lämpövoimalaitosten käyttö on merkittävästi tätä lukua suurempi, eli noin 11 Mm³, mistä CHP-laitokset käyttävät noin 7 Mm³. Tämän vuoksi perusurassa oletetaan, että ainespuuta ohjautuu energiakäyttöön noin 5–6 Mm³. Kun tämä korjaus tehdään metsäteollisuudelle tulevan kuitupuun käyttöön, se asettuu tasolle noin 36 Mm³, mikä vastaa jokseenkin tarkkaan selluteollisuuden käyttämää tilastoitua kuitupuun määrää. Tukkipuun saanto vastaa sellaisenaan metsäteollisuuden käytölle tilastoituja määriä.

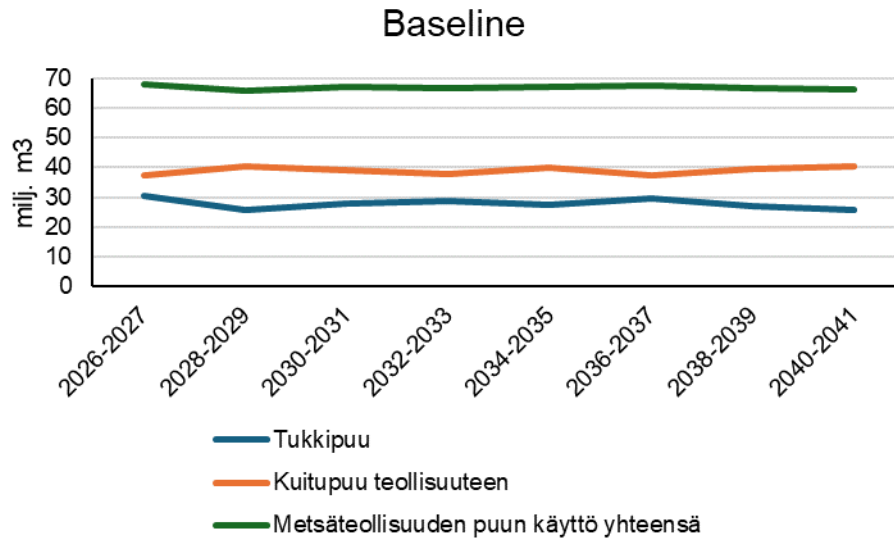
Kuva 3. Hakkuukertymä: Puunkäytönjakauma tukki-, kuitu- ja energiapuuksi perusurassa



Metsäteollisuuden käyttöön tulevan tukki- ja kuitupuun määrän kehitys on tärkeä muuttuja, sillä se vaikuttaa suoraan metsäteollisuuteen ja sitä kautta kokonaistaloudellisiin vaikutuksiin. Puun käyttö metsäteollisuudessa on viime vuosina vaihdellut noin 61–64–68 Mm³ ympärillä (Luonnonvarakeskus [Metsäteollisuuden puunkäyttö 2024 | Luonnonvarakeskus](#)). Kuvassa 3 perusuran mukainen puun teollinen käyttö asettuu keskimäärin tasolle 66 Mm³, mikä vastaa aika hyvin tilastoitua käyttöä. Se

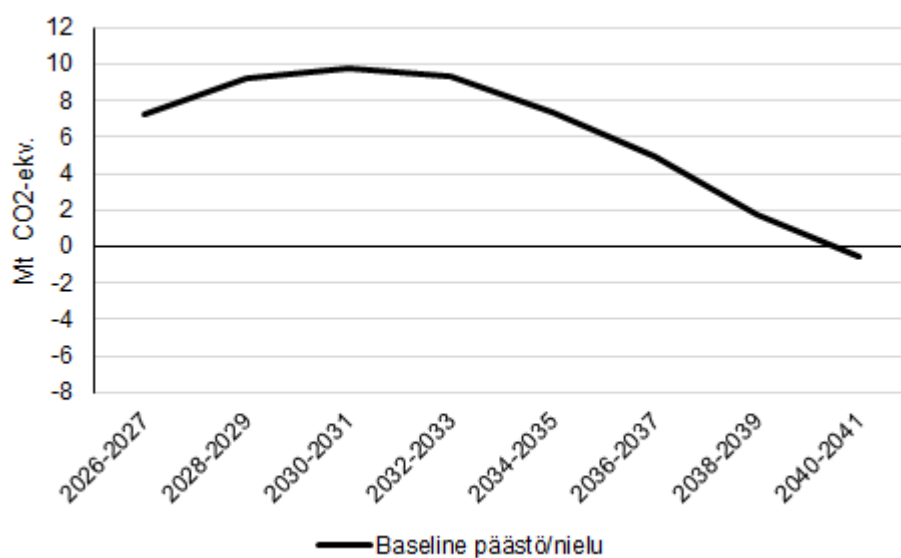
sisältää käytettyä tuontipuuta noin 5 Mm³. Hakkuiden ollessa vakioiset, myös metsäteollisuuden käyttämä puun määrä on varsin vakaa.

Kuva 4. Puun käyttö metsäteollisuudessa perusurassa sisältäen tuontipuun



Kuvassa 5 esitetään perusuran mukainen mallinnettu metsänielun kehitys. Metsä on lähtövuosina lievä päästölähde, noin 2–3 Mt ja metsän päästöt kasvavat tarkastelujakson alkupuolella voimakkaasti. Vertailun vuoksi, kasvihuonekaasuinventaarion mukaan metsä on ollut vuosina 2021–2023 noin 1–3 Mt päästölähde ja pieni nielu, jos mukaan lasketaan puutuotteet. Täten perusurassa saatu lähtöarvo on hieman korkeampi kuin tilastoitua metsänielu ja se on tulosta alhaisesta puuston nielusta ja kasvavista maaperäpäästöistä. Malli myös ennustaa lähivuosille maaperäpäästöjen kasvua.

Kuva 5. Metsänielun ennustettu kehitys perusurassa



Perusurassa metsä kääntyy tarkasteluperiodin loppuun tultaessa päästöistä lieväksi nieluksi. Tämä kehityskulku syntyy ennen muuta siitä, että puuston biomassassa lisääntyy ja kompensoi osan turvemaiden päästöistä.

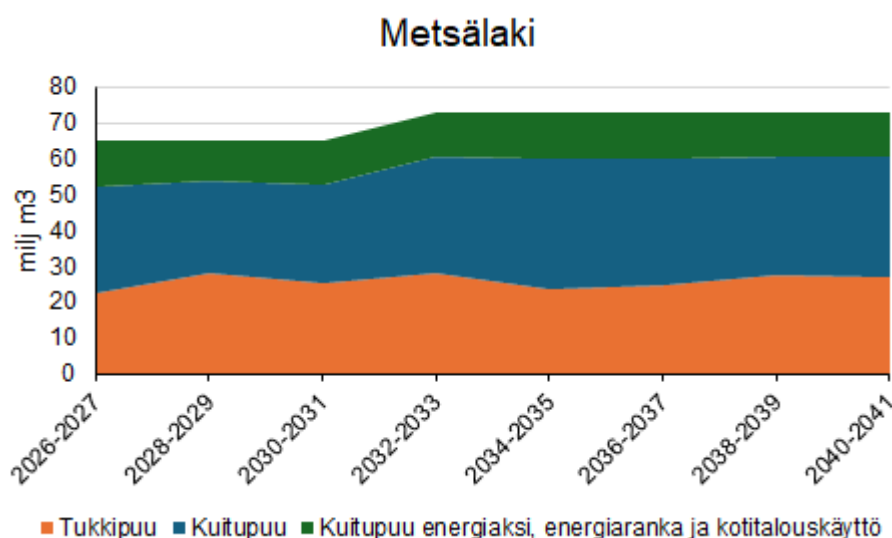
Nielun mallinnukseen ja kehityksen ennustamiseen liittyy paljon epävarmuutta, kuten edellä todettu. Monsu-mallin nielulaskenta nojaa vertaisarvioituihin tieteellisessä kirjallisuudessa esitettyihin arvoihin, mutta myös niihin liittyy epävarmuutta. Perusuran ja toimenpiteiden vertailu voidaan kuitenkin toteuttaa konsistentisti saman mallin puitteissa.

3.2 Metsälain uudistaminen

Metsälain uudistaminen vastaamaan Tapion hyvän metsänhoidon suosituksia koskee kaikkia metsänomistajia. Toimenpiteenä laki määrittäisi nykyistä tarkemmin ja tiukemmin kaikkia sitovat harvennusten ja päätehakkuiden minimi-ikää ja minimikokoa koskevat vaatimukset (suositukset on esitetty liitteessä). Metsälain uudistuksen oletetaan tulevan voimaan vuonna 2026. Mallilaskemat osoittavat, että ennakko-odotuksen mukaan päätehakkuihin ja -läpimittaa koskevien vaatimusten tiukentaminen pidentää kiertoaikaa, järeystää puustoa ja lisää metsänielua. Kiinnostavaa on, että tarkastelujakson kuluessa myös metsien hakkupotentiaali lisääntyy voimistuvan kasvun vuoksi.

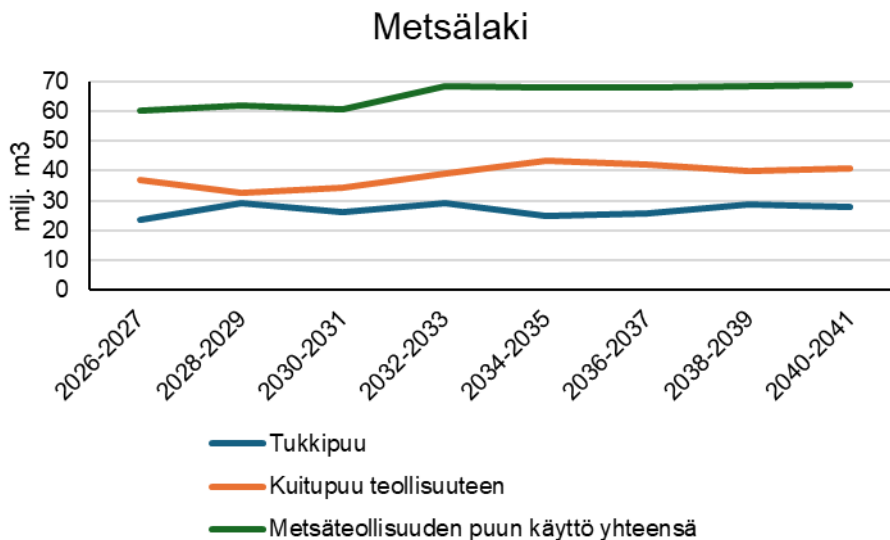
Kuvassa 6 esitetään hakkuiden kehitys ja niiden jakauma ositettuna tukki-, kuitu- ja energiapuun määriksi. Hakuut laskevat aluksi ja ovat noin 65 Mm³, mutta nousevat vuoteen 2030 jälkeen takaisin perusskenaarion mukaiselle tasolle 73 Mm³, sillä hakkuumahdollisuudet lisääntyvät jaksoon alussa supistuneiden hakkuiden ja voimistuvan metsänkasvun vuoksi. Energiapuuta syntyy hakkuista noin 4–5 Mm³. Puun energiakäytön oletetaan laskevan tarkastelujakson alkuosassa huippuvuosista energiapuun hinnan nousun vuoksi ja olevan noin 8 Mm³. Samoin kuin perusurassa, ainespuuta ohjautuu energiakäyttöön, mutta nyt hieman vähemmän, eli noin 4 Mm³. Kun tämä korjaus tehdään teollisuuden kuitupuun käyttöön, metsäteollisuuden kuitupuun saanto supistuu aluksi perusuran alapuolelle, mutta kasvaa takaisin perusuran tasolle jo 2030 alussa, eli shokki jää lyhytaikaiseksi.

Kuva 6. Puun hakkuut ja jakauma tukki-, kuitu- ja energiapuuksi metsälain uudistamisen tuloksena



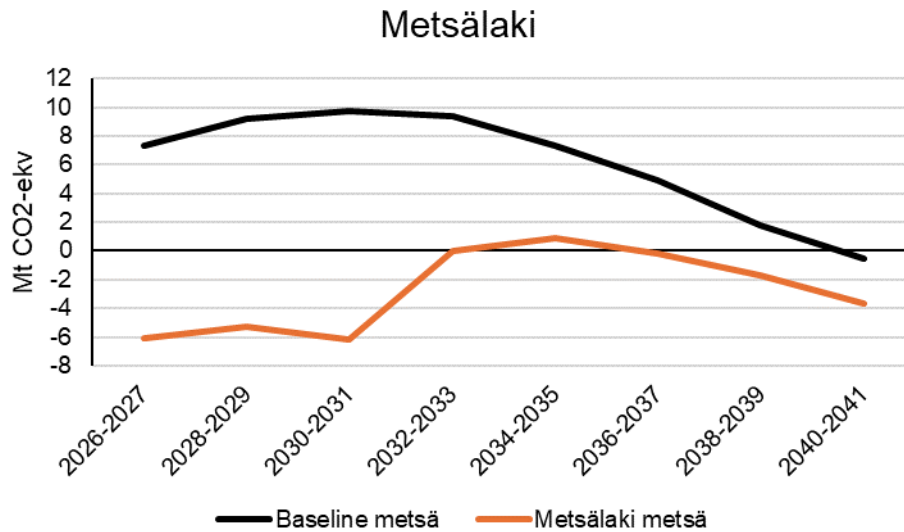
Kuvassa 7 esitetään tarkemmin metsäteollisuuden käyttöön tulevan puun määrän kehitys. Metsäteollisuuden käyttämä ainespuu laskee aluksi noin 60 Mm3 tasolle, mutta nousee nopeasti ja mahdollistaa tarkastelujakson lopussa jopa 68 Mm3 hyödyntämisen. Vuosien 2026–2041 metsäteollisuuden puun käytön keskiarvoksi saadaan 65,5 Mm3, mikä on hyvin lähellä perusuran käyttöä (66 Mm3).

Kuva 7. Puun käyttö metsäteollisuudessa metsälain uudistamisen tuloksena



Siirtyminen hyvän metsänhoidon suositusten mukaiseen metsänhoitoon vaikuttaa metsänieluun merkittävästi: se kasvaa ja metsät tarjoavat vuosina 2026–2041 päästöjen sijasta joka periodilla nielua, kuten kuvassa 8 esitetään. Nielu on tarkastelujaksolla keskimäärin -5,7 Mt. Verrattuna perusuraan kuva 8 osoittaa, että siirtyminen kestävän metsätalouden suositusten mukaisiin hakkuisiin kasvattaa nielua perusuraan nähden keskimäärin noin 9 Mt. Nielu supistuu kuitenkin ajassa, ja nieluvaikutus on noin -3 Mt vuonna 2035 kunnes jälleen kääntyy nousuun.

Kuva 8. Metsänielun ennustettu kehitys metsälain uudistuksen tuloksena.



Kustannusvaikuttavuus

Toimenpiteen kustannusvaikuttavuus lasketaan perusuran ja toimenpideuran mukaisten kantorahatulojen diskontatun erotuksen ja kertyvän nielun suhdelukuna, joka saadaan vakioisella puun hinnalla.

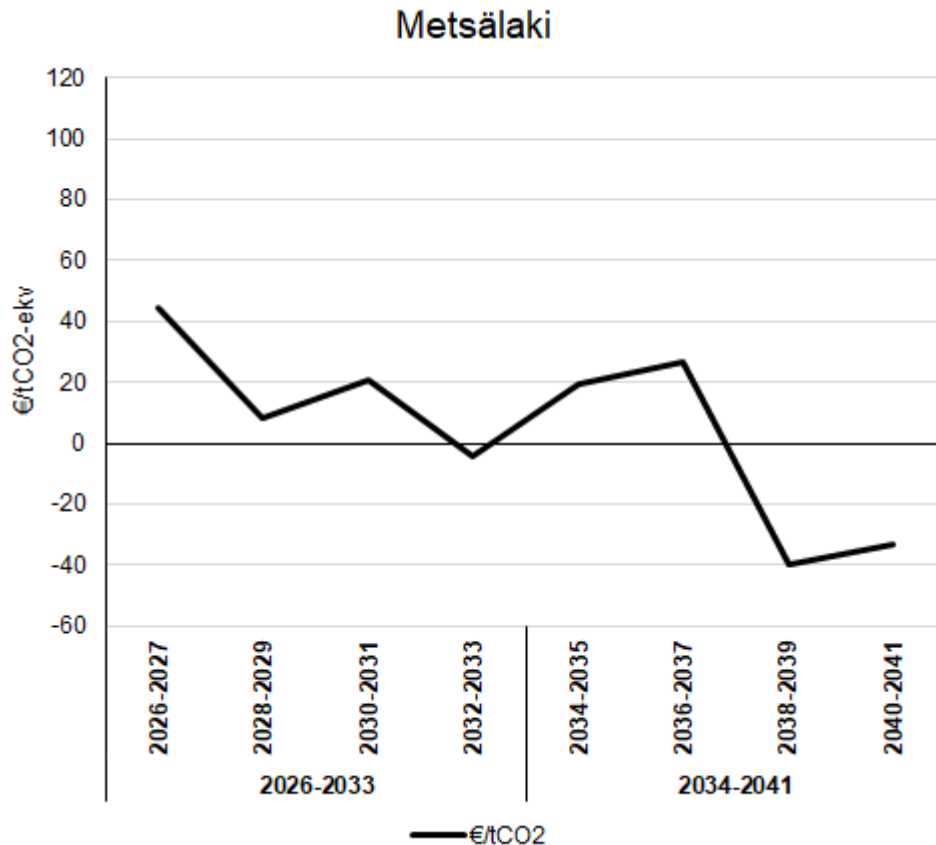
Kustannusvaikuttavuus 1 (puun hinta ei muutu) = 16 €/t

Mikäli puun hinta nousee, puun kysyntä laskee. Laskua ja hinnan muutosta ei markkinamallin puuttuessa voida arvioida. Mikäli kysyntä säilyisi ennallaan ja puun hinta nousee 5 %, saadaan suuntaa antava, mutta puutteellinen arvio kustannusvaikuttavuuden kehityksestä. Tällöin kustannusvaikuttavuusluku laskee entisestään ja on

Kustannusvaikuttavuus 2 (puun hinta nousee 5 %, kysyntä ei supistu) = 4 €/t

Saadut luvut ovat alhaisia, mutta linjassa julkaistujen tutkimusten kanssa. Esimerkiksi Pihlainen ym (xxxx) arvioi metsätalouden kustannukseksi nielun kasvattamisesta noin 30 €/t. Alhaista lukua selittää metsien oma kasvudynamikka: hakkuiden supistaminen nyt kasvattaa metsien kasvupotentiaalia ja samalla kun nielu kasvaa, myös tulevana vuosina hakattavaa määrä lisääntyy. Tätä kehityskulkua havainnollistaa kuva 9, jossa kuvataan, kuinka kustannusvaikuttavuus, määritelty peräkkäisten vuosien termein kääntyy ajassa tuloksi. Kustannusvaikuttavuusluvut osoittavat, että nielun kasvattaminen turvaamalla kestävä metsänhoidon periaatteiden toteutuminen metsälain kautta on taloudellisesti varsin edullinen tapa nostaa nielua, kun tarkastelu rajoitetaan pelkästään metsätalouden piiriin.

Kuva 9. Metsälain uudistus: vuotuisen vaikuttavuuskehityksen havainnollistus (€/t nielua).



Kuvassa musta jana havainnollistaa peräkkäisten vuosiparien pohjalta määritetyn kustannusvaikuttavuuden kehitystä. Hakkuiden supistaminen periodin alussa tuottaa periodin lopussa sekä suurempaa hakkuukertymää että negatiivisella kustannuksella (hyöty) nielua.

Kuvan 9 luvut on esitetty vakioiselle puun hinnalle ja kantorahatulolle. Puun tarjonnan muutokset voivat nostaa puun hintaa ja se vaikuttaa laskentaan: mikäli metsälainuudistuksesta johtuva tarjonnan lasku nostaa puun hintaa, niin se kasvattaa metsänomistajien saamaa kantorahatuloa ja voi jopa ylikompensoida metsätalouden tasolla supistuvan puunkäytön aiheuttaman tulonmenetyksen metsänomistajille. On kuitenkin syytä todeta, että samalla metsäteollisuuden puun hankinnan kustannukset kasvavat puun hinnan nousun myötä ja heikentävät sen kannattavuutta. Luvun 5 yleisen tasapainon malli ottaa huomioon kaikkien toimijoiden kustannukset ja talouden sopeutumisen ja korjaa tämän piirteen.

3.3 Hiilivuokramekanismi

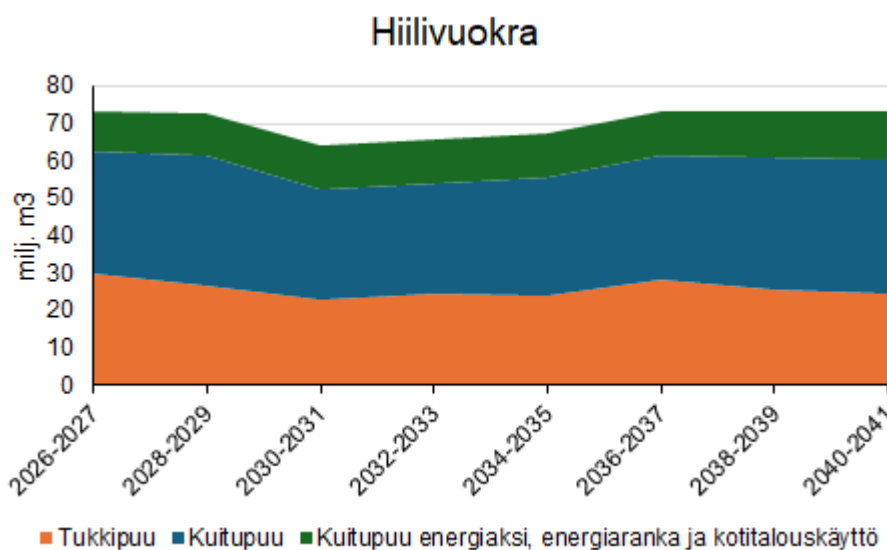
Hiilivuokramekanismi on taloudellinen ohjauskeino metsänielun voimistamiseen. Se voidaan ottaa käyttöön joko vapaaehtoisuuteen perustuvana tai pakollisena ohjauskeinona. Hiilivuokramekanismin vaikutusten laskennan haasteena on arvioida, kuinka suuri on metsänomistajien halukkuus osallistua siihen. Osallistumisaste riippuu nielua koskevan korvauksen suuruudesta ja metsänomistajien metsäluontoa koskevista arvostuksista. Metsäekonomisessa kirjallisuudessa tunnetaan hyvin luontoarvostusten merkitys metsänomistajien hakkuukäyttäytymiselle. Metsästään luontohyötyjä arvostavat metsänomistajat kasvattavat yleensä metsänsä vanhemmiksi (Hartman 1976, Amacher ym

2009) ja osallistuvat aktiivisemmin vapaaehtoiisiin luontoa suojeleviin mekanismeihin, kuten Metso-ohjelmaan (Kangas ja Ollikainen 2023).

Laskenta on toteutettu siten, että metsänomistajille maksetaan 15 €/tCO₂ perusuran ylittävän puuston nielun kasvattamisesta ja ylläpidosta. Tutkimustiedon puuttuessa metsänomistajien osallistumisasteesta tehdään eksogeenisia oletuksia. Perusoletuksena on, että 20 % metsänomistajista osallistuu. Mekanismin oletetaan tulevan voimaan 2030 ja jatkuvan tarkasteluperiodin loppuun saakka.

Kuva 10 esittää hakkuiden arvioitua kehitystä, kun 20 % metsänomistajista osallistuu hiilivuokramekanismiin ja saa siitä korvausta. Loput metsänomistajista noudattavat oletuksen mukaan perusuran mukaisia hakkuita tai kasvattavat niitä (hakkuuvuoto). Kuvan 20 % osallistumisasteella hakkuut laskevat ilman vuotoa alimmillaan tasolle 64 Mm³ ja nousevat 67 Mm³ vuoteen 2035. Mikäli osallistumisaste on 10 %, vaikutus hakkuisiin on hyvin maltillinen laskien ne alimmillaan tasolle 69 Mm³. Osallistumisasteen noustessa vaikutus voimistuu ja 30 % osallistumisella hakkuut laskevat alimmillaan 60 Mm³ nousten kohti tarkasteluperiodin loppua. Hiilivuokramekanismi on siten erittäin vaikuttava ohjauskeino hiilinielun voimistamiseen. Kuvissa 10 ja 11 käytetään tulosten havainnollistamiseen 20 % osallistumisastetta.

Kuva 10. Markkinahakkuiden kehitys hiilivuokramekanismin oloissa, kun osallistumisaste on 20 %.



Taulukko. Hakkuutasot eri osallistumisasteissa.

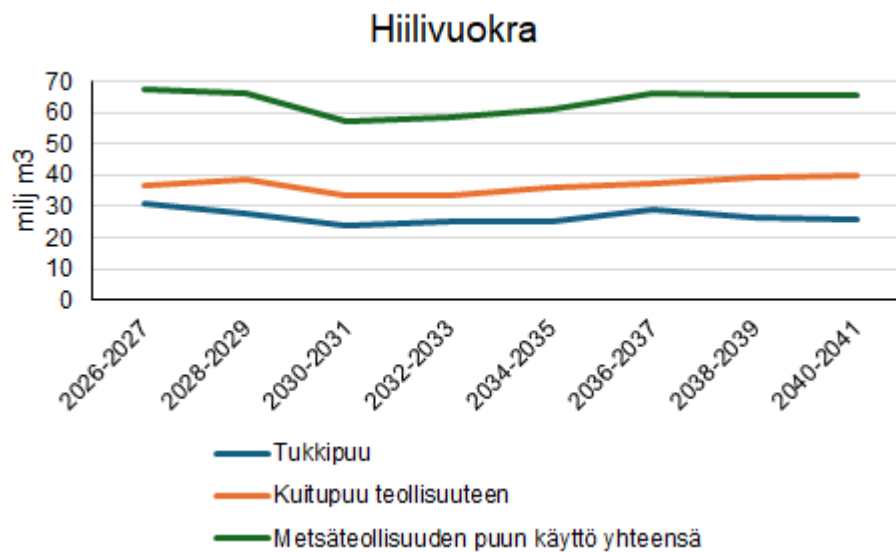
Osallistumis-aste	2026-27	2028-29	2030-31	2032-33	2034-35	2036-37	2038-39	2040-41
10 %	73,0	72,9	68,7	69,5	70,2	73,0	73,0	73,0
20 %	73,0	72,9	64,3	65,9	67,4	73,0	73,0	73,0
30 %	73,0	72,8	60,0	62,4	64,6	73,0	73,0	73,0

Hiilivuokramekanismi kasvattaa metsänielua, sillä osallistuvat metsänomistajat pidentävät kiertoaikoja ja kasvattavat metsänsä tiheämpinä. Alkuvaiheen supistava vaikutus hakkuisiin on sitä

korkeampi, mitä suuremmaksi osallistumisaste nousee, riippuen kuitenkin hakkuuvuodon suuruudesta.

Kuvassa 11 esitetään metsäteollisuuden käyttöön tuleva tukki-, kuitu- ja energiapuu samoilla osallistumisasteilla. Oletuksena on edelleen, että noin 11 Mm³ kuitupuuta poltetaan energiaksi, joten kuitupuuta ohjautuu hiilivuokramekanismin oloissa aiempaa enemmän energiakäyttöön. Kuva 8 osoittaa, että jo 20 % osallistumisaste laskee metsäteollisuuden käyttöön tulevaa puun määrää.

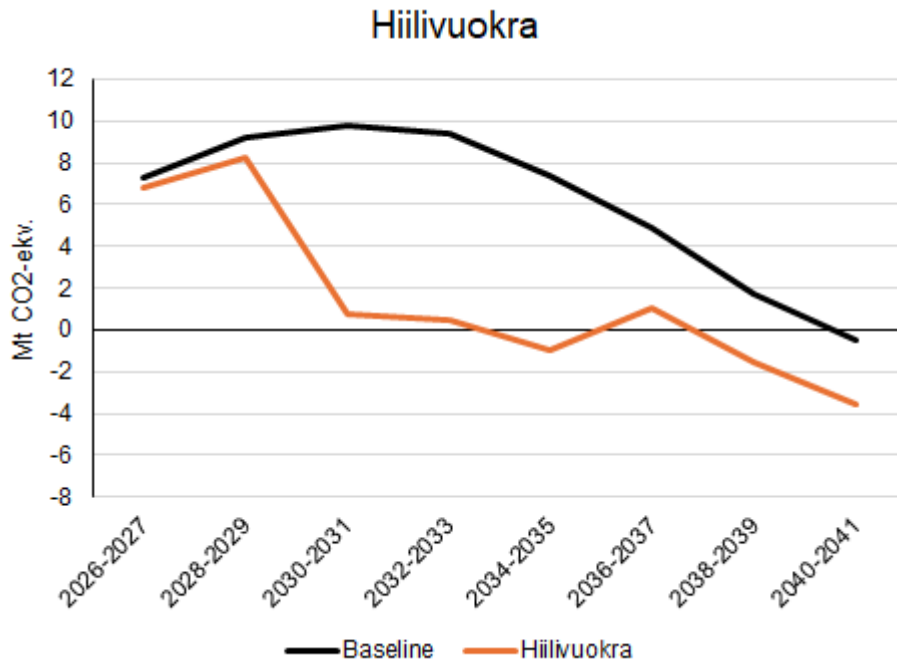
Kuva 11. Metsäteollisuuden käyttöön tulevan tukki- ja kuitupuun kehitys hiilivuokramekanismin olossa, kun osallistumisaste 20 %



Kuva 11 osoittaa, että 20 % osallistumisasteella metsäteollisuuden käyttöön tuleva puun määrä laskee alimmillaan hieman alle 59 Mm³. Laskua on erityisesti kuitupuun määrässä. Vaikutus kestää noin 10 vuoden ajan.

Kuvassa 12 esitetään hiilivuokramekanismin vaikutusta hiilinieluun. Kun osallistumisaste on 20 % metsähiilinielu voimistuu aluksi nopeasti. Suhteessa perusuraan nielu kasvaa liki 9 Mt ja tarkastelujakson lopussa kasvattava vaikutus on noin -4 Mt nieluun (osallistumisasteen ollessa 30 % nieluvaikutus on -6 Mt), mikäli hiilivuotoa ei ole. Mitä suurempi hiilivuoto, sitä enemmän vapaaehtoisen hiilivuokramekanismin tuottamaa nielua menetetään.

Kuva 12. Metsänielun kehitys hiilivuokramekanismin oloissa, kun osallistumisaste 20 %.



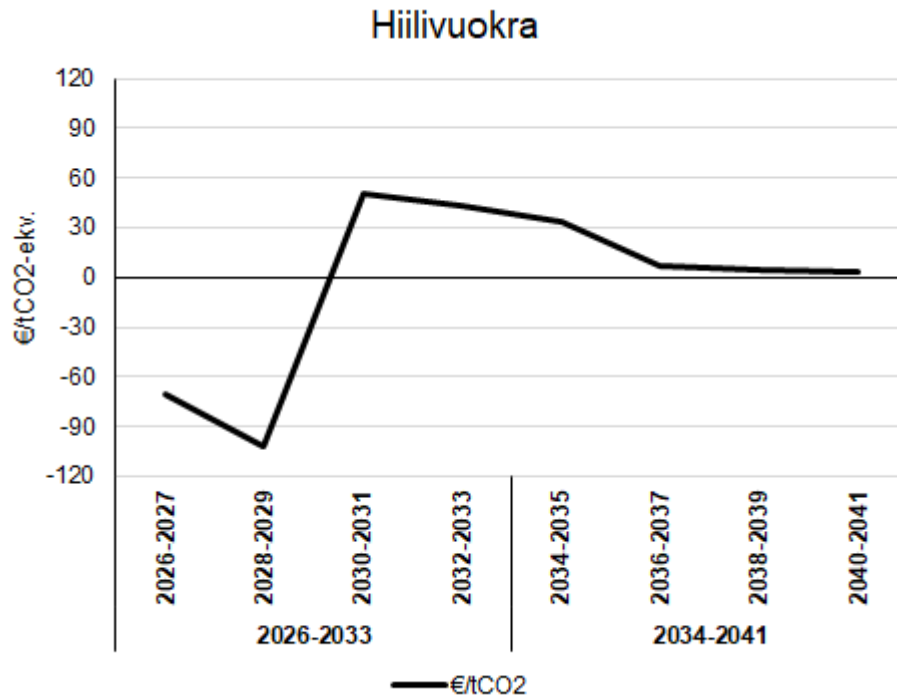
Kustannusvaikuttavuus

Hiilivuokramekanismin kustannusvaikuttavuusluku määritetään osallistuvien metsänomistajien saaman hakkuu- ja hiilikorvaustulon ja perusuran erotuksena. Mikäli puun hinta nousee, järjestelmästä hyötyvät muutkin metsänomistajat, mutta samalla menetetään nieluhyötyä. Vuodon suuruuden arviointi on hankalaa. Suuntaa antava luku saadaan, kun oletetaan, että vuoto on nolla ja on siten aliarvio, sillä vuodon kasvaessa saavutettava nielu laskee.

Kustannusvaikuttavuusluku (20% osallistumisaste)= 28 €/t

Kuvassa 13 havainnollistetaan aiempaan tapaan peräkkäisten vuosien pohjalta määritetyn kustannusvaikuttavuusluvun vaihtelua.

Kuva 13. Hiilivuokramekanismi: vuotuisen vaikuttavuuskehityksen havainnollistus (€/t nielua) kun osallistumisaste 20 % (€/t nielua) ja hakkuuvuoto oletetaan nollassi



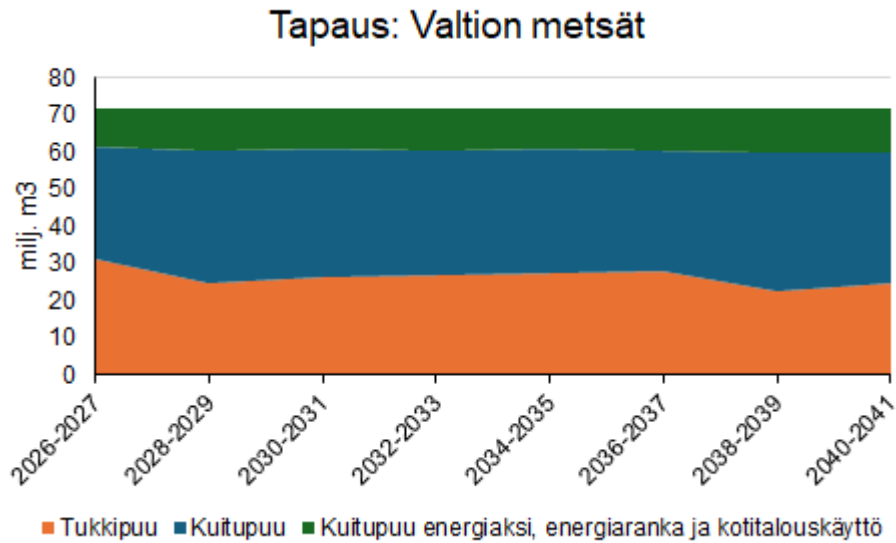
Peräkkäisinä vuosina määritetty kustannusvaikuttavuuskäyrä vaihtelee merkittävästi nousten negatiivisista arvoista positiivisiin ja laskien kohti nollaa. Alun negatiivisuus selittyy sillä, että hiilivuokra siirtää jonkin verran päätehakkuita, sillä tulonlisä on suurempi kuin hakkuun lykkäämisen vaihtoehtoiskustannus.

3.4 Valtion metsien hakkuiden supistaminen

Oletuksen mukaan valtion metsien hakkuita supistetaan vuosittain 2 Mm³ vuodesta 2027 lähtien. Tällä on kahdenlainen vaikutus: metsänielu kasvaa, mutta samalla syntyy painetta puun hintaan ja puun kysyntää vuotaa yksityismetsiin. Hakkuuvuoto heikentää nieluvaikutusta. Vuodon suuruudesta tehdään vaihtoehtoisia oletuksia: 0 % - 40 % ja 60 % ja arvioidaan nettomääräistä nieluvaikutusta.

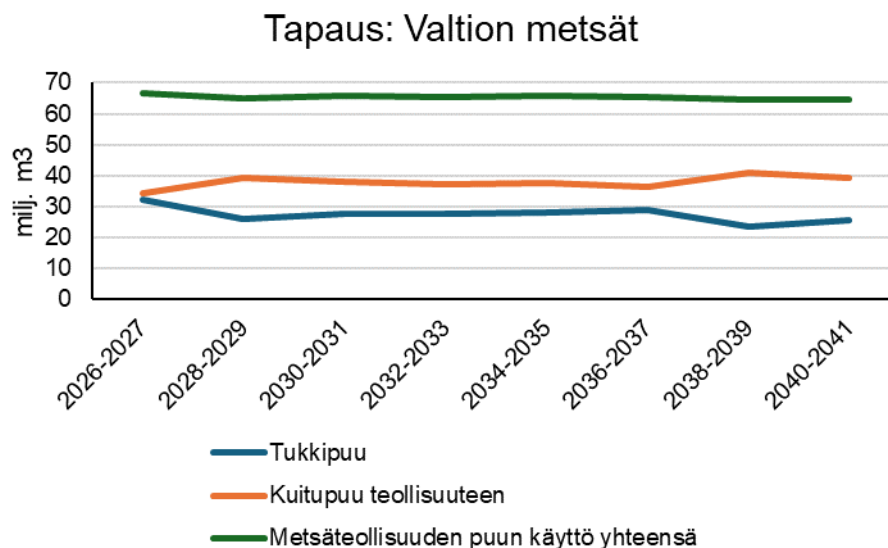
Kuva 14 esittää hakkuiden kehityksen, kun tehdään vaihtoehtoisia oletuksia hakkuuvuodosta yksityismetsiin. Mikäli vuoto on nolla supistuvat markkinahakkuut koko voimallaan, eli 2 Mm³ tasolle 71 Mm³. Hakkuiden supistaminen aiheuttaa kuitenkin hintapainetta (oletus 2 %), mikä lisää puun tarjontaa yksityismetsistä ja sen kautta hakkuuvuotoa. Markkinahakkuut ovat 71,8 vuodon ollessa 40 % ja 72,2 vuodon ollessa 60 %.

Kuva 14. Valtionmetsien hakkuiden supistamisen (2 Mm³) vaikutus markkinahakkuihin, kun hakkuuvuoto on 40 %.



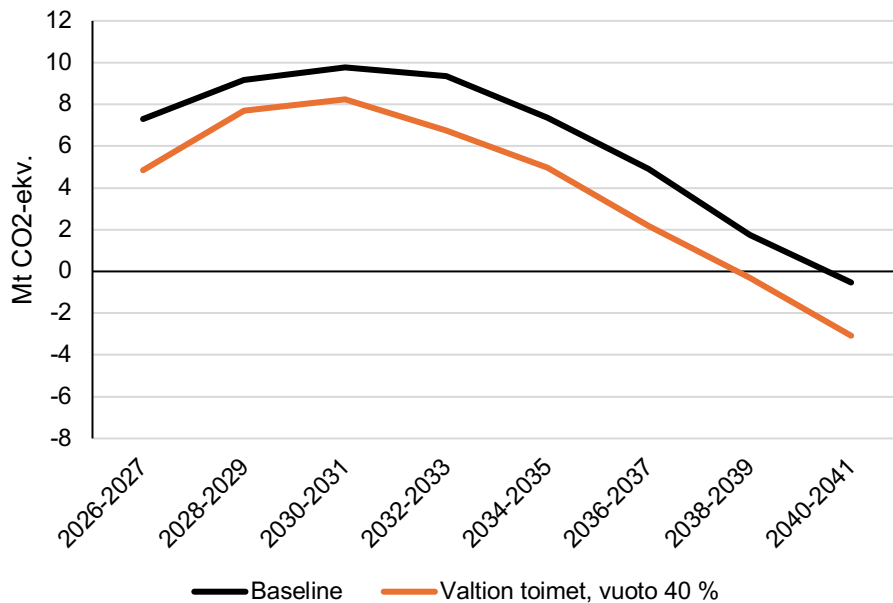
Toimenpiteen vaikutus hakkuisiin on pieni, vaikka hiilivuoto oletettaisiin nolaksi. Kuten edellä, osa hakatusta kuitupuusta menee polttoon laskien metsäteollisuuden käyttöön menevää tukki- ja kuitupuun määrää. Kuvassa 15 esitetään metsäteollisuuden puunkäyttö 40 % oletuksella hakkuuvuodosta. Vuoden ollessa nolla metsäteollisuuden käyttöön tulisi tukki- ja kuitupuuta 64–65 Mm³ ja vuoden ollessa 40–60 % tämä määrä on 66 Mm³ tai suurempi. Vaikutukset ovat täten pieniä ja metsäteollisuuden puunkäyttö säilyy käytön havaitun markkinaehtoisien vaihtelun puitteissa. Saavutettava nieluhyöty on sitä pienempi, mitä suurempi on hakkuuvuoto.

Kuva 15. Metsäteollisuuden käyttöön tuleva kuitu- ja tukkipuu, kun hakkuuvuoto on 40 %.



Valtionmetsien hakkuiden 2 Mm³ vähentäminen kasvattaa metsänielua suhteessa perusuraan, mutta nielu säilyy edelleen päästölähteenä (kuva 16). Vaikutus on suurin, kun vuoto on nolla: suhteessa perusuraan nielu kasvaa 2 Mt. Vuodon oloissa nielu kasvaa suhteessa perusuraan noin 1,5 Mt.

Kuva 16. Valtionmetsien hakkuiden supistamisen vaikutus metsänieluun 40 % oletuksella hakkuuvuodosta



Toimenpiteen tuloksena metsän päästöt vähenevät, mutta metsä säilyy edelleen päästölähteenä pääosan tarkastelujaksosta toimenpiteestä huolimatta.

Kustannusvaikuttavuus

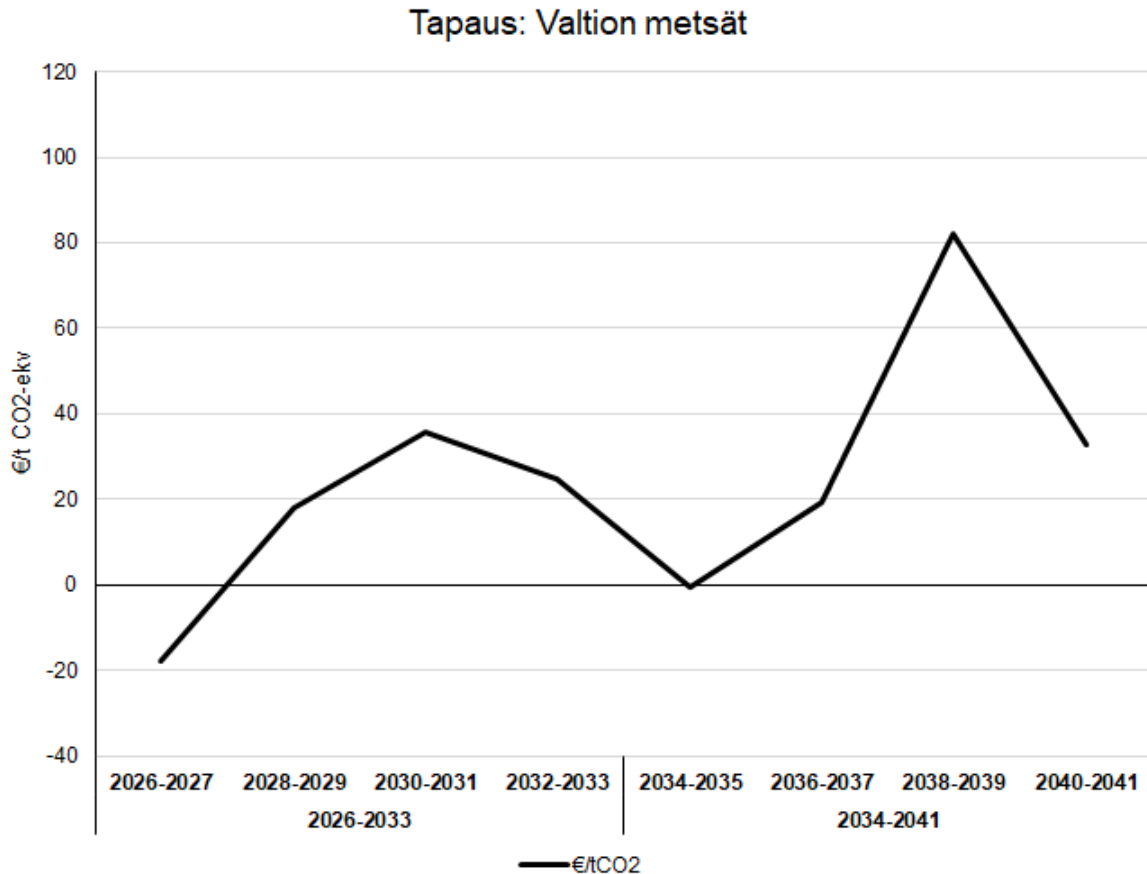
Kustannusvaikuttavuus määritellään edelliseen tapaan metsätalouden tasolla hakkuutulojen muutoksen ja nielun erotuksena riippuen vuotoa koskevista oletuksista. Hiilivuodon kasvu vähentää nielua, joten hakkuiden supistumisen kustannusvaikuttavuus vähenee.

Kustannusvaikuttavuusluku (40% hiilivuoto) = 21 €/t

Kustannusvaikuttavuusluku (60% hiilivuoto) = 31 €/t

Yllä esitetyn kustannusvaikuttavuuden ohella voidaan tässä tapauksessa tarkastella myös ns. budjetillista tehokkuutta, eli arvioida valtiolle koituvien hakkuutulojen laskua suhteessa saavutettavaan nieluun. Valtion 2 milj. m³ hakkuuvähennyksen vuoksi valtion saamat kantorahatulot pienevät keskimäärin noin 200 M€ vuosittain. Kuvassa 17 esitetään kustannusvaikuttavuusluvut hakkuiden supistamiselle olettaen, että hakkuuvuoto on 40 %.

Kuva 17. Valtion metsien hakkuut: vuotuisen vaikuttavuuskehityksen havainnollistus (€/t nielua) (€/t CO2-ekv. nielua).



Vuotuinen käyrä vaihtelee merkittävästi, vaikka hakkuun vähenemä on tasainen ja vuoto toteutuu heti. Tämä johtunee enemmän mallin metsien ikäluokkarakenteesta.

4 Päästövähennyksiä edistävät ja nielua vahvistavat toimet muilla sektoreilla

Hiilineutraaliustavoitteen saavuttamisessa ei pidä nojata pelkästään metsänieluun. Seuraavaksi tarkastellaan ratkaisuja, jotka vahvistavat nielua vihreän siirtymän edistämisen keinoin. Nämä toimenpiteet keventävät metsänieluun kohdistuvia paineita ja edistävät myös fossiili- ja prosessiperäisten päästöjen vähentämistä.

4.1 Sähkökattilat korvaamaan puuta kaukolämmön tuotannossa

Sähkökattilat ovat yleistymässä kiinteäksi osaksi Suomen energiayritysten kaukolämmön tuotantoa ja prosessiteollisuuden höyryntuotantoa. Suomessa sähkökattiloita on otettu käyttöön useissa lämpölaitoksissa, esimerkiksi Helsingissä, Tampereella, Vaasassa, Seinäjoella ja Lahdessa. Sähkökattiloihin on investoitu myös prosessiteollisuuden yrityksissä, kuten Stora Ensossa ja UPM:ssä, tuottamaan tarvittavaa teollisuushöyryä. Suomessa tehtyjen investointien kokoluokka on vaihdellut välillä 20–60 MW.

Sähkökattiloiden investointikustannukset vaihtelevat riippuen siitä, kuinka helppo sähkökattila on integroida muuhun lämmöntuotannon järjestelmään (Manninen 2025). Kustannukset vaihtelevat arviolta 0,1–0,5 M€/MW. Täten yhden 50 MW laitoksen investointikustannus on laitoksen luonteesta riippuen noin 5 - 25 M€. Tätä arviota tukevat myös kirjallisuudessa raportoidut tiedot. Esimerkiksi Tampereelle rakennettujen kahden sähkökattilan (kapasiteetti yhteensä 100 MW) investointikustannukseksi on raportoitu 15 – 20 M€ ja Stora Enson 60 MW investointikustannukseksi 5 M€ (Manninen 2025). Investointikustannukset ovat siis olleet selvästi lähempänä alarajaa kuin ylärajaa.

Sähkökattilan käyttökustannus riippuu sähkön hinnasta ja lämmöntuotannon ajoituksesta. Lämpöä tuotetaan lämmityskaudella, jolloin sähkön kausihinta on pääsääntöisesti korkeimmillaan. Tämän vuoksi sähkökattilan käyttökustannuksia on hyvä arvioida sähkön keskimääräisellä spot-hinnalla juuri lämmityskaudella. Esimerkiksi vuoden 2023 kvartaaleille ilmoitettujen hintojen keskiarvo on 30,85 €/MWh, kun kvartaalien hinnat vaihtelevat välillä 29-33 €/MWh. (Tilastokeskus). Vuonna 2024 sähkön spot-hinta oli noin 42 €/MWh. Samaan aikaan sähkön nollahintaisten päivien määrä on kasvamassa (Manninen 2025). Metsähakkeen kustannus oli vuonna 2023 oli 36,3 €/MWh. Sähkön hinnan ja energiapuun hinnan erotus lämmön tuotannossa edellisessä tapauksessa on noin 5,5 €/MWh sähkön hyväksi, kun se on jälkimmäistä lukua käyttäen 5,7 €/MWh energiapuun hyväksi. Mikäli yrityksellä on sähkön varastointijärjestelmä ja mahdollisuus tuottaa lämpöä alhaisen sähkön hinnan aikana, kustannusero voi kääntyä jopa sähkökattiloiden hyväksi.

Sähkökattiloiden yleistyminen vähentää puupohjaisen biomassan käyttöä ja mahdollistaa nyt polttoon menevän ainespuun ohjaamisen metsäteollisuuden käyttöön korkeamman jalostuksen piiriin. Kuten jo edellä todettiin, arviot polttoon menevästä ainespuusta ovat epävarmat ja vaihtelevat noin 4 – 6 Mm³, huippukausina jopa 8 Mm³. On kuitenkin hyvä muistaa, että osa ainespuusta tulee nuoren metsän hoidosta, joissa ainespuun osuus on vähäinen ja se on teknistaloudellisesti vaikea erotella energiapuusta. Ajoittain metsä- ja energiateollisuuden kesken vaihdetaan myös puun marginaalierää hyvin taloudellisin perustein. Täten ei ole syytä tähdätä kaiken ainespuun poistamiseen poltosta.

Seuraavassa taulukossa tarkastellaan mahdollisuutta poistaa ainespuuta poltosta eri määriä ja sen edellyttämää investointitarvetta sähkökattiloihin. Laskelmien lähtökohdaksi otetaan 50 MW laitos, joka tuottaa lämpöä 438 000 MWh. Oletuksen mukaan yhdellä kuutiolla metsähaketta tuotetaan lämpöä 2 MWh. Erityisen kiinnostuksen kohteena on kustannus, joka syntyy, kun puuta korvataan poltosta noin 4–5 Mm³. Kustannusten osalta tarkastellaan investointikustannusta ja käyttökustannuksena erotusta metsähakkeen hinnan ja sähkön hinnan kesken (5,7 €/MWh). Näistä lähtökohdista määritetään, kuinka monta 50 MW sähkökattilaa tarvitaan vaihtoehtoisten metsähakkeiden määrän vähentämiseen ja niihin liittyvät kustannukset yllä esitetyllä tavalla.

Taulukko 1. Tarvittava sähkökattiloiden lukumäärä, kun metsähaketta korvataan sähköllä tuotetulla lämmöllä

Poltosta korvattava kuitupuu Mm ³	Ainespuusta tuotettu energia miljoona MWh	Tarvittava 50 MW laitosten lukumäärä	Arvioidut investointikustannukset M€		
			Alhainen	Korkea	Keskiarvo
3	6	14	68,5	342,5	205,5
4	8	18	91,3	456,6	274,0
5	10	23	114,2	570,8	342,5

6	12	27	137,0	684,9	411,0
7	14	32	159,8	799,1	479,5

Oletuksen mukaan korvattavasta puusta vapautuu metsäteollisuuden käyttöön noin puolet ja hakkuut laskevat toisen puolen, sillä puun kysynnän ja hankinnan intensiteetti laskee.

Taulukko 1 osoittaa, että jos tavoitteena on korvata 5 Mm³ polttoon menevää ainespuuta, tarvitaan 23 kappaletta 50 MW kokoista laitosta. Alhaisten investointikustannusten oloissa taloudellinen kokonaisrasitus on pieni jäaden noin 115 M€:n. Mikäli kaikki investoinnit osoittautuvat kalliiksi, kustannus on 570 M €. Kun arviolukuja vertaa Suomessa toteutuneisiin kustannuksiin, odotettu kustannus on selvästi lähempänä alarajaa kuin ylärajaa. Tässä selvityksessä nojataan investointikustannusten osalta keskiarvoon, joten odotettu investointikustannus 5 Mm³ kuitupuun korvaamisesta sähkökattiloin on 340 M€.

Sähkökattilainvestointien vaikutus metsänieluun

Metsätilaston mukaan vuonna 2024 metsäpohjaista energiaa käytettiin Suomessa noin 11 Mm³, kun edellä esiteltujen simulaatioiden valossa energiapuuta syntyi 73 Mm³ hakkuilla noin 5 Mm³. Myös tässä valossa 5 Mm³ käytön lasku olisi mahdollinen ja sen hiilinieluvaikutusta voi arvioida kertoimella 1,5, joten maksimissaan nieluvaikutus olisi 8 Mt. On kuitenkin otettava huomioon, että pääosa kuitupuusta on harvennushakkuista, joten nieluvaikutus on perusteltua skaalata laskennallisesta nielusta noin puoleen, eli noin 4 Mt. Tämä nieluvaikutus on siten saavutettavissa ilman, että puuta jalostavalle metsäteollisuudelle syntyy kustannusrasitetta.

Toimenpiteen kustannusvaikuttavuus lasketaan tuottamalla investoinnin ja tuotantokustannuksen keskimääräinen nykyarvoinen vuotuinen kustannus ja jakamalla se nieluvaikutuksella. Investoinnin pitoajaksi oletetaan 25 vuotta ja korkotasoksi oletetaan 5 % alla olevan kaavan mukaisesti:

$$KV(\text{sähkökattila 1}) = \frac{(340\text{M€} + \sum_{t=1}^{25} (1+r)^{-(t-1)} 5,7\text{€} * 10\,000\,000 * MWh)/25}{4Mt} = 12\text{€/t}$$

Saatu kustannusvaikuttavuusluku on varsin alhainen ja tuo sähkökattilat kaikissa kustannustehokkaissa toimenpideyhdistelmissä ensimmäisten toimien joukkoon.

Kustannusvaikuttavuutta on kuitenkin hyvä tarkastella myös tilanteessa, jossa lämmityskaudella hakkeen ja sähkön hintaero on suurempi. Jos hintaerotus olisi kaksinkertainen, eli 11.4 €/MWh saadaan kustannusvaikuttavuusluvuksi

$$KV(\text{sähkökattila 2}) = \frac{(340\text{M€} + \sum_{t=1}^{25} (1+r)^{-(t-1)} 11,4\text{€} * 10\,000\,000 * MWh)/25}{4Mt} = 81\text{€/t}$$

Kustannusvaikuttavuusluku nousee nyt päästöoikeuksien hinnan tasolle ja osoittaa, kuinka tärkeässä roolissa käyttösähkön hinta lämmityskaudella on. Tässäkin tapauksessa sähkökattilat tarjoavat fossiilipolttoaineiden kustannuksiin vertautuvan keinon metsänielun vahvistamiseen.

Tilastojen valossa energiahakkeen hinta on nousussa ja sähkön tukkuhinnan vaihtelu asettumassa. Mikäli hakkeen niukkuus kasvaa ja hinta nousee, ja polttolaitos voisi hyödyntää tehokkaasti lämpövarastoja, saadaan erityistapaus, jossa hakkeen ja sähkön tukkuhinta ovat yhtä suuret. Tällöin kustannusvaikuttavuusluvuksi saadaan

$$KV(\text{sähkökattila 3}) = \frac{340M€/25}{4Mt} = 3,4 €/t$$

Johtopäätöksenä voi todeta, että sähkökattiloihin investoinnin kustannusvaikuttavuusluku on kaikissa tapauksissa alhainen ja siten sähkökattilat ovat tärkeä osa polulla hiilineutraaliustavoitteen saavuttamiseen. Sähkökattilainvestoinneilla on myös positiivisia ulkoisvaikutuksia vihreän siirtymän puhtaiden ratkaisujen yleistymiselle esimerkiksi prosessiteollisuuteen teollisuushöyryjen tuotantoon.

Sähkökattiloiden määrä yleistyy, mutta liian hitaasti suhteessa ilmastotavoitteisiin. Yhteiskunta voisi jouduttaa investointeja vero- tai tukipolitiikalla. Veropolitiikan osalta riittäisi, että julkinen valta ilmoittaa ja sitoutuu asettamaan veron energiapuun ensisijaiselle käytölle suurissa polttolaitoksissa tietyn määräajan jälkeen (esim. 6-7 vuotta) jälkeen, jolloin lämpölaitoksille jäisi riittävästi aikaa sopeuttaa investointinsa. Mikäli haluttaisiin ohjata tukea, sen perusteena voisi olla juuri metsänielun kasvun positiivinen ilmastovaikutus.

4.2 Biogeenisen hiilidioksidin talteenotto ja varastointi

Globaali kysyntä biogeenisen hiilidioksidin talteenottoon, varastointiin ja hyödyntämiseen kasvaa merkittävästi lähivuosikymmeninä. Uusin tutkimus arvioi, että 1,5 asteen tavoitteen saavuttaminenkaan ei riitä pysäyttämään Antarktiksien jäätiköiden sulamista. Pariisin sopimuksen 1,5 asteen raja ylitetään nopeammin kuin ennakoitiin ja lämpötilan laskeminen tavoitteeseen, 1,5 astetta vuosituhannen loppuun mennessä edellyttää päästöjen vähentämisen ohella hiilidioksidin talteenottoteknologioiden määrätietoista kehittämistä ja käyttöönottamista. Sen vuoksi on tarpeen tehostaa hiilidioksidin talteenotto- ja varastointiteknologioiden kehitystyötä ja saada siihen käytännön sovellutuksia.

Laajamittainen biogeenisen hiilidioksidin talteenotto mahdollistaa uusia ratkaisuja, joilla korvataan fossiilisten päästöjä ja joudutetaan siirtymää vetytalouteen. Globaali tarve, vetytalouden lupaus ja mahdollisuus innovaatioihin tekevät biogeenisen hiilidioksidin talteenotosta ja varastoinnista kiinnostavan vaihtoehdon edistää hiilineutraaliustavoitteen saavuttamista ja samalla voimistaa Suomen talouden innovaatioita ja taloudellista kehitystä. EU valmistelee parhaillaan 2040 ilmastotavoitteita. ESABCC:n (European Scientific Advisory Board on Climate Change, Euroopan ilmastotieteellinen neuvoa-antava lautakunta) suosituksissa on erillisen tavoitteen asettaminen teknologiselle nielulle. Mikäli näin käy, se jouduttaa hiilidioksidin talteenottoa ja varastointia, muiden teknologisten nieluratkaisujen ohella (biohiili ja hiilidioksidia sitovat tuotteet).

Suomella ja Ruotsilla on tarjolla suuria määriä biogeenista hiilidioksidia, sillä kummassakin maassa metsäteollisuudesta ja biomassaa käyttävistä polttolaitoksista syntyy paljon biogeenisia CO₂-päästöjä. Suomessa potentiaali on 28 Mt, kun lasketaan laitokset, joiden biogeeninen hiilipäästö on 0,1 Mt tai enemmän. Yhdeksän suurinta laitosta tuottavat 15,7 Mt (Kujanpää ym. 2023, Arasto ym 2024).

Hiilidioksidin talteenottoteknologia on jo vakiintunutta ja perustuu joko amiini- tai kaliumpohjaisiin ratkaisuihin.² Ruotsissa Stockholm Exergi on investoimassa jälkimmäiseen talteenottoteknologiaan. Investointikustannus on merkittävä noin 1170 M€. Suomessa Vantaan Energia on tehnyt investointipäätöksen hiilidioksidin talteenotosta yhdyskuntajätepolttolaitokseen (0,66 Mt) ja Metsä Group aloitti juuri pilottilaitoksen (0,1 Mt) käytön Raumalla. Ilmastopaneelin raportin mukaan kustannus talteenotosta ja varastoinnista on 120 – 240 €/t riippuen laitoksesta ja sen sijainnista. Näiden arvioiden valossa vuotuinen kustannus 4 Mt:n teknologisen nielun hankinnasta olisi 480 – 960 M€, jolloin 10 vuodessa kustannukset olisivat 4800 – 9600 M€.

Alan kehitys on kuitenkin nopeaa. Kansainvälinen yritys, SLB Capturi (SLB:n ja Aker Carbon Capturen yhteisyritys) tarjoaa jo valmiita modulaarisia talteenottolaitoksia yrityksille, jotka harkitsevat hiilidioksidin talteenottoa. Laitosten suurin saataville oleva kapasiteetti on 0,4 Mt/v ja niiden avulla yritys voi kasvattaa talteenottoa joustavasti esimerkiksi kolmella yksiköllä 1,2 Mt saakka. Jos kuitenkin yritys tähtää suureen talteenottokapasiteettiin, sen on todennäköisesti kannattavampaa rakentaa talteenottojärjestelmä itse.

Jääskeläinen ym (2025) analysoivat tilannetta, jossa valtio edistäisi hiilidioksidin talteenottoa (4 Mt) investointituella ja talteen otettujen yksiköiden yksikkötuella sekä sen lisäksi ostaa osan talteen otettavasta hiilidioksidista teknologiseksi nieluksi sijoitettavaksi Pohjanmeren kaasukenttiin. Jos valtio tukisi investointia talteenottoteknologiaan 25 prosentilla, niin kertasummainen tuki olisi 280 M€. Mikäli valtio kustantaisi talteenoton ja sijoittamisen kaasukenttiin kokonaan, niin tukea tarvittaisiin yhteensä 143 €/tCO₂, mikä koostuu 91 €/t talteenoton kustannuksesta ja 52 €/t varastoinnin kustannuksesta. Tämä on break-even hinta talteenoton kannattavuudelle. Tällöin 4 Mt vuotuinen hankinta maksaisi 572 M€ ja diskonttaamaton kustannus 10 vuoden aikana olisi 5 720 M€.

Mikäli markkinoilla on kysyntää talteen otetulle hiilidioksidille esimerkiksi päästöoikeuksien keskihinnalla 80 €/t, niin talteenottoon tarvittava break-even-tuki olisi 6 €/t, jonka lisäksi kustannettavana on varastoinnin kustannus 52 €/t. Tällöin 4 Mt hankinnan juokseva vuotuinen kustannus olisi 232 M€, mikä yhdessä investointituen kanssa on kymmenessä vuodessa diskonttaamattomana noin 2 600 M€. Jos investointituki jaetaan 10 vuodelle, saadaan 4 Mt vuotuisen tuotannon hankinnan yksikkökustannukseksi yhteiskunnalle 65 €/t ja sen päälle tulee 80 €/t markkinahinta. Investointituki toimii Jääskeläinen ym (2025) laskennassa keinona jouduttaa investointeja, sillä nykyisessä markkinatilanteessa ne etenevät hitaasti. Todettakoon, että tässä tapauksessa on riski teknologisen nielun kaksoislaskentaan: sekä yritys että yhteiskunta lukevat yksiköitä hyväkseen.

Kustannusvaikuttavuus

Kustannusvaikuttavuusluvut riippuvat jonkin verran siitä, millä tapaa valtio päättää tukea BeCCS:n käyttöönottoa ja siitä, onko talteen otetulle hiilidioksidille markkinaehtoista kysyntää.

² Amiinipohjaiset ratkaisut kattavat laajemman joukon emäksisissä yhdisteitä. Näistä MEA, AMP/PZ -ratkaisuja on tutkittu paljon.

Jos muuta kysyntää biogeeniselle hiilidioksidille ei alkuvaiheessa ole, valtio korvaa 10 vuoden ajan talteen otetut ja kaasukenttiin sijoitetut yksiköt. Valtio voi joko maksaa vuosittaisen tuen, joka tekee talteenoton ja sijoittamisen kannattavaksi. Vaihtoehtoisesti valtio voi jouduttaa investointeja investointituella (25 % investoinnista) ja yksikkökorvauksella. Erot kustannusvaikuttavuusluvuissa alla ovat pienet. Kuitenkin kannustimissa käynnistää investoinnit voi olla eroa investointituen eduksi, vaikka kustannusvaikuttavuusluku sille on hieman korkeampi.

$$KV(korkea) = \frac{(\sum_{t=1}^{10} (1+r)^{-(t-1)} 572)/10}{4} = 116 \text{ €/t}$$

$$KV(korkea) = \frac{(278 + \sum_{t=1}^{10} (1+r)^{-(t-1)} 552)/10}{4} = 119 \text{ €/t}$$

$$KV(korkea) = \frac{(278 + \sum_{t=1}^{10} (1+r)^{-(t-1)} 552)/10}{4} = 119 \text{ €/t}$$

Saadut luvut ovat korkeampia kuin aiemmin johdetut kustannusvaikuttavuusluvut sähkökattiloille ja metsälain muutokselle, ja myös korkeammat kuin päästöoikeuksien hinta. Kuitenkin mikäli biogeeniselle hiilidioksidille löytyy kysyntää markkinoilta, kustannukset laskevat. Jos biogeenisen hiilidioksidin hinta vastaisi suunnilleen päästöoikeuden hintaa, 80 €/t, vuotuisen nykyarvoisen korvauksen tarve laskee. Jos valtio maksaa tuotantotukea talteenotolle ja hiilidioksidin varastoinnin kustannuksille, on vuotuinen kustannus 252 M€ ja 25 %, investointituen tapauksessa alhaisempi 232 M€. Täten alhaisemman kustannuksen tapauksessa saadaan kustannusvaikuttavuusluvuiksi:

$$KV(alhainen) = \frac{(\sum_{t=1}^{10} (1+r)^{-(t-1)} 252)/10}{4} = 51 \text{ €/t}$$

$$KV(alhainen) = \frac{(278 + \sum_{t=1}^{10} (1+r)^{-(t-1)} 232)/10}{4} = 54 \text{ €/t}$$

Saadut luvut ovat rohkaisevia varsinkin, kun ottaa huomioon, että BeCCS edistää samalla laajamittaisemmin biogeenisen hiilidioksidin talteenottoa ja hyödyntämistä vetytalouden tarpeisiin ja fossiilisia polttoaineita ja materiaaleja korvaaviin ratkaisuihin.

Petteri Orpon hallitusohjelmaan on kirjattu lupaus edistää biogeenisen hiilidioksidin talteenottoa, varastointia ja hyödyntämistä uusiin tuotteisiin. Hallitusohjelman mukaisesti hallitus voisi järjestää tarjouskilpailun investointituesta biogeenisen hiilidioksidin talteenottoon ja ostaa osan talteen otetusta hiilidioksidista sijoitettuna Pohjanmeren kaasukenttiin. Tällaisessa tarjouskilpailussa yritykset kilpailevat keskenään tukisuudesta talteenottoinvestointiin, kun ne samalla arvioivat, millaiseksi biogeenisen hiilidioksidin markkinaehtoinen kysyntä voi kasvaa. Mitä suurempi odotettu markkinakysyntä, sitä kannattavampaa investoida talteenottoon ja sitä alhaisempi tuen osuus, jolla yritys sitoutuu tekemään investoinnin talteenottoon. Huomattakoon, että modulaaristen ratkaisujen oloissa myös pienempien laitosten osallistuminen tarjouskilpailuun kasvaa.

Valtio voi edistää myös muilla toimin biogeenisen hiilidioksidin markkinapohjaista kysyntää. Tällaisia päätöksiä ovat liikennepolitiikassa sähköpolttoaineille asetetun osuusvaatimuksen aikaistaminen ja määrän kasvattaminen sekä kierrätysmuovin sekoiteosuuden vaatimus raakamuovien tuotantoon.

4.3 ITMOjen käyttö ja hankinta: kustannustehokkuus ja realisoituneiden riskien hallinta

Pariisin ilmastopöytäkirjan artiklassa 6 määritetään kansainvälisten hiilikredittien ilmastokestävästä käytöstä maiden ilmastotavoitteiden tueksi ja näille krediteille on juuri luotu kestävyyskriteerit. Pariisin sopimuksen mukaisia ja kestäviä krediteitä kutsutaan ITMOksi (Internationally Transferred Mitigation Outcomes). Vaikka kansalliset tavoitteet tulisi saavuttaa pääsääntöisesti omilla toimilla, voidaan ITMOjen käyttöä kansallisten ilmastotavoitteiden saavuttamiseen perustella kahdella seikalla. Toinen on kustannustehokkuus, eli kotimaisten toimien noustessa hyvin kalliiksi, voidaan tavoitteiden saavuttamisen kustannusrasitusta laskea hankkimalla pienemmin kustannuksin ITMOja. Toinen peruste on varautuminen riskeihin ja yllätyksiin, jotka aiheuttavat lisähankaluuksia tai ylimääräisiä kustannuksia tavoitteen saavuttamiseksi.

Suomen tapauksessa juuri suometsien maaperäpäästöjen nopea kasvu ilmastolain hyväksymisen jälkeen 2018 voidaan tulkinta tällaiseksi yllätykselliseksi tekijäksi. Täten Suomi voisi hankkia ITMOja vastaamaan suometsien maaperäpäästöjen ennakoimatonta ja yllätyksellistä kasvua vuodesta 2018 lähtien. Vuonna 2018 suometsien maaperäpäästöt olivat 8,5 Mt inventaariolaskennan korjausten jälkeen. Vuonna 2023 tuolle vuodelle raportoidaan nykyään päästöiksi 13,9 Mt, joten suo- ja kivennäismetsien maaperänielu on supistunut ja turpeen hajoamisen päästöt kasvaneet lämpenemisen seurauksena noin 6 Mt. Kehityksen voi odottaa jatkuvan myös lähivuosina, joten hankittava määrä voisi olisi 6–8 Mt. Tämä määrä päästövähennys- tai nieluyksiköitä tulisi hankkia kansainvälisiltä, UNFCCC:n artiklan 6 mukaisilta kestävyyskriteerit täyttäviltä hiilimarkkinoilta. Suomen olisi perustellumpaa hankkia pysyviä päästövähennymiä nieluyksiköiden sijaan.

Vuonna 2023 hankittujen ITMOjen hinnat vaihtelivat 20-50 €/t (lähde), joten kustannusrasitusta julkiseen talouteen voidaan arvioida näillä hinnoilla. Taulukossa xxx esitetään kustannusarvio eri yksikköhinnoilla ja hankittavilla määrillä.

Taulukko. ITMOjen hankinnan vuotuiset kustannukset

Yksikköhinta	Hankittava määrä ITMOja		
	6 Mt	8 Mt	10 Mt
30	180 M€	240 M€	300 M€
40	240 M€	320 M€	400 M€
50	300 M€	400 M€	500 M€

Suomi voisi hankkia ITMOja vuosina 2033 – 2037, jolloin diskonttaamaton kokonaiskustannus olisi $5 \cdot 240 \text{ M€} = 1091 \text{ M€}$. Kustannusvaikuttavuusluku keskiarvoisena nykyarvokustannuksena on

$$KV(ITMO_t) = \frac{(\sum_{t=1}^5 240 \cdot (1+r)^{-(t-1)})/5}{6} = 36.4 \text{ €/t}$$

ITMOjen hankinta kompensoimaan yllätystä suometsien turpeen hajoamisessa on täten varsin edullinen toimenpide. Kustannusta voidaan laskea entisestään, jos Suomi laatii aktiivisen ITMOjen hankintaohjelman.

5 Sektorikohtaiset toimet: yhteenveto nielu- ja talousvaikutuksista

Taulukot 2 ja 3 kokoavat yhteen jaksojen 3 ja 4 nielu- ja kustannustarkastelut. Hakkuut raportoidaan niiden ajallisena vaihteluvälinä. Toimenpiteille raportoidaan keskimääräisen vuotuisen kustannukset samoin kuin kustannusvaikuttavuusluvut. Taulukko 2 kattaa metsän välittömästi kohdistettujen toimien vaikutukset ja siinä raportoidaan kantorahatulot, metsäteollisuuden puunkäyttö ja metsänielu keskiarvoina ja vuoden 2035 pistearvona ennakoimaan ilmastolain mukaista hiilineutraalisuutta.

Taulukko 2. Nielua vahvistavien toimenpiteiden vaikutukset: metsäteollisuuden puun käyttö, nielu, kantorahatulot ja kustannusvaikuttavuus

		Keskiarvo			2035
		2026-2041	2026-2033	2034-2041	
Baseline	Baseline kantorahatulot	3654 M€	3694 M€	3614 M€	3639 M€
	Metsäteollisuuden puunkäyttö	66,8 Mm3	66,8 Mm3	66,8 Mm3	67,2 Mm3
	<u>Baseline nielu metsissä</u>	<u>6,1 Mt</u>	<u>8,9 Mt</u>	<u>3,4 Mt</u>	<u>7,4 Mt</u>
Metsälaki	Nielun lisäys metsissä	-8,9 Mt	-13,3 Mt	-4,5 Mt	-6,4 Mt
	Metsäteollisuuden puunkäyttö	65,5 Mm3	62,8 Mm3	68,2 Mm3	67,9 Mm3
	Muutos kantorahatuloissa	128 M€	251 M€	5 M€	124 M€
	kustannusvaikuttavuus €/tCO ₂ -ekv koko kausi				16 €/t
Hiilivuokra	Nielun lisäys metsissä	-4,7 Mt	-4,8 Mt	-4,7 Mt	-8,3 Mt
	Metsäteollisuuden puunkäyttö	58,6 Mm3	57,5 Mm3	59,7 Mm3	55,8 Mm3
	Muutos kantorahatuloissa	130 M€	178 M€	82 M€	277 M€
	kustannusvaikuttavuus €/tCO ₂ -ekv koko kausi				14 €/t
Valtion hakkuut	Nielun lisäys metsissä	-2,2 Mt	-2,0 Mt	-2,4 Mt	-2,4 Mt
	Metsäteollisuuden puunkäyttö	65 Mm3	66 Mm3	65 Mm3	66 Mm3
	Muutos kantorahatuloissa	51 M€	26 M€	76 M€	-1 M€
	kustannusvaikuttavuus €/tCO ₂ -ekv koko kausi				21 €/t

Vihreän siirtymän investointien ja ITMOjen hankinnan kustannukset suhteessa baselineen on koottu taulukkoon 3.

Taulukko 3. Nielua vahvistavien toimenpiteiden vaikutukset: metsäteollisuuden puun käyttö, nielu, kantorahatulot ja kustannusvaikuttavuus

	Hakkuut yht. Mm3	Teollisuuden tukki- ja kuitupuu Mm3	Kustannus vuodessa M€	Nieluvaikutus Mt CO ₂ eq	KV-luku €/tCO ₂ eq
Sähkökattilat	70	64	34	3 Mt	45 €/t*)
BeCCS	73	68	402*)	4 Mt	86 €/t
ITMOt	73	68	320	8 Mt	36 €/t

*) Raportoidun kustannushaarukan keskiarvo.

Saatuja mallinnustuloksia voidaan nielun osalta verrata joko suhteessa mallin arvioiman perusuran mukaiseen nieluun vuonna 2035 (päästö noin 7 Mt) tai kasvihuonekaasuinventaarion nykytasoon (n. 1 Mt v. 2023). On tärkeää huomata, että mallinnuksen tuloksena saatavat nielunlisäykset suhteessa perusuraan voivat erota siitä, mikä metsänielu käytännössä toteutuu, sillä laskelmien perusurakin on mallisimulointien tulos. Siksi yhteenvedossa esitetään metsänielun osalta varovaisemmat arviot kuin mitä mallinnus antaa tulokseksi. BeCCS:n ja ITMOjen hankinnan tuottama nielu on varma, myös sähkökattilainvestointien mahdollistama nielunlisäys tuotetaan oikein mitoitettu investoinnilla.

Kuvassa 18 hahmotetaan rajakustannusfunktio nielun kasvattamisesta käyttäen edellä johdettuja kustannusvaikuttavuuslukuja. Kuvassa 18 toimenpiteet on koostettu seuraavasti: 3 Mt sähkökattilat, 3 Mt metsälain uudistus, 2 Mt valtion hakkuiden supistuminen, 8 Mt ITMOja turpeen kasvaneiden päästöjen kompensoimiseksi ja 4 Mt BECCS. Täten rajakustannusfunktio kertoo, millä hinnalla kukin uusi nieluyksikkö on tuotettavissa. Kuva antaa myös toimenpiteiden kokonaiskustannuksen metsä- ja teknologisen nielun kasvattamisesta ja se on yhteensä n. 830 M€.

Kuva 18. Metsä- ja teknologista nielua kasvattavien toimien rajakustannusfunktio (KUVA TULEE SEURAAVAAN VERSIOON)

Kuva 18 on perinteinen ja osuva tapa järjestää toimien kustannukset ilmastotavoitteiden saavuttamiseksi. Se havainnollistaa hyvin kustannusten kasvun ja kullakin tasolla saatavien yksiköiden määrän, jossa metsänielun kautta tuotettava nielu on vain 5 Mt muiden kattaessa pääosan. Kuten kuva 18 osoittaa, BeCCS:n tukeminen on toimista kallein ja metsään kohdistuvat toimet ovat halvimmat tuotettua nieluyksikköä kohden. Luvussa 6 katsotaan toimenpidepakettien kansantaloudellisia vaikutuksia.

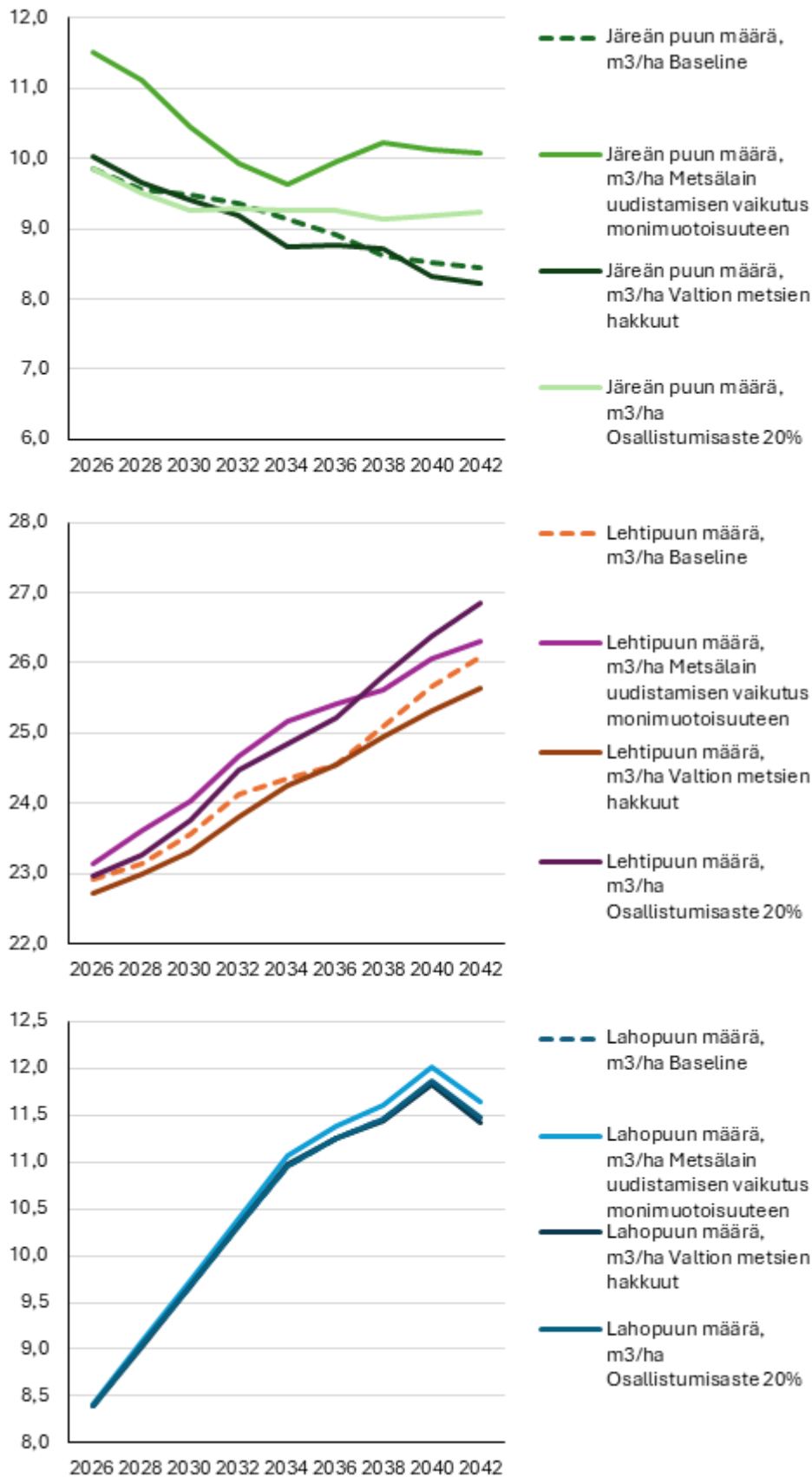
Vaikutukset luonnon monimuotoisuuteen

Metsän vaikuttavilla ilmastotoimilla on vaikutusta myös metsäluonnon monimuotoisuuteen. Tässä raportissa monimuotoisuutta lähestytään metsiin soveltuvan ELITE-indeksin kautta. ELITE-indeksi perustuu kunkin elinympäristön monimuotoisuuden keskeisiin rakennetekijöihin.

Monimuotoisuuden tilaa kuvaava indeksin arvo määritetään yhtälönä, jossa tarkasteltavan elinympäristön rakennepiirteiden mitattu tila suhteutetaan saman habitaatin luonnontilaisten rakennepiirteiden arvoon. Keskeiset rakennepiirteet metsiin ovat lahopuun määrä, lehtipuun määrä ja järeän puun määrä: mitä enemmän kutakin on, sitä suurempaa on kohteen monimuotoisuus ja sitä kuvaavan indeksin arvo (arvot välillä 0-1).

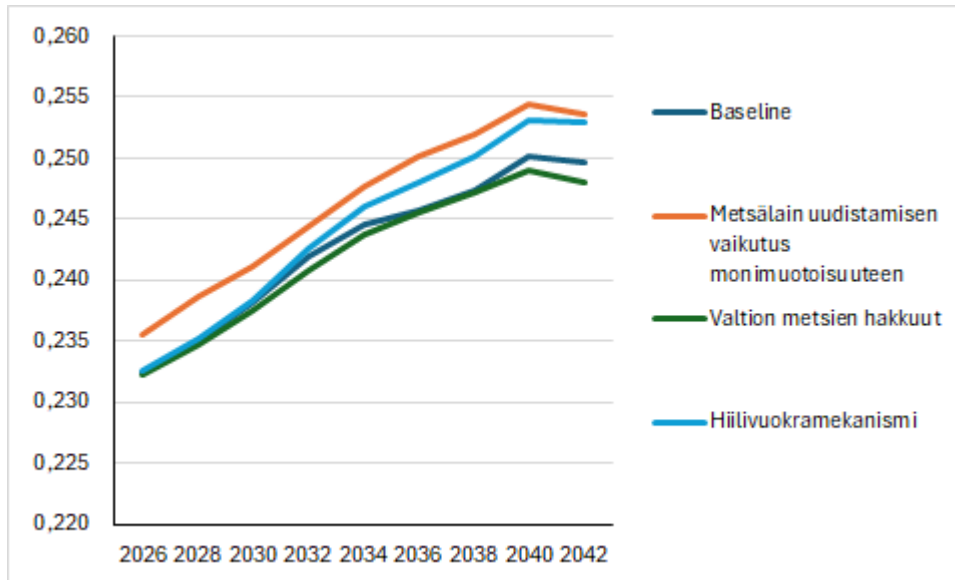
Kuvassa 19 esitetään, kuinka laho-, lehti- ja järeän puun määrä kehittyy metsälain uudistuksen, hiilivuokramekanismin ja valtion hakkuiden supistamisen toimenpiteillä. Huolestuttava piirre on se, että järeän puun määrä Suomen metsissä laskee. Se merkitsee, että metsät nuorentuvat ja monimuotoisuus heikenee. Kestävän metsänhoidon suosituksen kirjaaminen lakiin kääntäisi suunnan: järeän puun osuus nousee hieman ja vakiintuu. Lehtipuun osuus kasvaa talousmetsien luonnonhoidon ja metsien ikärakenteen nuorentumisen vuoksi (lehtipuut pioneeripuita), mikä voimistaa monimuotoisuutta. Toinen hälyttävä piirre on, että lahopuun määrää kääntyy laskuun näillä hakkuutasoilla tultaessa 2040-luvulle.

Kuva 19. Metsälainuudistuksen, hiilivuokran ja valtion hakkuiden vaikutukset metsäluonnon keskeisiin rakennepiirteisiin



Kuvassa 20 esitetään mainittujen kolmen rakennepiirteen nojalla monimuotoisuuden tilaa kuvaavan ELITE-indeksin avulla.

Kuva 20. Elite-indeksin kehitys perusurassa sekä metsälain uudistuksen, hiilivuokramekanismin ja valtion metsien hakkuiden rajoittamisen vaikutuksesta



ELITE-indeksin arvo kasvaa tarkastelujakson ajan kussakin tapauksessa. Saadut arvot ovat kauttaaltaan varsin alhaiset, joskin nousevat ennen muuta lehtipuusuuden kasvun vuoksi. Perusurassa indeksin arvo on alhaisin, samoin valtion metsien hakkuiden tapauksessa. Sen sijaan sekä metsälain uudistus että hiilivuokramekanismi nostavat indeksin arvon selvästi muita korkeammalle. Lahopuulla on suuri rooli ELITE-indeksissä ja sen arvot kääntyvät laskuun kaikissa tapauksissa, mutta metsälain ja hiilivuokramekanismin oloissa vain hieman.

6 Toimenpiteiden kansantaloudelliset vaikutukset ja nielupolku hiilineutraaliuteen 2035

Nielua vahvistavien toimien vaikutuksia tarkastellaan nyt koko kansantalouden tasolla hyödyntäen yleisen tasapainon dynaamista mallia. Termillä yleinen tasapaino viitataan kaikkien markkinoiden sopeutumiseen valittujen toimien aiheuttamiin vaikutuksiin. Syötteet yleisen tasapainon malliin tulevat edellisen luvun kustannusarvioista. Malliajot tuottavat tuloksena perusuran ja kustakin toimenpiteestä juontuvasta kehitysuran välisen erotuksen. Toimenpiteiden vaikutuksia tarkastellaan aluksi erillisinä toimina. Lopuksi toimenpiteet yhdistetään nielupoluksi, joka arvioitujen päästövähennysten valossa turvaa hiilineutraaliustavoitteen saavuttamisen, ja määritetään sen kasvuvaikutus bruttokansantuotteeseen.

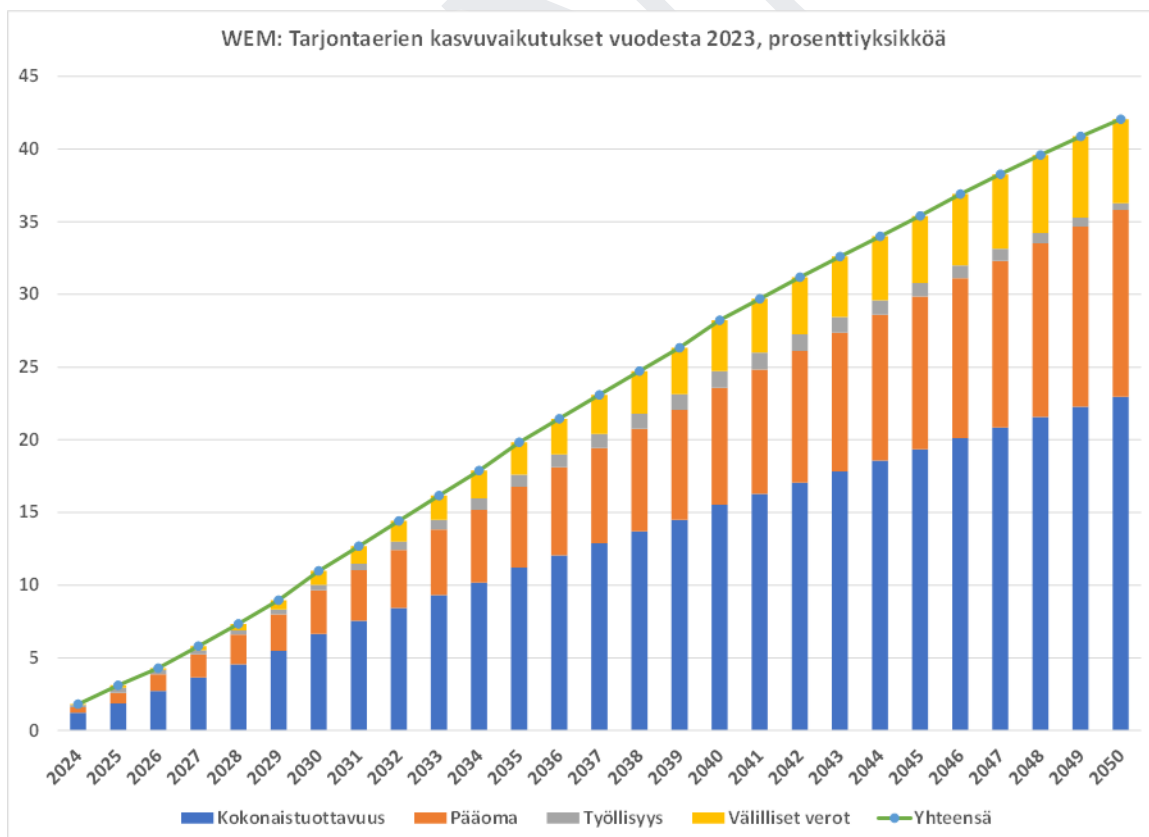
6.1 Bruttokansantuotteen perusura

Tässä raportissa käytettävä bruttokansantuotteen perusura perustuu energia- ja ilmastopolitiikan perustaksi tuotettuun arvioon. Siten nyt tehtävä analyysi on yhteensopiva politiikan suunnittelun taustana parhaillaan käytettyjen arvioiden kanssa.

Kansantuotteen kasvua kuvataan laskennassa tarjontaerien ja kysyntäerien kasvuvaikutuksien avulla. Ne esittävät kansantuotteen kasvun osatekijöidensä summana kuvaten siten kunkin osatekijän vaikutusta kokonaismuutokseen. Kansantuote voi kasvaa, jos pääoma- ja työpanosten käyttö tai kokonaistuottavuus kasvavat. Esitettävissä kasvuhajotelmissa kasvu painotetaan osatekijöihin niiden vastaavilla kansantuoteosuuksilla, jolloin saadaan tekijöiden vaikutus koko kansantuotteen kasvuun. Ne ovat siten kansantuote-erien osuuksilla painotettuja muutoksia, jotka kertovat siitä, miltä kansantalouden sektoreilta arvioidut muutokset ovat peräisin.

Kuvassa 21a esitetään kansantuotteen kasvu perusurassa tarjontatekijöiden kasvuvaikutusten avulla. Lisäksi tarjontapuolen kansantuotteeseen luetaan välillisten verojen vaikutus, joka Suomessa on noin kymmenesosa kansantuotteesta. Yhteensä kansantuote kasvaa noin neljäkymmentäkaksi prosenttia vuodesta 2023. Kasvusta noin 23 prosenttiyksikköä syntyy tuottavuuden kasvusta. Noin 13 prosenttiyksikköä syntyy pääoman kasvusta ja kuutisen prosenttiyksikköä välillisten verojen kautta. Työpanoksen kautta kasvua syntyy 2030 luvun aikana lähes prosenttiyksikön verran työllisyysasteen noustessa, mutta vuoteen 2050 mennessä tämä vaikutus on enää 0,5 prosenttiyksikköä. Keskeinen syy tähän on demografiassa: työikäinen väestö ei ennusteessa enää kasva.

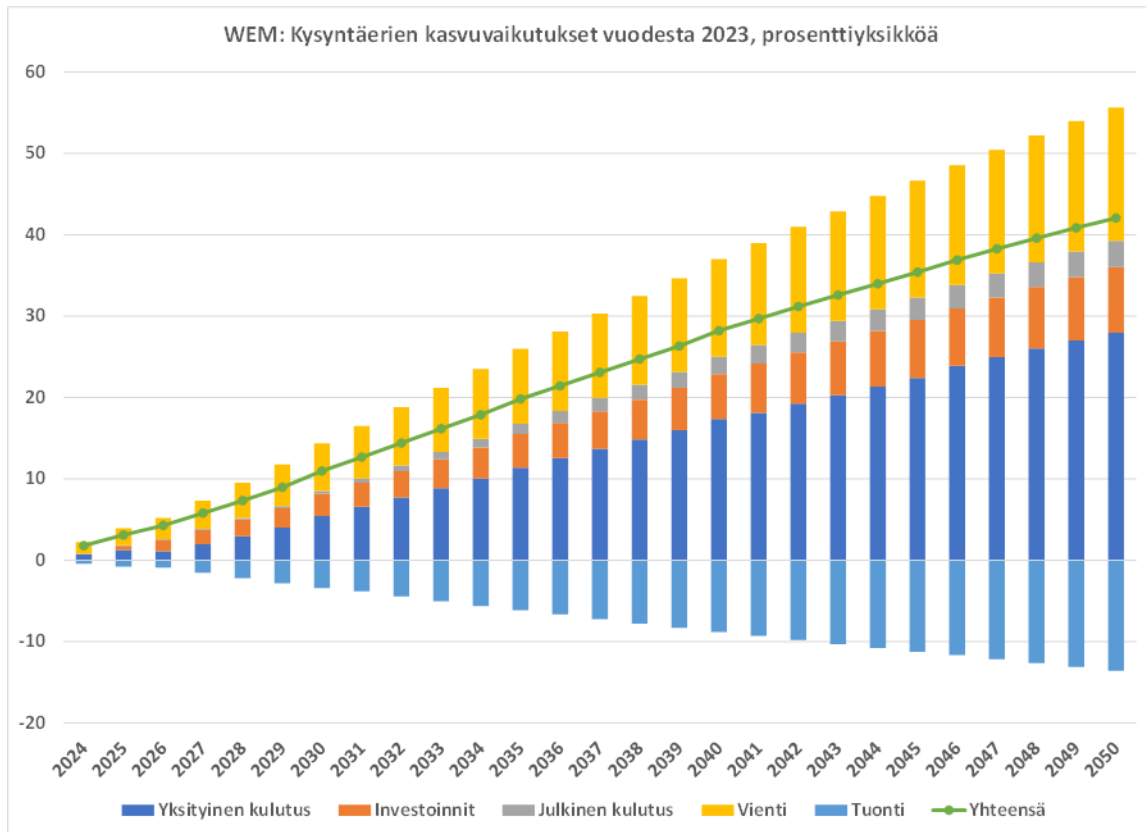
Kuva 21a. Kansantuotteen kasvu perusurassa kuvattuna tarjontatekijöiden kasvuvaikutuksen kautta



Kuvassa 21b tarkastellaan kasvua kysyntätekijöiden kasvuvaikutuksien kautta. Noin 28 prosenttiyksikköä kasvusta syntyy yksityisen kulutuksen kasvusta, 8 prosenttiyksikköä

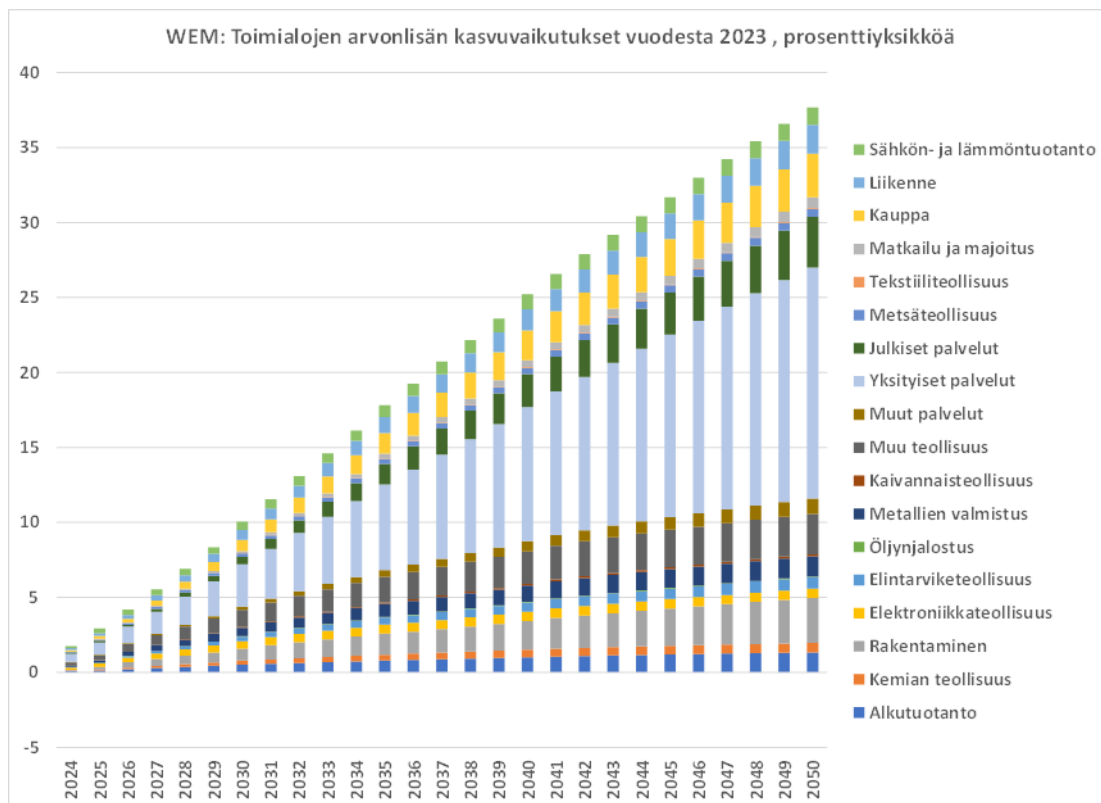
investointikysynnän kautta ja runsaat 3 prosenttiyksikköä julkisen kulutuksen kautta. Julkisen sektorin rooli ei siis ole ratkaiseva, kun tarkastellaan kulutusta, vaan se on pikemminkin tulonsiirtojen puolella. Viennin kasvuvaikutus on vuoteen 2050 mennessä yli 16 prosenttiyksikköä, kun taas tuonnin vaikutus – joka pienentää kansantuotetta – on noin -3,5 prosenttia.

Kuva 21b. Kansantuotteen kasvu perusurassa kuvattuna kysyntätekijöiden kasvuvaikutuksen kautta



Kuvassa 21c esitetään toimialojen arvonlisän kautta syntyvä kasvuvaikutus. Arvonlisien kasvuvaikutusten summa on pienempi kuin kansantuotteen kasvu, koska siitä puuttuu välillisten verojen vaikutus. Arvonlisän kautta tarkasteltuna suurin vaikutus syntyy yksityisten palvelujen kautta. Tässä niihin luetaan muun muassa liike-elämän palvelut, rahoitus ja tietoliikenne, mutta myös kiinteistöjen hallinnan ja vuokrauksen toimialat, joille sijoittuu suuri osa kansantalouden pääomakannasta. Teollisuuden osuus arvonlisästä on alle viidenneksen, ja niin on sen kasvuvaikutuskin, joka on noin 18 prosenttiyksikköä. Rakentamisen kasvuvaikutus on hieman yli kolme prosenttiyksikköä ja kaupan hieman vajaa kolme prosenttiyksikköä. Julkisten palvelujen kautta syntyy noin 3,4 prosenttiyksikön kasvuvaikutus.

Kuva 21c. Kansantuotteen kasvu perusurassa kuvattuna toimialojen arvonlisän kasvuvaikutuksen kautta



Kuvassa 21c työllisyyden ennakoitu kehitys eri toimialoilla on vientikysynnän, kotimaisen julkisen sektorin kysynnän ja osin kotitalouksien kulutuksen kautta johdettua kysyntää, johon vaikuttaa ennen kaikkea reaaliansoiden kehitys. Kokonaistyöllisyys määräytyy kuitenkin työn tarjonnan kautta - viime kädessä siis työikäisen väestön määrän kehityksestä sekä työllisyysasteesta. Työllisyysasteen kehitys oletetaan hallitusohjelman tavoitteiden mukaisesti nousevan 80 prosenttiin. Työllisten määrä kasvaa perusskenaariossa eniten julkisten palvelujen ja julkisen hallinnon toimialoilla. Valtaosa tästä kasvusta johtuu sote-alojen henkilöstötarpeen kasvusta. Toimialarakenne muuttuu palveluvaltaisemmaksi mutta samaan aikaan myös rakentamisen toimialan osuus kasvaa. Muilla aloilla työllisyys voi kasvaa vain vähän ja useilla aloilla työllisyys pikemminkin laskee. Samaa aikaan palveluistuminen lisää kysyntää palveluille, kun taas rakentamisen osuutta kasvattavat jatkuva kaupungistuminen ja myös vihreä siirtymä.

6.2. Metsänielun vahvistamiskeinojen kansantaloudelliset vaikutukset

Seuraavassa tarkastellaan, millaisia ovat metsätalouteen kohdistettavien toimien kansantaloudelliset vaikutukset.

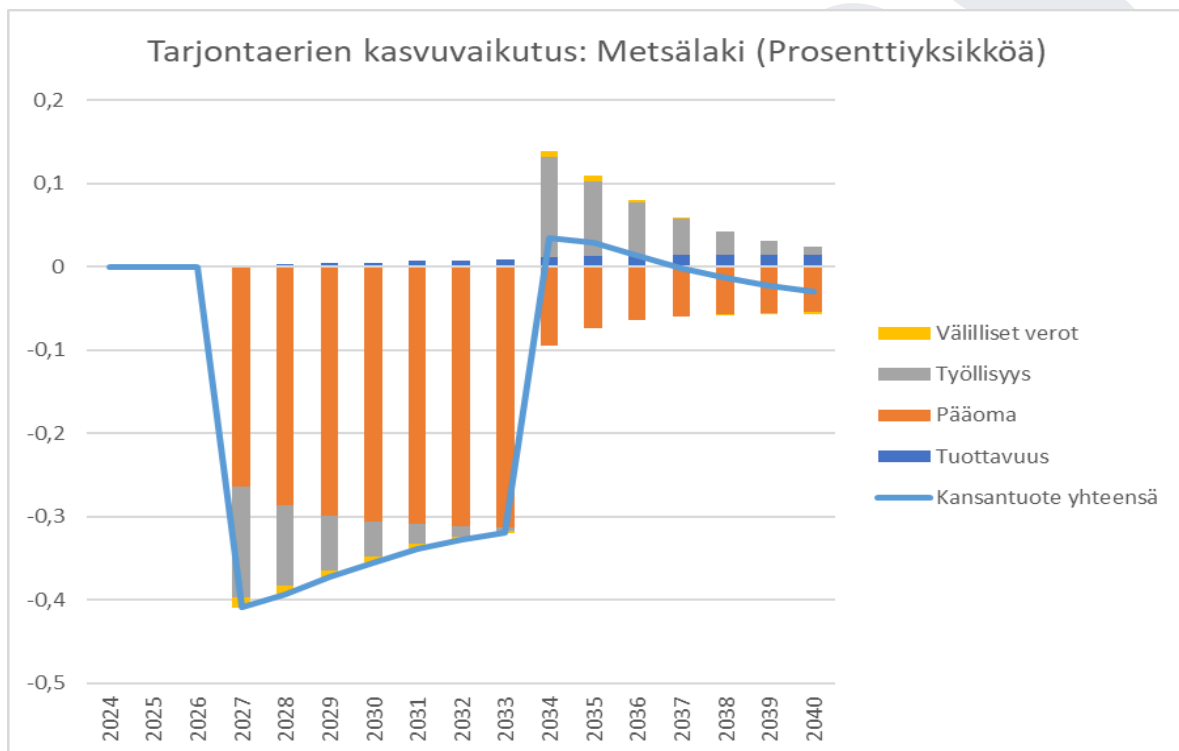
Metsälain uudistaminen

Metsälain uudistaminen tekemällä Tapion hyvän metsänhoidon suositukset pakolliseksi laskee Monsu-mallin mukaan hakkuita aluksi tasolle noin 65 Mm3 (2026-2029). Se laskee metsäklusterin tuotantoa ja investointeja. Hakkuut nousevat kuitenkin vuoden 2030 jälkeen takaisin perusskenaarion

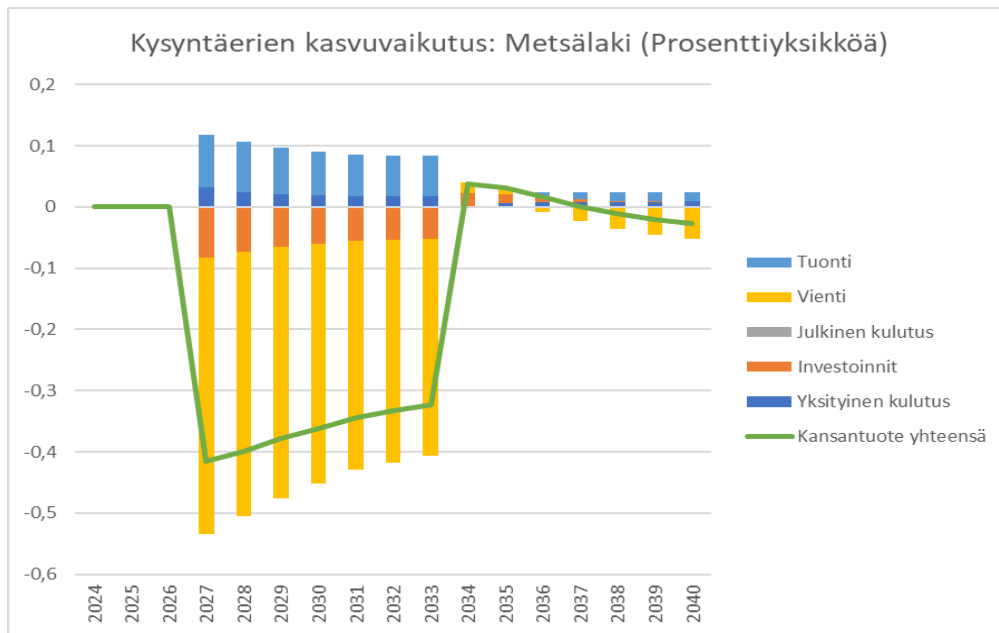
mukaiselle tasolle 73 Mm³, sillä hakkuumahdollisuudet lisääntyvät tarkastelujakson edetessä. Kansantuote jää enimmillään noin miljardin perusskenaariota alemmaksi vuonna 2030, mutta tarkastelujakson lopussa ero on vain noin 70 miljoonaa.

Kuvat 22a - 22c esittävät, kuinka bruttokansantuotteen kasvu poikkeaa perusurasta, kun metsälaki uudistetaan. Mikäli kasvu on juuri sama, poikkeama on nolla. Jos kasvu jonain vuonna jää perusuraa alemmaksi, erotus on negatiivinen. Jos kasvu toimenpiteen tuloksena on korkeampi kuin perusura, erotus on positiivinen. Kuvissa 22a ja 22b tätä kasvueroa kuvaa sininen yhtenäinen käyrä ja niiden palkit kuvaavat kysyntä- ja tarjontaerien kasvuvaikutusta.

Kuva 22a. Metsälain uudistuksen vaikutus bruttokansantuotteen kasvuun suhteessa perusuraan tarjontaerien kasvuvaikutuksen kautta

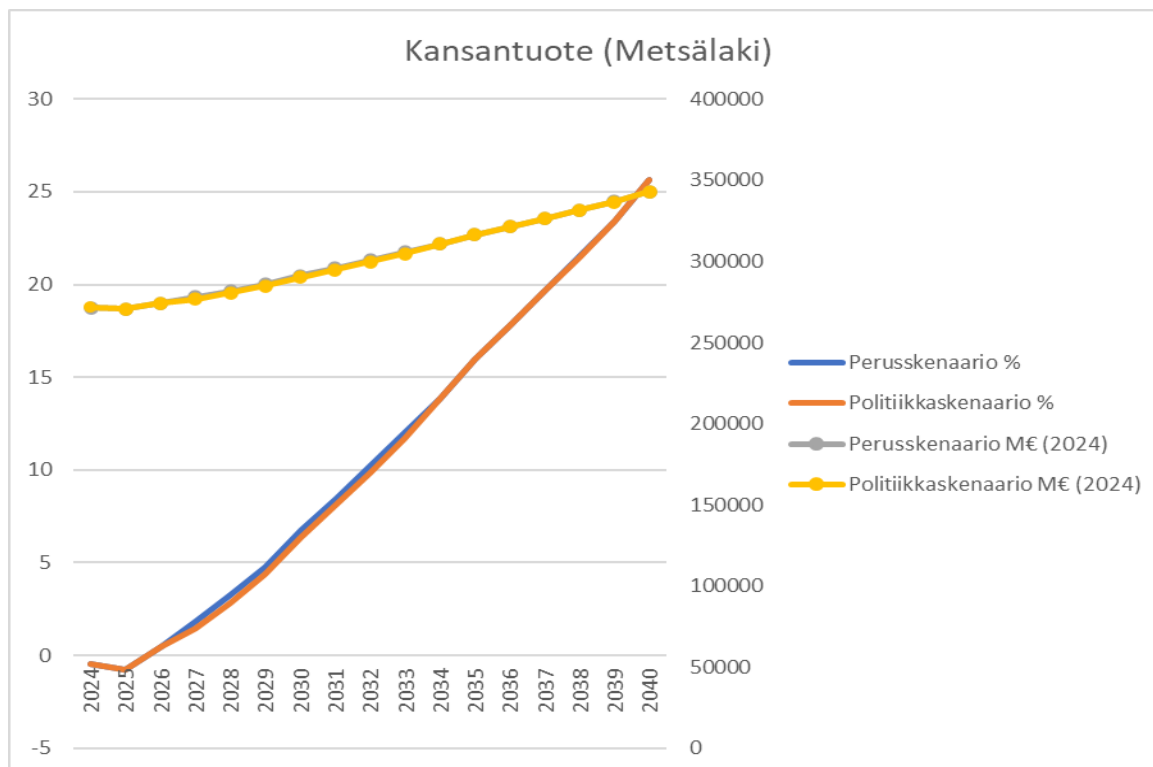


Kuva 22b. Metsälain uudistuksen vaikutus bruttokansantuotteen kasvuun suhteessa perusuraan kysyntäerien kasvuvaikutuksen kautta



Kuvista 22a ja 22b nähdään, että metsälakiuudistus laskee kansantalouden kasvua suhteessa perusuraan tarkastelujakson alkuvaiheessa, jolloin hakkuutkin tilapäisesti laskevat. Kasvun vähentävä vaikutus on suurimmillaan vuosina 2027–2033, maksimissaan 0,4 % menetettyä perusuran kasvua. Hakkuiden vähentyminen vaikuttaa aluksi metsäklusterin pääomaan ja työllisyyteen. Jakson lopulla talous palaa perusuralle ja osin sen yläpuolellekin erityisesti positiivisen työllisyysvaikutuksen myötä. Saatu vaikutus on olennaisesti pienempi kuin FCG:n julkistama vaikutus metsäteollisuuteen. Erot syntyvät siitä, että FCG:n laskelmissa teollisuuden käyttämä puun määrä laskettiin pysyvästi tasolle 55 Mm³, mikä on epärealistinen oletus. Simuloinneissa metsäteollisuuden puun käyttö laskee alimmillaankin ja vain hetkellisesti laskee tasolle noin 60 Mm³. Toinen eroihin vaikuttava tekijä on se, että hakkuut palaavat perusuralle suhteellisen nopeasti, sillä hakkuumahdollisuudet kasvavat. Kuva 22c havainnollistaa kuinka perusuran mukaisen kasvun ja toimenpiteen aiheuttama kasvun aikaurat suhteutuvat toisiinsa.

Kuva 22c. Bruttokansantuotteen kasvu perusurassa ja metsälain uudistuksen mukaisessa kasvupolussa (prosenttiyksiköissä ja euromääräisesti)



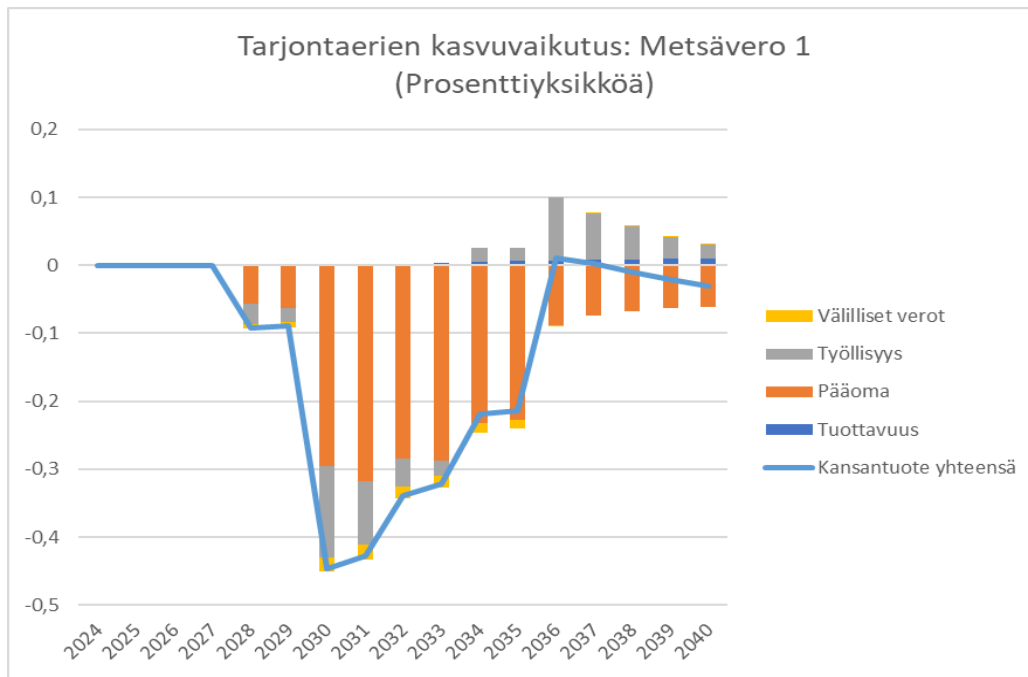
Myös kuva 22c osoittaa kasvun prosenttimuutosten kautta, että metsälain uudistamisen aiheuttama hakkuiden lasku 2026-2034 pienentää hieman kansantuotteen kasvua, mutta vaikutus jää tilapäiseksi. Tässä kuten useimmissa seuraavissa kuvissa, perus- ja politiikan skenaarioiden erot eivät ilmene kansantuotteen euromääräisissä kuvaajissa, vaan ne ovat päällekkäin. Syynä on se, että kuvan akselit ovat miljardeja ja ero jäävät selvästi pienemmiksi kuin miljardi.

Hiilivuokramekanismi

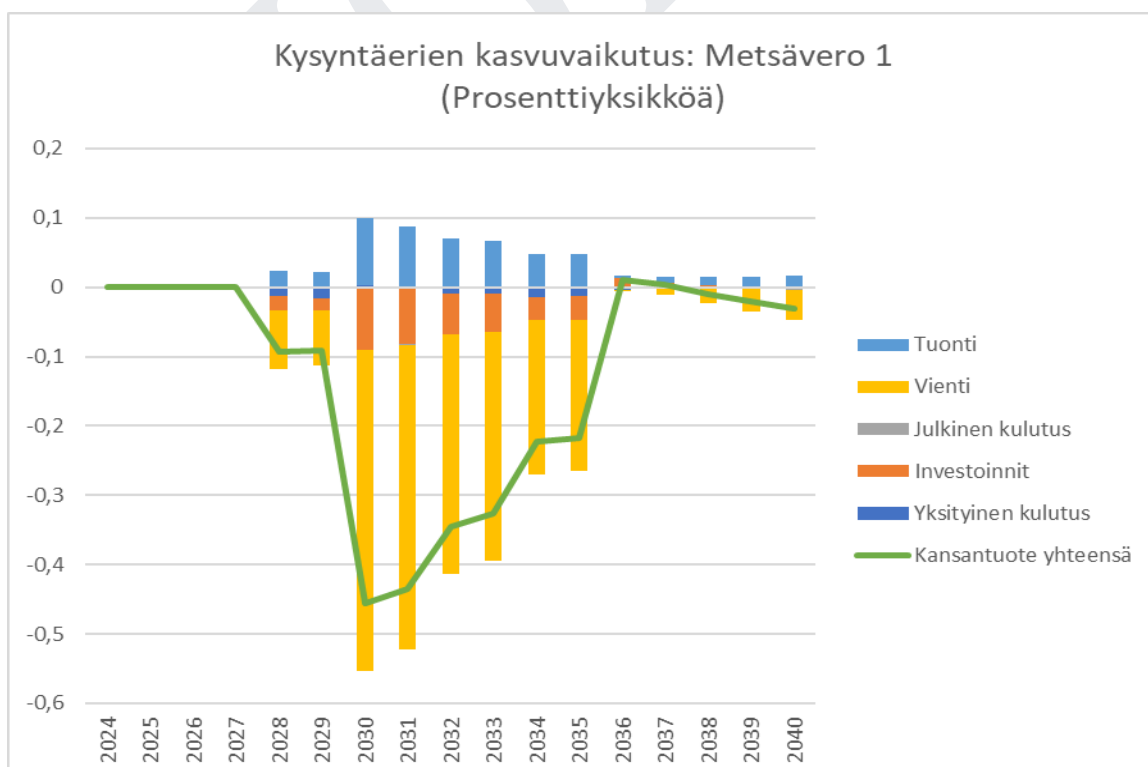
Hiilivuokramekanismi tarjoaa metsänomistajien vapaaehtoisuuteen ja korvauksiin perustuvan vaihtoehdon metsänielun vahvistamiseen. Mekanismi on voimassa 2027 – 2036. Hiilivuokra mallinnettiin seuraavasti: hiiliensidontaa edistää nyt hiilivero, joka kuitenkin tuottaa optimoinnin päätöstilanteessa saman nieluvaikutuksen kuin tuki. Vero kompensoidaan metsänomistajille kertausmaksukorvauksena, joten metsänomistajien hiiliensidonnasta saama tulo korvaa hakkuutulojen laskua, joskaan ei vuosittaisena, ja tukee hiilinielun ylläpitoa ja on niiltä osin Monsu-mallin tarkastelun mukainen. On kuitenkin todettava, että mallinnuseron vuoksi tulokset eivät ole täysin yhdenmukaisia Monsu-mallinnuksen kanssa.

Samaan tapaan kuin Monsu-mallissa, FINAGE-mallissa tarkastellaan vaihtoehtoina 20 % ja 30 % osallistumisastetta. Seuraavassa raportoidaan tulokset olettaen, että 20 % metsänomistajista osallistuu mekanismiin, joka on voimassa 2027-2036. Edellisessä luvussa nähtiin, että tällöin hakkuut laskevat alkuvaiheessa 9 Mm³, mutta palautuvat perusskenaariotason tasolle. Kuvissa 23a ja 23b kuvataan jälleen kysyntä- ja tarjontaerien kasvuvaikutuksen kautta hiilivuokran aiheuttama poikkeama kasvun perusurasta ja kuvassa 23c itse kasvu-urat.

Hakkuiden supistuminen johtaa pääoman negatiiviseen kasvuvaikutukseen. Tätä suurempi vaikutus syntyy metsäteollisuuden viennin ja investointien laskusta, ja ne kattavat suuren osan kuvien tarjonta- ja kysyntäerien hajotelmien negatiivisista kasvuvaikutuksista. Hiilivuokramekanismin päätyttyä hakkuut kasvavat, jolloin pitkän aikavälin vaikutukset kansantalouteen jäävät pieniksi. Kansantuote jää joitakin kymmeniä miljoonia perusskenaariota pienemmäksi vuoteen 2040 mennessä.

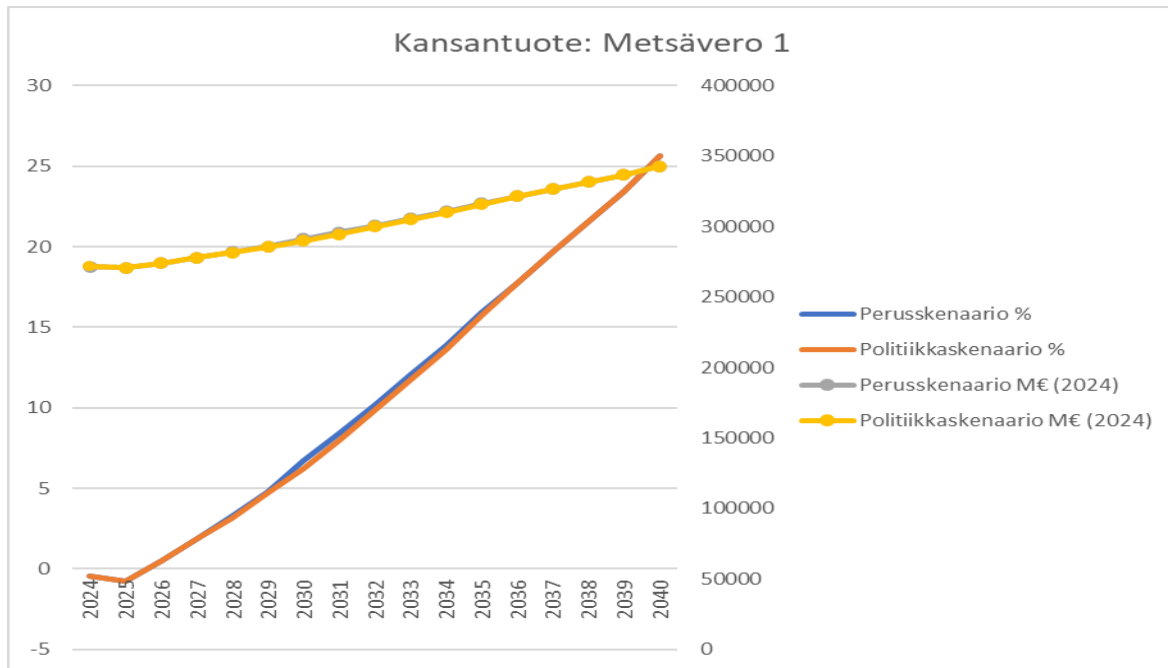


Kuva 23a. Hiilivuokramekanismin käyttöönoton mukaisen kasvu-uran ja perusuran erotus ilmaistuna tarjontatekijöiden kasvuvaikutuksen kautta, kun metsänomistajien osallistumisaste on 20 %



Kuva 23b. Hiilivuokramekanismin käyttöönoton mukaisen kasvu-uran ja perusuran erotus ilmaistuna kysyntätekijöiden kasvuvaikutuksen kautta, kun metsänomistajien osallistumisaste on 20 %

Perusuran ja hiilivuokramekanismin mukainen kasvupolku esitetään kuvassa 23c. Se vahvistaa yllä esitetyn havainnon, että hiilivuokramekanismi laskee jonkin verran kansantalouden kasvupolkua voimassaolovuosiensa ajan ja on miljardin luokkaa noin kuuden vuoden ajan.

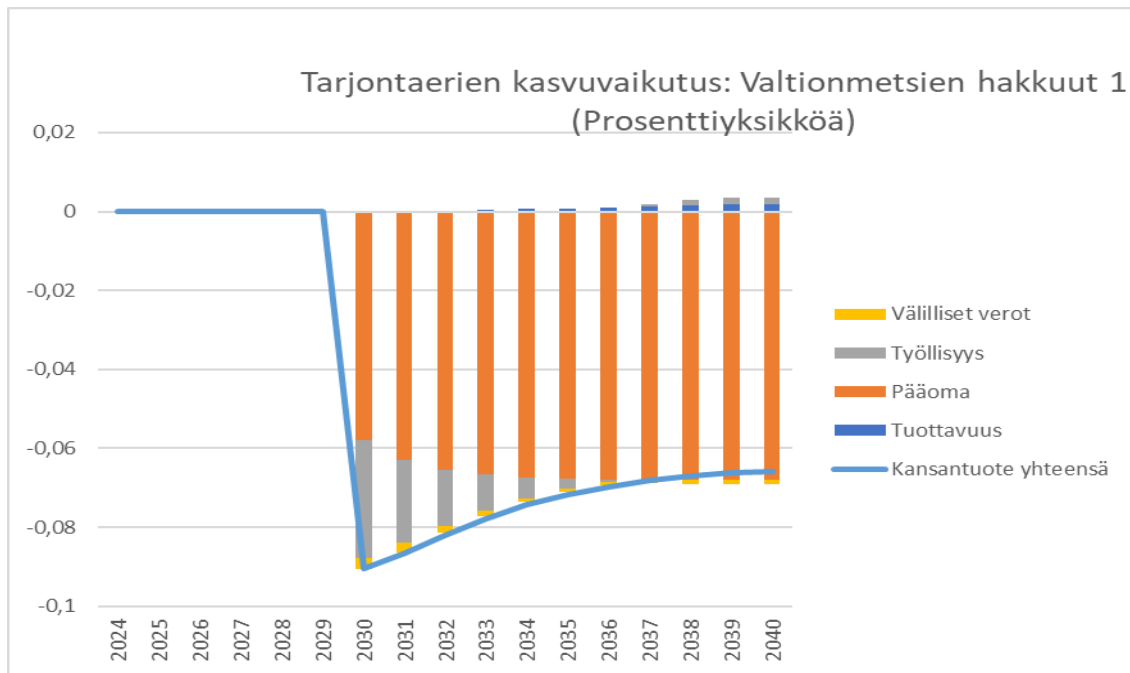


Kuva 23c. Bruttokansantuotteen kasvu perusurassa ja hiilivuokramekanismin mukaisessa kasvu-urassa ilmaistuna prosenttiyksikköinä ja euromääräisesti

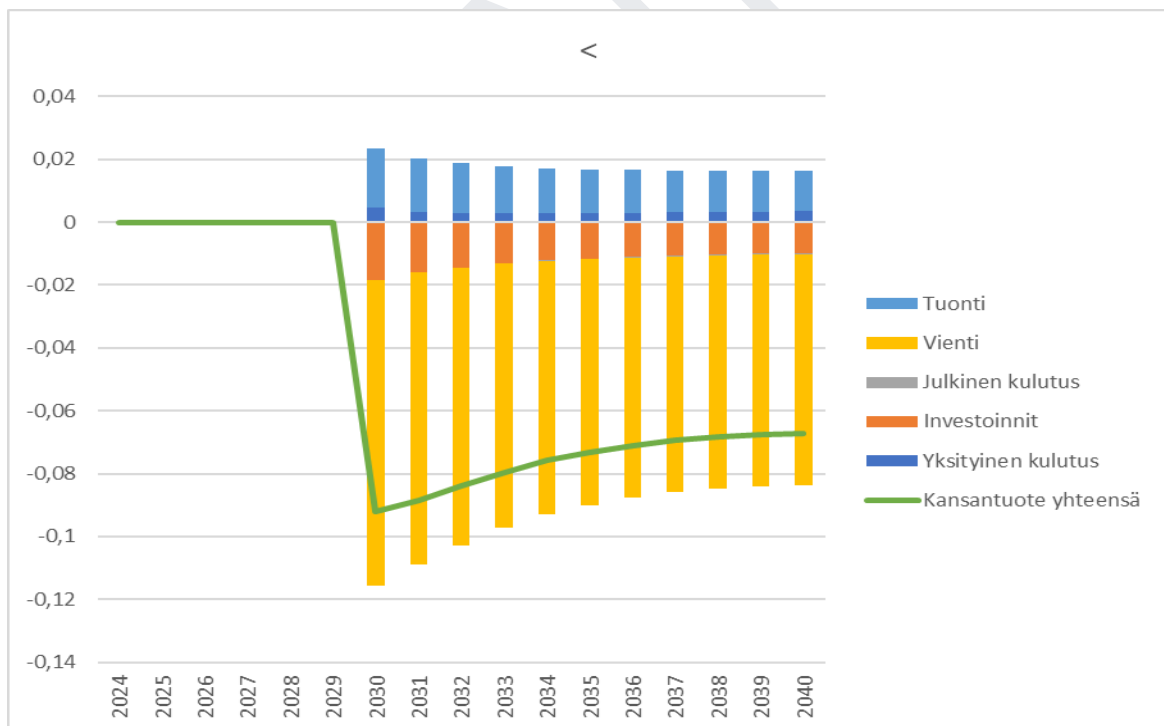
Liitteessä on esitetty sama analyysi tapaukselle, jossa metsänomistajien osallistumisaste on 30 %. Hiilivuokramekanismin ensi vaikutus puun tarjontaan on merkittävä ja puun hinta uskottavasti nousee. Se johtaa kysynnän valumiseen metsiin, jotka eivät osallistu. Mikäli näin käy se lieventää negatiivista kasvuvaikutusta kuvissa 23a - 23c. Täten kuvat esittävät suurinta vaikutusta, joka mekanismilla on kansantalouteen. Nielulaskennassa vuoto otetaan huomioon.

Valtion metsien hakkuut

Valtionmetsien hakkuita vähennetään 2 Mm³, jolloin hakkuiden kokonaismäärä laskee ilman hiilivuotoa 2,8 prosentilla ja hiilivuodon oloissa selvästi vähemmän. Laskenta raportoidaan kuvissa 24a – 24c ilman hiilivuotoa, jotta hakkuiden laskun vaikutus kasvun perusuraan ei tulisi aliarvioiduksi. Liitteessä esitetään tapaus, jossa vuodoksi oletetaan 60 %. Vaikutukset kansantalouteen syntyvät pääosin metsäklusterin tuotannon supistumisesta. Vaikutus on kuitenkin erittäin pieni, jääden suurimmillaankin 0,09 prosenttiyksikön tasolle (2031), jos vuotoa ei ole.

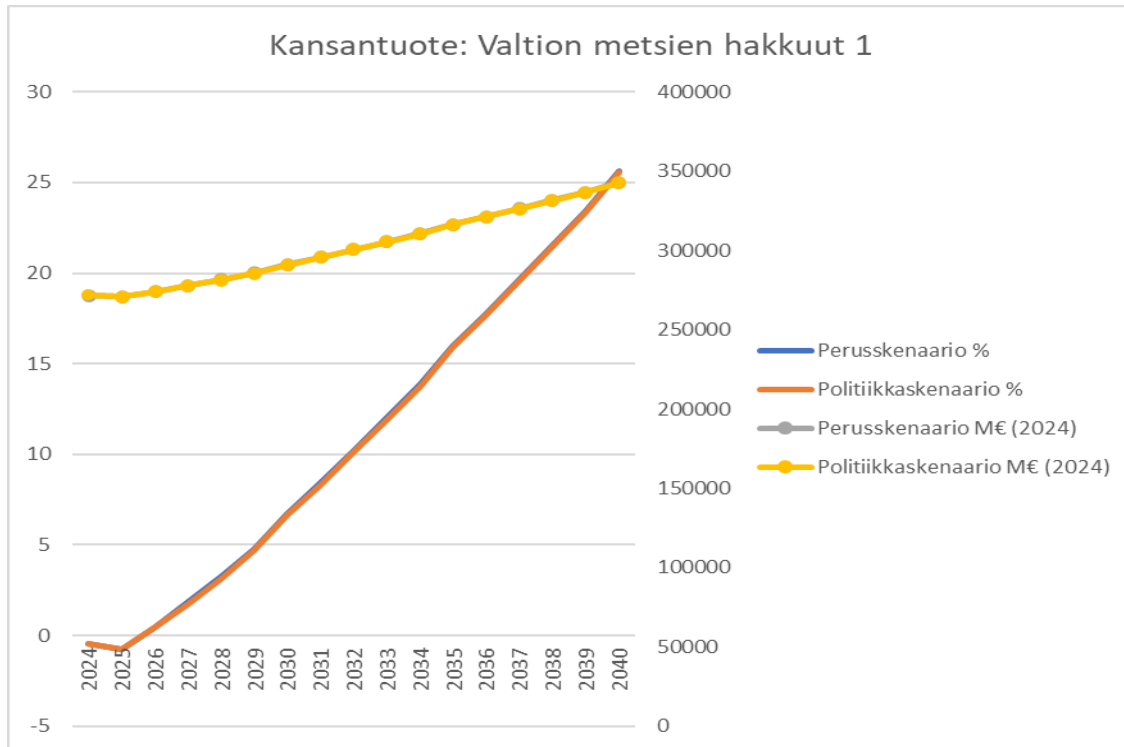


Kuva 24a. Valtion metsien hakkuiden supistamisen vaikutus bruttokansantuotteen kasvuun suhteessa perusuraan tarjontaerien kasvuvaikutuksen kautta, kun hakkuuvuoto oletetaan nolllaksi



Kuva 24b. Valtion metsien hakkuiden supistamisen vaikutus bruttokansantuotteen kasvuun suhteessa perusuraan tarjontaerien kasvuvaikutuksen kautta, kun hakkuuvuoto oletetaan nolllaksi

Vaikutuksen pienuus näkyy kuvassa 24c siinä, että kasvukäyrät ovat käytännössä päällekkäin. Euromääräinen vaikutus bruttokansantuotteeseen päätevuonna, eli erotus perusuran 342,88 mrd ja politiikkauran 342,81 mrd, välillä on noin 70 miljoonaa euroa



Kuva 24c. Bruttokansantuotteen kasvu perusurassa ja valtion metsien hakkuiden supistamisen mukaisessa kasvu-urassa ilmaistuna prosenttiyksikköinä ja euromääräisesti

6.3 Päästövähennyksiä edistävät ja nielua vahvistavat toimet muilla sektoreilla

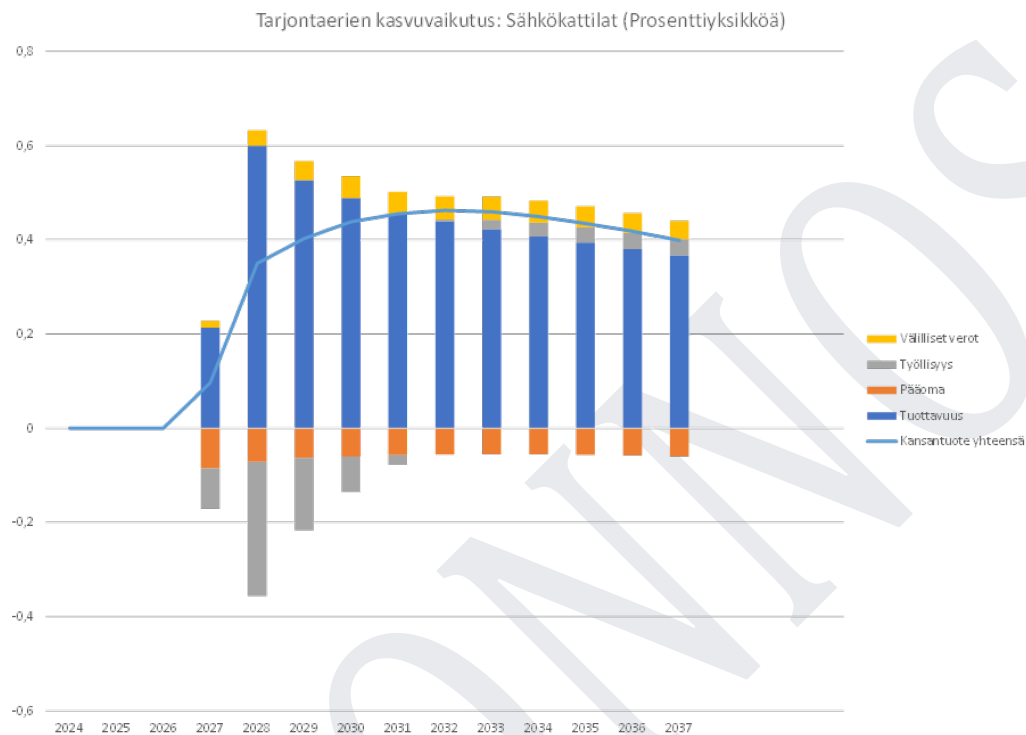
Muilla sektoreilla osoitettiin toimina sähkökattiloiden lisääminen lämmöntuotannossa kuitupuun polton vähentämiseksi, biogeenisen hiilidioksidin talteenotto ja varastointi sekä ITMOjen hankinta kompensoimaan suometsien turpeen hajoamisen ennakoimatonta lisäämistä.

Sähkökattilat

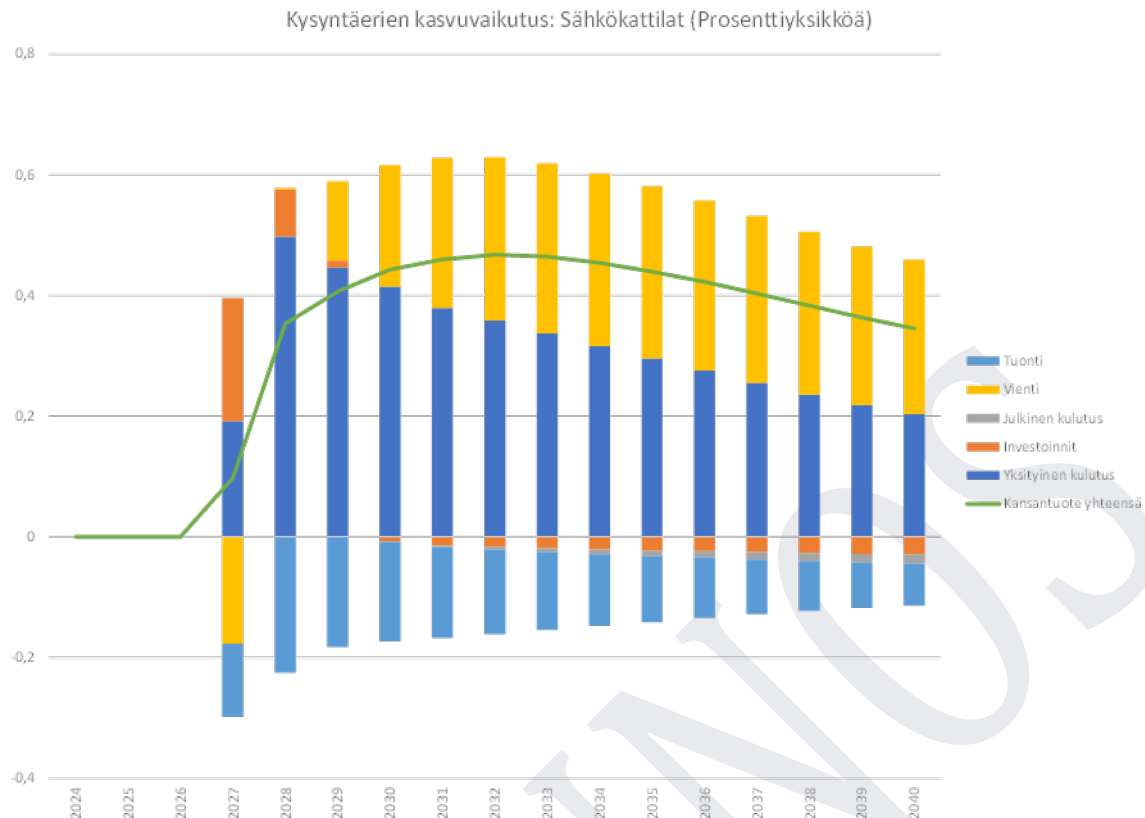
Investoinnit sähkökattiloihin vähentävät energiapolttoon ohjautuvaa ainespuuta. Edellä tehtyjen laskelmien valossa kuitupuuta vapautuu poltosta 5-6 Mm³, josta 3 Mm³ suuntautuu oletuksen mukaan metsäteollisuuden raaka-aineeksi. Hakuut vähenevät täten noin 3 Mm³ ilman että metsäteollisuuden käyttöön tuleva puun määrä laskee. Investoinnit sähkökattiloihin toteutetaan vuosien 2027-2028 aikana. Investointien kokonaiskustannus on edellä esitetyn arviohaarukan keskiarvona noin 340 M€. Mallissa investoinnit kohdistetaan sekä sähkön ja lämmön yhteistuotannolle että erilliselle lämmöntuotannolle.

Sähkökattiloiden laajempi käyttöönnotto lisää bruttokansantuotteen kasvua suhteessa perusuraan noin 0.4 - 0,6 %. Toimenpide voimistaa kansantalouden materiaalihetokkuudesta johtuvaa tuottavuuden kasvua, mikä ilmenee tarjontapuolella (kuva 25a) ja kysyntäpuolella investoinnit luovat kasvua (kuva 25b).

Kuva 25a. Sähkökattilainvestointien vaikutus bruttokansantuotteen kasvuun suhteessa perusuraan tarjontaerien kasvuvaikutuksen kautta

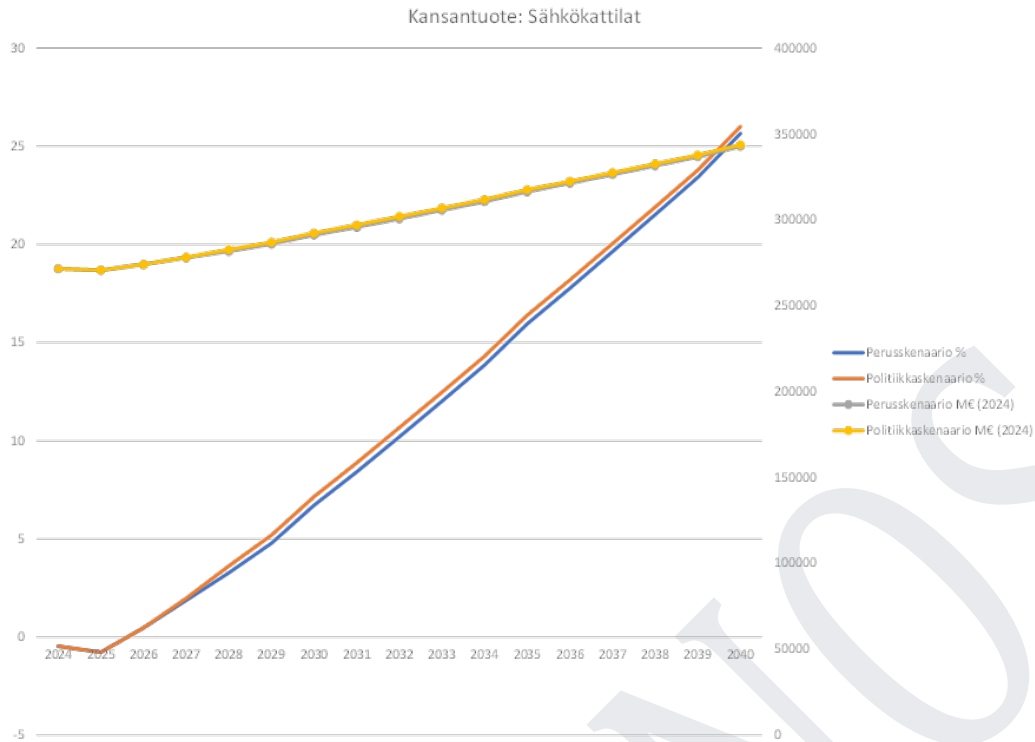


Kuva 25b. Sähkökattilainvestointien vaikutus bruttokansantuotteen kasvuun suhteessa perusuraan kysyntäerien kasvuvaikutuksen kautta



Havaittu positiivinen kasvuvaikutus ilmenee hyvin myös kasvupolkujen vertailussa kuvassa 22c. Kansantalous on lievästi vahvemmalla kasvupolulla koko tarkastelukauden loppuun. Vihreän siirtymän ratkaisujen edistämällä sähkökattiloiden muodossa saavutetaan siten kaksoishyöty: kuitupuun polton lasku lisää osin puuta metsäteollisuuteen ja osin vahvistaa nielua.

Kuva 25c. Bruttokansantuotteen kasvu perusurassa ja sähkökattiloin investointien mukaisessa kasvu-urassa ilmaistuna prosenttiyksikköinä ja euromääräisesti



Nyt bruttokansantuotteen prosenttiyksiköissä ilmaistu kasvu erottu selvästi perusuran korkeammalla tasolla, samoin kuin hieman korkeampana euromääräisessä kehityksessä.

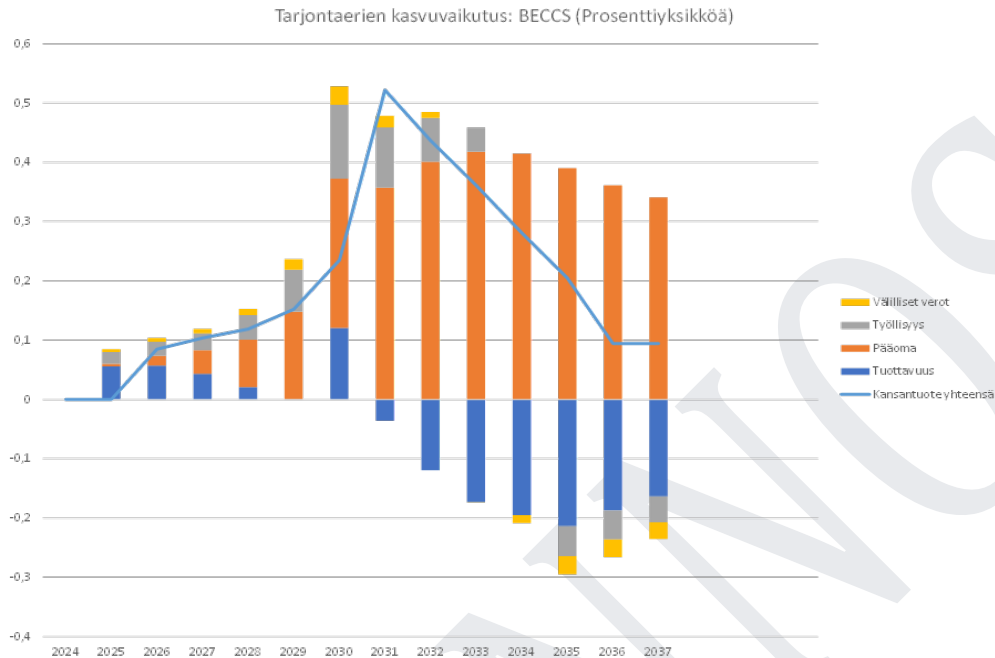
Biogeenisen hiilidioksidin talteenoton, hyödyntämisen ja varastoinnin edistäminen valtion tuella nielun vahvistamiseksi ja vetytalouden jouduttamiseksi

Jos valtio ostaa vuosittain 4 Mt teknologista nielua jouduttaen tuen avulla biogeenisen hiilidioksidin talteen ottoa ja vetytalouden kehitystä, sillä on laaja-alaisia vaikutuksia kansantalouteen: nielun ohella vetytalous edistyy ja tuottavuus ja tehokkuus kasvaa useilla toimialoilla. Skenaariossa tarkastellaan hiilidioksidin talteenoton ja sen mahdollistaman vedyn tuotannon vaikutuksia. Skenaariossa kohdistetaan suuria investointeja kemianteollisuuden vedyn valmistukseen sekä metsäteollisuuden ja jätteidenkäsittelyyn hiilidioksidin talteenottoon. Investointien mitoitusta ja ajoitusta on kuvattu EK:n hanketietokannan perusteella ja vedyn tuotannon kasvu investointien valmistuttua on arvioitu laitosten sähkönkulutuksen perusteella. Investoinnit alkavat 2025 noin 300 M€ ja nousevat yli 3 miljardin vuonna 2030. Vaikutukset kansantalouteen syntyvät vedyn tuotannosta ja mahdollisesta viennistä syntyvistä kasvuvaikutuksista. Investoinnit kasvattavat kansantalouden tuotantokykyä.

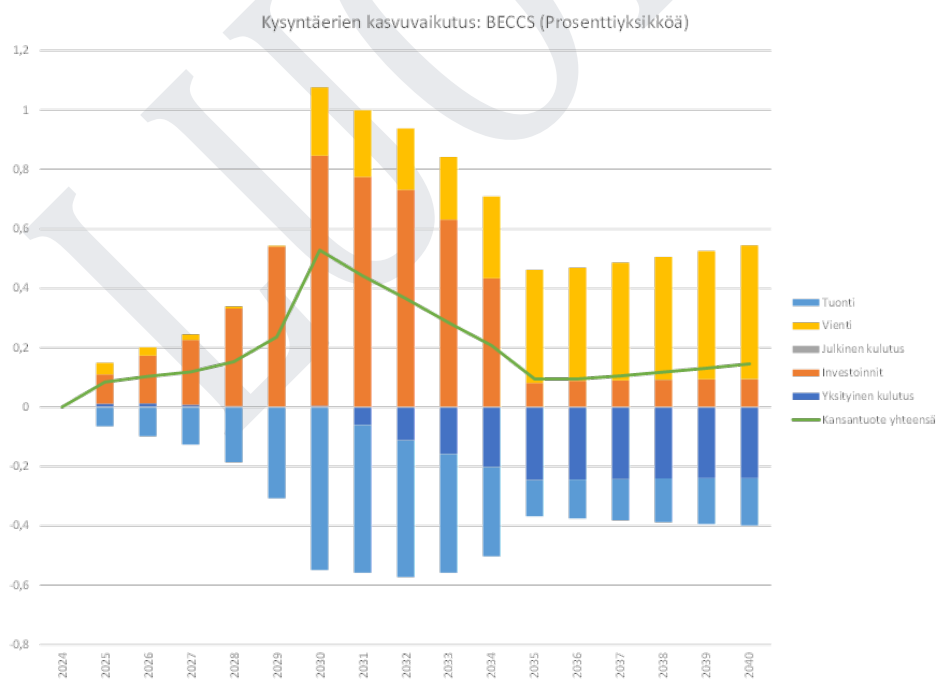
Kuvaan 26a on kuvattu vaikutukset kansantalouden tarjontaerien kasvuhajotelman avulla. Sininen viiva kuvaa kansantuotteen kasvua perusskenaarioon verrattuna; kansantuote nousee suurimmillaan puolisen prosenttia perusskenaariota enemmän tasaantuen noin 0,1 prosenttiin investointivaiheen päätyttyä. Kasvu on peräisin kasvaneesta pääomakannasta, mutta investointien ollessa käynnissä myös työllisyys kasvattaa kansantuotetta. Investointivaiheen päätyttyä työllisyyden vaikutus jää negatiiviseksi. Investointien merkitys käy selvemmäksi kuvasta 26b, jossa kansantuotteen muutosta tarkastellaan kysyntäerien kasvuhajotelmana. Kuviosta näkyy, että investointivaiheessa suurin

vaikutus syntyy investoinneista ja niiden valmistuttua viennistä. Kansantuote nousee perusskenaarion 342,9 miljardista 343,3 miljardiin (2024 hinnoin) vuoteen 2040 mennessä.

Kuva 26a. Biogeenisen hiilidioksidin talteenoton, hyödyntämisen sekä varastoinen vaikutus bruttokansantuotteen kasvuun suhteessa perusuraan tarjontaerien kasvuvaikutuksen kautta

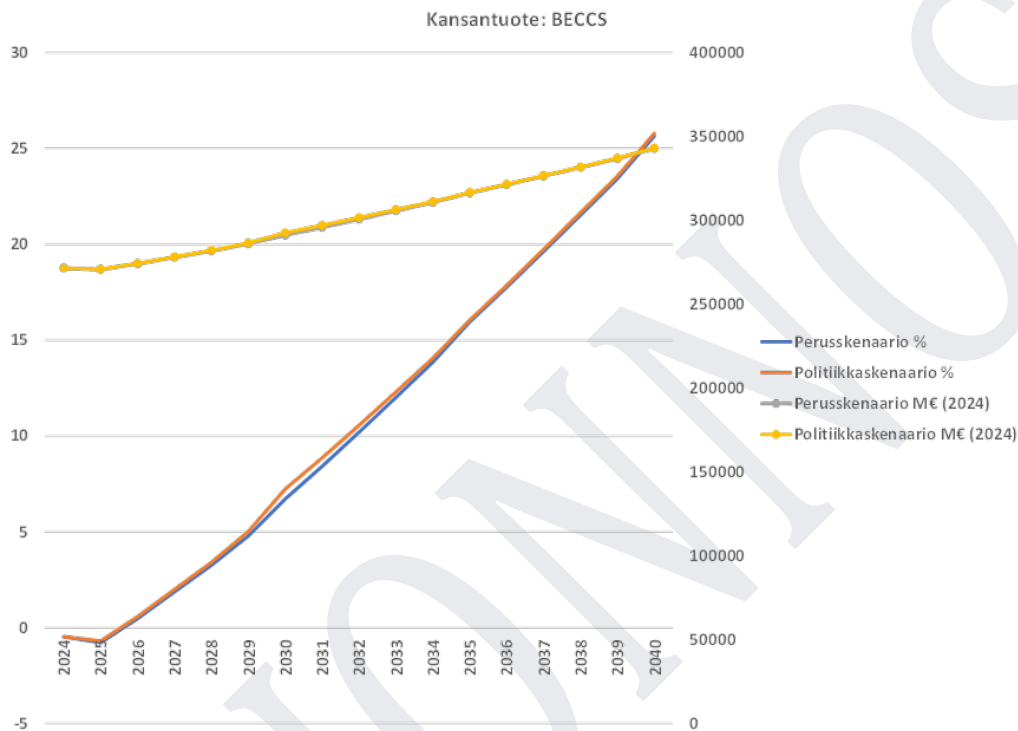


Kuva 26b. Biogeenisen hiilidioksidin talteenoton, hyödyntämisen sekä varastoinen vaikutus bruttokansantuotteen kasvuun suhteessa perusuraan kysyntäerien kasvuvaikutuksen kautta



Kuvassa 26c verrataan vielä perusuran mukaista kasvupolkua hiilidioksidin talteenoton ja hyödyntämisen toimenpiteeseen. Toimenpiteen kasvupolku on koko ajan perusuran yläpuolella osoittaen kasvua. Kansantuote nousee perusskenaarion 342,9 miljardista 343,3 miljardiin (2024 hinnoin) vuoteen 2040 mennessä.

Kuva 26c. Bruttokansantuotteen kasvu perusurassa ja biogeenisen hiilidioksidin talteenoton, varastoinen ja hyödyntämisen edistämisenurassa ilmaistuna prosenttiyksikköinä ja euromääräisesti.



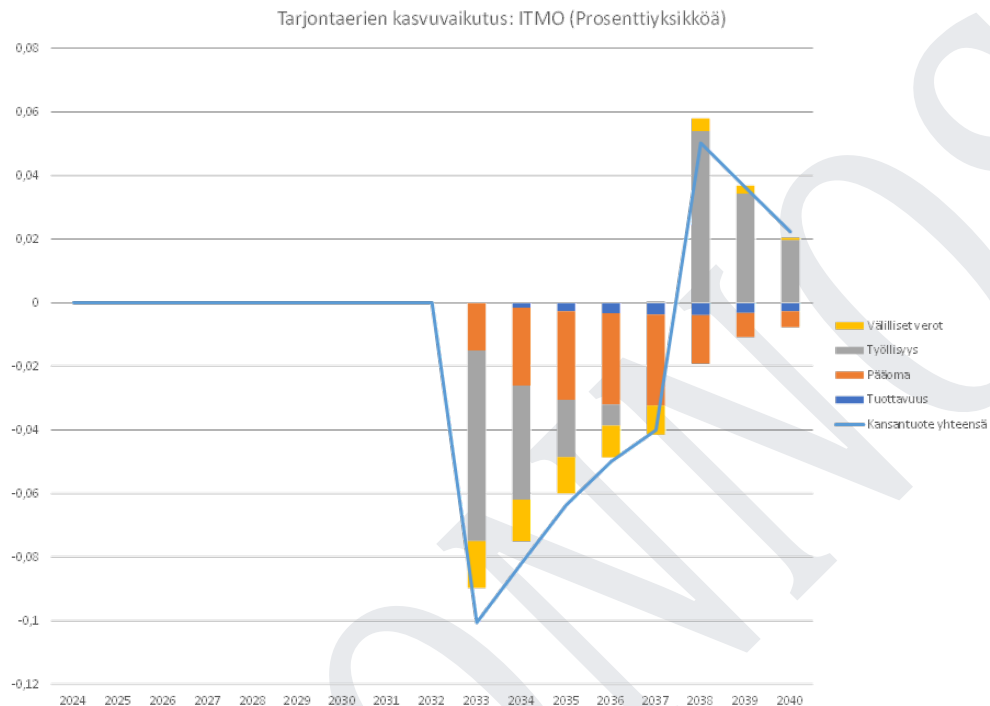
Taloukasvu voimistuu erityisesti 2030 – 2035 välisenä ajanjaksona mutta säilyy korkeampana koko tarkasteluperiodin. Kansantuote nousee perusskenaarion 342,9 miljardista 343,3 miljardiin (2024 hinnoin) vuoteen 2040 mennessä.

ITMOjen hankinta kompensoimaan maaperänielun supistumista ja turpeen kasvanutta hajontaa

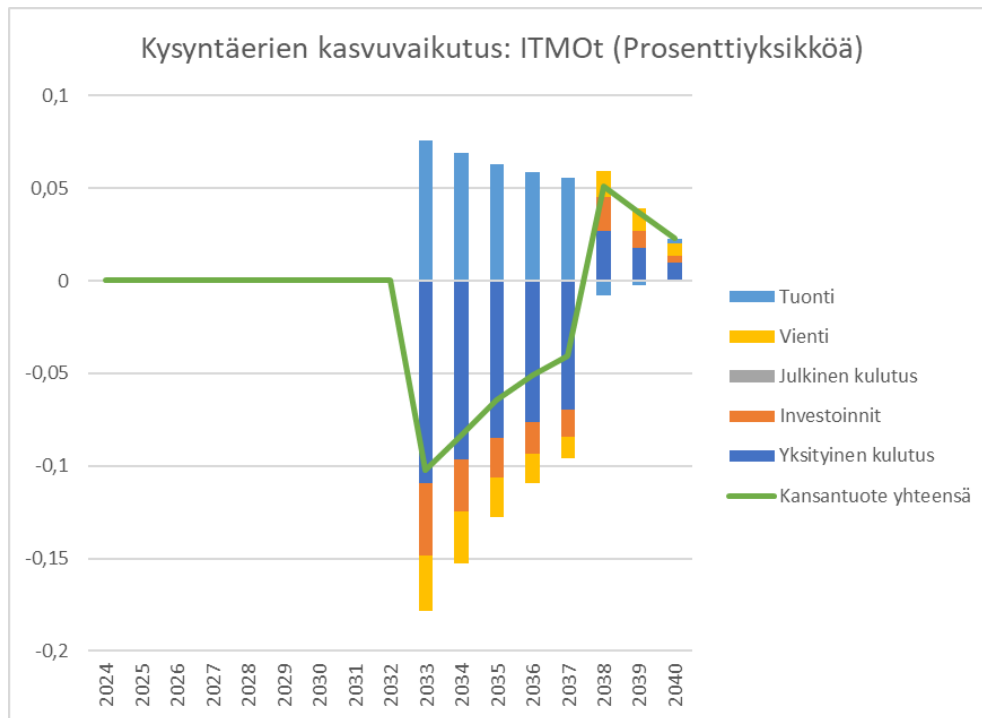
Joustomekanismiyksiköiden hankinta kompensoi yllätystä, jonka merkittävästi kasvanut turpeen hajoaminen aiheuttaa ja varmistetaan hiilineutraaliustavoitteen saavuttaminen. Yhteiskunta hankkii ITMO-yksiköitä 6 Mt kuuden vuoden ajan, vuosina hankinta on mallissa ajoitettu vuosille 2033 – 2037 ja sen arvioitu kustannus valtiolle on 240 M€ vuodessa. Valtio kerää varat korottamalla arvonlisäveroa kaikissa veroluokissa, mikä laskee hieman talouden kasvua. Vaikutus talouteen syntyy kustannusten noususta (yrityksillä niiltä osin, kun ne eivät voi vähentää alvia) ja ostovoiman heikkenemisestä (kotitaloudet). Koska hankinta on määräaikainen, veronkorotuksia ei tarvita 2037 jälkeen, ja tällöin ostovoima palautuu ja työllisyys lisääntyy ja palautuu pitkän aikavälin kasvu-uralle, kuten käy myös

investoinneille ja pääomalle, kuten tarjonta- ja kysyntäpuolen kasvuhajotelmat osoittavat kuvissa 27a ja 27b.

Kuva 27a. ITMOjen (Internationally Transferred Mitigation Outcomes) hankinnan vaikutus bruttokansantuotteen kasvuun suhteessa perusuraan tarjontaerien kasvuvaikutuksen kautta

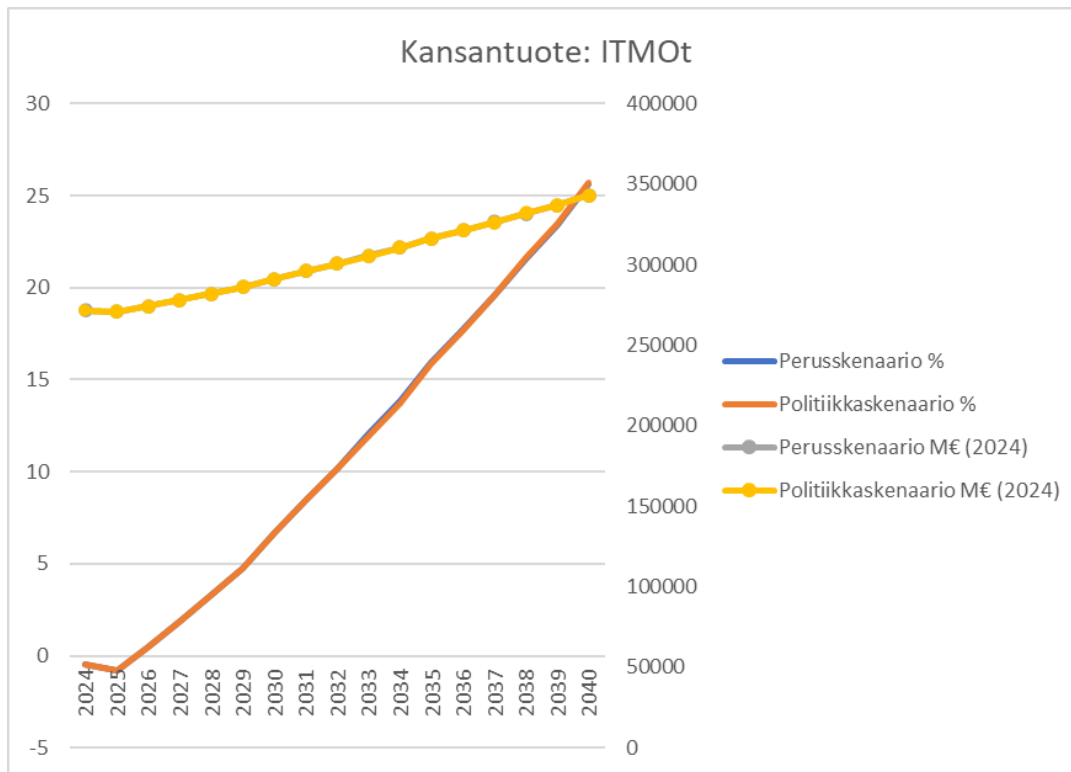


Kuva 27b. ITMOjen (Internationally Transferred Mitigation Outcomes) hankinnan vaikutus bruttokansantuotteen kasvuun suhteessa perusuraan kysyntäerien kasvuvaikutuksen kautta



Tarjonta- ja kysyntähajotelmissa havaittu noin 0,1 prosenttiyksikön lasku vuosien 2033-2037 aikana ilmenee myös kasvu-uria kuvaavassa yhtälössä 27c. Polkujen ero on kuitenkin tuskin havaittavissa vastaten yllä tehtyä havaintoa vaikutuksen pienuudesta.

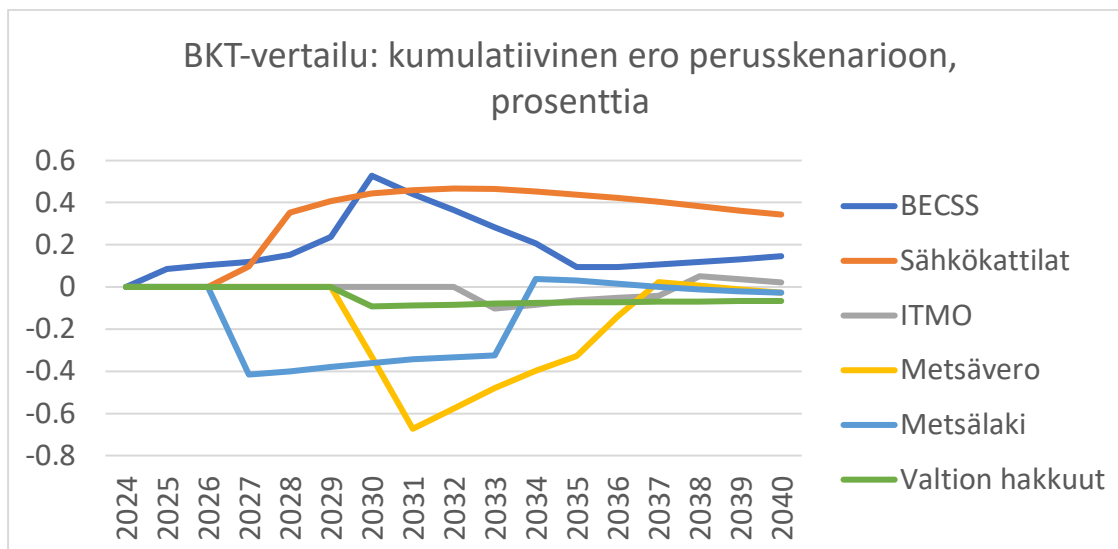
Kuva 27c. Bruttokansantuotteen kasvu perusurassa ja ITMOjen (Internationally Transferred Mitigation Outcomes) hankinnan mukaisessa kasvupolussa ilmaistuna prosenttiyksikköinä ja euromääräisesti8



6.4 Valittujen toimien vertailu ja nielupolku hiilineutraaliuteen

Kuva 28 kokoaa samaan kuvaan yllä tarkasteltujen toimien aiheuttamat muutokset kansantuotteen perusuraan, mutta ilman kysyntä- ja tarjontatekijöiden kasvuvaiikutusta. Sähkökattiloiden sekä hiilidioksidin talteenoton, varastoinnin ja vetyratkaisujen edistymisen vaikutus kansantuotteeseen on positiivinen, kuten materiaalitehokkuutta parantavilta teknologioilta sopii odottaakin. Vaikka metsälain uudistuksen ja hiilivuokamekanismin vaikutus on lyhyellä aikavälillä negatiivinen, se on pidemmällä aikavälillä positiivinen, ITMOjen hankinnan negatiivinen vaikutus on tilapäinen ja niiden rahoituskauden päätyttyä talous palaa lähelle perusskenaarion kasvu-uraa. Niillä hankitaan kuitenkin merkittävä määrä nieluja.

Kuva 28. Tarkasteluun valittujen nielua vahvistavien toimenpiteiden vaikutus bruttokansantuotteen kasvuun: keskinäinen vertailu



Kaiken kaikkiaan kuva 28 havainnollistaa hyvin, että kaikkien nieluja vahvistavien toimien kansantaloudelliset vaikutukset ovat suhteellisen pieniä. Sähkökattilan ja biogeenisen hiilidioksidin talteenotto kasvattavat BKT:tä perusuran yläpuolelle päätevuoteen, eikä BKT kertaakaan laske perusuran alapuolelle. Metsänieluun vaikuttavat toimet laskevat BKT:n kasvua perusuraan nähden päätevuonna 0,1 %. Vuosina 2027–2030 kasvu jää 0,4–0,6 prosenttiyksikköä alhaisemmaksi kuin perusurassa.

Kuvasta nähdään myös, että yleisen tasapainomallin mukainen tarkastelu muuttaa jonkin verran edellisen luvun sektorikohtaista kustannustehokkuusjärjestystä. Suurin muutos on, että kalleimpiin toimiin kuulunut investointien tukeminen biogeenisen hiilidioksidin talteen ottamiseksi ja varastoinniksi nousee varsin kannatettavaksi ratkaisuksi, koska se lisää tuottavuutta, jouduttaa siirtymää vetytalouteen ja lisää kasvua. Sähkökattilat olivat suhteellisen edullinen toimi jo aiemmin, mutta mahdollisuus laskea hakkuita ja siirtää puuta metsäteollisuuden puunkäyttöön tekee siitä yliveraisen ratkaisun nieluja vahvistamiseen. Metsälain uudistamisen vaikutus on kasvumielessä neutraali.

Nielupolun valinta ja yhteisvaikutus bruttokansantuotteen kasvuun

On selvää, että mikään esitetyistä yksittäisistä toimenpiteistä ei riitä nielutavoitteen saavuttamiseen. Toimien vaikutukset ovat myös varsin erilaisia, kun osassa toteutetaan rajoituksia hakkuille, mutta toisissa puunkäyttöä tehostetaan ja luodaan uusia mahdollisuuksia uuteen teknologiaan investoimalla. Kuvaan 26 on koottu kansantuotteen muutos yllä tarkastelluista nielutoimenpiteistä perusuraan verrattuna. Sähkökattiloiden ja BECSS-teknologioiden vaikutus kansantuotteeseen on positiivinen, kuten materiaalitehokkuutta parantavilta teknologioilta sopii odottaakin. Metsälain ja hiilivuokramekanismin vaikutus on lyhyellä aikavälillä kasvua supistava, mutta pidemmällä aikavälillä positiivinen, koska hakkuiden tilapäinenkin pienentäminen kasvattaa tulevaisuuden hakkuumahdollisuuksia. Metsäveron vaikuttavuus riippuu kuitenkin kattavasta osallistumisesta ja jää negatiiviseksi, jos osallistuminen on heikompaa. ITMOjen hankinnan negatiivinen vaikutus on tilapäinen ja niiden rahoituskauden päätyttyä talous palaa lähelle perusskenaariota kasvua-uraa. Niillä hankitaan kuitenkin merkittävä määrä nieluja.

Toimien yksittäisten vaikutusten tarkastelun pohjalta voidaan määrittää kansantalouden kannalta tasapainoinen hiilineutraaluspolkku, kun fossiiliset päästöt laskevat nykykehityksellä arviolta tasolle 14–18 Mt. Polku koostuu taulukon 3 mukaisista toiminnaista ja niiden arvioidusta nieluvaikutuksesta. Metsälain uudistus ja hiilivuokramekanismi ovat päällekkäisiä ohjauskeinoja, ja niistä tarkasteluun valitaan metsälain uudistus. Valinnan perusteena on se, että metsälain kattavuus on laaja, budjetillinen vaikutus pieni ja sitä koskeva mallinnus on varmemmalla pohjalla. Hiilivuokramekanismiin liittyy paljon epävarmuutta koskien osallistumista ja käyttäytymistä mekanismin oloissa. Hiilivuokramekanismi voitaisiin kuitenkin rakentaa metsälain uudistuksen päälle ja sitä suositellaan harkittavaksi. Todettakoon lopuksi, että taulukon luvuilla Suomi ei aivan saavuta 2030 EU:n LULUCF-politiikan vaatimaa nielua, vaan jää siitä jälkeen 2 Mt. Mikäli toimia tehostetaan tuon määrän verran, Taulukon saavutettava tulos kasvaa suuremmaksi kuin 14 Mt.

Taulukko 3. Toimenpiteet, nieluvaikutukset ja ennakoitu LULUCF-nielu

Toimenpide	Toimenpiteen vaikutusmekanismi	Nieluvaikutus Mt
1 Tuotettu lisänielu ja muut lisätoimet		20
1.1 Metsälain uudistus	metsän ja metsänielun kasvu	3
1.2 Valtion metsät	nielu vahvistuu (vuotoa on)	2
1.3 Sähkökattilat	kuitupuuta poltosta metsäteollisuuteen	3
1.4 BeCCS (valtio)	teknologisen nielun hankinta	4
1.5 ITMOT	turpeen hajoamisen kompensatio	8
2 Muut toimet	rahoitus toisista mekanismeista	3
2.1 BeCCS yksityinen	Vantaan energia	0,6
2.2 Turpeen-ottoalueet	Vettäminen ennallistamisohjelmassa	2
Saavutettava tulos		
Metsä- ja puutuotteet		-11
Maaperäpäästöt muista maankäyttökategorioista	Maankäytön ilmastosuunnitelma	9
Maankäyttösektorin ulkopuoliset toimet		-12
LULUCF-nettonielu + muut toimet yhteensä		-14

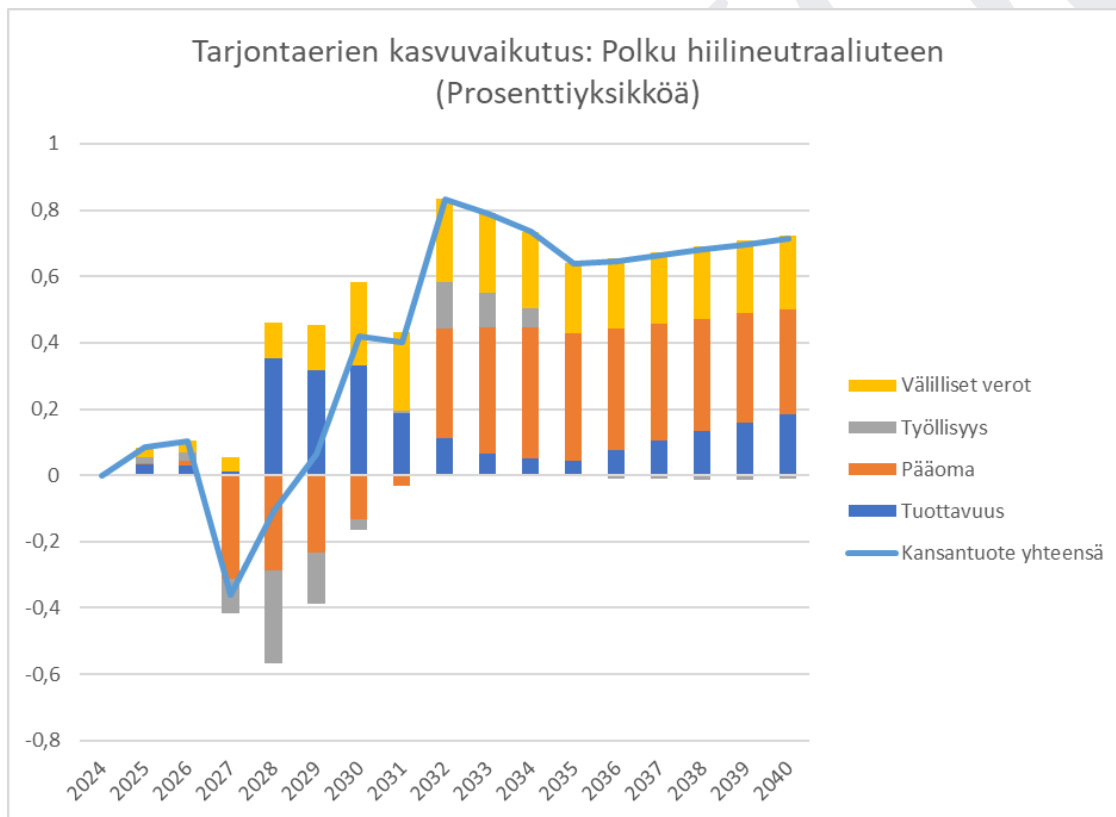
Valitut toimet tuottavat yhdessä muiden toimien kanssa vähintään 14 Mt nettonielun, eli nielupolku vie hyvin lähelle tarvittavaa saavutettavaa päästöjen vähennystä. Nielun suuruutta on kuitenkin syytä jatkossa arvioida määrävuosin. BeCCS- tai ITMO-yksiköitä voidaan hankkia lisää joustavasti, mikäli lievää vajausta uhkaa jäädä määrävuoteen.

Kuvissa 29a-29c tarkastellaan yllä määritellyn nielupolun mukaisten toimien asettamista voimaan yhtä aikaa. Tällöin mallissa sähkökattiloiden metsäteollisuuden saama lisäkuitupuu moderoi esimerkiksi metsälain uudistuksen ja valtion metsien hakkuiden alkuvaiheessa tuomaa hakkuiden laskua, jolloin ne vähentävät heti lakiuudistuksen kasvu-uraa heikentäviä vaikutukset.

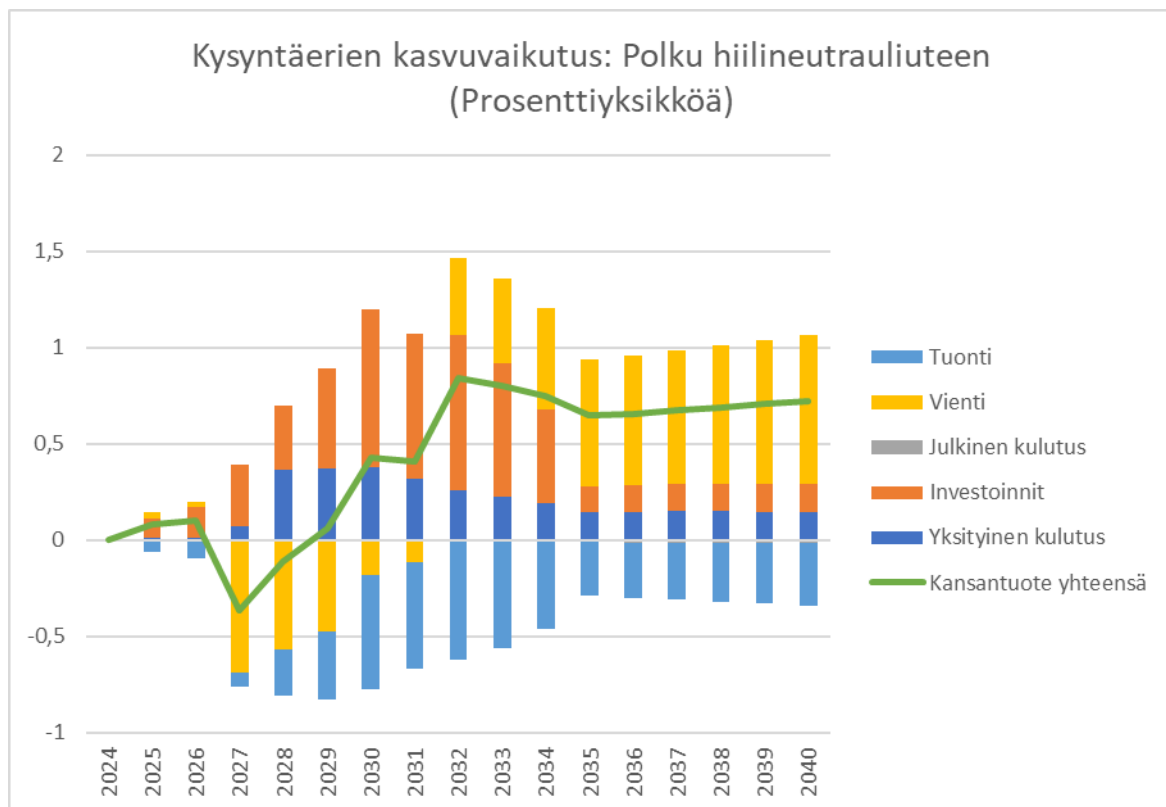
Kuvaan 29a on koottu hiilineutraalisuuspolut kasvuvaikutukset kansantuotteen tarjontaerien kautta tarkasteltuna. Kansantuote jää perusskenaarion alapuolelle enimmillään vajaa 0,4 prosenttia vuonna 2027 metsälain voimaan astumisen vuoksi. Sen jälkeen tuottavuus kuitenkin kääntyy nousuun

sähkökattila- ja BECCS-investointien myötä, ja 2030-luvulle tultaessa sekä tuottavuus että pääomakannan kasvu nostavat talouden kasvun perusskenaariota korkeammaksi. Kuvasta 26b nähdään, että 2030-luvun alkuun saakka kansantuotteen kysyntäeristä nimenomaan investoinnit ja kasvun myötä kotitalouksien kulutuksen kasvuvaiikutukset nostavat kansantuotetta, mutta 2030-luvun edistyessä ja investointien valmistuessa niiden mahdollistama uusi tuotanto nostaa viennin suurimmaksi kasvueräksi. Kaikkiaan kansantuote nousee 0,7 prosenttia perusskenaariota suuremmaksi 2030-luvun mittaan. Tästä noususta noin lähes 0,2 prosenttiyksikköä on peräisin energia- ja materiaalitehokkuuden paranemisesta ja noin 0,3 prosenttiyksikköä pääomakannan kasvusta. Kansantuotteen kysyntäerien kautta tarkasteltuna viennin kasvuvaiikutus on lähes 0,8 prosenttiyksikköä ja yksityisen kulutuksen ja investointien hieman yli 0,1 prosenttiyksikköä kumpaisenkin. Kasvava talous tarvitsee myös enemmän tuontitavaroita, ja siksi tuonnin kansantuotetta pienentävä kasvuvaiikutus on noin -0,3 prosenttiyksikköä.

Kuva 29a. Hiilineutraaliustavoitteeseen vievän nielupolun vaikutus bruttokansantuotteen kasvuun suhteessa perusuraan kysyntäerien kasvuvaiikutuksen kautta

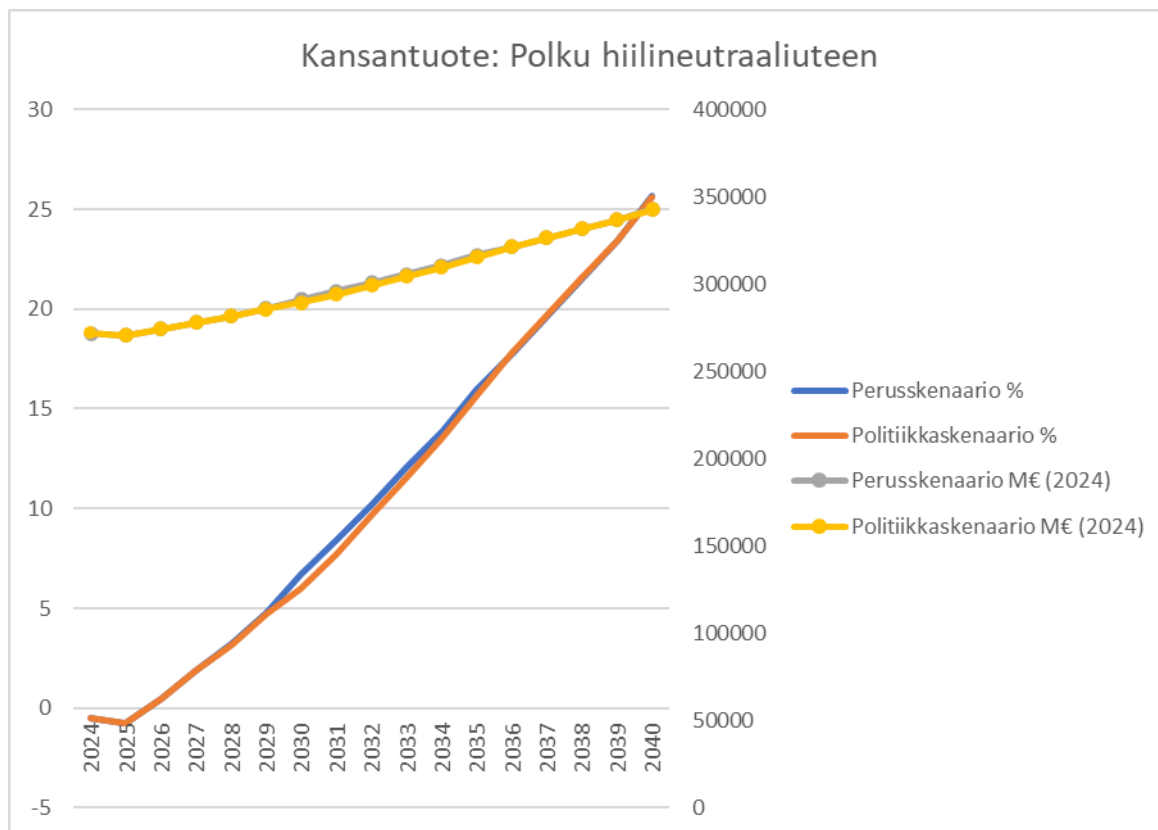


Kuva 29b. Hiilineutraaliustavoitteeseen vievän nielupolun vaikutus bruttokansantuotteen kasvuun suhteessa perusuraan kysyntäerien kasvuvaiikutuksen kautta



Kuvassa 29c esitetään nielupolkuun ja perusuraan liittyvät kasvupolut prosenttiyksiköinä ja euromääräisesti.

Kuva 29c. Bruttokansantuotteen kasvu perusurassa ja nielupolun toteuttamisen mukaisessa kasvupolussa ilmaistuna prosenttiyksiköinä ja euromääräisesti



Kuvan 29c osoittaa, että tarkastelujakson alussa (2030–2033) kasvu jää jonkin verran alemmaksi kuin perusurassa (kasvu ja perusuran alapuolelle suurimmillaan vajaan 0,6 prosenttiyksikköä vuonna 2028), mutta hyvin pian kasvu voimistuu ja vuoden 2030 jälkeen kasvu on pysyvästi korkeampaa kuin perusurassa, suurimmillaan jopa yli 0,8 prosenttiyksikköä ja noin 0,7 prosenttiyksikköä korkeammalle tasolle tarkastelujakson loppuun. Kasvu syntyy merkittävin osin vihreän siirtymän (BeCCS ja sähkökattilat) talouden tuottavuutta kasvattavasta vaikutuksesta ja osin metsäklusterin voimistumisesta vuodesta 2030 eteenpäin. Kansantuote on 2040 noin 2 miljardia perusskenaariota suurempi (344,8 mrd. €).

Nielupolku johtaa siten yhtä aikaa kaksoishyötyyn: hiilineutraaliustavoite saavutetaan ja kansantalouden kasvu voimistuu. Tämä ei ole yllättävää. Esimerkiksi Kuosmanen ym xxxx) ovat havainneet, että: tuottavuuden kasvun eroja Suomen ja Ruotsin välillä selittää Ruotsin talouden alhaisempi hiilisisältö. Tämä voi tulkita olevat seurausta siitä, että Ruotsi on harjoittanut pidemmän aikaa Suomea aktiivisemmasta ilmasto- ja ympäristöpolitiikkaa.

7 Tarkastelun johtopäätökset ja suositukset

TARKENTUU

Tämä raportin tavoitteena oli hahmottaa nielupolku, jonka avulla Suomen hiilineutraaliustavoite voidaan saavuttaa vuonna 2035. Samalla kysyttiin ovat tarvittavat toimet kalliita ja heikentävätkö ne Suomen talouskasvua. Analyysissä sovellettiin metsien käsittelyyn tarkasteluun Monsu-metsämallia ja kansantaloudellisiin tarkasteluihin Finage-mallia. Tarkastelussa luotiin hiilinielupolku, joka johtaa LULUCF:n, teknisten nielujen ja yksiköiden hankinnan kautta yhteenlaskettuna noin 14 Mt nieluun ja

jota kasvattaa ennallistamisasetuksen toteuttaminen turvemailla sekä yksityiset investointisuunnitelmat hiilidioksidin talteenottoon ja varastointiin.

Tarkastelun pääjohtopäätökset voidaan tiivistää seuraavasti:

1. Hiilineutraaliustavoitteen saavuttaminen vuonna 2035 on mahdollista hyvin ja kattavasti valitun nielupolun avulla niin, että se jopa voimistaa Suomen talouskasvua.
2. Useimpien valittujen toimenpiteiden kustannukset suhteessa saavutettuun nieluun ovat alhaisemmat kuin EU:n päästöoikeuden hinta.
3. Kalliimmat, vihreän siirtymää edistävät toimet, eli biogeenisen hiilidioksidin talteenoton, varastoinnin ja hyödyntämisen tukeminen ja investoinnit sähkökattiloihin kuitupuun energiapolton vähentämiseksi voimistavat taloudellista kasvua eniten ja ovat siten pikemmin strategisen tärkeitä investointeja kasvutoimiin kuin ilmastopolitiikan kustannuksia.
4. Metsänielua voidaan kasvattaa nykyisestä ilman, että metsäteollisuuden käyttöön tuleva tukki- ja kuitupuun määrä olennaisesti vähenee samalla, kun metsätalouden kestävyys Tapion suositusten mukaisesti vahvistuu.
5. Suomen on perusteltua hankkia ITMOja korvaamaan yllätyksellistä ja voimakasta suomettien turpeen hajoamista. ITMOt laskevat metsänieluun kohdistuvia paineita ja toimivat joustavana tasaajana nielun voimistamisessa.
6. Vanhojen turpeenottoaluiden ennallistaminen EU:n ennallistamisohjelman mukaisesti on tarpeen tukemaan valittua hiilineutraaliuspolkua ja samalla se vahvistaa luonnon monimuotoisuutta.
7. Valitulla polulla maaperäpäästöjä hiilirikkailta maatalouden turvemailta on rajoitettu varsin vähän Maankäyttösektorin ilmastosuunnitelmassa. Mahdollisuuksia on paljon enempiäkin ja se voimistaa tavoitteen saavuttamista.
8. Metsäluonnon monimuotoisuus voimistuu lievästi metsälain uudistuksen myötä, ennen muuta se pysäyttää järeän puun osuuden pitkään jatkuneen laskun, mikä on heijastanut Suomen metsien ikärakenteen nuorentumista.

Tämän kuten kaikkien metsänielua koskevien selvitysten kriittisin kohta liittyy metsänielun arvioimiseen sekä puumarkkinoiden markkinavaikutusten huomioonottamiseen. Jälkimmäinen ei ollut mahdollista, mutta hintavaikutusta tarkasteltiin tekemällä oletuksia puun hinnan muutoksista. Metsänielun kehitykseen ja arviointiin liittyy paljon laskennan epävarmuutta, jota parhaillaan selvennetään useassakin tutkimusryhmässä. Maankäyttösektorin nieluriskiä ilmastopolitiikalle voidaan pienentää nojaamalla ja jouduttamalla teknologiseen nieluun liittyviä ratkaisuja. Tarkastelun ulkopuolella todetut ennallistamisen hyödyt turvemailla ovat varmempia toimia ja uudet tutkimukset viittaavat, että entisen suon saadessa rahkasammalpinnan, turpeen hajoaminen loppuu ja kohteesta voi tulla jopa lievä hiilinielu.

Nielupolun kattamat toimenpiteet on syytä ottaa käyttöön heti. Metsänielun osalta metsälain uudistus on välttämätön jo metsätalouden yleisen kestävyysvoimistamiseksi ja eteläisen Suomen huolestuttavan tilanteen korjaamiseksi. Teknologisen nielun kasvattamista voidaan jouduttaa verotuksella ja tukipolitiikalla ja niihin liittyvää rahoitusta tulee kasvattaa. Mikäli näitä vihreän siirtymän toimia halutaan voimistaa edelleen, niin kehitystä voidaan jouduttaa myös ilmasto- ja ympäristöpoliittisilla päätöksillä. Erillisen sekoitevelvoitteen asettaminen sähköpolttoaineiden käytön edistämiseen liikenteessä lähitulevaisuudessa loisi kysyntää talteen otetulle biogeeniselle hiilidioksidille sähköpolttoaineiden valmistuksessa, mikä luo samalla osaamista kilpailuun EU:n tasolla.

sähköpolttoaineista ja auttaa vähentämään fossiilisia polttoaineita. Kierrätetyn muovin osuuden kasvattamiseen muovin valmistuksessa on yhtä aikaa ympäristötoimi ja epäsuora primaarisen öljyn käytön vähentäjä. Suomalaisilla yrityksillä on paljon osaamista suunnitelmia muovin osalta ja sekoitevelvoite tukisi näiden ratkaisujen tuomista markkinoille. Samalla se jouduttaisi muovin keräystä yhdyskuntajätteistä kierrätykseen.

Lähteet

Amacher, G., M. Ollikainen and E. Koskela 2009. Economics of Forest Resources. pp. 385. Cambridge Mass. MIT Press

Arasto A., Kohl J., Kujanpää L., Lehto J., Lehtonen J., Lintunen J. ja Mäkikouri S. 20xx. Päästäjistä tuottajaksi – Hiilidioksiditaloudella arvonlisää Suomen metsäsektorille.

Kangas J. and Ollikainen M. 2023. Reforming a pre-existing biodiversity conservation scheme: promoting climate co-benefits by a carbon payment. *Ambio*: doi.org/10.1007/s13280-023-01833-4.

Kujanpää, L., Koponen, K., Linjala, O., Mäkikouri, S., Arasto, A. 2023. Teknologisten hiilinielujen mahdollisuudet ja niiden edistäminen Suomessa. Suomen ilmastopaneelin raportti 5/2023.

Laihanen, M. Karhunen, A. Föhr J. ja Ranta T. 2024. Kaukolämmön tulevaisuuden ratkaisut. Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto LUT. Bioenergian laboratorio. Raportit ja selvitykset – Reports 129.

Lintunen, J., Laturi, J., Uusivuori, J., 2016. How should a forest carbon rent policy be implemented? *For. Policy Econ.* 69, 31–39. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2016.04.005>. Lintunen

Manninen h. 2025. Sähkökattilan mitoituksen määrittäminen ja investoinnin kannattavuus. Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT.

Pihlainen, ym.

Pohjola, J., Laturi, J., Lintunen, J. & Uusivuori, J. 2018. Immediate and long-run impacts of a forest carbon policy—A market-level assessment with heterogeneous forest owners. *Journal of Forest Economics* 32: 94–105. <https://doi.org/10.1016/j.jfe.2018.03.001>.

Pukkala T. 2016. Which type of forest management provides most ecosystem services? *Forest Ecosystems* 3: 1–16

Díaz-Yáñez O, Pukkala T, Packalen P, Peltola H 2020. Multifunctional comparison of different management strategies in boreal forests. *Forestry* 93(1): 84-95
<https://doi.org/10.1093/forestry/cpz053>

Zuberi M., Hasanbeigi, A. and Morrow W. 2022. Electrification of industrial boilers in the USA: potentials, challenges, and policy implications. *Energy Efficiency* 15:70.
<https://doi.org/10.1007/s12053-022-10079-0>

Suomen ilmastopaneeli, 2021. Ilmastolakiin kirjattavat pitkän aikavälin päästö- ja nielutavoitteet – Ilmastopaneelin analyysi ja suositukset. Suomen ilmastopaneelin raportti 1/2021.

Turvemaiden käytön vaihtoehdot hiilineutraalissa Suomessa. Suomen ilmastopaneelin raportti 2/2022.

Suomen Ilmastopaneeli, 2023, Teknologiset hiilinielut tarjoavat Suomelle mahdollisuuksia – strategian ja kannustimien luominen kiireellistä, <https://ilmastopaneeli.fi/teknologiset-hiilinielut-tarjoavat-suomelle-mahdollisuuksia-strategian-ja-kannustimien-luominen-kiireellista..>

Äijälä O, Koistinen A, Sved J, Vanhatalo K, Väisänen P (2014) Metsänhoidon suositukset. (Recommendations for silviculture). Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion julkaisuja, TAPIO, 180 p.

Liitteet

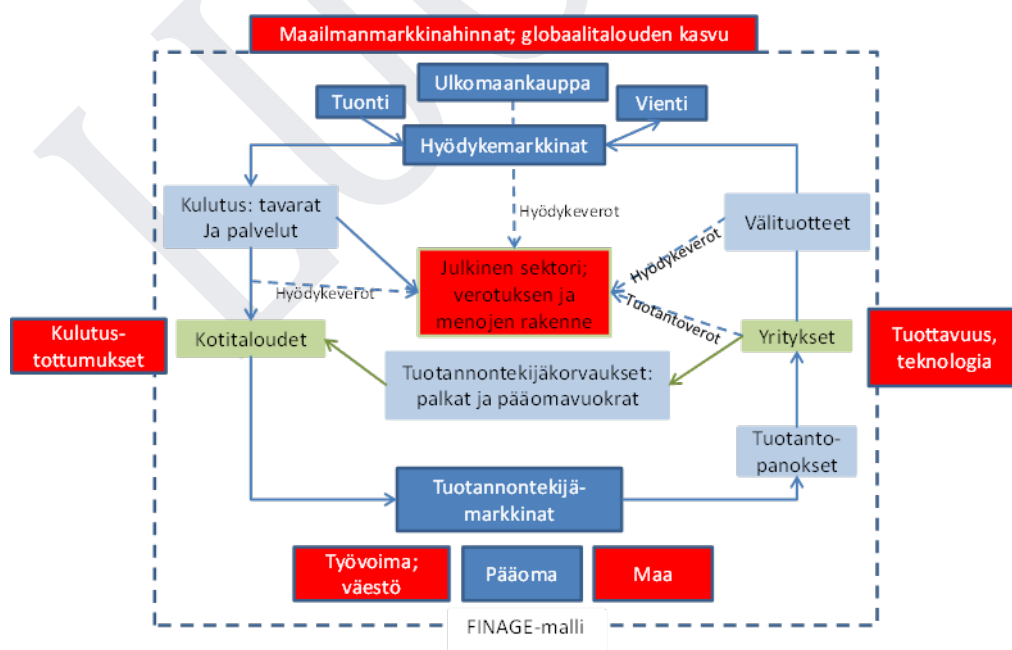
1. Monsu-mallin lyhyt kuvaus
-tulee

Liite 2. FINAGE-mallin perusuran rakentamisen kuvaus

Liite 2. Finage-mallin perusskenaarion kuvaus

Kuviossa 1 kuvataan perusskenaarion laadintaa tasapainomallin avulla. Punaiset elementit kuvaavat toimintaympäristöä, jonka muutokset otetaan annettuna. Vihreällä kuvatut talouden toimijat ratkaisevat optimointiongelman, joka kuluttajien osalta on mahdollisimman korkean hyvinvoinnin saavuttaminen toimintaympäristön mahdollistamilla tuloilla ja yritysten osalta taas puhtas voitonmaksimointi. Näiden kohdatessa ratkeavat markkinoilla tavaroiden ja palvelujen kulutus, tuotannon määrä, tuotannontekijäkorvaukset ja esimerkiksi julkisen sektorin tulot (mallin kuvaus tarkemmin, ks Honkatukia 2021).

Kuvio 1. Yleisen tasapainon malli ja perusskenaarion laadinta



Perusskenaario rakentuu arviolle siitä, millaisiksi toimialojen ja talouden kehitys muotoutuu, jos toimintaympäristöön historialliset trendit jatkuvat. Keskeisimpiä näistä treندهistä ovat väestönkasvu, joka määrittää varsin pitkälle kansantalouden kasvukykyä; tuottavuuskasvu, joka koostuu eri toimialojen hyvinkin erilaisista kasvuvauhdeista; pääoman tuotto-odotuksista, jotka nekin historian valossa poikkeavat toimialojen välillä huomattavasti; ja tietenkin ulkomaankaupan ja maailmanmarkkinoiden kehityksestä, jonka pienen avotalouden toimijat joutuvat ottamaan enemmän tai vähemmän annettuna. Nämä trendit määrittelevät kuitenkin lähinnä toimialojen kasvuedellytyksiä ja kasvuennuste riippuu siksi ennen kaikkea toimialojen kytköksistä ja tuotantotekijöiden saatavuudesta sekä myös talouspolitiikasta.

Tässä tutkimuksessa käytetty perusskenaario perustuu keskipitkän aikavälin ilmastosuunnitelman WEM-skenaarioon. Makrotalouden osalta on käytetty muun muassa VM:n syksyn 2024 ennustetta. Hankkeen tärkeimmät tilastoaineistot ovat kansantalouden tilinpito, jonka mukaisesti talouden rakennekuvausta päivitetään. Rakennetiedon osalta päivitys perustuu vuoden 2024 panos-tuotosaaineistoihin. Maailmankaupan ja maailmanmarkkinahintojen kehitysarvio perustuu tullin hyödykekohtaisiin aikasarjoihin.

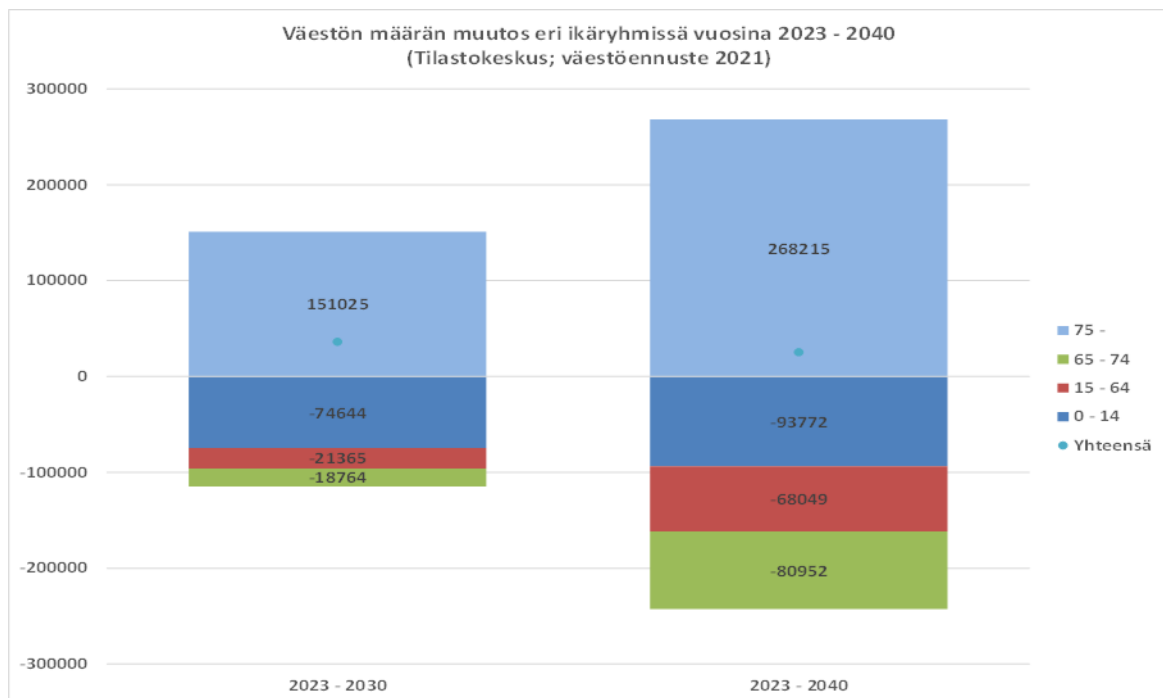
Väestöennusteena on käytetty Tilastokeskuksen vuoden 2021 väestöennustetta. Väestönkasvu määrittää skenaarioissa työvoiman saatavuuden ja vaikuttaa keskeisesti julkisten menojen kehitykseen. Ennusteen mukaan väestörakenne on nopeasti muuttumassa. Kun väestö kasvaa vuoteen 2040 mennessä noin 25 000:llä hengellä, pienenee työikäinen väestö vuoden 2023 reilusta 3,4 miljoonasta 68 000:lla vuoteen 2040 mennessä. Samaan aikaan yli 75 -vuotiaiden määrä kasvaa lähes 270 000:llä. Väestörakenteen muutosta on kuvattu kuviossa 2.

Tuottavuuden kasvun on oletettu jatkuvan pitkän aikavälin trendien mukaisena. Nopeimmin tuottavuus on kasvanut alkutuotannon, jalostuksen, informaatio- ja viestintäalojen, ja kaupan toimialoilla. Erot tuottavuuden kasvussa näyttävät säilyneen viimeisen parinkymmenen vuoden ajan. Informaatioteknologia on mahdollistanut muita toimialoja korkeamman tuottavuuskasvun jalostuksen korkean teknologian aloilla sekä informaatioteknologiaa hyödyntävien palvelujen aloilla. Ulkomaankaupan trendejä on arvioitu ennen kaikkea tullin ulkomaankauppatilastojen perusteella. Ne kattavat sekä viennin että tuonnin SITC-tuoteryhmittäin. Lisäksi tilastoissa raportoidaan viennin ja tuonnin yksikköarvoindeksit. Ennakoinnissa oletetaan, että vienti on riippuvainen maailmanmarkkinoiden kehitystrendeistä sekä suomalaisten tuotteiden hintakilpailukyvystä.

Eräiden toimialojen osalta kasvuennuste perustuu ulkoisiin arvioihin. Energiantuotannon, metsäteollisuuden, metalliteollisuuden ja öljynjalostuksen kasvuarviot noudattavat teollisuuden laatimien vähähiilitiekarttojen skenaarioita, kun taas koulutus- ja sotealojen kasvu noudattaa THL:n arviota palvelutarpeen kasvusta. (Koljonen ym. 2021, 2022, THL 2023).

Ennakoinnin perusskenaariossa on otettu huomioon myös hallitusohjelman tavoitteita siltä osin kuin ne ovat kvantifioitavissa. Ennakoinnin metodologiaa kuvaavat tarkemmin Honkatukia (2021, 2024) sekä Koljonen ym. (2021).

Kuvio 2. Väestömäärän kehitys väestöennusteen mukaan 2025 - 2040

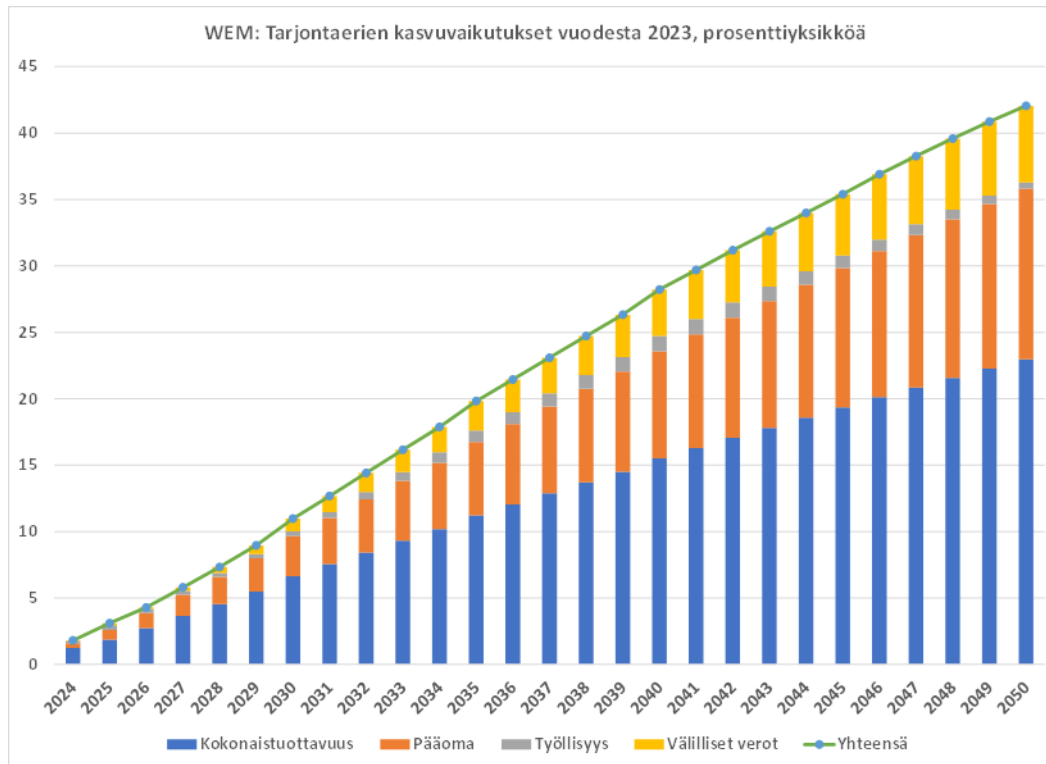


Makrotalouden tasolla ennakkoinnin tuloksia voidaan kuvata tarjontaerien ja kysyntäerien kasvuvaikutuksien avulla. Nämä kasvuhajotelmat esittävät kansantuotteen kasvun osatekijöidensä summana. Kasvuhajotelmat kuvaavat kansantuotteen erien vaikutusta kokonaismuutokseen. Kansantuote voi kasvaa, jos pääoma- ja työpanosten käyttö tai kokonaistuottavuus kasvavat. Kasvuhajotelmassa kasvu painotetaan vastaavilla kansantuoteosuuksilla, jolloin saadaan tekijöiden vaikutus koko kansantuotteen kasvuun - ne ovat siis kansantuote-erien osuuksilla painotettuja muutoksia, jotka kertovat siitä, miltä kansantalouden sektoreilta arvioidut muutokset ovat peräisin. Kansantuotteen kasvua voidaan tarkastella sekä tarjontatekijöiden että kysyntätekijöiden kautta.

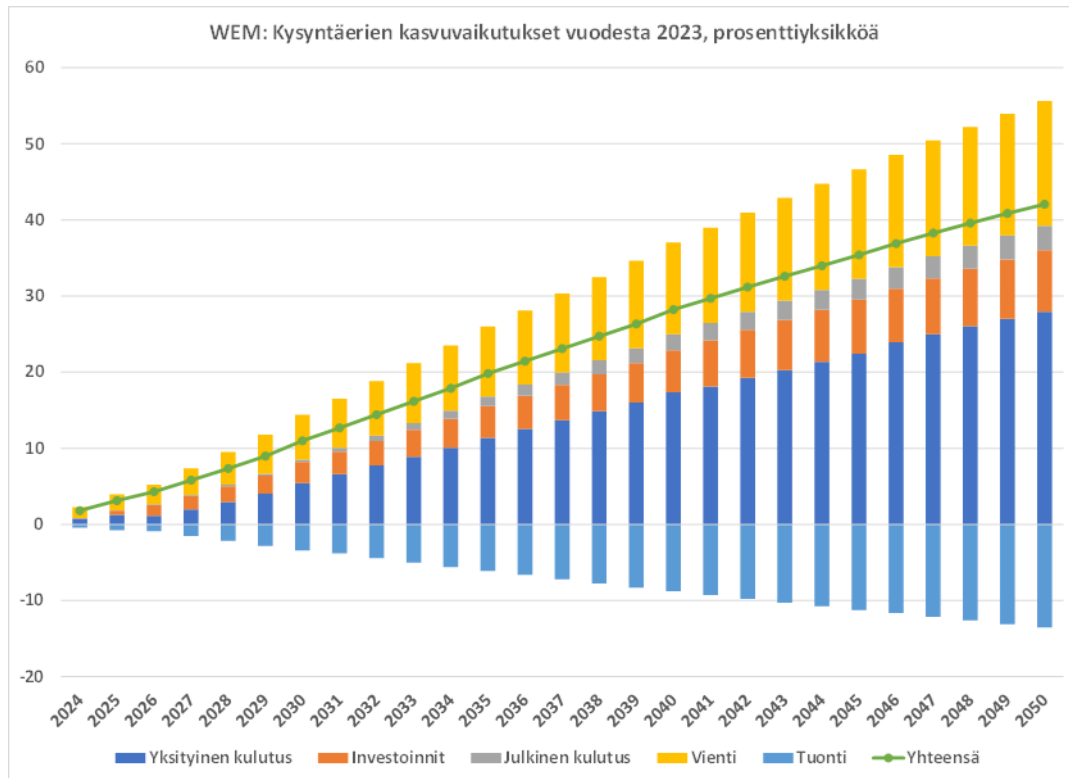
Kuviossa 3 on kuvattu kansantuotteen kasvu tarjontatekijöiden kasvuvaikutusten avulla. Tarjontapuolen kansantuotteeseen luetaan myös välillisten verojen vaikutus, joka Suomessa on noin kymmenesosa kansantuotteesta. Kansantuote kasvaa yhteensä noin 42 % vuodesta 2023 lähtien. Kasvusta noin 23 prosenttiyksikköä syntyy tuottavuuden kasvusta, noin 13 prosenttiyksikköä pääoman kasvusta ja 6 prosenttiyksikköä välillisten verojen kautta. Työpanoksen kautta kasvua syntyy 2030 luvun aikana lähes prosenttiyksikön verran työllisyysasteen noustessa, mutta vuoteen 2050 mennessä tämä vaikutus on enää 0,5 prosenttiyksikköä. Keskeinen syy tähän on demografiassa: työikäinen väestö ei ennusteissa enää kasva.

Kuviossa 4 tarkastellaan kasvua kysyntätekijöiden kasvuvaikutuksien kautta. Noin 28 prosenttiyksikköä kasvusta syntyy yksityisen kulutuksen kasvusta, kahdeksan prosenttiyksikköä investointikysynnän kautta ja reilu kolme prosenttiyksikköä julkisen kulutuksen kautta. Julkisen sektorin rooli ei siis ole ratkaiseva, kun tarkastellaan kulutusta, vaan se on pikemminkin tulonsiirtojen puolella. Viennin kasvuvaikutus on vuoteen 2050 mennessä yli 16 prosenttiyksikköä, kun taas tuonnin vaikutus – joka pienentää kansantuotetta – on noin - 3,5 prosenttia.

Kuvio 3 Kansantuotteen kasvu ilmaistuna tarjontatekijöiden kasvuvaikutusten avulla



Kuvio 4 Kansantuotteen kasvu ilmaistuna kysyntätekijöiden kasvuvaikutusten avulla



Kuvioon 5 on kuvattu toimialojen arvonlisän kautta syntyvä kasvuvaikutus. Arvonlisien kasvuvaikutusten summa on pienempi kuin kansantuotteen kasvu, koska siitä puuttuu välillisten verojen vaikutus. Arvonlisän kautta suurin vaikutus syntyy yksityisten palvelujen kautta. Tässä niihin luetaan muun muassa liike-elämän palvelut, rahoitus ja tietoliikenne, mutta myös kiinteistöjen hallinnan ja vuokrauksen toimialat, joille sijoittuu suuri osa kansantalouden pääomakannasta. Teollisuuden osuus arvonlisästä on alle viidenneksen, ja niin on sen kasvuvaikutuskin, joka on noin 18 prosenttiyksikköä. Rakentamisen kasvuvaikutus on hieman yli kolme prosenttiyksikköä ja kaupan hieman vajaa kolme prosenttiyksikköä. Julkisten palvelujen kautta syntyy noin 3,4 prosenttiyksikön kasvuvaikutus,

Työllisyyden ennakoitu kehitys eri toimialoilla on ennen kaikkea vientikysynnän, ja kotimaisen julkisen sektorin kysynnän ja osin kotitalouksien kulutuksen kautta johdettua kysyntää, johon vaikuttaa ennen kaikkea reaaliansioiden kehitys. Kokonaistyöllisyys määräytyy kuitenkin työn tarjonnan kautta - viime kädessä siis työikäisen väestön määrän kehityksestä sekä työllisyysasteesta. Työllisyysasteen kehitys oletetaan hallitusohjelman tavoitteiden mukaisesti nousevan 80 prosenttiin.

Työllisten määrä kasvaa perusskenaariossa eniten julkisten palvelujen ja julkisen hallinnon toimialoilla. Valtaosa tästä kasvusta johtuu sote-alojen henkilöstötarpeen kasvusta. Toimialarakenne muuttuu palveluvaltaisemmaksi mutta samaan aikaan myös rakentamisen toimialan osuus kasvaa. Muilla aloilla työllisyys voi kasvaa vain vähän ja useilla aloilla työllisyys pikemminkin laskee. Samaan aikaan palveluistuminen lisää kysyntää palveluille, kun taas rakentamisen osuutta kasvattavat jatkuva kaupungistuminen ja myös vihreä siirtymä.

Kuvio 5. Toimialojen arvonlisän kautta syntyvä kasvuvaikutus

