



KESKI-SUOMEN LIITTO



Euroopan unionin
osarahoittama



Selvitys Keski-Suomen hiilivarastoista ja -nieluista

24.10.2024

Selvityksen on laatinut FCG Finnish Consulting Group Keski-Suomen liiton toimeksiannosta.

Selvitys on toteutettu Luonto- ja ilmastotiedolla johtaminen Keski-Suomen vahvuudeksi (LUMOAVA) - hankkeessa. Keski-Suomen liiton ja Keski-Suomen ELY-keskuksen toteuttama hanke jatkuu 31.12.2025 asti. Hanke toteutetaan Euroopan unionin osarahoittamana.

Julkaisija:

Keski-Suomen liitto
Lutakonaukio 7
40100 Jyväskylä
www.keskisuomi.fi

B 211
ISBN 978-951-594-555-6
ISSN 2341-989X

FCG Finnish Consulting Group Oy ("FCG") on laatinut tämän raportin FCG:n asiakkaan ("Asiakas") toimeksiannon ja ohjeiden mukaisesti. Tämä raportti on laadittu FCG:n ja Asiakkaan välisen sopimuksen ehtojen mukaisesti. FCG ei ole vastuussa tästä raportista tai sen käytöstä suhteessa mihinkään muuhun tahoon kuin Asiakkaaseen.

Tämä raportti voi perustua kokonaan tai osaksi kolmansien osapuolten FCG:lle antamiin tietoihin tai julkisiin lähteisiin ja näin ollen tietoihin, joihin FCG:llä ei ole ollut vaikutusmahdollisuuksia. FCG toteaa nimenomaisesti, ettei sillä ole vastuuta sille annettujen virheellisten tai puutteellisten tietojen perusteella.

Kaikki oikeudet (mukaan lukien tekijänoikeudet) tähän raporttiin kuuluvat FCG:lle, tai Asiakkaalle, mikäli niin on sovittu FCG:n ja Asiakkaan välillä. Tätä raporttia tai sen osaa ei saa muokata tai käyttää uudelleen toiseen tarkoitukseen ilman FCG:n kirjallista lupaa.

Sisällys

Keskeiset raportin käsitteet.....	4
Tiivistelmä	5
1 Johdanto.....	6
2 Keski-Suomen hiilinielut ja -varastot	7
2.1 Hiilinielujen ja -varastojen nykytilanarvion menetelmäkuvaus	8
2.2 Maankäyttösektorin päästöt ja poistumat	9
2.3 Metsämaat	12
2.4 Viljelysmaat	16
2.5 Kosteikot	17
2.6 Rakennetut alueet	18
2.7 Ruohikkoalueet	19
3 Hiilinielujen ja -varastojen paikkatietoanalyysi.....	20
3.1 Paikkatietoanalyysin menetelmät ja keskeiset aineistot	20
3.2 Hiilinielut	22
3.3 Hiilivarastot	23
3.4 Maaperän päästöt	26
3.5 Muutokset metsäpinta-alaan	28
3.6 Yhteenveto hiilinielujen ja -varastojen nykytilatarkasteluista	30
4 Skenaariot hiilinielujen ja -varastojen kehityksestä	31
4.1 Skenaariotarkastelujen periaatteen kuvaus	33
4.2 Yleiset oletukset	34
4.3 Skenaariokohtaiset oletukset	37
5.1 BAU-skenaario	44
5.2 LISÄ-skenaario	48
5.3 KIERTO-skenaario	51
5 Skenaariotarkastelujen tuloksia	44
6 Johtopäätökset.....	54
Lähteet.....	58
Liitteet.....	63
Liite 1: Nykytila- ja skenaariolaskennan yksityiskohtainen menetelmäkuvaus	63
Liite 2: Paikkatietoanalyysin maanpeiteluokkakohtaiset oletukset	79
Liite 3: Kuntakohtaiset tiedot nettohiilinielusta/nettopäästöistä	82
Liite 4: Skenaariolaskennan epävarmuudet	86

Keskeiset raportin käsitteet

Hiilidioksidiekvivalentti (CO₂e) on kaikkien kasvihuonekaasujen yhteismitta, joka kuvastaa eri päästöjen vaikutusta ilmaston lämpenemiseen.

Hiilinielu on prosessi tai mekanismi, joka sitoo hiilidioksidia poistamalla sitä ilmakehästä. Jos esim. metsä toimii hiilinieluna, sen hiilivarasto kasvaa. Hiilinielu voidaan ilmoittaa poistuneena hiilenä per tonni vuositasolla, mutta hiilinielulla saatetaan myös viitata muihin kasvihuonekaasuihin (ks. hiilidioksidiekvivalentti). Tässä raportissa hiilinieluja on tarkasteltu hiilidioksidiekvivalentteina.

Hiilitase on hiilivaraston muutos vuositasolla eli prosessin toimiminen hiilen lähteenä tai nieluna. Negatiivisessa hiilitaseessa hiilivarasto on kasvanut, ja se on toiminut hiilinieluna.

Hiilivarasto on hiilidioksidin määrä, joka on sitoutunut tarkasteltavan kohteen, kuten metsän tai valtameren, biomassaan. Hiilivarasto kattaa niin maanpäällisen kuin -alaisen, sekä kuolleen että elävän biomassan. Hiilivarasto kasvaa, kun sen vuotuinen kasvu (ks. hiilinielu) on suurempi kuin poistuma.

Jatkuvapeitteinen metsänkäsittely on metsänhoitoa ilman avohakkuuta.

LULUCF-sektori on lyhenne kasvihuonekaasuinventarioiden maankäyttö, maankäytön muutokset ja metsätalous -sektorista (Land Use, Land-Use Change and Forestry).

Metsäkato on metsämaan siirtymistä toiseen käyttöön, kuten viljelymaaksi tai yhdyskunta- tai liikennetähtäinrakentamiseen.

Nettonielu on prosessi tai mekanismi, jonka hiilinielut ovat suuremmat kuin syntyvät päästöt.

Nettopäästö on prosessi tai mekanismi, jossa syntyy enemmän päästöjä kuin hiilinielut sitovat.

Suurin ylläpidettävissä oleva hakkuukertymä (SY) on arvio suurimmasta mahdollisesta aines- ja energiapuun hakkuutasosta, jota on mahdollista ylläpitää ilman tulevaisuuden hakkuumahdollisuuksien heikkenemistä.

Tiivistelmä

Keski-Suomen hiilitaseselvitys valottaa maakunnan maankäyttösektorin (LULUCF) hiilinelujen ja -varastojen nykytilaa sekä arvioi niiden tulevaisuuden kehitystä. Tämän raportin tehtävänä on vahvistaa maakuntatason tietopohjaa maankäyttösektorista osana maakunnan ilmastotyötä ja hiilineutraaliustavoitetta. Se on toteutettu osana Keski-Suomen liiton ja Keski-Suomen ELY-keskuksen *Luonto- ja ilmastotiedolla johtaminen Keski-Suomen vahvuudeksi* -hanketta (LUMOAVA).

Selvityksessä arvioidaan Keski-Suomen maankäyttösektorin hiilinelujen ja -varastojen nykytilaa tilasto- ja paikkatietoaineiston avulla. Tarkastelu kattaa LULUCF-sektorin määritelmän mukaisesti metsät, viljelysmaat, kosteikot, ruohikkoalueet, rakennetut alueet sekä puutuotteet. Hiilinelujen nykytila-arvion (2023) mukaisesti Keski-Suomen maankäyttösektori toimii nettonieluna, mutta nielun koko on vain noin viidennes maakunnan käyttöperustaisista päästöistä.

Metsät ovat Keski-Suomen suurin hiilinielu, kun taas muut maankäyttösektorin luokat toimivat nettopäästölähteenä. Metsien nettonielujen suuruudessa tunnistettiin merkittävää vaihtelua tarkasteluvuosien välillä. Suurimmat nettopäästöt syntyvät viljelysmaista ja kosteikoista, kun taas rakennettujen alueiden ja ruohikkoalueiden merkitys kokonaisuudessa on vähäinen. Lisäksi tarkastelu tuo ilmi kuntakohtaisia eroavaisuuksia maankäyttösektorin nettonieluissa ja -päästöissä.

Nettonielun tulevaisuuden kehitys ilmastotavoitteen näkökulmasta kestävään suuntaan näyttää haastavalta, sillä nykytoimiin perustuvassa BAU-skenaariossa maakunnan metsät kääntyvät kotimaisen puun kysynnän myötä kasvavien hakkuiden vuoksi nettopäästöksi. Metsänhoidollisten toimenpiteiden vahvistamista kuvaavassa LISÄ-skenaariossa metsät ovat 2030-luvun niukasti nettonieluisia ja biokiertotalouden vahvistumista kuvaavan KIERTO-skenaarion mukaan maakunnan metsien nettonielut vahvistuvat nykyisestä. Missään skenaariossa hiilineutraaliustavoitteen mukaista nettonielumäärää ei kuitenkaan saavuteta.

Selvityksen tulokset osoittavat, että metsien hiilinelujen ja -varastojen kasvu edellyttäisi hakkuiden määrän vähentämistä. Vastaava tilanne on tunnistettu paitsi Keski-Suomessa, myös kansallisesti ja muissa maakunnissa. Näin ollen tilanteen kääntäminen edellyttää paitsi kunta- ja maakuntatason toimia maankäyttösektorin hiilinelujen vahvistamiseksi, myös kansallisen tason ohjaus- ja kannustejärjestelmien muutoksia. Ilmastotavoitteiden saavuttaminen edellyttää laajaa yhteistyötä eri toimijoiden välillä sekä kestäväen kehityksen mukaisten ratkaisujen käyttöönottoa.

1 Johdanto

Keski-Suomen maakuntastrategian mukaisesti maakunta tavoittelee hiilineutraaliutta vuoteen 2030 mennessä. Toimenpiteet tavoitteen saavuttamiseksi on kirjattu Hiilineutraali Keski-Suomi 2030 -tiekarttaan, joka ei toistaiseksi kata maankäyttösektoria koskevia ilmastotoimenpiteitä. Keski-Suomen liitto ja Keski-Suomen ELY-keskus ovat käynnistäneet yhteisen *Luonto- ja ilmastotiedolla johtaminen Keski-Suomen vahvuudeksi* -hankkeen (LUMOAVA). Siinä yhdistetään ilmastomuutoksen ja luontokadon hillintä, tuotetaan ja koostetaan luontotietoa sekä otetaan Keski-Suomessa laajasti käyttöön alan tutkimustietoa. Tämä selvitys maakunnan hiilinieluista ja -varastoista on toteutettu Hiilineutraali Keski-Suomi 2030 -tiekartan laajentamisen sekä päivityksen tueksi osana EU-rahoitteista LUMOAVA-hanketta.

Maankäyttösektorin rooli ilmastotyössä on herättänyt runsaasti keskustelua, sillä perinteisesti suureksi hiilinieluksi mielletyn maankäyttösektorin (LULUCF) tutkittiin toimineen kansallisella tasolla nettopäästölähteenä ensimmäistä kertaa vuonna 2021. Toisin sanottuna Suomen metsät, pellot, kosteikot, suot ja muut maa-alueet sekä niiden muutokset ovat tuottaneet enemmän ilmastoa lämmittäviä päästöjä kuin sitoneet niitä. Etenkin runsaat hakkuumäärät ovat kansallisen tutkimuksen valossa haastaneet maankäyttösektorin nettohiilinieluisuutta (ks. esim. YM, 2023). Samaan aikaan kansallinen hiilineutraaliustavoite vuoteen 2035 luo painetta LULUCF-sektorin nettohiilinieluisuuden kasvattamiseen, etenkin kun liikenteen kaltaisilla sektoreilla päästövähennysten saavuttaminen on haastavaa. EU:n tavoitteiden mukaan LULUCF-sektorin nettohiilinielun tulee 2030 olla Suomessa $-17,754$ milj. t CO_{2e} ja kaudella 2021–2025 maankäyttösektorin päästöjen tulisi olla poistumia pienemmät (YM, 2023). Myös Suomen maakunnilla on tutkittu olevan suuria vaikeuksia ylläpitää maankäyttösektorin nettohiilinielua (Luke, 2023b).

Tässä selvityksessä tarkastellaan Keski-Suomen maankäyttösektorin nettohiilinielun vaikuttavia osatekijöitä, joista luodaan kokonaiskuva nielujen nykytilasta sekä oletetusta kehityksestä. Selvitys perustuu sekä tilasto- että paikkatietoaineistojen analyysiin. Tämän selvityksen tilastanalyysi on toteutettu vuosille 2018 sekä 2023, ja se on menetelmällisesti verrattavissa kansalliseen kasvihuonekaasuinventaarioon. Paikkatietoanalyysi taas kuvastaa hiilinielujen ja -varastojen kartalla osoitettua, toteutunutta tilaa. Tilastoaineistoon perustuvalla tarkastelulla pystytään laskemaan muun muassa hakkuiden vaikutus maaperän päästöihin, jota paikkatietoanalyysi ei kata. Näin ollen tarkastelut tukevat toisiaan tulosten suuruusluokkien varmistamisen ja havainnollistamisen kautta.

Keski-Suomen hiilinielujen ja -varastojen nykytilan ymmärryksen kannalta keskeisimmät tulokset on esitetty luvussa 2. Siinä esitellään kansallista kasvihuonekaasuinventaaariota mukailevan tilastomenetelmän mukaisesti toteutetun nykytilan laskennan tulokset metsien, viljelysmaiden, kosteikkojen, rakennettujen alueiden sekä ruohikkoalueiden osalta. Tilastopohjaista tarkastelua syventää luvussa 3 esitettävä paikkatietotarkasteluna toteutettu hiilinielujen ja -varastojen arvio. Tulokset on esitelty siten, että hiilinielut, -varastot, maaperäpäästöt sekä maankäytön muutokset ovat omissa alaluvuissaan. Tulosten tulkintaa tukevat maakuntatason kartat sekä kuntia vertailevat infograafit.

Luvussa 4 kuvataan Keski-Suomen hiilinielujen kehityksen kolmen skenaarion toteutusta ja oletuksia. Skenaarit ovat perusskenario (BAU), lisääntyvän puuraaka-aineen hyödyntämisen skenario (LISÄ) sekä kiertotalouden mukaisen metsätalouden skenario (KIERTO). Laskennan tulokset on esitelty kunkin skenaarion osalta luvussa 5. Luvussa 6 esitellään selvityksen keskeiset johtopäätökset. Analyysien yksityiskohtaiset menetelmäkuvaukset ja tulokset on kuvattu raportin liitteessä 1–4.

2 Keski-Suomen hiilinielut ja -varastot

Selvityksessä on arvioitu hiilinielujen ja -varastojen tilanne Keski-Suomen maakunnan alueella vuosille 2018 ja 2023. Hiilinielujen ja -varastojen arvio on toteutettu tilastotarkasteluna, jota täydentää paikkatietopohjainen analyysi, jonka tulokset esitellään erikseen raportin luvussa 3. Seuraavassa alaluvussa (2.1) on kuvattu hiilinielujen ja -varastojen nykytilan laskennan ydinperiaatteet ja keskeisimmät menetelmät. Laskennan yksityiskohtaiset kuvaukset ja eroavaisuudet kansalliseen kasvihuonekaasuinventaarioon esitetään raportin liitteessä 1. Yhteenlasketut Keski-Suomen maankäyttösektorin päästöt ja poistumat on esitetty luvussa 2.2, jonka jälkeen luvuissa 2.3–2.7 tulokset esitellään LULUCF-sektoreittain: metsämaat, viljelysmaat, kosteikot, rakennetut alueet ja ruohikkoalueet.¹

Keski-Suomi on metsäinen maakunta, jonka pinta-alasta peräti noin 86 % (1,4 milj. ha) on metsätalousmaata. Maakunnan pohjoisosissa on mäntyvaltaisia alueita, kun taas eteläisissä osissa on kuusivaltaisia alueita. Metsämaasta neljännes on turvemaata ja valtaosa (75 %) kivennäismaita (Luke, 2024b; Metsäkeskus, 2020). Keski-Suomen metsissä puuston määrä hehtaaria kohden on korkea ja puuston tilavuus on 180 milj. m³ (Luke, 2024a). Keski-suomalaisista metsistä noin kaksi kolmasosaa on yksityisten metsänomistajien omistuksessa. Metsien käyttöaste on korkealla tasolla, ja puunjalostusteollisuus on maakunnassa taloudellisesti merkittävä sektori; metsäalalla työskentelevien määrä Keski-Suomessa on kaksinkertainen verrattuna koko maan keskiarvoon. Maakunnan alueella toimii mm. suurien metsäalan konsernien lisäksi erilaisia puunjalostusalan yrityksiä sahoista hirsirakentamiseen erikoistuneisiin yrityksiin asti. (Metsäkeskus, 2020.)

Viljelysmaan ala Keski-Suomessa on 91 200 ha, mikä vastaa noin kuutta prosenttia maakunnan kuivanmaan pinta-alasta. Tästä alasta yli puolet on nurmella ja reilu neljännes rehuviljalla. Myös luomutuotannon osuus on ollut kasvussa ja oli vuonna 2023 noin kymmenyksen korjuualasta. (Luke, 2024d; Keski-Suomen ELY-keskus, 2022.) Keski-Suomessa toimii nykyisin vajaat 2 400 maatalous- ja puutarha-alan yritystä. Tyypillinen keskisuomalainen maatila on monialainen, joka harjoittaa maatalouden ohella myös muuta yritystoimintaa. Keski-suomalaisten maatalousyrittäjien merkittävin tulonlähde on maidon- ja naudanlihantuotanto, joskin maitotilojen lukumäärä on puolittunut ja maidontuotanto laskenut neljänneksellä viime vuosikymmenen alusta. Naudanlihan tuotantomäärä on pysynyt maakunnassa tilojen investointien myötä maidontuotantoa vakaammalla tasolla. (Luke, 2024d; Keski-Suomen ELY-keskus, 2022.)

Keski-Suomessa oli vuonna 2019 lähes 5 300 ha turvetuotannossa olevia alueita.² Maakunnan osuus maamme turvetoimialan jalostusarvosta oli 13 % vuonna 2020. (Keski-Suomen liitto & Keski-Suomen ELY-keskus, 2022). Turpeen energiakäyttö on vähentynyt Suomessa markkinaehtoisesti. Vuosina 2010–2023 turpeen osuus Suomen lämmöntuotannosta on vähentynyt 10 prosenttiyksiköllä ja on nykyisin 9 %

¹ *Metsämaa* käsittää metsät ja metsätalouden alueet, *viljelysmaa* viljelyskäytössä olevat alueet, *kosteikot* kattavat luonnontilaiset ja ihmisen muokkaamat kosteikot, *rakennetut alueet* sisältävät kaupunkialueet ja muut ihmisen rakentamat alueet ja *ruohikkoalueet* tarkoittavat laidunmaita ja muita ruohikkoisia alueita.

² Turvetuotannossa olevien alueiden pinta-aratiedot riippuvat myös käytetystä arviointitavasta (ks. esim. Lehtonen ym., 2021, luku 12.2).

(Energiateollisuus, 2024). Turpeen kilpailukykyä on heikentänyt turpeen nopea ja merkittävä hinnannousu, joka on johtunut pääosin päästöoikeuksista (Lund, 2023).

Työ- ja elinkeinoministeriön turvetyöryhmän selvityksen mukaan paikalliset turvetoimialan yritykset ovat arvioineet energiaturpeen käytön puolittuvan jo vuoteen 2025 mennessä. Arvion mukaan turvetta korvataan Keski-Suomessa lyhyellä aikajänteellä puupolttoaineella. Pidemmällä aikavälillä energiantuotannon nähdään monipuolistuvan, ja mukaan tulee myös polttoon perustumattomia ratkaisuja. (Korhonen ym., 2021.) Keski-Suomen vuoteen 2030 ulottuvassa maakunnallisessa ilmastotiekartassa ei ole asetettu turpeen käyttöä koskevia määrällisiä tavoitteita (Keski-Suomen liitto, 2022). Keski-Suomen liiton ja Keski-Suomen ELY-keskuksen (2022) laatimassa oikeudenmukaista siirtymää koskevassa suunnitelmassa esitetään arvio, että 2020-luvun lopussa maakunnassa käytettäisiin energiantuotantoon turvetta vain pieniä määriä. Venäjän hyökkäyssodan aiheuttama energiakriisi Euroopassa on kuitenkin johtanut energiaturpeen käytön jatkumiseen.

2.1 Hiilinielujen ja -varastojen nykytilanarvion menetelmäkuvaus

Keski-Suomen maankäytön LULUCF-sektorin kasvihuonekaasupäästöt ja -nielut on laskettu soveltamalla kansallisen kasvihuonekaasuinventaariolaskennan tarkastelutapaa maakuntatasolle. Kansallinen kasvihuonekaasujen päästöinventaario perustuu Hallitusten välisen ilmastomuutospaneelin (IPCC) menetelmäohjeisiin ja kansainvälisten ilmastosopimusten vaatimuksiin, ja sen tulokset raportoidaan määrämuotoisiin inventaarioraportteihin (Statistics Finland, 2024). Keski-Suomen tarkastelu kattaa kansallisen menetelmän tavoin kaikki LULUCF-sektorin maankäyttöluokat, eli metsien puuston ja maaperän, viljelysmaan, ruohikkomaan, kosteikot ja rakennetut alueet. Maakuntatason aineistojen puutteiden vuoksi laskenta poikkeaa raportin liitteessä 1 kuvatuilla tavoilla kansallisen inventaariolaskennan aineistoista. Selkeimmät laskennalliset erot liittyvät siihen, että Keski-Suomen tarkastelun parametreja ei ole mallinnettu Luonnonvarakeskuksen malleilla, vaan laskennassa on hyödynnetty kerroinarvioita. Tehty hiilinielujen ja varastojen nykytila-arvio vastaa karkeasti arvioiden 70-prosenttisesti kansallista laskentatapaa. Kansallisen kasvihuonekaasuinventaarion ja Keski-Suomen selvityksen laskentojen menetelmäerot on kuvattu liitteessä 1.

Metsämaiden hiilinielujen ja -varastojen osalta laskennassa on huomioitu puuston hiilinielu, puuston poistuma, metsämaiden maaperän päästöt sekä lannoituksen dityppioksidipäästöt (N₂O). Laskenta perustuu Keski-Suomen metsävaroihin, joita koskevat pohjatiedot koottiin Valtakunnan metsien inventoinnin VMI12–13-aineistosta (Luke, 2024b), MELA-tulospalvelusta (Luke, 2022a) sekä metsävaroja, markkinahakkuita sekä hakkuukertymiä ja puuston poistumia koskevista tilastoista ja tilastojulkistuksista (Luke, 2024b).

Puuston hiilinielu laskettiin biomassojen kasvun ja poistumien erotuksena, eli niin sanottua varastomuutosmenetelmää (ns. gain-loss-menetelmä) hyödyntäen. Keski-Suomen puuston runkopuukuutioina mitattu vuosittainen kasvu muunnettiin BCEF-kertoimien (Biomass conversion and expansion factors) avulla biomassaksi. Runkopuun kasvukertoimet pohjautuvat Luonnonvarakeskuksen maakuntatason tietoihin puuston vuotuisesta kasvusta metsä- ja kitumailla (Luke, 2023c), joita muokattiin huomioimaan metsän puulaji, maaperätyyppi ja kehitysluokka. BCEF-kertoimet arvioitiin aiemman kasvihuonekaasuinventaarion (Statistics Finland, 2020) tietojen pohjalta. Puuston biomassan vuosittaisesta kasvusta vähennettiin omilla BCEF-kertoimilla laajennetut hakkuiden, hakkuiden

hukkapuun ja luonnonpoistuman biomassamäärät. Olettamalla biomassan hiilen osuus 50 %:ksi (Alakangas 2000) saatiin tuloksena puuston nettomääräinen hiilinielu tarkasteluvuonna.

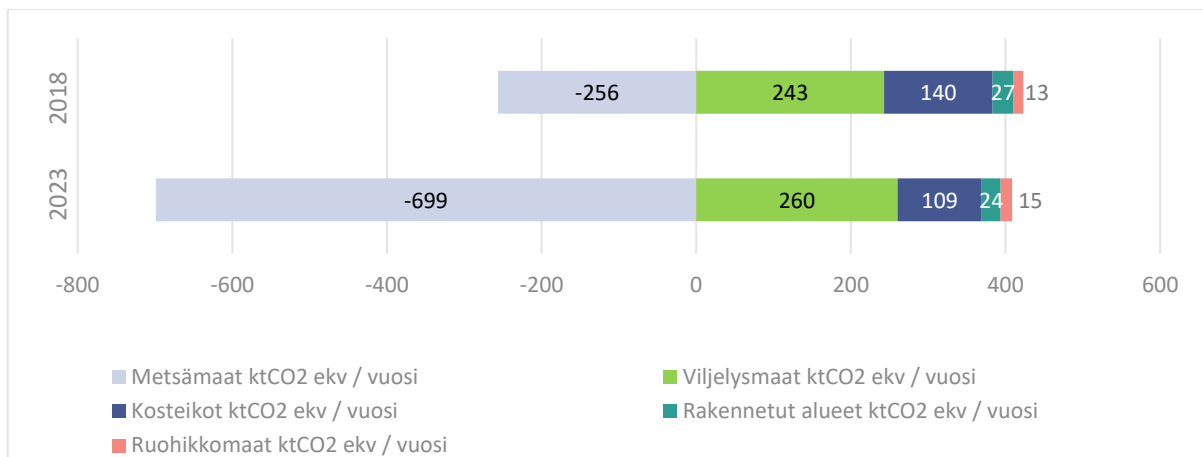
Metsämaiden maaperän päästöt laskettiin kertomalla kunkin metsätyypin pinta-alat tutkimukseen perustuvilla päästökertoimilla. Kangas- ja turvemaiden osalta nojattiin kansallisen kasvihuonekaasuinventaarion mukaisiin alueellisiin päästökertoimiin (Tilastokeskus, 2023a). Ojitettujen turvemaiden maaperän metaani- ja dityppioksidipäästöt laskettiin käyttämällä eri kasvupaikkojen pinta-alatietoja ja turvemaiden päästökertoimia (Statistics Finland, 2024). Kivennäismaiden päästöt laskettiin Liskin ja Westmanin (1997) julkaisun perusteella sekä Helsingin, Lahden, Turun, Vantaan ja Espoon maankäyttösektorin kasvihuonekaasupäästöt, hiilinielut ja hiilivarastot -julkaisun (2014) perusteella.

Muiden maankäyttöalueiden päästöjen ja poistumien laskenta perustuu niin ikään alueellisiin päästökertoimiin. Viljellyt alueet luokiteltiin maataloustilaston (Luke, 2024d) mukaisesti eri viljelykasveihin. Lisäksi maatalousmaa jaettiin maalajisuhdetietojen (Eurofins Agro, 2024) ja Corine-aineiston (Syke 2018a) mukaisesti kivennäis- ja turvemaihin. Kosteikkojen maankäyttöluokkaan taas kuuluvat turvetuotantoalueet, suot sekä rakennetut kosteikot. Myös turvetuotantoalueiden, rakennettujen alueiden sekä ruohikkoalueiden pinta-alat arvioitiin Corine-aineiston (Syke, 2018a) avulla. Ruohikkoalueiden määrä laskettiin maataloustukijärjestelmän ulkopuolisia maatalousmaita kuvaavan alaluokan avulla. Laskennan tarkempi menetelmäkuvaus on raportin liitteessä 1.

2.2 Maankäyttösektorin päästöt ja poistumat

Maakunnallisten maankäyttösektorin päästöjen ja poistumien osuudet vaihtelevat vuosittain merkittävästi, mikä näkyy verrattaessa Keski-Suomen maankäyttösektorin vuoden 2018 laskennan tuloksia vuoteen 2023 (kuvio 1). Vuonna 2018 Keski-Suomen maankäyttösektori oli päästölähde, sillä nettopäästöt olivat 167 kt CO₂e. Vuonna 2023 Keski-Suomen maankäyttösektori taas oli nieluiltaan päästöjä suurempi, kun nettonielut olivat -290 kt CO₂e. Maankäytön nettonielut olivat negatiiviset, eli nielut olivat päästöjä suuremmat. Kuvio 1 osoittaa, että maankäyttösektorin päästöt ovat olleet vertailuvuosina samaa kokoluokkaa, kun taas metsämaiden poistumien kokoluokassa on merkittävä ero. Kuvion 1 mukaisesti vuonna 2018 metsämaiden nettonielut olivat -256 kt CO₂e, kun taas vuonna 2023 metsämaiden poistumat olivat huomattavasti suuremmat, yhteensä -699 kt CO₂e. Vuositasojen vaihtelua selittää erityisesti metsien hakkuumäärät (ks. raportin luku 2.3).

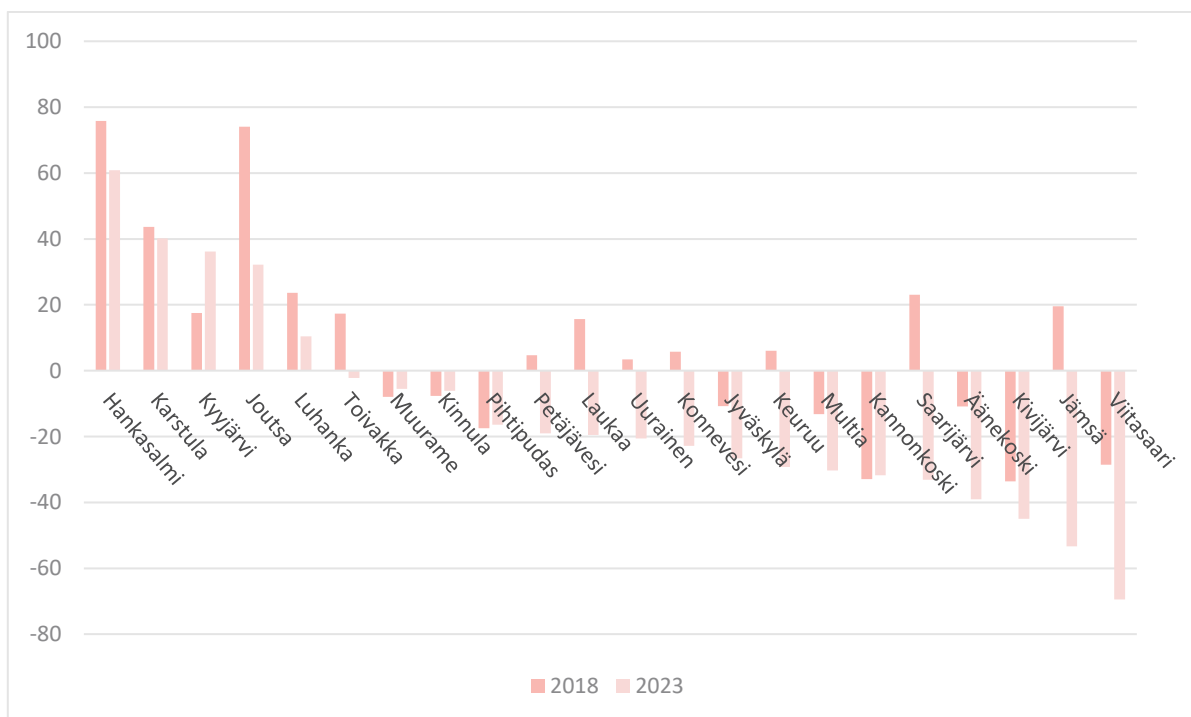
Kumpanakin tarkasteluvuonna suurimpana päästölähteenä toimivat viljelysmaat, joiden nettopäästöt vuonna 2018 olivat 243 kt CO₂e ja vuonna 2023 hieman suuremmat, yhteensä 260 kt CO₂e. Kosteikkopäästöt taas olivat vuonna 2018 (140 kt CO₂e) vuotta 2023 (109 kt CO₂e) hieman suuremmat, kun taas ruohikkomaiden ja rakennettujen alueiden päästöt ovat olleet tarkasteluvuosina liki samansuuruiset, ja niiden merkitys maankäyttösektorin kokonaispäästöissä on suhteellisen pieni.



Kuvio 1: Keski-Suomen maankäyttösektorin poistumat ja päästöt vuonna 2018 ja 2023 (kt CO₂e / vuosi).

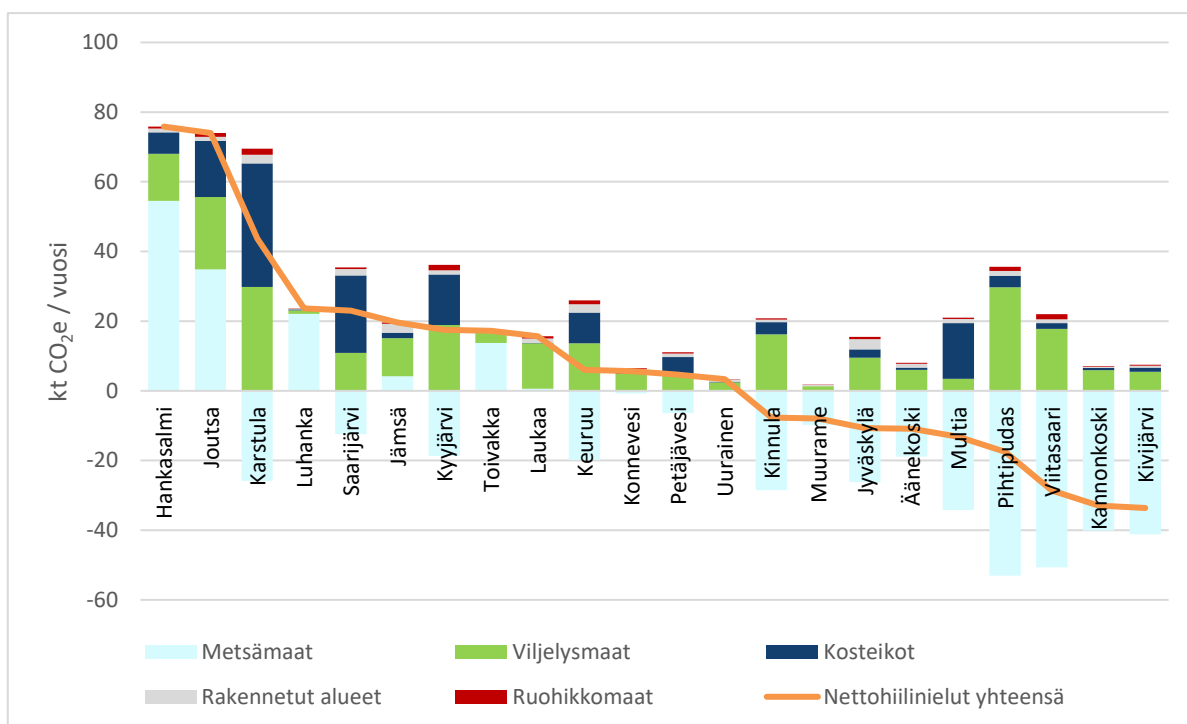
Kun tarkastellaan Keski-Suomen kuntien maankäyttösektorin nettonieluja ja -päästöjä, huomataan, että sekä kuntien että tarkasteluvuosien 2018 ja 2013 välillä on eroja (kuviot 1 ja 2). Vuonna 2018 valtaosassa Keski-Suomen kunnista maankäyttösektori toimi nettopäästölähteenä, eli päästöt olivat nieluja suuremmat. Hankasalmella (76 kt CO₂e), Joutsassa (74 kt CO₂e) ja Karstulassa (44 kt CO₂e) nettopäästöisyys oli muita kuntia selkeästi suurempi. Suurimmat nettonielut taas olivat Kivijärvellä (-34 kt CO₂e) ja Kannonkoskella (-33 kt CO₂e). Moni muu kunta oli lähellä maankäyttösektorin nettonollaisuutta, eli päästöt ja poistumat olivat liki samaa luokkaa ja kokonaisuus joko niukasti nettopäästön tai -nielun puolella.

Toisin kuin vuonna 2018, vuonna 2023 kuntakohtaiset nettonielut olivat suurelta osin negatiiviset. Tuolloin suurimmat maankäyttösektorin poistumat olivat Viitasaarella (-69 kt CO₂e), Jämsässä (-53 kt CO₂e) ja Kivijärvellä (-45 kt CO₂e). Vuonna 2023 Hankasalmella (61 kt CO₂e), Karstulassa (40 kt CO₂e), Kyyjärvellä (36 kt CO₂e), Joutsassa (32 kt CO₂e) ja Luhangassa (10 kt CO₂e) maankäyttösektori toimi päästölähteenä (kuviot 1 ja 2). Yksityiskohtaiset kuntakohtaiset tulokset ovat raportin liitteessä 3.



Kuvio 2: Keski-Suomen kuntien maankäyttösektorin nettonielut / -päästöt vuosina 2018 ja 2023 (kt CO₂e / vuosi).

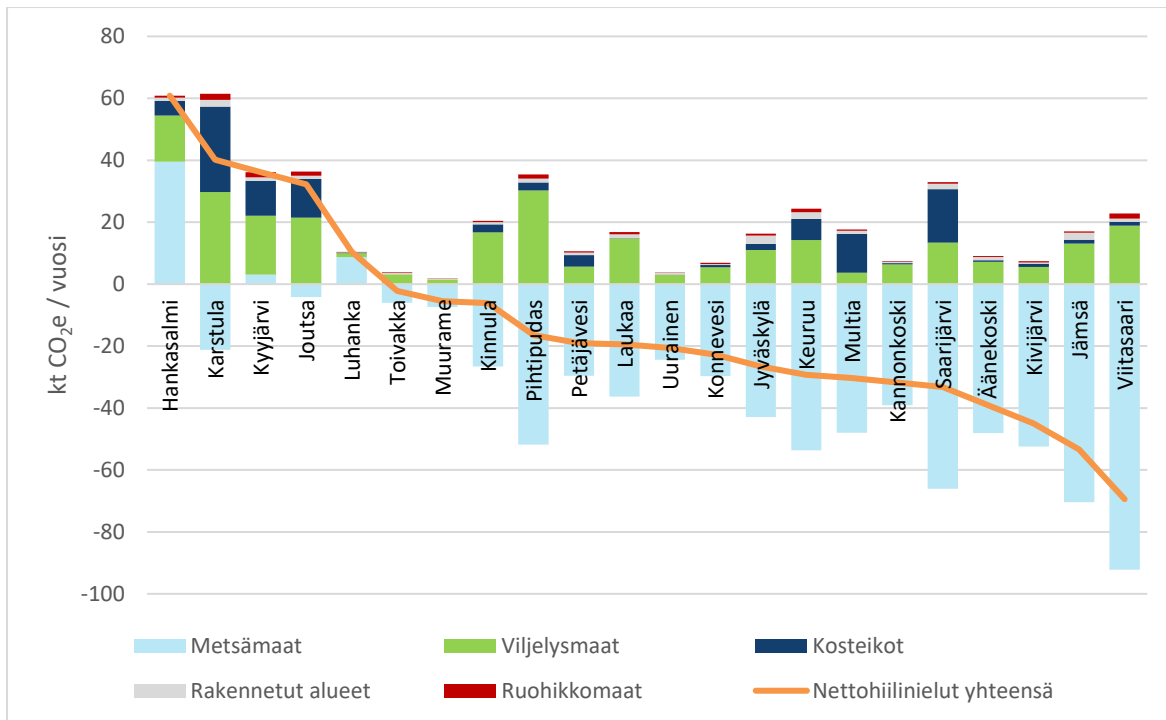
Kuntatasolla maankäyttösektorin päästöihin ja poistumiin vaikuttavat erityisesti metsien, viljelysmaiden ja kosteikkojen pinta-alat sekä sektorilla toteutetut toimenpiteet. Kuvio 3 esittää Keski-Suomen kuntien maankäyttösektorin nettonielujen ja -päästöjen osatekijöitä vuonna 2018. Tällöin merkittävästi nettopäästöisten Hankasalmen ja Joutsan metsämaat ovat toimineet päästölähteinä, eikä maankäyttösektorin nettonieluja ole. Metsämaat toimivat päästölähteenä silloin, kun hakkuiden myötä poistuva puun biomassa on vuodessa suurempi kuin kasvillisuuden hiilinielu. Myös Luhangassa, Jämsässä ja Toivakassa metsät toimivat päästölähteenä vuonna 2018. Karstulan, Kyyjärven ja Saarijärven maankäyttösektoreiden nettopäästöisyyttä taas selittävät merkittävät kosteikkopäästöt ja suhteellisen pienet metsien nielut.



Kuvio 3: Keski-Suomen kuntien maankäyttösektorin päästöt ja poistumat vuonna 2018 (kt CO₂e).

Kuvio 4 esittää kuntien maankäytön nettonielujen ja -päästöjen osatekijöitä vuonna 2023, jolloin valtaosassa kuntia maankäyttösektori oli nettonielu. Verrattuna vuoteen 2018, vuonna 2023 kuntien metsämaiden nielut olivat suurempia. Ainoastaan Hankasalmella, Kyyjärvellä ja Luhangassa metsät toimivat päästölähteenä, jolloin maankäyttösektori oli kokonaisuudessaan kyseisissä kunnissa nettopäästölähde. Karstulassa ja Joutsassa metsät toimivat hiilinieluinä, mutta viljelysmaiden ja kosteikkojen päästöjen vuoksi kuntien maankäytön päästöt ovat kokonaisuudessaan nieluja suuremmat.

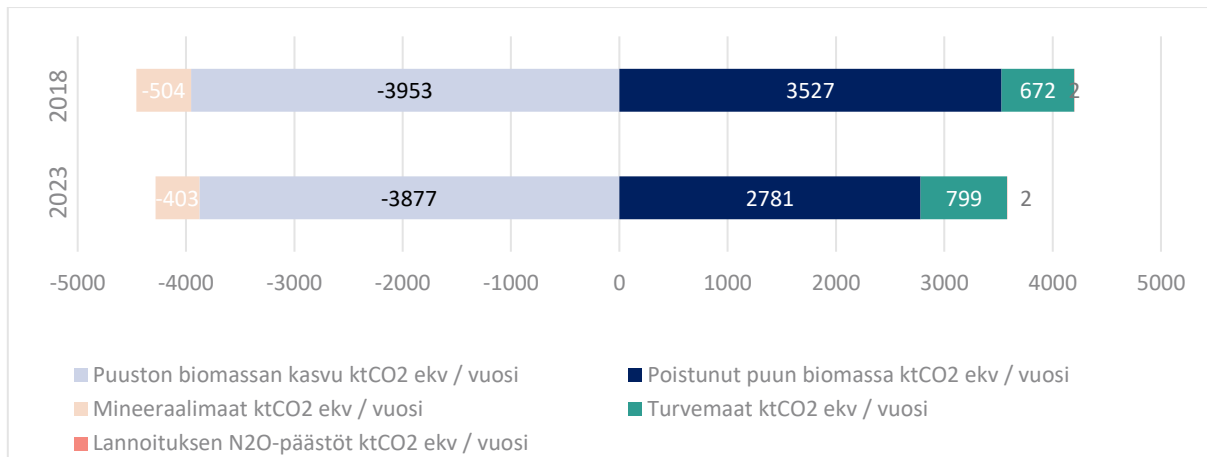
Seuraavissa luvuissa syvennytään kuntien ja vertailuvuosien välisiä eroja selittäviin tekijöihin, kun jokaisen maankäyttöluokan tuloksia tarkastellaan erikseen. Kaikki kuntakohtaiset tulokset ovat raportin liitteessä 3.



Kuvio 4: Keski-Suomen kuntien maankäyttösektorin päästöt ja poistumat vuonna 2023 (kt CO₂e).

2.3 Metsämaat

Sekä vuonna 2018 että 2023 Keski-Suomen metsät toimivat nettonieluina, eli metsien puuston biomassan kasvusta syntyvä hiilinielu oli kumpanakin tarkasteluvuotena hakkuiden myötä poistuneen puun biomassaa suurempi. Vuonna 2018 metsien nettonielu (-256 kt CO₂e) oli kuitenkin huomattavasti pienempi kuin vuonna 2023 (-699 kt CO₂e). Tämä selittyy erityisesti sillä, että vuonna 2018 hakkuiden myötä puuston biomassan poistuma (3 527 kt CO₂e) oli lähes yhtä suuri kuin biomassan kasvu (-3 953 kt CO₂e). Vuonna 2023 puuston biomassan kasvu (-3 877 kt CO₂e) oli taas huomattavasti suurempi kuin hakkuiden myötä poistuneen puun biomassan määrä (2 781 kt CO₂e). Puuston kasvu oli siis kumpanakin tarkasteluvuonna samaa kokoluokkaa, mutta hakkuiden myötä poistuneen biomassan määrä oli vuonna 2018 noin 750 kt CO₂e suurempi kuin vuonna 2023. Puuston lisäksi metsien poistumiin vaikuttavat kivennäismaiden nielut, kun taas hakkuiden ohella metsien päästöihin vaikuttaa turvemaista sekä lannoituksesta aiheutuvat päästöt. Näiden osalta tulokset on esitetty kuviossa 5.

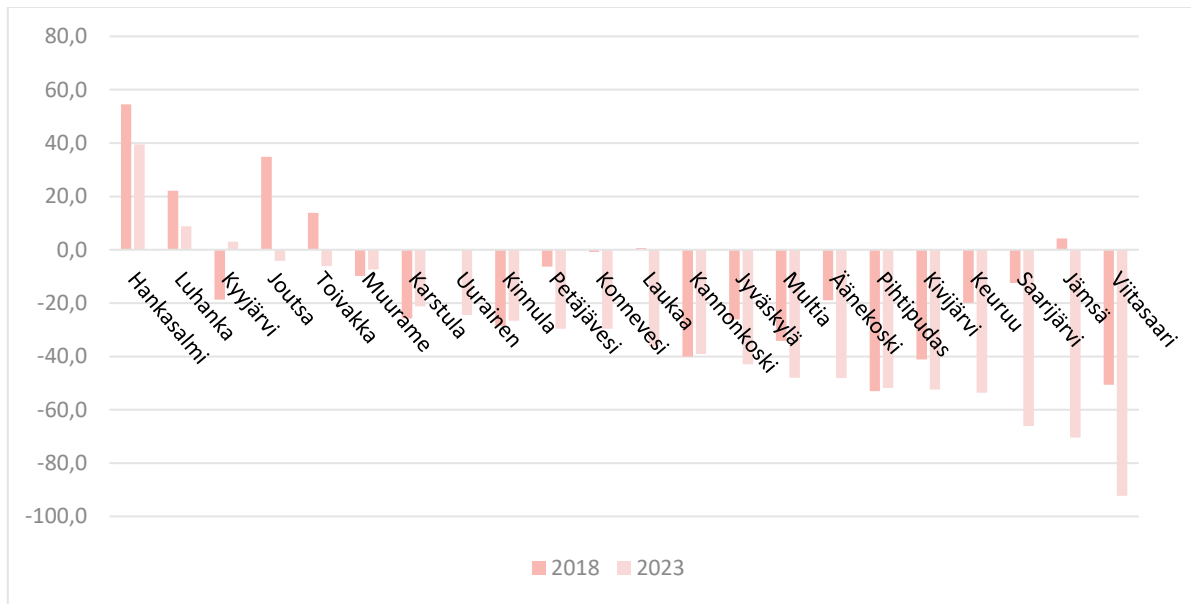


Kuvio 5: Keski-Suomen metsämaiden poistumat ja päästöt vuosina 2018 ja 2023 (kt CO_{2e} / vuosi).

Tässä selvityksessä metsämaiden nettonieluja ja -päästöjä on tarkasteltu vuosien 2018 ja 2023 tilastojen valoisissa. Vaikka vuonna 2023 metsien nettonielut olivat suuremmat kuin vuonna 2018, tulosta ei tule tulkita lineaarisena kehityksenä, jossa metsien nettonielut olisivat kasvaneet vuosi vuodelta. Kuten kuvio 5 osoittaa, maakunnan metsien hakkuumäärä on suurin yksittäinen selittävä tekijä metsien poistumien ja nielujen taustalla, jolloin vuositasolla merkittävästi vaihtelevat hakkuumäärät vaikuttavat paitsi metsämaiden, myös koko maankäyttösektorin nettonieluihin ja -päästöihin. Keski-Suomessa hakkuukertymä oli vuosina 2018–2023 keskimäärin noin 6,6 milj. m³ vuodessa, kun vuonna 2018 hakkuukertymä oli 7,3 milj. m³ ja vuonna 2023 5,8 milj. m³ (Luke, 2024a).

Kuntakohtainen tarkastelu kuviossa 6 osoittaa, että vuonna 2023 valtaosassa kuntia metsät olivat selkeästi nettonieluisia. Poikkeuksen tekivät Hankasalmi (39 kt CO_{2e}), Luhanka (8,7 kt CO_{2e}) ja Kyyjärvi (3,1 kt CO_{2e}), joissa metsät toimivat päästölähteinä. Vuonna 2018 Hankasalmen (55 kt CO_{2e}) ja Luhangan (22 kt CO_{2e}) lisäksi Joutsan (35 kt CO_{2e}), Toivakan (14 kt CO_{2e}) ja Jämsän (4 kt CO_{2e}) metsät toimivat päästölähteinä. Uuraisten, Konneveden ja Laukaan metsät olivat vuonna 2018 nettopäästöiltään ja -nieluiltaan hyvin lähellä nollaa (alle +/- 1 kt CO_{2e}). Vuonna 2023 suurimmat metsien nettonielut olivat Viitasaarella (-92 kt CO_{2e}) ja vuonna 2018 Pihtiputaalla (-53 kt CO_{2e}). Suurin ero tarkasteluvuosien välisessä metsien nettonielussa oli Jämsässä (66 kt CO_{2e}).

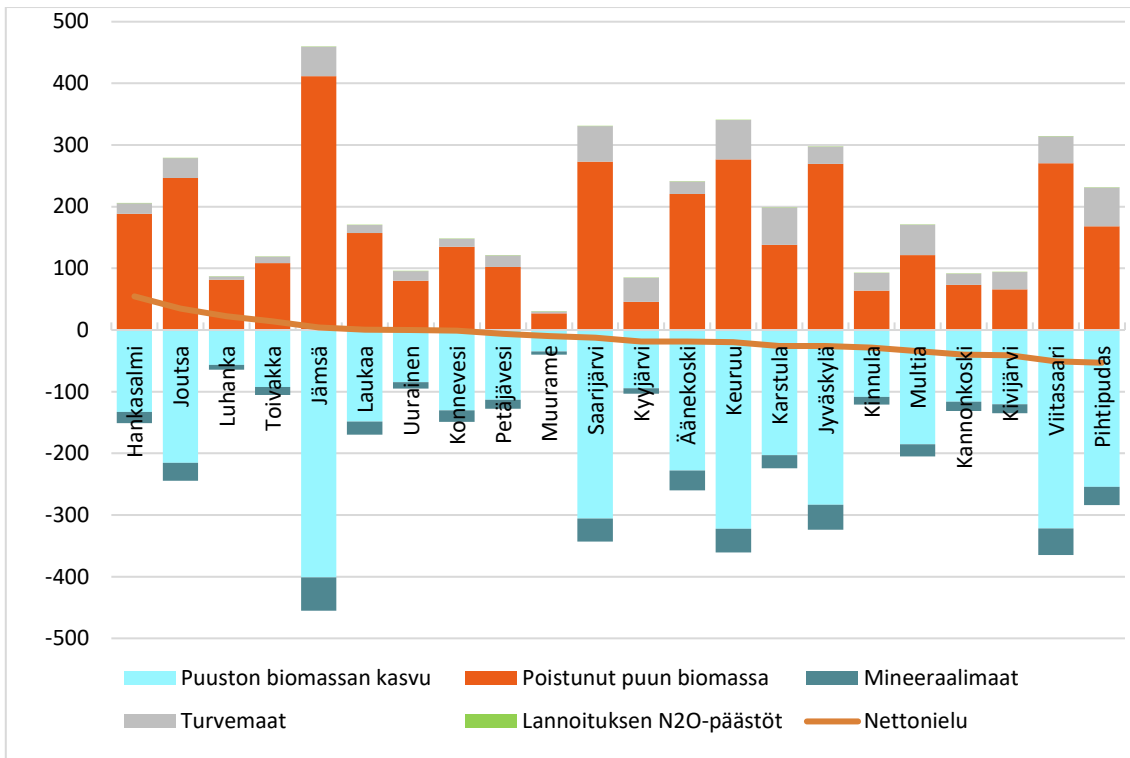
Kuntakohtaisia tuloksia tulkittaessa on muistettava, että hakkuumäärät vaihtelevat merkittävästi vuosittain ja näin ollen myös metsien poistumat vaihtelevat tarkasteluvuoden mukaan. Tämä näkyy kuviossa 6 erityisesti niiden kuntien osalta, joissa metsämaat ovat olleet vuonna 2018 nettopäästölähde ja vuonna 2023 nettonielu, tai toisin päin (esim. Kyyjärvi, Joutsa, Toivakka ja Jämsä). Keski-Suomen kunnissa hakkuumäärät muuttuivat esimerkiksi vuosien 2021 ja 2023 välillä siten, että enimmillään kuntakohtaiset hakkuumäärät laskivat 30 % ja toisaalla kasvoivat 15 % (Luke, 2024c).



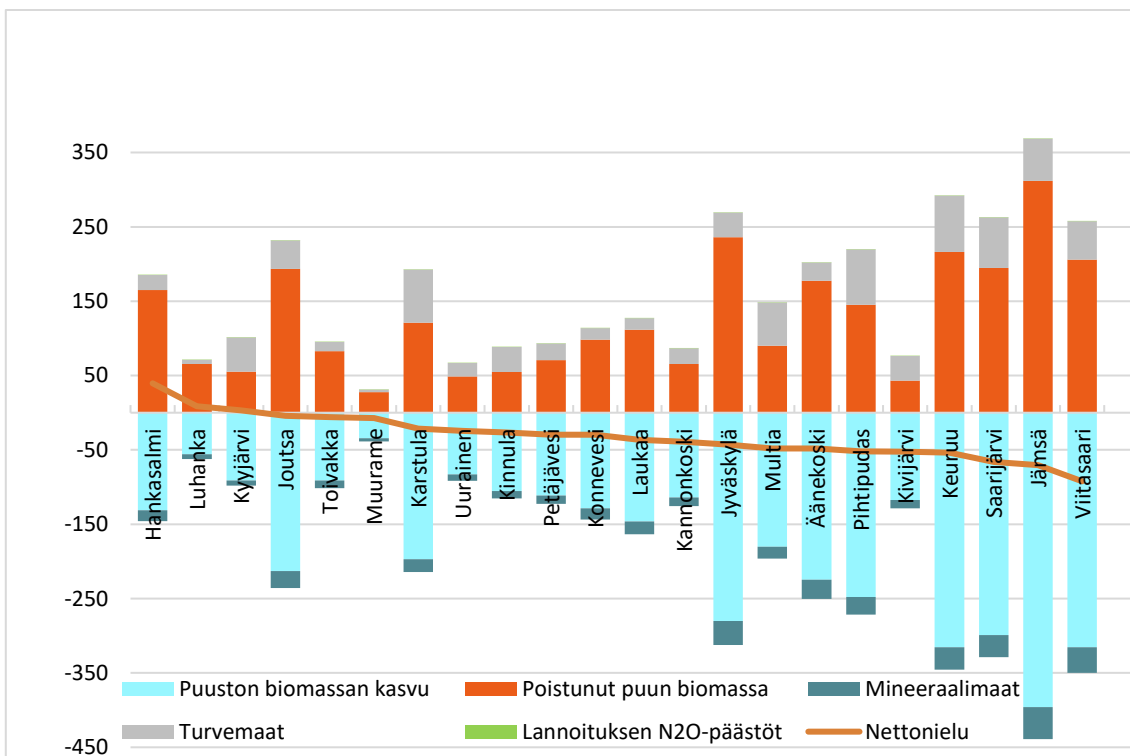
Kuvio 6: Keski-Suomen kuntien metsämaiden nettopäästöt / nettonielut vuosina 2018 ja 2023 (kt CO₂e / vuosi).

Kuviot 7 ja 8 avaavat, mistä Keski-Suomen kuntien metsämaiden nettonielut ja -päästöt muodostuvat. Suurin selittävä tekijä löytyy poistuneen puun biomassan, eli hakkuiden, ja puuston biomassan kasvun, eli hiilinielujen, erotuksesta. Karkeasti ottaen, kun kunnan vuositason hakkuumäärät ovat ylittäneet puuston hiilinielujen kasvun, metsämaat ovat toimineet nettopäästölähteinä. Esimerkiksi Hankasalmen, jossa metsämaat olivat kumpanakin tarkasteluvuonna nettopäästöisiä, biomassaa on poistunut enemmän kuin kasvanut. Vuonna 2018 Hankasalmen puuston biomassan poistuma (189 kt CO₂e) oli 56 kt CO₂e puuston biomassan kasvua (-133 kt CO₂e) suurempi (kuvio 7). Vastaavasti vuonna 2023 Hankasalmen hakkuut ylittivät nielujen kasvun 34 kt:lla CO₂e (kuvio 8). Myös muissa Keski-Suomen kunnissa, joissa metsät ovat olleet tarkasteluvuosina nettopäästöisiä, nieluja suuremmat hakkuumäärät selittävät tulosta.

Lannoituksen N₂O-päästöjen vaikutus metsien päästöihin on hyvin pieni, kun taas turvemaiden päästöt kasvattivat vuonna 2018 kuntien päästöjä esim. Keuruulla (64 kt CO₂e), Pihtiputaalla (62 kt CO₂e) ja Saarijärvellä (57 kt CO₂e). Kivennäismaat taas vahvistivat vuonna 2018 nieluja esim. Jämsässä (-54 kt CO₂e), Viitasaarella (-43 kt CO₂e) ja Jyväskylässä (-40 kt CO₂e). Turve- ja kivennäismaiden merkitys metsien nettopäästöjen tai -nielujen kokonaisuuteen ei vaihtele merkittävästi vuosien 2018 ja 2023 välillä.



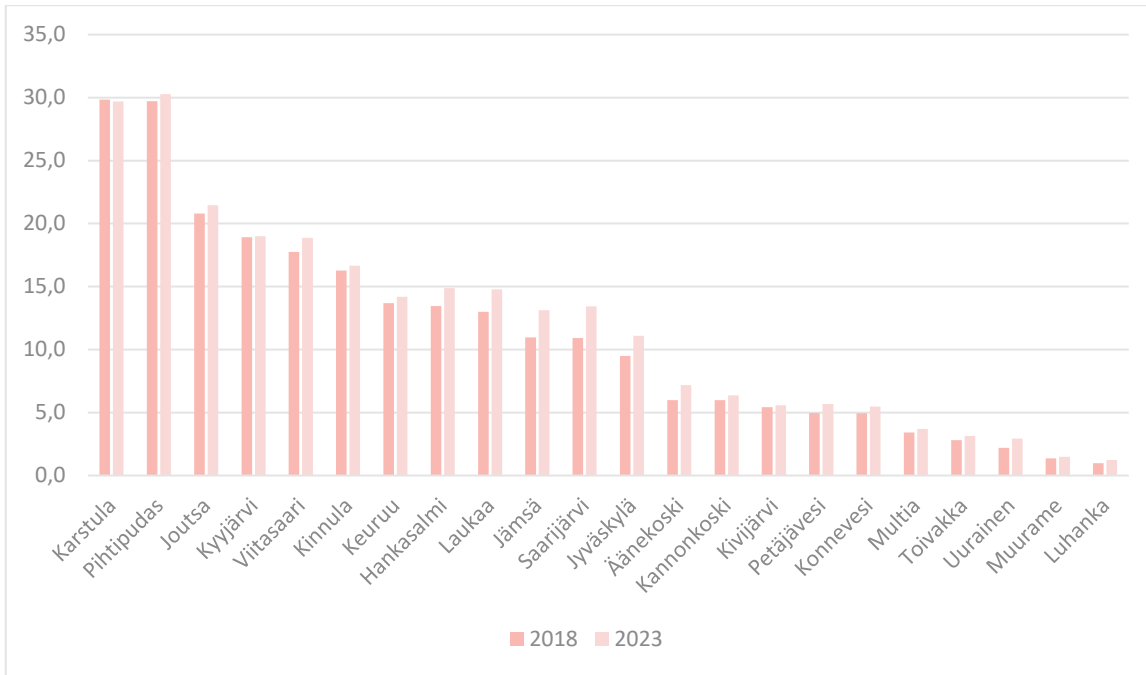
Kuvio 7: Keski-Suomen kuntien metsämaan päästöt ja poistumat vuonna 2018 (kt CO₂e).



Kuvio 8: Keski-Suomen kuntien metsämaan päästöt ja poistumat vuonna 2023 (kt CO₂e).

2.4 Viljelysmaat

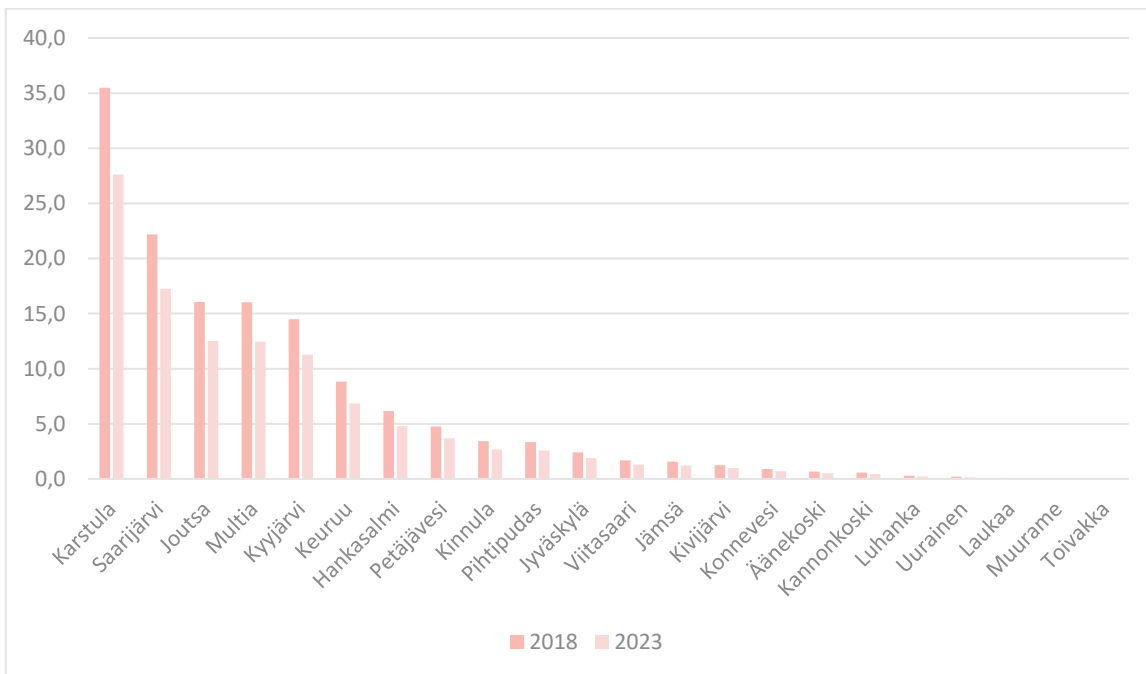
Keski-Suomen kuntien viljelysmaat toimivat yhteensä 260 kt CO₂e suuruisena nettopäästölähteenä vuonna 2023. Kuvio 9 osoittaa, että suurimmat viljelysmaiden päästöt vuonna 2023 olivat Pihtiputaalla (30 kt CO₂e) sekä Karstulassa (30 kt CO₂e). Multian, Toivakan, Uuraisten, Muuramen ja Luhangan viljelysmaiden vuositason päästöt olivat pienet (alle 5 kt CO₂e). Viljelysmaiden päästöihin vaikuttaa luonnollisesti kunnan peltoala, mutta myös peltojen maaperä, viljelytapa ja myös viljelykasvit. Viljelysmaiden päästöt eivät vaihtele kuntatasolla voimakkaasti vertailuvuosien välillä, joskin vuonna 2018 päästöt olivat lähes kaikissa kunnissa hieman vuotta 2023 alhaisemmat (kuvio 9).



Kuvio 9: Keski-Suomen kuntien viljelysmaiden nettopäästöt vuosina 2018 ja 2023 (kt CO₂e / vuosi).

2.5 Kosteikot

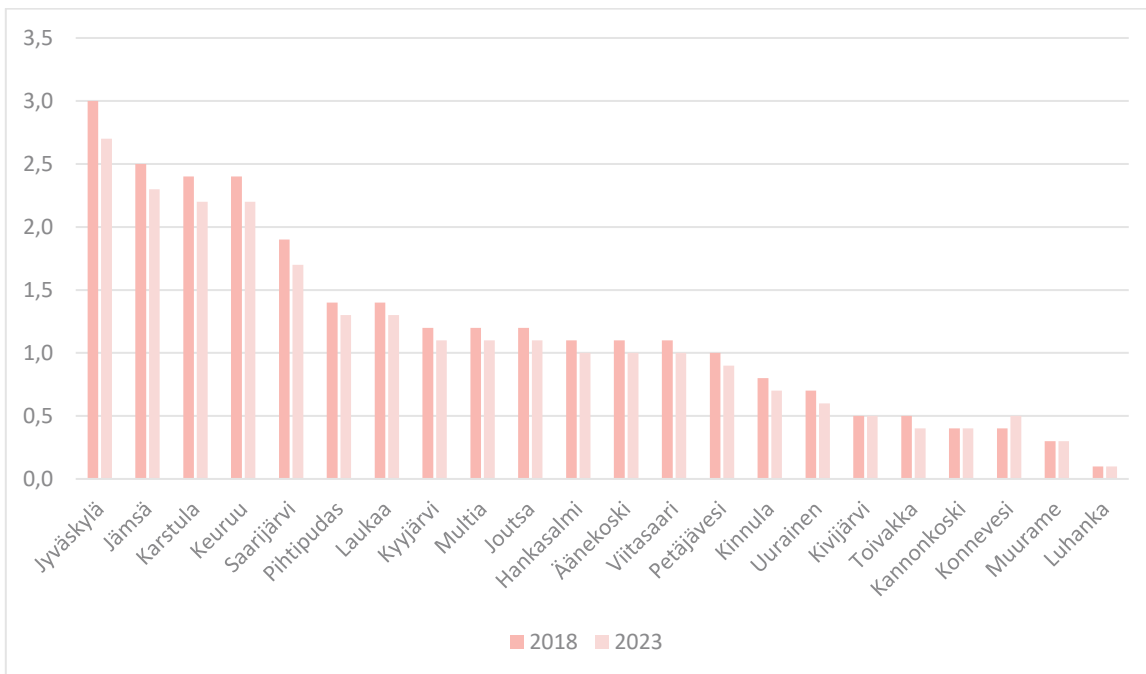
Kosteikot kattavat LULUCF-määritelmän mukaisesti luonnontilaiset ja ihmisen muokkaamat kosteikot, eli suot, turvetuotantoalueet ja rakennetut kosteikot. Keski-Suomen kuntien kosteikot toimivat nettopäästölähteinä tai nettonollapäästöisinä (kuvio 10). Kokonaisuudessaan kosteikot muodostivat maakunnassa 109 kt CO₂e päästön vuonna 2023. Suurimmat kosteikkopäästöt olivat vuonna 2018 Karstulassa (35,5 kt CO₂e). Vaikka Karstulan kosteikkopäästöt laskivat vuoteen 2023 (27,6 kt CO₂e), ne ovat lähes yhtä suuret kuin kunnan viljelysmaiden päästöt (luku 2.4). Karstulan suhteellisen suurten kosteikkopäästöjen taustalla on merkittävät suo- ja kosteikkoalueet. Vuonna 2023 myös Saarijärven (17,3 kt CO₂e), Joutsan (12,5 kt CO₂e), Multian (12,5 kt CO₂e) ja Kyyjärven (11,3 kt CO₂e) kosteikoista aiheutuvat päästöt olivat merkittävät, mutta ne ovat näissä kaikissa kunnissa laskeneet vuodesta 2018. Laskua kosteikkopäästöissä selittää koko maakunnan tasolla tapahtunut kosteikkoalan pieneneminen (ks. luku 3.5), mikä saattaa selittyä esimerkiksi turvetuotannon vähentymisellä Uraisilla, Laukaassa, Muuramessa ja Toivakassa kosteikkopäästöjä ei synny, sillä näissä kunnissa ei ole juurikaan kosteikkopinta-alaa (kuvio 10).



Kuvio 10: Keski-Suomen kuntien kosteikkojen nettopäästöt vuosina 2018 ja 2023 (kt CO₂e / vuosi)

2.6 Rakennetut alueet

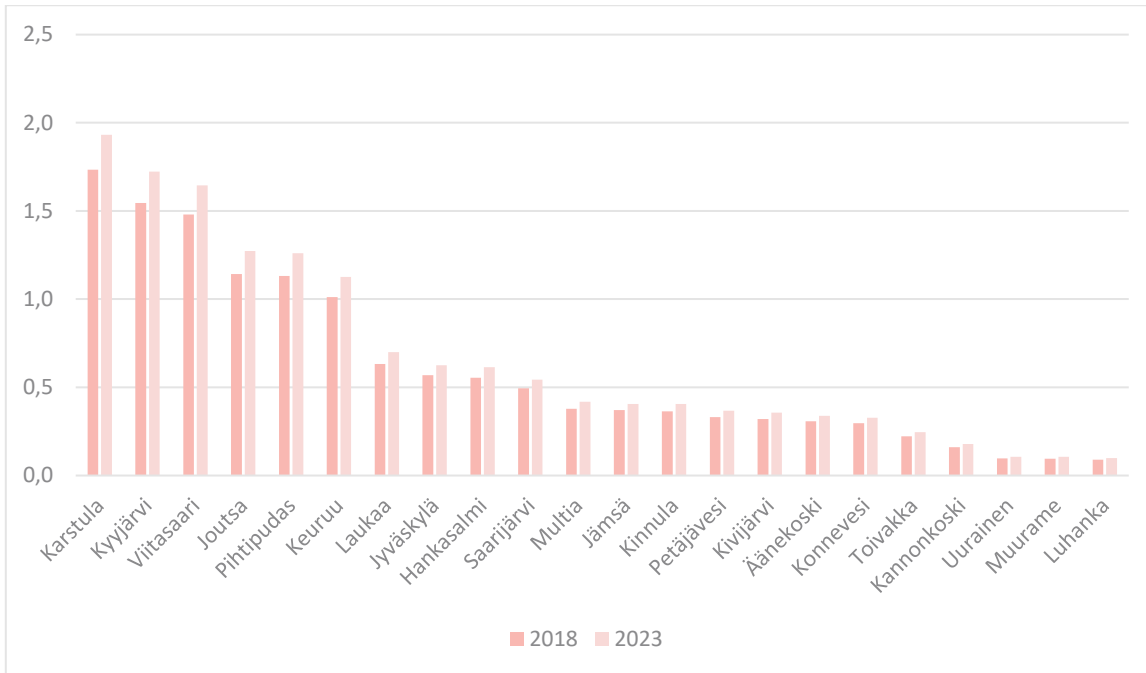
Maakunnan kuntien rakennettujen alueiden maaperän nettopäästöt ovat maltilliset ja huomattavasti pienemmät kuin edellä kuvatut viljelys- ja kosteikkomaiden päästöt. Keski-Suomen rakennettujen alueiden päästöt vuonna 2023 olivat yhteensä 24 kt CO₂e. Rakennetuilla alueilla maankäyttösektoriin kuuluvia päästöjä syntyy erityisesti maankäytön muutoksen seurauksena. Suurimmat rakennettujen alueiden maaperäpäästöt vuonna 2023 olivat Jyväskylässä (2,7 kt CO₂e), mikä selittyy maakunnan suurimman kaupungin kohdalla rakennetun alan pinta-alan suurella osuudella sekä laajenemisella suhteessa verrokkikuntiin. Jyväskylän rakennettujen alueiden päästöt vastaavat noin neljännestä kaupungin viljelysmaiden päästöistä. Jyväskylän lisäksi Jämsän (2,3 kt CO₂e), Karstulan (2,2 kt CO₂e) ja Keuruun (2,2 kt CO₂e) rakennettujen alueiden maaperäpäästöt ylittävät 2 kt CO₂e, mihin vaikuttanee erityisesti kunnan rakennetun ympäristön pinta-ala. Muiden Keski-Suomen kuntien rakennettujen alueiden päästöt ovat tätä vähäisemmät (kuvio 11). Kuntien rakennettujen alueiden päästöt ovat laskeneet hieman vuodesta 2018, mutta kuten viljelys- ja kosteikkomaiden tarkastelussa, myös rakennettujen alueiden osalta tarkasteluvuosien väliset erot ovat hyvin pieniä (kuvio 11).



Kuvio 11: Keski-Suomen kuntien rakennettujen alueiden nettopäästöt vuosina 2018 ja 2023 (kt CO₂e / vuosi).

2.7 Ruohikkoalueet

Ruohikkoalueet kattavat LULUCF-määrittelyn mukaisesti laidunmaat ja muut ruohikkoiset alueet. Myös ruohikkoalueet toimivat Keski-Suomen kunnissa nettopäästölähteinä, joskin päästöt ovat kokoluokaltaan pieniä; ruohikoista syntyi maakunnassa päästöjä vuonna 2023 15 kt CO₂e verran. Näin ollen ruohikkoalueet ovat maankäyttösektorin päästölähteistä vähäisin. Kaikkien kuntien ruohikkoalueiden päästöt olivat alle 2 kt CO₂e vuonna 2023 (kuvio 11). Suurimmat ruohikkomaiden päästöt syntyivät vuonna 2023 Karstulassa (1,9 kt CO₂e). Kuntien ruohikkoalueiden päästöt ovat hieman kasvaneet vuodesta 2018, mutta myös tämän maankäyttöluokan osalta muutokset ovat pieniä (kuvio 12).



Kuvio 12: Keski-Suomen kuntien ruohikkoalueiden nettopäästöt vuosina 2018 ja 2023 (kt CO₂e / vuosi).

3 Hiilinielujen ja -varastojen paikkatietoanalyysi

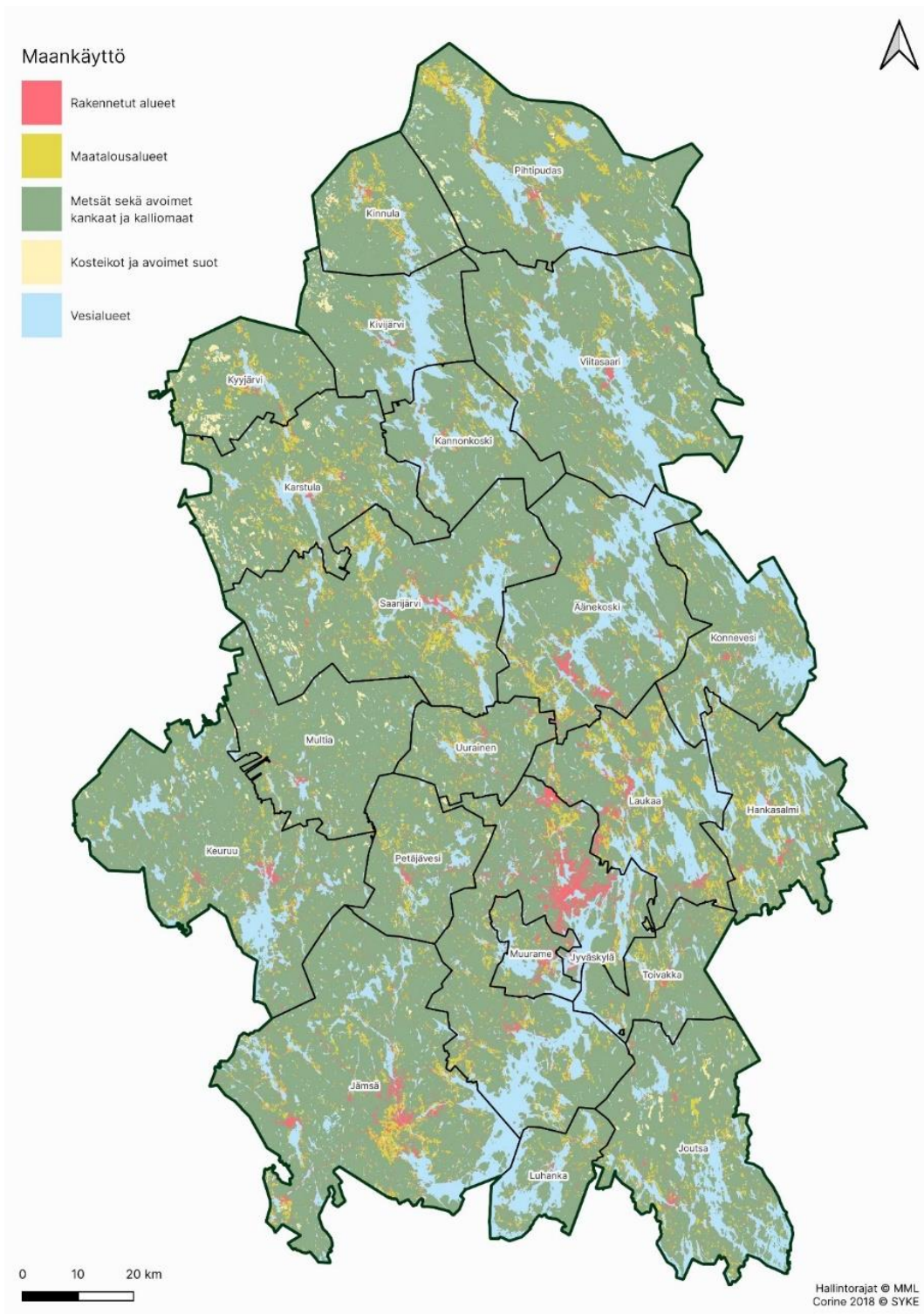
Hiilinielujen ja -varastojen tilastollisen tarkastelun lisäksi toteutettiin paikkatietopohjainen tarkastelu maakunnan hiilinielujen ja -varastojen nykytilasta. Paikkatietoanalyysin tulokset kuvastavat hiilinielujen ja -varastojen suuruusluokkia maakunnan eri alueilla. Paikkatietotarkastelun vahvuuksina on havainnollistaminen sekä tulosten verifiointi eri aineiston avulla. Sen tulokset täydentävät luvussa 2 esitettyjä tilastopohjaisia tarkasteluja osoittamalla hiilinielujen ja -varastojen maantieteelliset sijainnit. Tilasto- ja paikkatietotarkastelujen tuloksista toteutettu yhteenveto on luvussa 3.6. Analyysin painopiste on maakuntatason tarkastelussa, mutta se valottaa kuntien nieluja, varastoja ja maaperän päästöjä sekä tukee hiilinielujen ja -varastojen kannalta arvokkaiden alueiden tunnistamista. Lisäksi luodaan yleiskuva metsämaan muutoksista Keski-Suomen kunnissa. Luku koostuu menetelmien ja keskeisen aineiston kuvaamisesta sekä tuloksista, jotka esitellään erikseen hiilinielujen, -varastojen, maaperän päästöjen sekä maankäytön muutosten osalta.

3.1 Paikkatietoanalyysin menetelmät ja keskeiset aineistot

Paikkatietoanalyysissä kullekin maanpeiteluokalle (kuva 1) on määritelty vuosittaiset hiilinielut, -varastot ja -päästöt, joiden oletukset pohjaavat aikaisempaan kirjallisuuteen (esim. Heinonsalo ym. 2009; Pirhonen ym. 2011; Martikainen ym. 2003; Kauppi ym. 2010). Yleisesti ottaen turvemaat ovat kivennäismaita suurempia hiilinieluja ja -varastoja. Myös puulaji vaikuttaa alueen hiilinieluihin, sillä lehtimetsät ovat hieman havu- ja sekametsiä suurempia nieluja. Suo- ja kosteikkoalueet ovat hiilivarastoiltaan arvokkaita alueita. Maanpeiteluokakohtaiset nielu-, varasto- ja päästökertoimien oletukset on kuvattu tarkemmin liitteessä 2. Keski-Suomea määrittelee runsasmetsäisyys, mutta maakunnassa on myös viljelysalueita sekä merkittäviä suo- ja kosteikkoalueita (kuva 1).

Keski-Suomen hiilinielujen ja -varastojen paikkatietoanalyysissä on hyödynnetty Luonnonvarakeskuksen (Luke) Valtakunnan metsien inventoinnin aineistoa (VMI12/13) sekä Monilähteen valtakunnan metsien inventoinnin (MVMI) kartta-aineistoa 2019. Lisäksi tarkastelussa on hyödynnetty Suomen ympäristökeskuksen (SYKE) tuoreinta saatavilla olevaa Corine-maanpeiteaineistoa vuodelta 2018 sekä Geologian tutkimuskeskuksen (GTK) maaperäaineistoa. Keski-Suomen paikkatietoaineistoja on käsitelty ESRI ArcGIS -sovelluksella. Laskenta on toteutettu 1.1.2023 voimassa olleiden maakuntarajojen mukaan.

Paikkatietotarkasteluna toteutetun hiilinielujen ja -varastojen arvioinnin tulokinnassa on huomioitava, että se ei kata ihmisen toiminnan, kuten metsien hakkuiden tai lannoituksen, vaikutuksia hiilinieluihin. Näin ollen suosittelemme käyttämään luvussa 2 esitetyn tilastopohjaisen tarkastelun tuloksia maakunnan kokonaisvaltaisen nettohiilitaseen hahmottamiseksi.



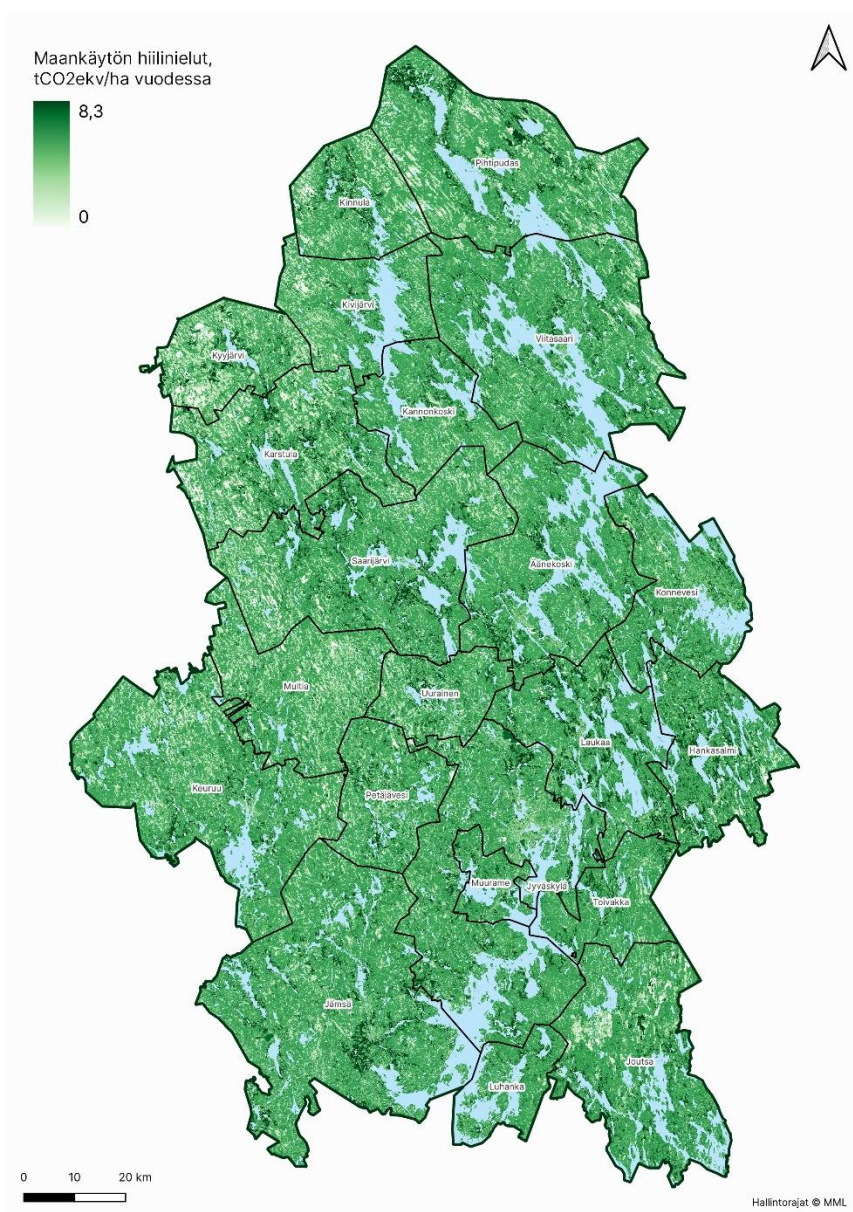
Kuva 1: Keski-Suomen maankäyttoluokat toimivat paikkatietoanalyysiin perustuvan hiilinielu-, hiilivarasto- ja päästötarkastelun lähtökohtana. Lähde: Corine 2018.

3.2 Hiilinielut

Koko maakunnan metsien ja maaperän hiilinielujen arvioitiin paikkatietoaineiston valossa olevan noin - 5,6 milj. t CO₂e. Pinta-alaan suhteutettuna tämä on noin 3,5 t CO₂e/ha.

Suurimmat hiilinielut ovat Jämsässä (n. - 0,6 milj. t CO₂e). Myös Keuruulla, Viitasaarella, Jyväskylässä ja Saarijärvellä puuston ja maaperän yhteenlasketut hiilinielut ovat yli - 0,4 milj. t CO₂e vuodessa.

Tulokseen vaikuttaa paitsi kunnan pinta-ala myös mm. metsämaan ala, puuston lajisto ja maaperä (ks. maanpeiteluokittaiset oletukset liitteessä 2).



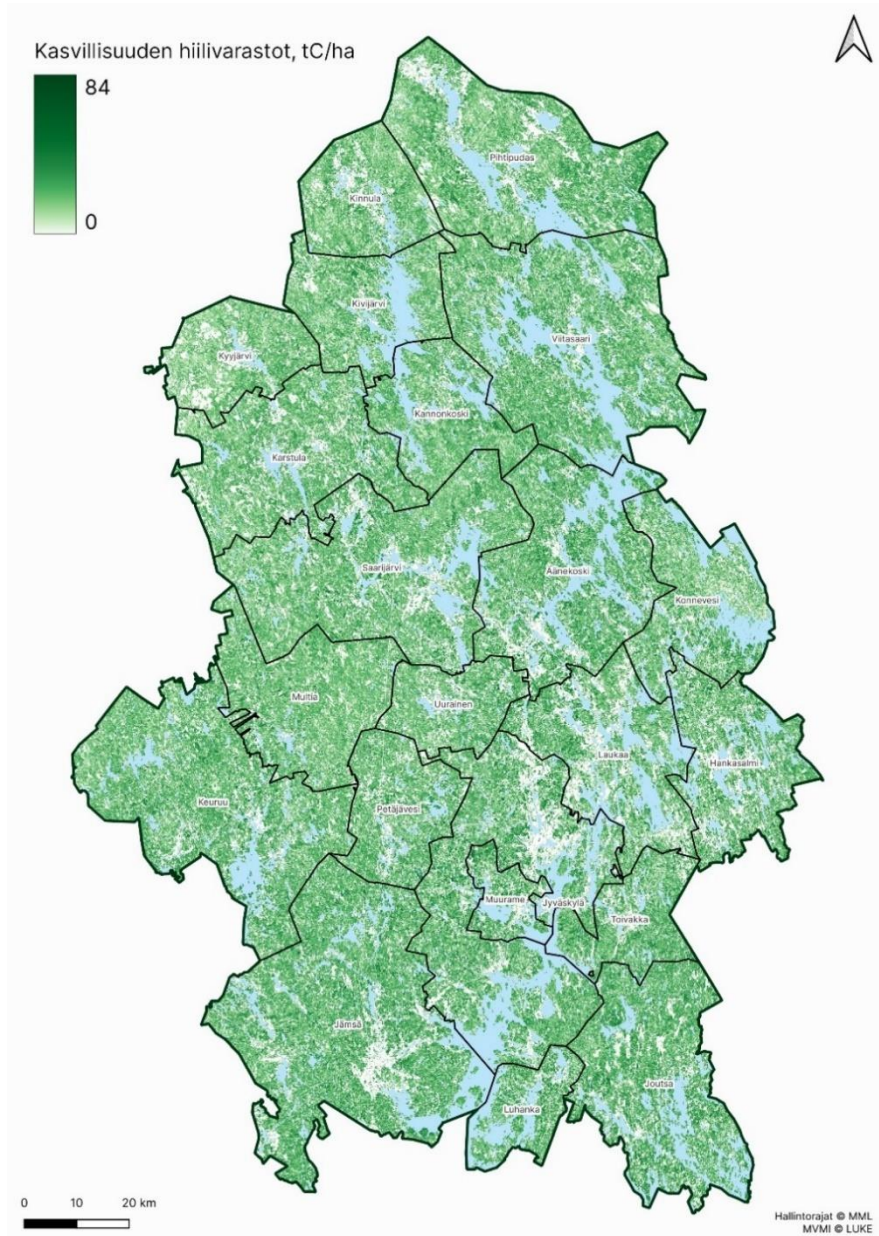
Kuva 2: Maankäytön hiilinielut. Lähde: Corine 2018.

3.3 Hiilivarastot

Keski-Suomen puusto toimii paikkatietotarkastelun valossa 65,6 milj. hiilitonnin suuruisena hiilivarastona. Suhteutettuna pinta-alaan se vastaa 40,9 t C per ha.

Jämsässä puuston hiilivarastot ovat selkeästi suurimmat: yli 7 milj. t C. Kun puuston hiilivarastoja tarkastellaan suhteessa pinta-alaan, Joutsan ja Luhangan hiilivarastot ovat suurimmat (> 46 t C/ha), joskin kunnat sijoittuvat melko tasaisesti vertailussa keskenään.

Hiilen osuudeksi puun kuiva-aineen massasta on oletettu 50 %. Tarkastelu perustuu Monilähteen valtakunnan metsien inventoinnin (MVMI) kartta-aineistoon vuodelta 2019 (Luke, 2021).

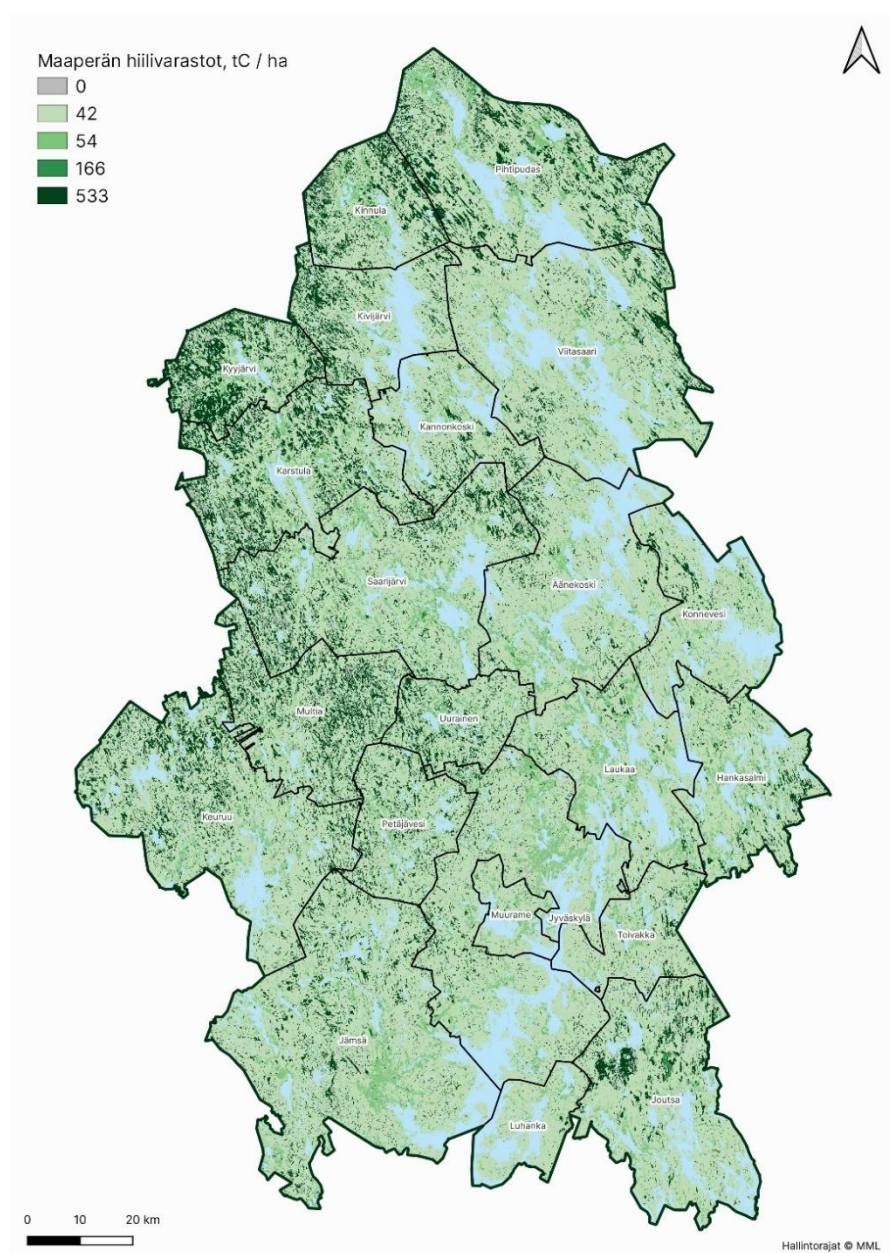


Kuva 3: Kasvillisuuden hiilivarastot. Lähde: Corine 2018.

Keski-Suomen maaperän hiilivarastojen arvioidaan lähtöaineiston ja paikkatietoanalyysin perusteella olevan noin 174 milj. t C. Hehtaaria kohden tämä on 108,5 t C. Näin ollen Keski-Suomen maaperän hiilivarastot ovat yli kaksinkertaiset verrattuna puuston hiilivarastoihin.

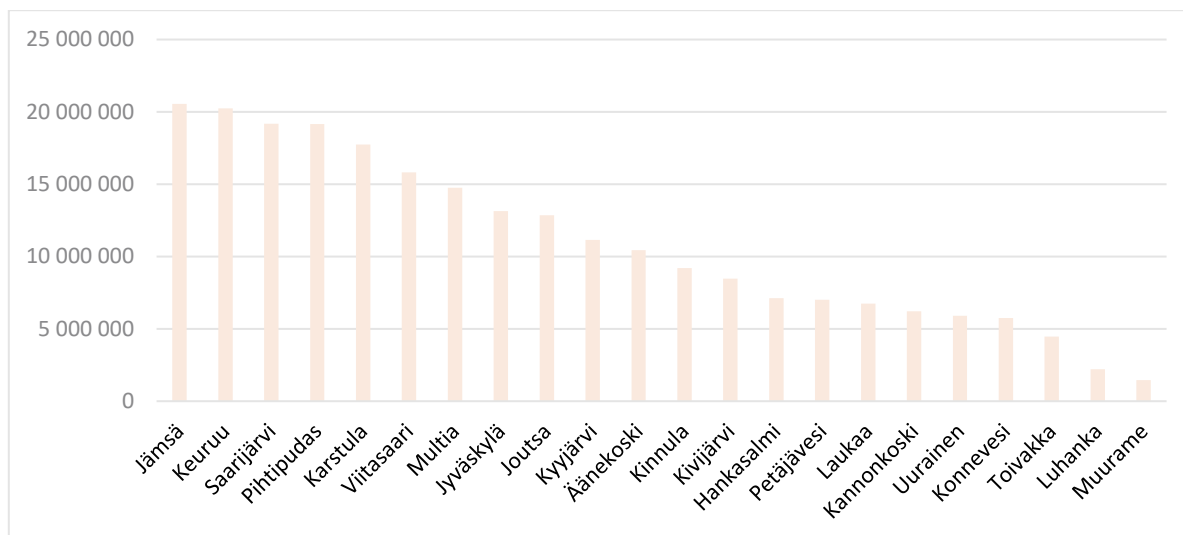
Kunnista suurimmat maaperän hiilivarastot ovat Pihlputaalla (15,1 milj. t C). Kuva 4 osoittaa, että suuria maaperän hiilivarastoja sijaitsee luoteisessa Keski-Suomessa kosteikko-, suo- ja peltoalueilla. Myös Joutsassa sijaitseva Leivonmäen kansallispuisto suoalueineen erottuu suurena yksittäisenä maaperän hiilivarastona.

Hiilivarastoihin vaikuttavia tekijöitä ovat mm. onko kyseessä turve- vai kivennäismaa, maan ravinteisuus sekä kasvillisuus (ks. liite 2).

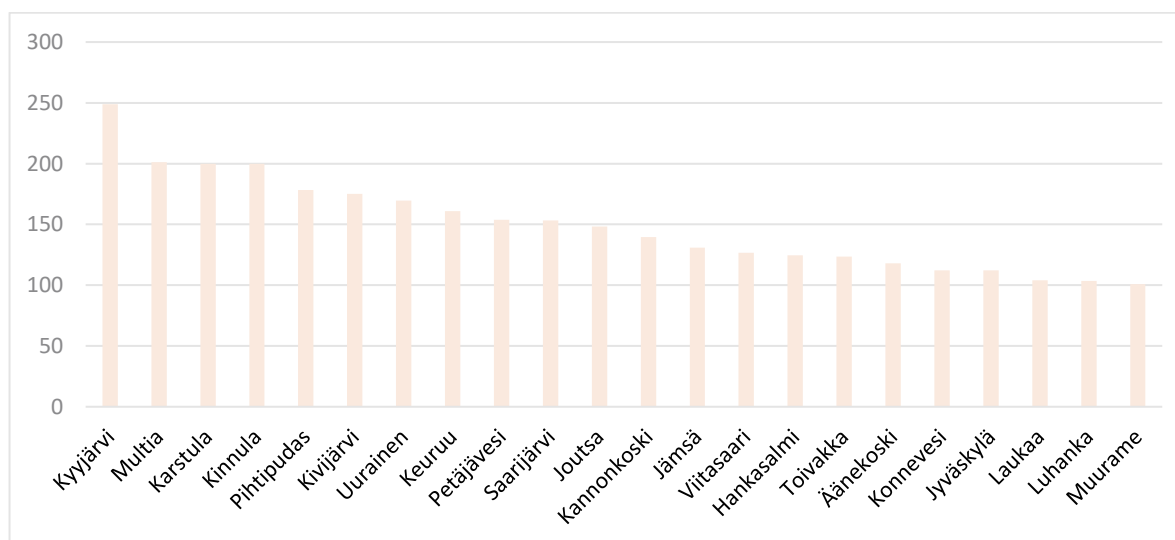


Kuva 4: Maaperän hiilivarastot. Lähde: Corine 2018.

Keski-Suomen metsien puuston ja muiden maanpeiteluokkien maaperän hiilivarastot ovat yhteensä noin 240 milj. t C, mikä on maakunnan pinta-alaan suhteutettuna noin 149 t C/ha. Sekä Jämsässä että Keuruulla yhteenlasketut hiilivarastot ovat yli 20 milj. t. C (kuvio 13). Kun hiilivarastoja tarkastellaan suhteessa kunnan pinta-alaan, Kyyjärven liki 250 hiilitonnin/ha suuruiset hiilivarastot ovat muita kuntia suuremmat (kuvio 14).



Kuvio 13: Keski-Suomen kuntien metsien puuston ja muiden maanpeiteluokkien hiilivarastot yhteensä (t C).
Lähde Corine 2018; MVMi 2019.

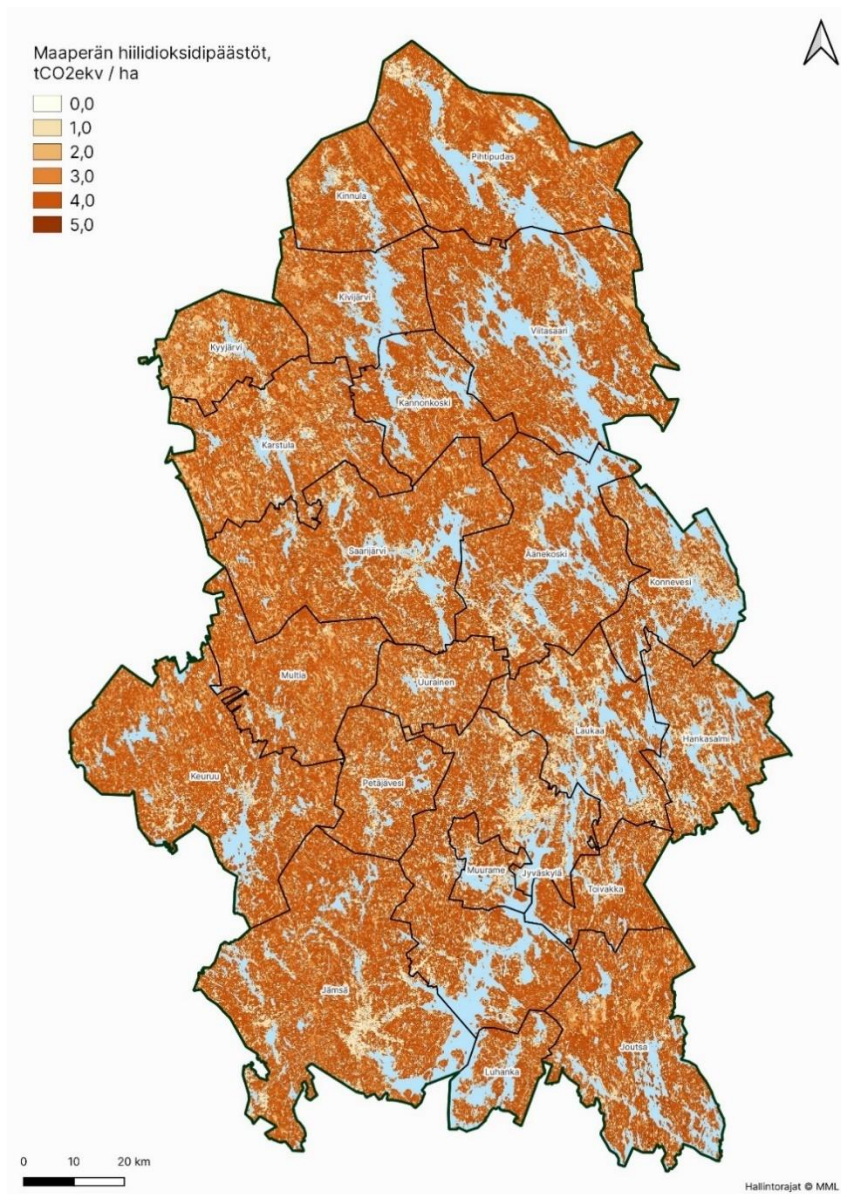


Kuvio 14: Keski-Suomen kuntien metsien puuston ja muiden maanpeiteluokkien hiilivarastot yhteensä pinta-alaan suhteutettuna (t C). Lähde Corine 2018; MVMi 2019.

3.4 Maaperän päästöt

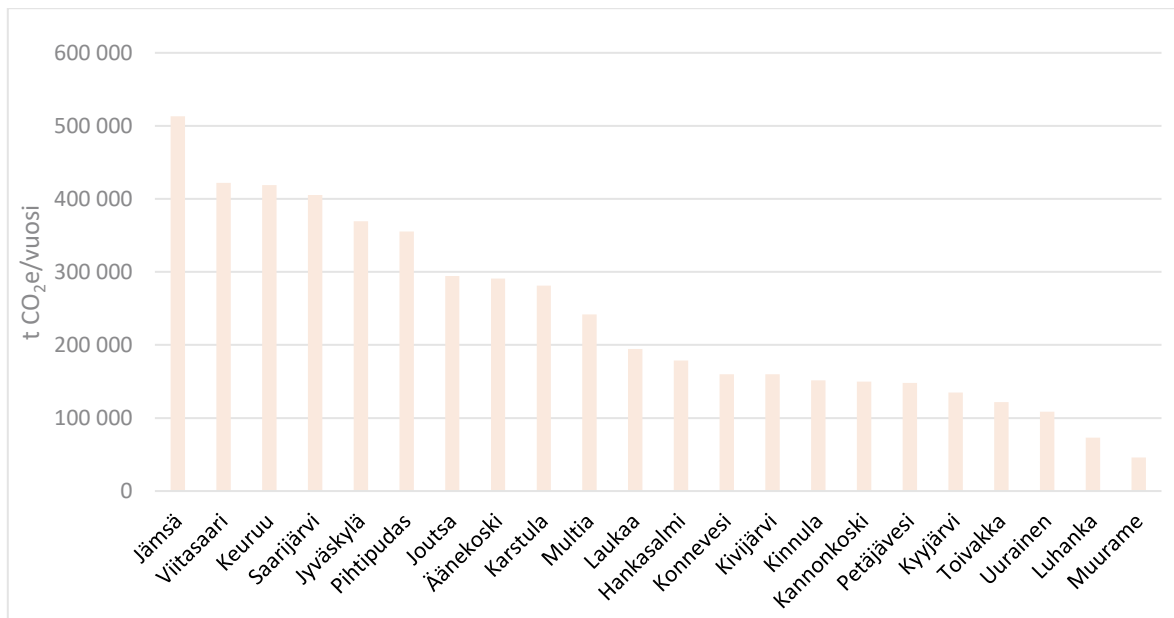
Paikkatietoaineiston analyysin perusteella Keski-Suomen maaperän hiilidioksidipäästöt ovat vuodessa noin 5,2 milj. t CO₂e. Hehtaaria kohden maaperän hiilidioksidipäästöt ovat keskimäärin noin 3,25 t CO₂e.

Keski-Suomen kunnista Jämsän maaperän päästöt ovat suurimmat (0,5 milj. t CO₂e), mitä selittää erityisesti Jämsän kuivanmaan pinta-ala, joka on maakunnan suurin (kuva 15). Pinta-alaan suhteutettuna suurimmat maaperän päästöt ovat Luhangassa ja Joutsassa (3,4 t CO₂e), ja pienimmät Laukaalla (3,0 t CO₂e, kuvio 25). Erot pinta-alakohtaisissa päästöissä kuntien välillä ovat pieniä ja päästöjä syntyy rakennettuja alueita lukuun ottamatta tasaisesti ympäri maakuntaa (kuvio 23). Maaperän päästöjä syntyy etenkin metsien hakkuiden tai maanmuokkauksen yhteydessä.

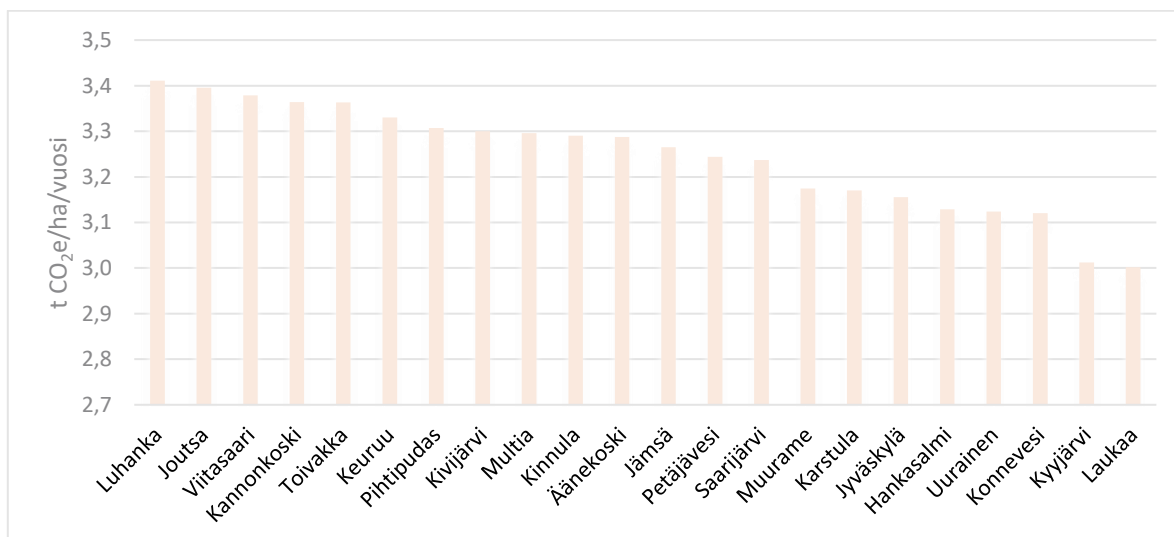


Kuvio 15: Maaperän hiilidioksidipäästöt. Lähde: Corine 2018.

Kunnan pinta-ala luonnollisesti vaikuttaa merkittävästi maaperän päästöihin, joten alaltaan suurissa Jämsässä (0,51 milj. t CO₂e), Viitasaarella (0,42 milj. t CO₂e), Keuruulla (0,42 milj. t CO₂e) ja Saarijärvellä (0,41 milj. t CO₂e) maaperän päästöt ovat muita kuntia suuremmat (kuvio 16). Pinta-alaltaan pienessä Muuramessa myös maaperän päästöt ovat matalat (46 kt CO₂e). Pinta-alaan suhteutettuna kuntien maaperän päästöt jakaantuvat tasaisemmin (kuvio 17).



Kuvio 16: Keski-Suomen kuntien maaperän päästöt vuodessa hiilidioksidiekvivalenteiksi muutettuna (t CO₂e/vuosi). Lähde: Corine 2018.

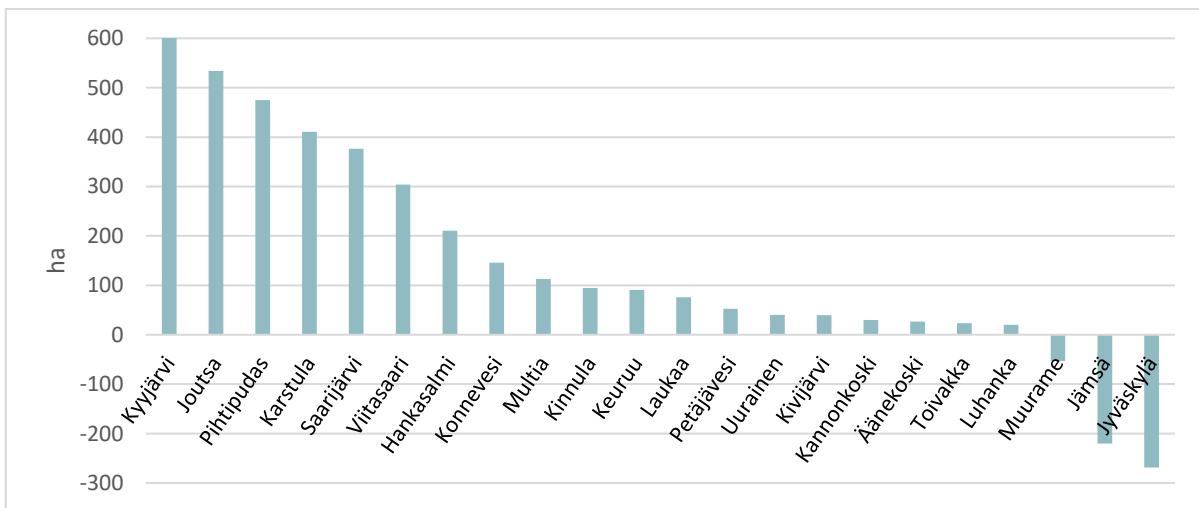


Kuvio 17: Keski-Suomen kuntien maaperän päästöt vuodessa suhteutettuna kuivanmaan pinta-alaan hiilidioksidiekvivalenteiksi muutettuna (t CO₂e/ha/vuosi). Lähde: Corine 2018.

3.5 Muutokset metsäpinta-alaan

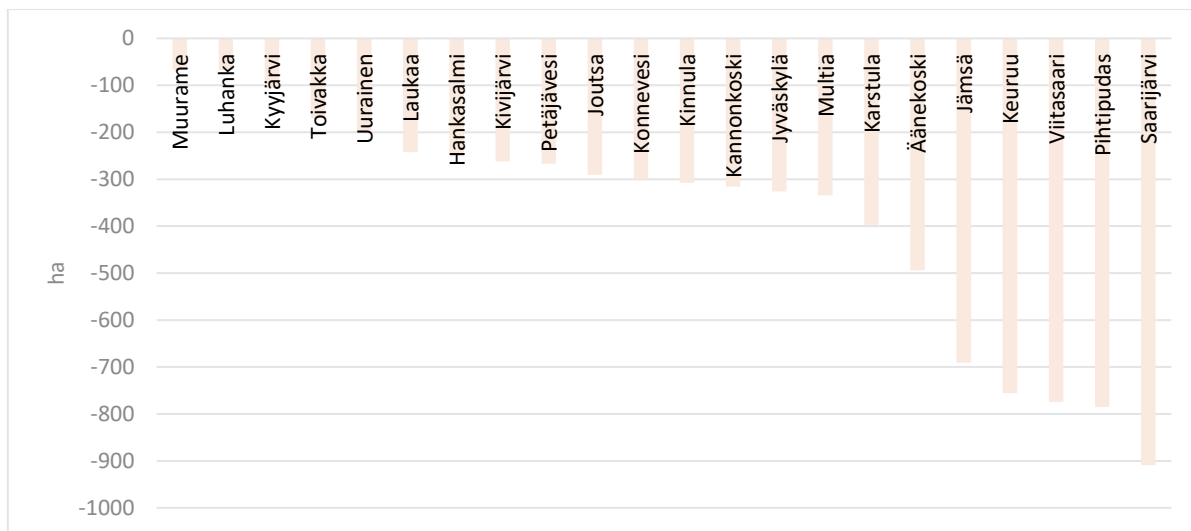
Keski-Suomen metsämaan pinta-ala tapahtuneita muutoksia on arvioitu Syken Corine-aineiston viimeisimpien tarkasteluvuosien, 2012 ja 2018, välillä. Tämän ajanjakson aikana Keski-Suomen metsämaan pinta-ala on kasvanut noin 3 200 ha (0,2 %). Sen sijaan kosteikkojen pinta-ala on vähentynyt noin 2 500 ha (-7,4 %, mikä selittyy ennen kaikkea ihmisten muovaamien kosteikkoalueiden kasvulla. Rakennettujen alueiden ala on kasvanut noin 1 800 ha (3,1 %).

Keski-Suomen kunnat poikkeavat toisistaan, kun tarkastellaan metsäpinta-alan muutosta vuosina 2012–2018 (kuvio 18). Valtaosassa kunnista metsäala on kasvanut, Kyyjärvellä jopa yli 670 ha (1,8 %). Myös Joutsassa, Pihtipudas, Karstulassa, Saarijärvellä ja Viitasaarella metsäala on kasvanut yli 300 ha. Muissa kunnissa kasvu on ollut maltillisempaa. Muuramessa, Jämsässä ja Jyväskylässä metsäalaa on hävinnyt, Jämsässä noin 220 ha (-0,3 %) ja Jyväskylässä liki 270 ha (-0,4 %). Keski-Suomessa metsää ei ole raivattu viljelysmaaksi, mutta metsäkatoa on tapahtunut etenkin rakennetun ympäristön laajanemisen vuoksi. Prosentuaalisesti muutokset ovat olleet kaikissa kunnissa maltillisia, mutta on huomattava, ettei tarkastelu kata vuoden 2018 jälkeen toteutuneita muutoksia.



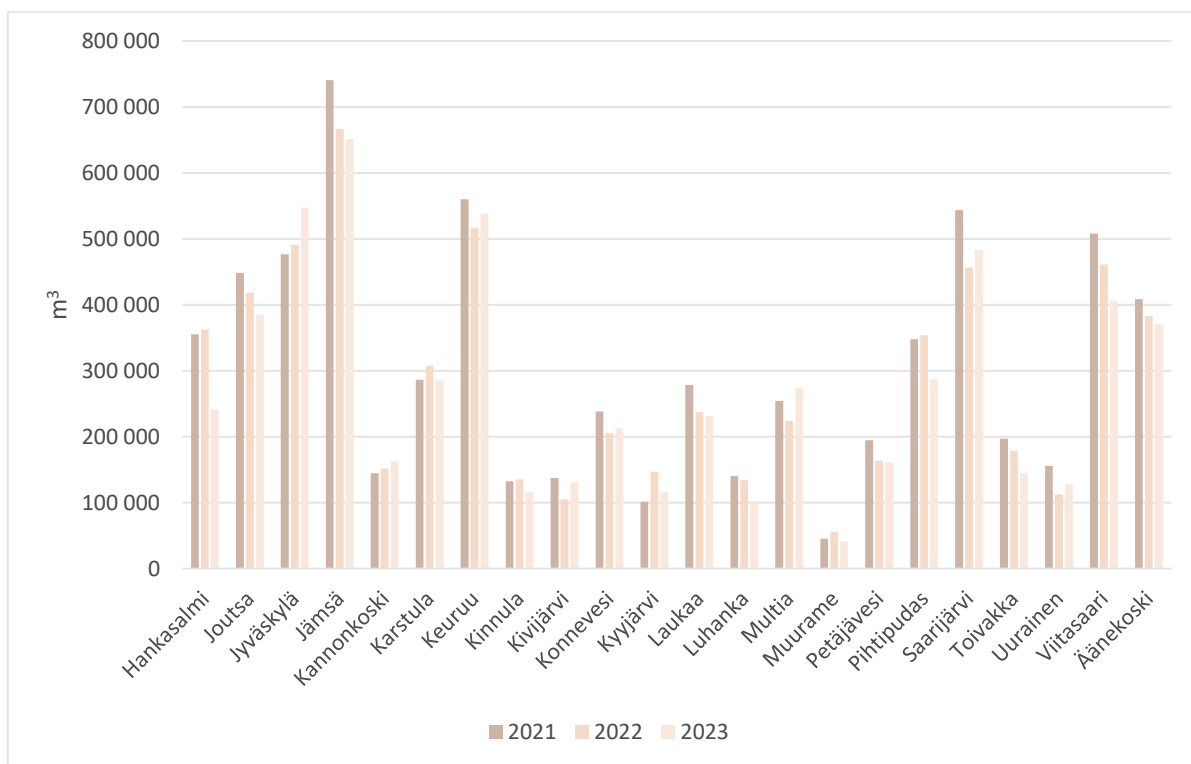
Kuvio 18: Metsäpinta-alan muutokset Keski-Suomen kunnissa vuosina 2012–2018 (ha).

Tuoreempia muutoksia Keski-Suomen kuntien metsäpinta-alaan voidaan tarkastella Luken Monilähteisen valtakunnan metsien inventointiaineiston (MVMi) kautta. Sen perusteella Keski-Suomen metsämaan kokonaispinta-ala on vähentynyt hieman vuosina 2019–2021. Koko maakunnan metsäpinta-ala väheni tarkasteluajanjaksolla noin 8 300 hehtaaria, mikä tarkoittaa 0,6 prosentin muutosta metsäpinta-alaan. Suurin metsäpinta-alan väheneminen tapahtui Saarijärvellä, sekä absoluuttisesti (-909 ha) että suhteellisesti (-0,9 %). Tässä selvityksessä ei tarkasteltu, mihin metsäpinta-ala on siirtynyt, mutta tavanomaisesti metsää poistuu rakennetun ympäristön aluevarausten myötä. Kuntakohtainen metsämaan pinta-alan muutos hehtaareina on esitetty kuviossa 19.



Kuvio 19: Metsäpinta-alan muutokset Keski-Suomen kunnissa vuosina 2019–2021 (ha). Lähde: MVMI 2019 & 2021.

Luken (2024c) ylläpitämä Puun markkinahakkuut -tilasto sisältää tietoja teollisuuden käyttöön hakatun teollisuus- ja energiapuun hakkuumääristä. Kuntatasolla markkinahakkuista on tilastotietoa saatavilla vuodesta 2021 alkaen. Maakunnan hakkuukertymä on alentunut vuosien 2021–2023 aikana. Vuonna 2023 Keski-Suomen hakattujen puiden kokonaistilavuus oli noin 10 % pienempi kuin vuonna 2021. Myös suurimmassa osassa kunnista hakkuukertymä aleni. Kuntatasolla vuosittaiset hakkuumäärät kuitenkin vaihtelevat paljon. Eniten hakkuukertymä aleni Hankasalmella (-32 %), Luhangassa (-27 %) ja Toivakassa (-26 %). Eniten hakkuukertymä kasvoi Jyväskylässä (15 %), Kyyjärvellä (14 %) ja Kannonkoskella (12 %). Kuntakohtaiset markkinahakkuukertymät kiintokuutiometreinä on esitetty kuviossa 20.



Kuvio 20: Puun markkinahakkuut Keski-Suomen kunnissa vuosina 2021–2023 (m³). Lähde: Luke 2024c.

3.6 Yhteenveto hiilinielujen ja -varastojen nykytilatarkasteluista

Keski-Suomi on metsäinen maakunta ja maankäyttösektorin nettonieluihin ja -päästöihin vaikuttaa erityisesti metsämaiden päästöt ja poistumat. Siinä missä viljelysmaiden, ruohikkoalueiden, kosteikkojen ja rakennettujen alueiden nettopäästöissä ei tunnistettu vuosien 2018 ja 2023 välillä suuria eroavaisuuksia, vuoden 2018 metsien nettonielujen suuruus poikkesi hyvin merkittävästi vuoden 2023 tilanteesta. Maakunnan metsämaat toimivat kumpanakin tarkasteluvuonna nettonieluina, eli metsien poistumat olivat päästöjä suuremmat, mutta metsien nielut olivat vuonna 2018 huomattavasti vertailuvuotta 2023 pienemmät. Tarkempi metsämaiden nettonielujen ja päästöjen analyysi osoitti, että tarkasteluvuosien välistä eroa nieluissa selittää erityisesti vuoden 2018 suuret puuston biomassan poistumat, eli hakkuut. Tätä voidaan pitää nykytilatarkastelun keskeisenä tuloksena. Pitkän aikavälin lineaarisesta kehityksestä kahden vertailuvuoden valossa ei tule kuitenkaan tehdä johtopäätöksiä.

Toinen keskeinen havainto on, että vuonna 2023 Keski-Suomen maankäyttösektori toimi kokonaisuudessaan niukasti nettonieluna, eli kaikkien maankäyttösektorin luokkien nielut olivat päästöjä suuremmat. Siinä missä maakunnan metsämaat toimivat nettonieluna, muut maankäyttöluokat toimivat nettopäästölähteenä. Suurimmat päästöt syntyivät viljelysmaista. Paikkatietoanalyysi osoittaa, että Keski-Suomen hiilinielut ja -varastot sijoittuvat tasaisesti ympäri maakuntaa.

Keski-Suomen hiilivarastojen osalta on huomioitava, maaperän hiilivarastojen arvioidaan olevan paikkatietotarkastelun valossa noin kolminkertaiset suhteessa puuston hiilivarastoon. Esimerkiksi suoalueet ovat maaperän hiilivarastojen kannalta hyvin arvokkaita. Tilastoanalyysin tulokset ja paikkatietoaineiston keskeiset huomiot on koottu yhteen taulukkoon 1.

Taulukko 1: Yhteenveto Keski-Suomen hiilinielujen ja -varastojen tilasto- sekä paikkatietoanalyysin tuloksista

Raportin luku	Tulokset	Keskeiset huomiot laskennasta ja tuloksista
2. Hiilinielujen ja -varastojen nykytilatarkastelu tilastoanalyysina (2023)	Keski-Suomen maankäyttösektorin nettonielut ja -päästöt 2023	Tarkastelu vastaa kansallista kasvihuonekaasuinventaariolaskentaa ja huomioi ihmisen toiminnan vaikutukset maankäyttösektorin päästöihin.
<i>2.2 Yhteensä</i>	-290 kt CO ₂ e	Vuonna 2023 Keski-Suomen maankäyttösektori toimi kokonaisuudessaan niukasti nettonieluna, sillä yhteenlasketut nielut olivat -290 kt CO ₂ e. Ainoastaan metsät toimivat nettonieluina, kun taas muut maankäyttösektorin luokat toimivat päästölähteinä. Rakennettujen alueiden ja ruohikkoalueiden merkitys kokonaisuudessa on pieni verrattuna metsiin, peltoihin ja kosteikkoihin.
<i>2.3 Metsämaat</i>	-699 kt CO ₂ e	
<i>2.4 Viljelysmaat</i>	260 kt CO ₂ e	
<i>2.5 Kosteikot</i>	109 kt CO ₂ e	
<i>2.6 Rakennetut alueet</i>	24 kt CO ₂ e	
<i>2.7 Ruohikkoalueet</i>	15 kt CO ₂ e	

3. Hiilinielujen ja -varastojen paikkatietoanalyysi (2018*)	Keski-Suomen biologiset hiilinielut ja -varastot sekä maaperän päästöt 2018*	Tarkastelu perustuu kartta-aineistolla todennettuun tilanteeseen Keski-Suomen biologisten nielujen tilasta. Laskenta ei huomioi hakkuiden tai muun ihmistoiminnan aiheuttamia maaperäpäästöjä, minkä vuoksi tulokset luvussa 2 esitettyyn laskentaan poikkeavat merkittävästi.
<i>3.2 Hiilinielut</i>	- 5600 kt CO ₂ e	Keski-Suomen laajojen metsien biologisten nielujen merkitys on suuri ja nielut sijoittuvat tasaisesti ympäri metsäistä maakuntaa. Maaperän hiilivarastot ovat liki kolminkertaiset verrattuna puuston hiilivarastoihin. Maaperän päästöt ovat lähes yhtä suuret kuin maakunnan hiilinielut.
<i>3.3 Puuston hiilivarastot</i>	65 600 kt C	
<i>3.3 Maaperän hiilivarastot</i>	174 000 kt C	
<i>3.4 Maaperän päästöt</i>	5 200 kt CO ₂ e	

*Poikkeuksena puuston hiilivarasto, joka on laskettu vuoden 2019 VMI-aineiston perusteella.

4 Skenaariot hiilinielujen ja -varastojen kehityksestä

Selvityksessä laadittiin kolme vuoteen 2050 ulottuvaa laskennallista skenaariota Keski-Suomen maankäytön LULUCF-sektorin kasvihuonekaasupäästöjen ja -poistumien kehityksestä. Selvityksen tavoitteena on valottaa erityisesti eri skenaarioiden mukaisten toimenpiteiden vaikutusta Keski-Suomen hiilinieluihin- ja varastoihin, joten vaikutukset luonnon monimuotoisuuteen on rajattu tarkastelun ulkopuolelle. BAU-skenaario on perusura (*business as usual*), joka pohjautuu tiedossa olevaan maankäytön sekä metsä- ja maatalouden kehitykseen maakunnassa. Se kuvaa osin nykyisen kaltaisen toiminnan ja toimenpiteen omalla painollaan tapahtuvaa jatkumoa, mutta huomioi samalla tehdyt ja tiedossa olevat maankäyttösektorin ilmastovaikutuksiin vaikuttavat perusennusteet.

LISÄ-skenaariossa haetaan Keski-Suomessa LULUCF-sektoriin liittyvissä metsä- ja maatalouden tuotantotoiminnoissa kannattavaa kasvua siten, että toiminta ja ratkaisut tukevat BAU-skenaariota huomattavasti vahvemmin myös maakunnallisesti ja kansallisesti asetettujen ilmastotavoitteiden toteutumista ja niiden vaatimaa ilmastotyön tasoa maankäytön päästösektorilla. Paikalliset ja kansalliset toimenpiteet ovat LISÄ-skenaariossa metsä- ja maataloussektoreilla huomattavasti kattavampia ja systemaattisempia kuin BAU-skenaariossa. Toimenpiteet pysyvät kuitenkin nykyisestä näkökulmasta siinä mielessä "realistisina", että ne muistuttavat toimia, joita on jo nostettu esiin tavoitteellisimmissa metsä- ja maatalouden tiekartoissa ja strategioissa (ks. esim. Hynynen ym. & Lehtonen ym. 2020). Eri toimijoiden asenteiden ja ajatusmallien muutokset mahdollistavat skenaariossa uudenlaiset toimenpiteet ja avaukset Keski-Suomessa.

KIERTO-skenaariossa on kiertotalouslähtöinen kehitysura. Siinä kuvataan muita skenaarioita laajempaa tuotannon ja kulutuksen ajattelumallin muutosta ja sen näkymistä Keski-Suomessa toimija- ja aluetason LULUCF-sektorin hiilen sidontaa ja päästöjen vähentämistä tukevissa ratkaisuissa. Ajurina on maakunnan metsä- ja maatalouden tuotantotoimintaan vaikuttava murrosmainen kehitys tuotteiden kysynnässä. KIERTO-skenaarion vaatimat muutokset ja niihin liittyvät toimenpiteet ovat sen verran vahvoja, että ne

voivat näyttäytyä nykyvalossa ja -toimintaympäristössä osin jopa ”epärealistisilta”. Skenaarion henkenä on se, että Keski-Suomessa ei jämhädetä paikoilleen vaan maakunta ja sen maankäyttösektorin eri toimijat hakevat aktiivisesti rooliaan kansallisessa ja globaalissa kiertotaloussiirtymässä. Vaikka skenaarion kehitys vie paikallisen maa- ja metsätalouden murroksen keskelle, keski-suomalaisen maaseudun elinvoimaa kyetään säilyttämään ja vahvistamaan KIERTO-skenaariossa uusien keinoin.

Skenaariot on rajattu kattamaan maankäytön LULUCF-sektorin jaottelun mukaisesti maankäytön, sen muutokset sekä metsätalouden kasvihuonekaasupäästöinä ja -poistumina näkyvät ilmastovaikutukset. Laskennallinen tarkastelu huomioi kansallisen kasvihuonekaasuinventaarion (Statistics Finland, 2024) mukaisesti metsien puustoon ja maaperään eli metsämaahan, viljelysmaahan³, ruohikkoalueisiin, kosteikkoihin ja rakennettuihin alueisiin liittyvät päästöt ja poistumat. Skenaariossa on mukana arvio puutuotteiden hiilivarastojen muutoksesta. Jälkimmäiseen liittyviä tuloksia tulkittaessa on huomattava, että metsän ja puutuotteiden hiilivarastojen rinnastamien keskenään on tulkinnanvaraista ja riippuu valitusta tarkastelukulmasta (ks. esim. Rätty ym., 2021). Tämä pätee etenkin tilanteessa, jossa koko maan tasolle tarkoitettua laskentatapaa sovelletaan maakunnallisen tason tarkasteluun. Oman haasteensa asettaa myös se, että mennyttä kehitystä kuvaavaa laskentamallia käytetään rajoittuneella lähtöaineistolla ja yksinkertaistetuilla oletuksilla skenaariolaskentaan. Puutuotelaskentaa on kuvattu tarkemmin raportin menetelmäliitteen 1 luvussa 1.6.

LULUCF-sektorin kasvihuonekaasupäästölähteiden ja -nielujen kehityksen kannalta ovat oleellisia metsä- ja viljelysmaa sekä kosteikot, jotka sisältävät turvetuotantoalueet; ruohikkoalueet ja rakennetut alueet ovat päästöiltään ja poistumiltaan vähemmän merkityksellisiä. Metsämaan osalta BAU-, LISÄ- ja KIERTO-skenaarioissa on erityisesti tarkasteltu, kuinka hakkuiden kokonaismäärät ja metsänhoitotavat vaikuttavat Keski-Suomen hiilinielujen kehitykseen sekä tulevaisuuden hakkuumahdollisuuksiin. Puutuotteiden hiilivarastojen muutos kytkeytyy paikalliseen puuntuotantoon ja puunjalostusteollisuuden tuotteisiin. Viljelysmaiden osalta skenaariot kuvaavat maatalouden ilmastotoimenpiteiden vaikutuksia maankäyttösektorin kasvihuonekaasupäästöihin ja -poistumiin. Kosteikkojen ilmastovaikutusten kehitys riippuu skenaarioissa siitä, miten turpeen kysynnän vähenemisen ja siitä seuraavan turvetuotannon alasajon oletetaan etenevän eri tarkasteluvaihtoehdoissa.

Kaikki kolme skenaariota on laadittu vuoteen 2050 saakka. Skenaarioiden taustaoletukset pohjaavat kansallisiin ja alueellisiin strategioihin sekä tulevaisuustarkasteluihin, jotka ulottuvat pääasiassa kansallisen hiilineutraaliustavoitteen mukaisesti korkeintaan vuoteen 2035. Tämän vuoksi tarkasteltavien skenaarioiden sisältämiin toimenpiteisiin liittyvien muuttujien vaikutuksia on tarvittaessa skaalattu tarkasteluvuoteen 2050 asti. Tämä voi näkyä skenaariossa loppuvuosien osalta status quo -henkiseltä vaikuttavana kehityskulkuna. Skenaarioissa ei ole oletettu merkittäviä murroskohtia, mullistuksia tai tuhoja, vaan valittu kehitys tapahtuu skenaarioissa etenkin vuosien 2035–2050 aikana ikään kuin valitussa ”skenaariourassa”.

Keskeisimpiä skenaarioiden kansallisten reunaehtojen määrittämiseen ja laskennallisen tarkastelun hahmottamiseen käytettyjä aineistoja ovat

³ Maataloussektoriin sisältyvät maaperän kasvihuonekaasupäästöt eivät ole tarkastelussa mukana (ks. esim. Luke, 2024e).

- maankäytön ilmastosuunnitelma MISU (MMM, 2022) ja muut kansalliset metsiin, biotalouteen ja kiertotalouteen liittyvät ohjelmat ja strategiat (erityisesti MMM, 2023; VNK, 2021 ja 2022)
- eri maankäyttöluokkia koskevat kansalliset skenaariotarkastelut (erityisesti Silfver ym., 2024; Hynynen, ym. 2020; Kärkkäinen ym., 2023; Lehtonen ym., 2021; Maanavilja ym., 2021)
- avoimet tilasto-, paikkatieto- ja metsäaineistot (erityisesti Luke, 2023b, 2024a, 2024b ja 2024d; Syke, 2018a ja 2024)
- menetelmiin liittyvät julkaisut (erityisesti Statistics Finland, 2024; Kärkkäinen ym., 2023).

Näiden lisäksi on käytetty raportin skenaarioiden kuvauksissa mainittuja paikallisia lähdeaineistoja. Skenaarioiden yleiset reunaehdot perustuvat Savolaisen ym. (2024) raportin mukaisiin oletuksiin kansantalouden kasvusta, markkinoiden kehityksestä ja energiasektorin muutoksesta (kuvattu tarkemmin liitteen 1 alussa). Maakunnan väestönkehitys noudattaa Tilastokeskuksen uusinta väestöennustetta (Keski-Suomen liitto, 2024).

Skenaarioiden maankäyttösektorin kasvihuonekaasupäästöt ja -poistumat on pyritty laskemaan mahdollisimman yhtenevästi kansallisen kasvihuonekaasuinventaarion (Statistics Finland, 2024; Luke, 2024e) maankäyttösektoria koskevien laskentatapojen periaatteiden ja menetelmien kanssa. Nykyhetkeä ja mennyttä tilannetta kuvaavaa kansallisen tason laskentaa on muokattu maakuntatason ja tulevaisuuteen ulottuvan skenaariotarkastelun tarpeisiin sopivammaksi. Muutoksia on tehty käytettävissä olleen aineiston asettamien rajoitteiden ja laskennan yksinkertaistamisen tarpeen vuoksi. Tämän vuoksi skenaariolaskennassa on kyse enemmänkin inventaariolaskennan periaatteita hyödyntävästä ja mukailevasta LULUCF-sektorin päästölähteiden ja nielujen kehityksen numeerisesta tarkastelusta kuin varsinaisesta oikeaoppisesta IPCC:n kriteerien mukaisesta inventaariolaskennasta. Skenaariolaskentaa on kuvattu raportin liitteessä 1.

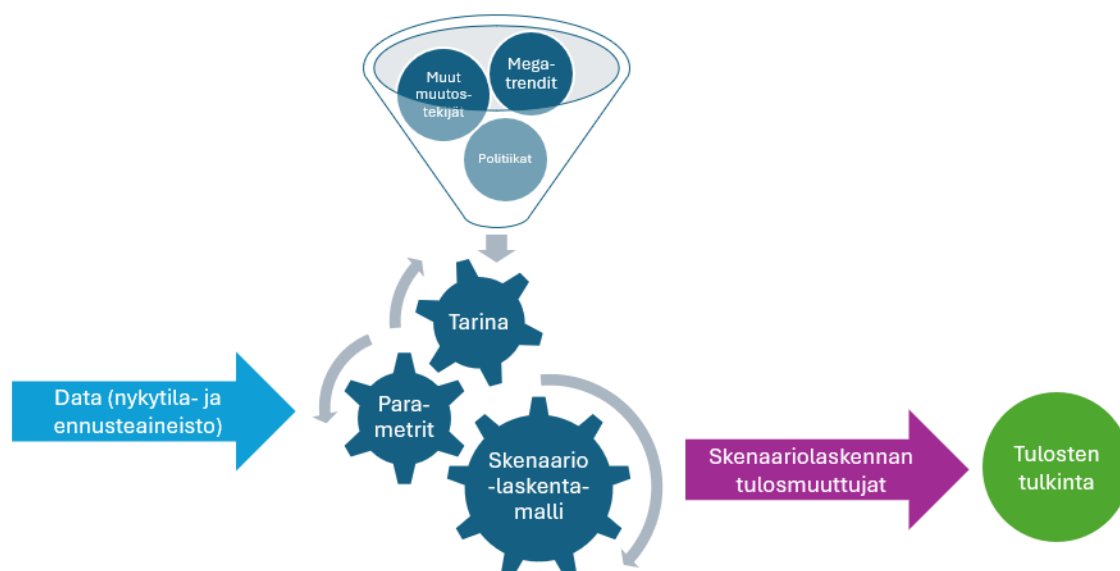
Skenaariolaskenta sisältää pelkästään maankäyttösektorin kasvihuonekaasupäästöjen lähteiden ja sidonnan tarkastelun. Se ei sovellu inventaariolaskentänäkökulman vuoksi muiden maankäyttöön liittyvien kysymysten arviointiin. Tästä on hyvänä esimerkkinä luonnon monimuotoisuuteen liittyvät kytkennät. Skenaarioiden kuvaukset voisivat periaatteessa sisältää esimerkiksi luonnon monimuotoisuuteen liittyviä toimenpiteitä ja oletettuja kehityskulkuja, mutta niiden vaikutuksia eri maankäyttöluokkiin ei pystyittäisi skenaariolaskennassa käytettävällä mallilla esittämään.

4.1 Skenaariotarkastelujen periaatteen kuvaus

Skenaarioiden taustalla on kuvan 5 mukainen skenaariomylläjäjattelu. Se kuvaa Keski-Suomen maankäyttösektorin ilmastoskenaariolaskennan taustalla olevaa ajatus- ja etenemismallia. Megatrendeistä, poliittisista ohjauskeinoista ja muista muutostekijöistä muodostuva tarina "siirretään" mallin kertoimiin ja parametreihin maankäyttösektorin nykytilaa ja kehitystä kuvaavaksi numeeriseksi lähtöaineistoksi. Samalla muokataan inventaariolaskennan menetelmien pohjalta johdettuja maakuntatason laskentamalleja sopimaan paremmin tilanteessa tarvittavaa laskennallista kerrontaa varten.

Skenaariomyllälyllä tarkastellaan laskennallisesti, miten tietyn ajanjakson aikana tapahtuvat parametrien muutokset vaikuttavat Keski-Suomen LULUCF-sektorin kasvihuonekaasupäästöjen ja -poistumien kehitykseen. Sen konkreettisina lähtökohtina ja elementteinä toimivat kasvihuonekaasuinventaarion (Statistics Finland, 2024) mukaisten menetelmien lisäksi kansallisten maankäytön ilmastovaikutusten

skenaariotarkastelujen tulosten pohjalta malliin tuodut parametrit toimenpiteiden vaikuttavuudesta, kysynnän kehityksestä ja toimintaympäristön muutoksesta. Laskentaa varten on laadittu erikseen asiantuntijatyönä Microsoft Excel -pohjainen skenaariolaskentamalli.

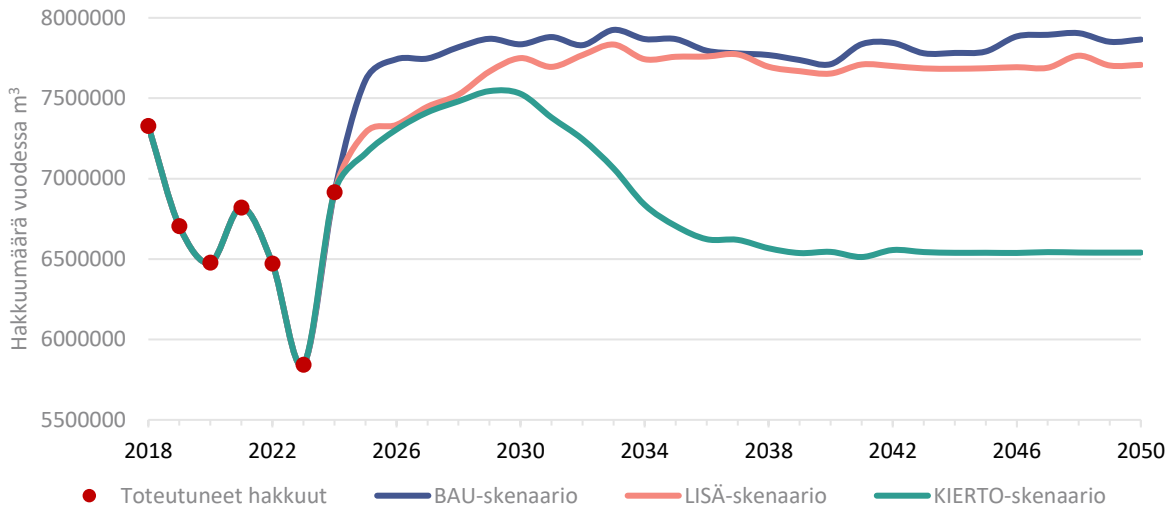


Kuva 5: Skenaariomylly

4.2 Yleiset oletukset

4.2.1 Metsämaa ja puutuotteet

Suomalaisen metsätalouden toimintaympäristöön vaikuttaa nyt ja tulevaisuudessa puun ja metsähakkeen tuonnin päättyminen Venäjältä. Tällä on suoria ja välillisiä vaikutuksia myös keskisuomalaisen puun kysyntään. Kaikkien skenaarioiden taustaoletuksena on, että tuontipuun määrä ei enää palaa Venäjän hyökkäyssodan pakotteita edeltäneelle tasolle. Mahdollinen tuonnin elpyminenkin tapahtuisi skenaarioissa pidemmällä aikavälillä. Tuontiraakapuun vaje joudutaan kattamaan tulevaisuudessa suurimmaksi osin kotimaisella puulla, sillä muista maista tuotavan puun osuuden merkittävää kasvua vaikeuttaa Suomen lähialueilla vallitseva puupula. Puuaineksen kysyntään vaikuttavat BAU-, LISÄ- ja KIERTO-skenaarioissa myös puutuotteiden tuotannossa tapahtuvat muutokset. Kuviossa 21 on esitetty hakkuukehitykset eri skenaariovaihtoehdoissa. Niitä on kuvailtu tarkemmin skenaariokohtaisia oletuksia käsittelevissä luvuissa 4.3.1, 4.3.2 ja 4.3.3.



Kuvio 21: BAU-, LISÄ- ja KIERTO-skenaarioiden hakkuumääräoletukset Keski-Suomessa.

Puun ja hakkeen kysyntään vaikuttaa kotimaisen kysynnän muutoksen lisäksi paikallinen käyttö, erityisesti energiakäyttö. Jyväskylän seudulla kaukolämpöä tuottava Alva pyrkii biopolttoaineiden osuuden kasvattamiseen energiantuotannossa. Alva kertoo käyttävänsä polttoaineena lähiseudun puuta sekä Mustankorkean biokaasulaitoksen biokaasua. Vuonna 2023 biopolttoaineiden osuus Alvan kaukolämmön tuotannosta oli 72 %. Lisäksi Alva toteuttaa investointeja siirtyäkseen pois polttoon perustuvasta energiantuotannosta.⁴ Koko maakunnassa metsähakkeen käytön arvioidaan kasvavan lämpölaitoksissa vuositasolla nykyisestä 0,7 milj. m³:stä n. 1,0 milj. m³:iin (Metsäkeskus, 2020). Skenaariolaskelmissa hakkeen tuotanto on maakunnassa tätä suurempi, sillä niissä oletetaan, että polttihakkeen kysyntä laajenee yhä enenevässä määrin Pirkanmaan ja Pohjois-Savon kaltaisista naapurimaakunnista myös Keski-Suomeen.

Skenaarioiden metsäkato-oletukset pohjautuvat viimeisimpien vuosien maankäytön muutoksen trendimäiseen jatkumiseen maakunnassa. Skenaariolaskelmissa on erityisesti huomioitu tuulivoimatuotantoon varattujen alueiden tarvitsemat metsäalueet Keski-Suomen maakuntakaavan 2040 (Keski-Suomen liitto, 2023) mukaisesti. Maankäytön muutosten oletuksissa on huomattava, että maakuntakaavan aluevaraukset ovat yleispiirteisiä ja ne tarkentuvat kunnan suunnittelussa. Siksi metsäkadon kokonaismäärää tuleekin käsitellä skenaarioissa kokoluokka-arvioina.

4.2.2 Viljelysmaat

Maataloutta ohjaa Suomessa EU:n yhteinen maatalouspolitiikka (CAP). Niin sanottua *CAP-suunnitelmaa* toteutetaan kaudella 2023–2027. Seuraavan CAP-kauden suunnittelu on paraikaa käynnissä ja toimenpiteiden odotetaan jatkuvan samansuuntaisina verrattuna nykyiseen. Tämä luo lähtökohdan etenkin BAU-skenaarioiden toimenpiteille, joilla pyritään vaikuttamaan viljelymaiden kasvihuonekaasupäästöjen ja -poistumien kehitykseen tämän ja ensi vuosikymmenen aikana.

⁴ Jyväskylän Seudun Puhdistamon alueelle rakennetaan reilu 40 MW:n lämpöpumppulaitos, jonka avulla puhdistetun jäteveden jäävää energiaa hyödynnetään kaukolämpöverkoissa. Lisäksi Rauhalahden rakennetaan kahden sähkökattilan laitos sekä lämpöä varastoiva kaukolämpöakku.

Yksi kolmesta CAP-suunnitelman tavoitekokonaisuudesta liittyy ilmastonmuutoksen hillitseminen ja siihen sopeutumiseen. Peltomaiden hiilensidontaan vaikuttavia toimia on suunnitelmassa useita. Niin sanotuissa ekojärjestelmätoimissa (01–03) edistetään maatalousmaan talviaikaista kasvipeitteisyyttä, monilajista laajaperäistä viljelyä, jossa laajoja nurmialueita viljellään vähäisin panostuksin ja matalalla intensiteetillä, sekä monilajisten nurmien viljelyä viherlannoitukseen. Myös CAP-suunnitelman ympäristösitoumuksen toimenpiteillä (03-04) oletetaan olevan hiiltä sitovia vaikutuksia niiden vahvistaessa kerääjäkasvien viljelyä sekä maaperän kiertotaloutta. Lisäksi CAP sisältää tukiin, investointeihin, neuvontaan ja yhteistyöhön liittyviä toimenpiteitä, joilla tähdätään hiilensidontaan vahvistamiseen.

Maankäyttösektorin ilmastosuunnitelma MISU (MMM, 2022) perustaa peltomaita koskevat toimenpiteensä CAP-suunnitelmaan. Sen mukaan peltojen hiilen sidontaa ja hiilivarastoja (toimenpide 7.10.1.) edistetään Suomessa hiiliviljelyn keinoin. Arviota toimenpiteen määrällisistä vaikutuksista päästöihin ei kuitenkaan ole vielä arvioitu kansallisesti, sillä kivennäismaapeltojen hiilensidontaan ja hiilivarastojen pysyvyyteen liittyy paljon epävarmuuksia (MMM, 2022).

Maataloustuotannon ilmastokuormitusta voidaan vähentää. Potentiaalin hyödyntämistä vaikeuttaa kuitenkin maataloussektorin päästölähteiden moninaisuus ja sirpaleisuus. Turvemaapelto ovat kokonaisuus, jolle kohdennettavien toimenpiteiden on nähty vähentävän merkittävästi maaperän kasvihuonekaasupäästöjä maataloudessa (Lehtonen ym., 2021; Kärkkäinen ym., 2019). MISU-suunnitelmassa (MMM, 2022) tunnistettuja turvapeltojen päästövähennyskeinoja ovat metsittämisen ja käytöstä poistamisen lisäksi orgaanisen aineksen pidättäminen vedenpinnan alapuolelle säätö-salaojituksen tai muun vedenhallintajärjestelmän avulla, ilmastokosteikat, muokkausten vähentämisen kaltaiset viljelykäytäntöjen muutokset, kasvipeitteisyyden lisääminen, turvemaiden uudisraivausten välttäminen sekä metsittämiskelvottomien heikkotuottoisten peltojen vettäminen ja kosteikkoviljelykäyttö (ks. Lisää esim. Lehtonen ym., 2021).

4.2.3 Kosteikat

Kosteikkojen tarkastelu rajautuu skenaarioissa käytännössä turvetuotantoalueisiin. Laskennassa on huomioitu kuitenkin myös mahdollisten turvemaametsien ja -peltojen ennallistamiseen ja vettämiseen liittyvillä toimenpiteillä aikaan saadut kosteikat (tarkemmin liitteen 1 luvuissa 1.1 ja 1.2). Lisäksi maatalouden mahdollinen kosteikkoviljelyala on sisällytetty laskennassa viljelysmaiden tarkasteluun (tarkemmin liitteen 1 luvussa 1.2). Näiden molempien vaikutus on kokonaistarkastelun kannalta pieni ja niihin liittyy laskennallisia epävarmuustekijöitä.

Turpeen energiakäytön supistuminen pienentää BAU-skenaariossa turvetuotantoalueita. Vuonna 2030 tuotantokäytössä turvetuotantoalueita on skenaarion mukaan Keski-Suomessa yhteensä 2 500 ha. Energiaturpeen kysynnän väheneminen on hieman hitaampaa kuin maakunnan oikeudenmukaisen siirtymän suunnitelmassa. Turvetuotannon määrä jatkaa BAU-skenaariossa vähenemistään 2030- ja 2040-luvuilla. Vuonna 2050 maakunnassa on kuitenkin 1000 ha turpeen tuotantoalueiksi katsottavia kosteikkoja.

Muissa skenaariossa on energiasiirtymä vaikuttaa vahvemmin turpeen tuotantoon Keski-Suomessa. LISÄ-skenaariossa turvetuotantoalueita on vuonna 2030 jäljellä 2 000 ha ja määrä pienentyy 500 ha:iin vuonna 2050. Turvetuotannon alasajo on nopeinta KIERTO-skenaariossa. Keskisuomalaisten turvetuotantoalueiden määrä vähenee skenaariossa vuoteen 2030 mennessä 1 500 ha:iin ja niitä on jäljellä LISÄ-skenaariossa tavoitettuna vuonna 2050 enää 500 ha. Skenaarioissa ei oteta kantaa turvetuotannon tulevaisuuteen kytkeytyvään oikeudenmukaisen siirtymän kysymykseen. Oletuksena on, että kysynnän

muutokset pakottavat muutokseen, jonka mahdollisia haittavaikutuksia voidaan ainakin osittain kompensoida julkisin varoin.

4.2.4 Ruohikkomaat ja rakennetut alueet

Kasvihuonekaasuinventaarion ruohikkoalueet muodostuvat Suomessa pääosin hylätyistä puuttomista tai metsittyivistä pelloista. Keski-Suomessa niiden nykyisen määrän arvioitiin olevan Suomen ympäristökeskuksen Corine-paikkatietoaineiston (Syke, 2018a) perusteella 10 600 ha. Skenaariolaskennassa on huomioitu ruohikkomaiden kasvihuonekaasupäästöt ja -poistumat inventaariolaskennan mukaisilla menetelmillä (ks. tarkemmin liitteen 1 luku 1.3). Ruohikoihin liittyvät maankäytön muutokset perustuvat epäsuorasti muiden metsien, viljelysmaiden, kosteikkojen ja rakennettujen alueiden muutosten laskennan yhteydessä tehtyihin oletuksiin.

Corine-aineiston perusteella Keski-Suomessa oli vuonna 2018 rakennetuiksi alueiksi luettavia alueita yhteensä 58 000 ha. Rakennusten, teiden, voimalinjojen, kiviainesalueiden ja muun infran alta poistetaan kokonaan puusto ja muu biomassa tai jätetään niistä vain osa kasvamaan muutoin rakennetuksi muuttuvalla alueella. Maaperän hiilivarastot pienenevät rakentamisvaiheessa, myös vuosia rakentamisen jälkeenkä (ks. liitteen 1 luvun 1.5 laskentaoletukset).

Talonrakentamisen ja muiden yhdyskunnan rakenteiden ja infrastruktuurin tarvitsemat maa-alat on arvioitu kaikissa skenaariossa olettamalla, että Keski-Suomen maakunnan viimeisimpien vuosien maankäytön muutos jatkuu trendimäisesti. Maakunnalle ennustetun maltillisesti laskevan väestöennusteen (Keski-Suomen liitto, 2024) perusteella skenaarioissa ei oletettu merkittävää maankäytön muutosta aiheuttavaa asuinrakentamista tai muuta uudisrakentamista muille kuin jo rakennetuille maa-alueille.

Rakennettujen alueiden laskennassa on mukana tuulivoimatuotantoon varattujen alueiden aiheuttama metsäkato. BAU-skenaariossa oletetaan, että Keski-Suomen maakuntakaavan tuulivoimamerkintöjen ja määräysten kokonaisvaikutusarvioinnin (FCG, 2023) mukainen voimaloiden minimimäärän aiheuttama metsäkato toteutuu. Skenaariossa on arvioitu, että rakentaminen jatkuu vuoteen 2050 siten, että metsäkadon suuruus on skenaarion tarkastelujänteen aikana yhteensä 1 300 ha. LISÄ- ja KIERTO-skenaarioissa on oletettu kaavan kokonaisvaikutusten arvioinnin mukainen tuulivoimaloiden maksimimäärä. Tällöin vuoteen 2050 mennessä tarvitaan yhteensä 1 600 ha keskisuomalaista metsämaata tuulivoiman tuotantoa varten.

4.3 Skenaariokohtaiset oletukset

4.3.1 BAU-skenaariion oletukset

Metsämaan kasvihuonekaasupäästölähteiden ja -nielujen kehitykseen vaikuttavat hakkuutasot ja metsänhoitotavat. Hakkuiden määrää ohjaavat hakkuiden nykytaso, ja puun kysyntää kasvattavat kansalliset muutostekijät. Hakkuuoletusten lähtökohtana ovat Keski-Suomen toteutuneet tukki-, kuitu- ja energiapuun hakkuumäärät. Keski-Suomen metsien käyttöaste on ollut korkealla tasolla. Hakkuukertymä oli vuosina 2018–2023 keskimäärin noin 6,6 milj. m³ vuodessa: vaihteluväli oli 5,8–7,3 milj. m³ (Luke, 2024a). Maakunnan osuus Suomen markkinahakkuista on ollut tällä vuosikymmenellä keskimäärin reilut 9 %.

BAU-skenaario ei perustu trendimäisesti menneeseen kehitykseen, vaan luvun 4.2.1 mukaiseen metsätalouden toimintaympäristön muutokseen ja siitä aiheutuvaan kotimaisen puun

kysyntäpaineeseen. Tämä nostaa tukki-, kuitu- ja energiapuun hakkuumäärät myös Keski-Suomessa 2020-luvun lopulla korkeiksi, jopa 7,8 milj. m³:iin. Määrä on suurempi kuin Luonnonvarakeskuksen MELA-optimointimallin suurin ylläpidettävä hakkuukertymä (SY) kymmenvuotiskaudella 2019–2028, joka on Keski-Suomessa 7,0 milj. m³ vuodessa. SY-arvio on hakkuumäärä, jota on mahdollista ylläpitää tarkasteltavalla alueella ilman tulevaisuuden hakkuumahdollisuuksien heikkenemistä.⁵ BAU-hakkuutaso on kuitenkin pienempi kuin Luonnonvarakeskuksen suurimman nettotulon (NT) taso, joka on jaksolla 2019–2028 vuosittain 9,3 milj. m³ (Luke, 2023b). NT-kertymässä hakataan kaikki metsänhoidon suositusten mukaiset hakkuukypsät puustot, jotka eivät täytä kasvatuksen tuottovaatimusta, ilman toiminnan kestävyys- ja lopputilan puustovaatimuksia.

Hakkuut pysyisivät skenaariossa 2030- ja 2040-luvulla keskimäärin 7,8 milj. m³:n tasolla.⁶ BAU-skenaarion puun tarpeen kansalliset määrä- ja puutavara-arviot perustuvat päivitettyyn MISU-WAM1-skenaarioon (Silfver ym, 2024) ja sen puunjalostusteollisuuden tuotannon, puupohjaisen energian tarpeen ja kotitarvehakkuiden tuotannon kehitysarvioon. Kaikissa kolmessa skenaarioissa oletetaan yksinkertaistaen, että kotimaisen puun kysynnän kasvun kattamiseen tarvittava tuotanto jakautuu eri maakuntien kesken nykyisten Luonnonvarakeskuksen tilastoimien puun tuotanto-osuuksien mukaisesti.

Keskisuomalaisen puutavara-, levy- ja sellutuotteiden tuotanto noudattelee BAU- ja muissa skenaarioissa Silfverin ym. (2024) kansallisia puunkäyttöarvioita. Maakunnan puutuotteiden tuotantomäärien arvioinnissa on hyödynnetty aiempaa paperi- ja massateollisuuden sekä sahateollisuuden alueellisten ja kansallisten bruttokansantuoteosuuksien kehitystä ja julkisesti saatavilla olevia tietoja suurempien keskisuomalaisten puunjalostusyksiköiden tuotantomääristä (Metsäteollisuus, 2024).

BAU-skenaarion metsänhoitoa ja ilmastotoimenpiteitä koskevat perusoletukset pohjautuvat Keski-Suomen metsäohjelmaan vuosille 2021–2025 kirjattuihin tavoitteisiin ja strategiaan linjauksiin (Metsäkeskus, 2020). Niissä todetaan, että maakunnan korkea hakkuumäärän taso edellyttää panostusta ekologiseen kestävyteen, kuten metsien käsittelytapojen monipuolistamiseen. Metsien puumäärää ja kasvua lisätään metsäohjelman edelliseen kauteen (2016–2019) verrattuna käynnissä olevan kauden (2020–2025) metsäohjelmassa alla listatuilla hoitotoimilla. Niiden oletetaan toteutuvan BAU-skenaariossa kokonaisuudessaan.

- Jatkuvan kasvatuksen vuosittainen määrä nousee 700 ha:sta 1 500 ha:iin.
- Terveys- ja tuhkalannoituksen määrä nousee 1800 ha:sta 3 000 ha:iin.
- Kasvatuserä lannoitus kasvaa 5 000 ha:sta 9 000 ha:iin.
- Taimikon ja nuoren metsän hoito lisääntyy vuodessa 14 600 ha:sta 21 000 ha:iin.

BAU-skenaarion metsänhoito-oletuksissa nojataan myös *kansallisen metsästrategian* (MMM, 2023, Taulukko 1) metsän kasvua edistäviin toimenpiteisiin ja *maankäyttösektorin ilmastosuunnitelman* MISU (MMM, 2022, luku 5) päästöjen ja poistumien kehitykseen nykytoimilla.

⁵ SY-taso perustuu Luonnonvarakeskuksen MELA-optimointiohjelmistolla (Luke, 2023a) tehtyihin uusimpiin maakuntatason VMI12/13-laskelmiin suurimmasta ylläpidettävissä olevasta tukki-, kuitu- ja energiapuun hakkuukertymästä kymmenvuotiskausille 2019–2028, 2029–2038 ja 2039–2048.

⁶ Luonnonvarakeskuksen SY-laskelmissa (Luke, 2023b) Keski-Suomessa runkopuun tilavuus kaudella 2029–2038 on keskimäärin 7,6 milj. m³ ja kaudella 2039–2048 keskimäärin 7,7 milj. m³.

Viljelysmaiden BAU-skenaario mukailee Maa- ja metsätaloustuottajien keskusliiton *MTK:n ja Svenska lantbruksproducenternas centralförbundin* SLC:n maatalouden ilmastotiekartan (Lehtonen ym., 2020) WEM-skenaariota, joka kuvaa nykyisen maatalouspolitiikan jatkumoa. BAU-skenaariossa ei tehdä merkittäviä lisätoimia maataloussektorin ilmasto- ja ympäristöohjauksessa nykyisiin jo käytössä tai tiedossa oleviin toimiin verrattuna. Ratkaisut ovat sellaisia, joilla tuetaan samalla paikallisen maaseudun ja maataloustuotannon vireänä säilymistä.

Uusien peltojen raivaus vähenee, ja osa pelloista siirtyy viljelytoiminnan ulkopuolelle. EU-jäsenyyden aikana alkanut kotieläintalouden tehostuminen ja rakennemuutos jatkuu. Naudanlihan ja maitotuotteiden kotimaisen kulutuksen trendimäinen vähentyminen vaikuttaa karjan laiduntamiseen ja rehuntuotantoon tarvittavaan maankäyttöön. Rehuviljan kysynnän supistuminen korvautuu osin muiden viljojen kasvulla. Kokonaisuutena viljelysala vähenee BAU-skenaariossa hyvin maltillisesti.

Keskisuomalaisten turvemaapeltojen ala ei juurikaan kasva BAU-skenaariossa. Tuhat hehtaaria turvepeltoja siirtyy vuoteen 2050 mennessä viljelyn ulkopuolelle. Peltojen metsitys pysyy vähäisenä, koska se koetaan hankalaksi, epävarmaksi ja kalliiksi toimenpiteeksi. Kosteikkojen perustamista hidastavat maaperän pinnanmuotojen ja vesiolosuhteiden osalta sopivien alueiden löytyminen.

Kivennäismaan maaperän hiilen hävikkiin ei liity BAU-skenaariossa suoria lisätoimenpiteitä. Peltojen kasvukuntoa pyritään kuitenkin parantamaan viljelijöille taloudellisesti kannattavilla toimenpiteillä. Peltojen tuottavuuden lisääminen nostaa satoja, mutta lisää myös maahan päätyvää hiilen määrää ja maaperän hiilivarastoa. Toisaalta maan orgaanisen aineen lisääminen kohottaa maan kasvukuntoa ja parantaa sadon määrää. Keinovalikoimaan sisältyy myös kalkitseminen, lannoituksen optimointi ja peltojen vesitalouden parempi huomioon ottaminen. Lisäksi hyödynnetään erilaisia maanparannusaineita kuten teollisuuden sivuvirtoja ja biohiiltä. Kompostilla ja lietteillä puolestaan parannetaan maan multavuutta ja rakennetta.

BAU-skenaarion kosteikkojen ja rakennettujen alueiden oletuksia on kuvattu luvussa 4.2.4.

4.3.2 LISÄ-skenaarion oletukset

LISÄ-skenaariossa haetaan Keski-Suomen metsäalan kestävä kasvua. Samalla huomioidaan myös ilmastotoimenpiteiden tarpeet. Metsän ja puutuotteiden osalta skenaario kuvaa puuraaka-aineen lisääntyvää hyödyntämistä, kun alueellisissa ja kansallisissa ohjelmissa ja strategioissa tehostetaan metsänhoitotoimenpiteitä. Hakkuukehitys pohjautuu LISÄ-skenaariossa Luonnonvarakeskuksen arvioon suurimmasta ylläpidettävästä hakkuukertymästä (SY). Keski-Suomessa runkopuun tilavuus on kaudella 2019–2028 vuosittain keskimäärin 7,0 milj. m³, kaudella 2029–2038 keskimäärin 7,6 milj. m³ ja kaudella 2039–2048 keskimäärin 7,7 milj. m³ (Luke 2023b).

Keski-Suomen hakkuumäärät kasvavat LISÄ-skenaariossa kuluvan vuosikymmenen aikana hieman SY-kertymää suuremmiksi. Kasvun taustalla on BAU-skenaarion tavoin tuontipuun vähenemisen aiheuttama Keski-Suomeenkin säteilevä kotimaisen puun kysyntäpaine. Hakkuut vakiintuvat LISÄ-skenaariossa 2030-luvulta lähtien SY-laskelmien mukaiselle tasolle. Hakkuiden puutavaralajien jakauma perustuu Luonnonvarakeskuksen SY-tuloksiin (Luke, 2023b). Puutuotteiden tuotantomäärät kehittyvät Silfverin ym. (2024) puunjalostusteollisuuden tuotannon kehitysarvion mukaisesti samalla tavoin kuin BAU-skenaariossa. Pienempiä runkopuun hakkuumääriä kompensoi 2030- ja 2040-luvuilla metsäteollisuudessa tapahtuva materiaalitehokkuuden kasvu sekä polttoon perustumattoman energiantuotannon lisääntyminen.

Metsänhoitotapojen muutosta koskevista oletuksista tarkastellaan LISÄ-skenaariossa metsien kestävästä kasvusta tukevia toimenpiteitä. *Kansallisen metsästrategian* (MMM, 2023) visio on tavoitella kasvavaa hyvinvointia metsistä ja metsille, millä viitataan taloudellisen, ekologisen ja sosiaalisen kestävyysyhteensovittamiseen metsäpolitiikassa. Strategian tavoitteena on edistää vastuullista ja kokonaisvaltaista hyvinvointitaloutta, joka luo samanaikaisesti talouskasvua ja hyvinvointia. Metsästrategian yksi päämäärinä on Suomen toimiminen kilpailukykyisenä toimintaympäristönä uudistuvalla metsäalalla, mikä sisältää mm. tavoitteet metsiin perustuvan liiketoiminnan monipuolistumisesta ja kasvusta.

Metsien kasvua edistäviä toimenpiteitä kansallisessa metsästrategiassa ovat mm. metsänuudistamisen toteutus ja nuorten metsien laadukas ja ajoissa toteutettu hoito (MMM, 2023). Strategian visioiden ja toimenpiteiden oletetaan LISÄ-skenaariossa heijastuvan maakuntatasolla puuntuotannon potentiaalilla ja kannattavuudella kasvuna sekä käytön tehostumisena. LISÄ-skenaariossa lähtökohtina ovat *Metsäteollisuus ry:n ilmastotiekartan* skenaariotarkastelun (Hynynen ym., 2020) ja MISU-suunnitelman skenaariossa (Maanvilja ym., 2021) mukaiset metsien kasvua lisäävät keinot ja käsittelyrajoitteet:

- metsänlannoituksen viisinkertaistaminen kivennäismaametsien typpilannoitusta ja turvemaametsien tuhkalannoitusta edistämällä
- turvemaametsien kunnostusojitusten eli vanhojen ojien avaamisen ja mahdollisten täydennysojien kaivamisen vähentäminen
- yläharvennukset rehevissä korvissa kiertoajan viimeisenä harvennukseksi ennen uudistamista
- jatkuvapeitteisen metsänkäsittelyn⁷ pinta-alojen kaksinkertaistaminen
- metsien nopean ja tehokkaan uudistamisen edistäminen
- jalostetun viljelymateriaalin käyttö metsänviljelyssä
- taimikonhoitomäärien kaksinkertaistaminen (tunnistettu toimenpiteenä myös Keski-Suomen metsäohjelmassa).

Lisäksi arvioinnissa huomioidaan kansallisen metsästrategian (MMM, 2023, luku 4.2.1) Metsien kasvu -kärkihankkeen puustoon ja kasvupaikkaan liittyvät toimenpiteet, joiden oletetaan tukevan yllä mainittuja keinoja. Puuston kasvua tehostavia metsänhoitotoimenpiteitä on kuvattu tarkemmin raportin menetelmäliitteen 1 luvussa 1.1.

Maataloustuotanto tehostuu LISÄ-skenaariossa. Maaperän päästöjen ja muiden maatalouden kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi otetaan käyttöön uusia lisätoimia. Skenaario mukaillee *maatalouden ilmastotiekartan* (Lehtonen ym., 2020) WAM1-skenaariota, joka sisältää tuntuvia, mutta realistisiksi arvioituja lisätoimenpiteitä maankäyttösektorilla. Niiden lisäksi kehitystä vauhdittaa teknologian ja markkinoiden BAU-skenaariota nopeampi muutos. Toimenpiteet tukevat keskisuomalaisen maaseudun elinvoimaa markkinoiden ja monien maaseudun kehitykselle asetettujen tavoitteiden ristipaineessa.

Erityisesti turvemaapelot nähdään LISÄ-skenaariossa kokonaisuutena, jolle kohdennettavat toimet vähentävät merkittävästi maatalouden ja sen maankäytön kasvihuonekaasupäästöjä (ks. esim. Lehtonen

⁷ Jatkuvapeitteinen metsänkäsittely on metsänhoitoa ilman avohakkuuta. Sen mukaisessa käsittelyssä metsää ei koskaan hakata täysin paljaaksi, vaan osa puustosta jätetään paikalleen eri tarkoituksia varten. Suomessa jatkuvapeitteinen metsänkasvatus oli käytännössä kiellettyä 1950-luvulta viime vuosiin asti. Jatkuva kasvatus sallittiin metsänkasvatusmenetelmänä metsälaissa vuoden 2014 alusta. (Valkonen, 2022)

ym., 2021; Kärkkäinen ym., 2019). Siksi maatalouden ilmastonmuutosta hillitsevät maankäyttötoimenpiteet ja kannusteet keskitetään kansallisesti turvemaihin. Tehokkaina pidettyjä päästövähennystoimenpiteitä, kuten turvemaiden raivauksen ja viljelyn vähentäminen, otetaan laajasti käyttöön myös Keski-Suomessa. Naudanlihan ja maitotuotteiden kysynnän muutosten vaikutus on LISÄ-skenaariossa voimakkaampi kuin BAU-skenaariossa. Rehuviljan ja -nurmen tarve ja viljely vähenevät. Kotieläintuotannosta luopuvilta tiloilta vapautuu kasvukunniltaan heikkoa peltoa, jolle ei löydy viljelijää kohtuulliselta etäisyydeltä. Suomalaisten ruokavalion hiljalleen tapahtuva muutos kasvispainotteisempaan suuntaan lisää välillisesti kesantopeltojen pinta-alaa. Tämä kehityskulku pienentää LISÄ-skenaariossa viljelyalaa. Kesannointia vauhditetaan taloudellisilla kannustimilla.

Osa tuottavuudeltaan heikoista turvemaapelloista metsitetään tai vetetään kosteikoiksi, jotka kehittyvät pidemmällä aikavälillä kohti luonnontilaisia soita. BAU-skenaarioon verrattuna yhä suurempi osa turvemaapelloista jää LISÄ-skenaariossa pois viljelykäytöstä. Uusien peltujen raivaus on BAU-skenaarion tavoin erittäin vähäistä. Yksivuotisten kasvien viljely vähenee turvemaapelloilla nykyisestä. Tavanomaisen hyvin kuivatetuilla turvemaapelloilla tapahtuvan viljan ja nurmen viljelyn tilalle tulee hitaasti myös märillä turvemaapelloilla tapahtuvaa viljelyä. Tämän kehityksen vauhdittamista varten on tarvittu lisätoimenpiteitä. Myös turvemaapeltujen metsitystä on saatu skenaariossa lisättyä tukitoimien avulla (esim. Lehtonen ym., 2021)

Myös kivennäismaihin kohdistuu toimenpiteitä. Hiilen hävikkiä kivennäismaapelloilta hidastetaan viljelymenetelmiä kehittämällä ja muuttamalla. LISÄ-skenaariossa kivennäismaapeltujen hävikkiä vähennetään maatalouden ilmastotiekartan (Lehtonen ym., 2020) mukaisesti kerääjäkasvien ja viherlannoitusnurmien viljelyllä. Peltujen ympärivuotinen kasvipeitteisyys lisää yhteyttämistä ja hiilen sitoutumista biomassaan ja maaperään. Peltujen tuottavuuden ja rakenteen parantamiseen panostetaan tässä skenaariossa BAU-skenaariota kattavammin. Toimenpiteiden oletetaan olevan viljelijöille taloudellisesti kannattavia.

LISÄ-skenaarion kosteikkojen ja rakennettujen alueiden oletukset on kuvattu luvussa 4.2.4.

4.3.3 KIERTO-skenaarion oletukset

KIERTO-skenaario kuvaa kiertotalouden periaatteiden mukaiseksi kehittyvää Keski-Suomea. Metsämaan ja puutuotteiden osalta skenaario kuvaa tilannetta, jossa metsäteollisuuden arvonlisä kasvaa kansallisen biotalousstrategian mukaisesti mm. ”kehittämällä valmistusmenetelmiä ja tuotteita, lisäämällä tuotannon jalostusarvoa ja resurssitehokkuutta sekä hyödyntämällä sivuvirtoja ja kiertotalousmalleja” (VNK, 2022). Keski-Suomessa näkökulma on oleellinen, sillä maakunnan metsäbiotalouden liiketoiminnan mittakaava on suurta. Esimerkiksi Äänekoskella ja Jämsässä on merkittäviä tehdaskonserneja, ja maakunnassa on useita puutuotebiotalouden liittyviä sahoja sekä muita puualan yrityksiä (Metsäkeskus, 2020.)

Kiertotalouden mukainen metsänhoito perustuu mahdollisimman korkean arvonlisän tuotteisiin ja resurssiviisaisiin toimintamalleihin. Pidemmälle jalostettuihin korkeamman lisäarvon tuotteisiin panostamisella tarkoitetaan tässä puuraaka-aineen käytön pidentämiseen esimerkiksi siten, että sitä hyödynnetään pitkään hiilivarastona säilyvänä rakennusmateriaalina. Puun jalostusarvon voidaan olettaa vahvistuvan esimerkiksi kansallisten ja kunnallisten puurakentamisen edistämistä koskevien tavoitteiden

ja toimintaohjelmien kautta.⁸ Toisaalta myös energiajärjestelmän sähköistyminen ja energiantuotannon siirtyminen pois polttamiseen perustuvista menetelmistä voivat vahvistaa puuraaka-aineiden kysyntää muualla. Resurssiviisaudella taas tarkoitetaan nykyistä kestävämpää ja harkitumpaa puun käyttöä sekä laajamittaista kierrätystä ja sivuvirtojen hyödyntämistä.

KIERTO-skenaarion keskeinen oletus on, että arvonlisältään korkeat tuotteet voivat kasvattaa biotalouden tuotosta ilman hakkuumäärien kasvua. Metsätalouden arvonlisän oletetaan kasvavan samalla kun hakkuiden kokonaismäärä pienenee ja jatkuva metsänkasvatus yleistyy. Kartongin ja vientimassan tuotanto-osuudet kasvavat samalla kuin paperin osuus pienenee.

KIERTO-skenaarion metsänhoitoa koskevat oletukset perustuvat *kansallisen metsästrategian* ja *maankäyttösektorin ilmastosuunnitelman* toimenpiteisiin. Toimenpiteet ovat Keski-Suomessa lähtökohtaisesti samat kuin LISÄ-skenaariossa, mutta niissä keskitytään puuntuotannon laatuun. Puun tuotantomääriin ja -jakaumaan vaikuttaa kansallisen kiertotalouden strategisen ohjelman toteutuminen. Yksi sen visioista on saavuttaa vähemmällä enemmän, eli saavuttaa luonnonvarojen kestävän käytön tila ja säilyttää materiaalit kierrossa pidempään (VNK, 2021). Vision toteutumiseksi on vuodelle 2035 linjattu tavoitteita, joita sovelletaan KIERTO-skenaarion oletuksissa seuraavasti:

- Primääriraaka-aineiden kotimainen kokonaiskulutus ei ylitä vuoden 2015 tasoa, eli raaka-aineiden kokonaiskulutus ei nouse.⁹
- Resurssituottavuus kaksinkertaistuu vuodesta 2010, eli kotimaisten materiaalien kulutuksen suhde bruttokansantuotteeseen nousee.
- Materiaalien kiertotalousaste kaksinkertaistuu, eli kierrätetyn materiaalin osuus kaikesta materiaalin käytöstä nousee 50 %:iin.

Yksi maankäyttösektorin ilmastosuunnitelma MISU:n (MMM, 2022) tavoitteista on tukea korkean arvonlisän tuotteiden kehitystyötä. Suomen biotalousstrategian (VNK, 2022) päivityksen taustaselvitykseksi laadittu *Suomen biotalouden kestävän kasvun skenaario* (Koljonen ym., 2021) valottaa biotalouden kasvua sekä biotalouden tulevaisuuden mahdollisuuksia. Skenaariotarkastelun mukaan Suomen biotalous nojautuu yhä vahvasti perinteisen maa- ja metsätaloussektoritoiminnan varaan, mutta biotalouden sektoreita uudistamalla sen arvonlisä voisi kasvaa kahdesta neljään prosenttiin vuosina 2030–2050. Kansallisessa skenaariotarkastelussa käytettyjä muuttujia sovelletaan Keski-Suomen KIERTO-skenaariossa oletuksella, että uudet metsäteollisuuden tuotteet (mm. tekstiilikuidut ja biomuovit ja -kemikaalit) vahvistavat arvonlisäystä, puurakentaminen yleistyy ja käyttömuotojen yhteensovittaminen kehittyy, mikä vahvistaa mm. hiilinieluja, biodiversiteettiä ja materiaalitehokkuutta. (Koljonen, 2021)

⁸ Esim. ympäristöministeriön puurakentamisen ohjelma 2016–2013 ja vähähiilisen rakennetun ympäristön ohjelma KIRAilmasto.

⁹ MMM on jättänyt eriävän lausunnon, joka perustuu mm. biotalouden ratkaisujen tuottamiin neitseellisiin materiaaleihin, jotka ovat uusiutuvia luonnonvaroja.

Keski-Suomen metsäohjelman tavoitteiden mukaisesti maakunnassa kehitetään puupohjaisia tuotteita. Metsäalan kilpailukykyä pyritään vahvistamaan mm. suuntaamalla puuraaka-aineiden käyttöä korkeamman jalostusasteen tuotteisiin. Ohjelmassa tunnistetaan mm. puurakentamisen huomattavan lisäämisen välttämättömyys sekä uusien puupohjaisten tuotteiden, kuten tekstiilikuitujen, hyvinvointituotteiden ja biokemikaalien ja -polttoaineiden, kehittäminen. (Metsäkeskus, 2020.) Muutos näkyy KIERTO-skenaariossa Keski-Suomessa tuotettavan puutavaran, -levyjen ja -massan tuotantomäärien suhteessa ja puutuotteiden hiilensidontaa skenaariolaskelmissa kuvaavien puoliintumisaikojen pidentymisenä (ks. liitteen 1 luvun 1.6 menetelmäkuvaus).

KIERTO-skenaariossa huomioidaan BAU- ja LISÄ-skenaarioiden mukaisesti Venäjän-tuonnin päättymisen aiheuttama kotimaisen puun kysynnän kasvu 2020-luvun loppupuoliskon aikana. Tukki-, kuitu- ja energiapuiden hakkuut olisivat Keski-Suomessa tässäkin skenaariossa vuosikymmenen lopulla korkealla, 7,4 milj. m³:n tasolla. Hakkuiden määrä lähtee vähenemään 2030-luvulla kansallisen kiertotalousohjelman primääriaraaka-ainetavoitteen mukaisesti. Metsätalouden raaka-aine- ja sivutuotevirtoja ohjataan korkeamman arvonlisän tuotteiden valmistukseen. Tällöin voidaan kasvattaa tuotannon lisäarvoa ilman hakkuiden lisäämistä. Vuoteen 2035 tultaessa Keski-Suomessa palaudutaan hakkuumäärissä tämän vuosikymmenen alun 6,5 milj. m³:n tasolle. Puun ligniinin tehokkaampi hyödyntäminen ja nykyisen tyyppillisesti poltettavan kuoren laajempi hyötykäyttö tuotteina kasvattavat metsäteollisuuden materiaalitehokkuutta samalla kun polttoon perustumattoman energiantuotannon lisääntyminen pienentää puun energiakäyttöä (ks. Savolainen ym., 2024).

Kiertotalouspainotukset lyövät läpi myös maataloudessa ja vahvistavat samalla sektorin ilmastotoimia. KIERTO-skenaariossa on saatu ratkottua kannustimien ja eri toimenpiteitä ja tavoitteita ajavien ohjauskeinojen suunnittelun haaste. Kysynnän ja resurssiviisaan ruokajärjestelmän tuotantorakennetta ohjaava vaikutus on muita skenaarioita vahvempi. Kulutuskäyttäytymisen ja ruokailutottumusten asteittaisen kehityksen ja vaikutusviipeen vuoksi vaikutukset alkavat näkyä KIERTO-skenaariossa selkeämmin vasta 2030-luvulla. Kasvispainotteisempi ruokavalio vähentää kotieläintuotantoa ja antaa yhdessä maankäytön ohjauksen kanssa mahdollisuuden vähentää myös viljelysmaiden päästöjä. Toimenpiteet ja painotukset näkyvät myös Keski-Suomessa, ja maakunnan vahvan kotieläintuotannon turvaaminen onkin muita skenaarioita haastavampaa.

Skenaariossa on tunnistettu kansallisen maankäyttösektorin ilmastosuunnitelman (MMM, 2022) mukainen turvemaapeltojen päästöjen vähentämisen laaja keinovalikoima:

- viljelyskäytäntöjä muutetaan maan muokkauksen vähentämisestä kasvipeitteisyyden lisäämiseen
- säättösalaoituksen avulla pidetään orgaanista ainesta vedenpinnan alapuolelle,
- uusien turvemaiden raivausta vähennetään
- heikkotuottoisia peltomaita jätetään pois viljelykäytöstä.

KIERTO-skenaariossa on taloudellisia kannusteita turvemaapeltojen vettämiseen tai kosteikkoviljelyyn. Myös viljelyä määrittävillä turvemaapelloilla lisätään kannusteilla. Yksivuotisten kasvien viljely vähenee turvemaapelloilla vuoteen 2050 mennessä merkittävästi nykytasosta. Peltoa jää pois viljelystä, kun peltolohkojen etäisyys maatilojen talouskeskuksiin kasvaa maatilojen vähentyessä. Näin käy erityisesti alueilla, joilla maatilojen tiheys ja määrä on ennestään alhainen ja jatkaa tulevaisuudessa vähenemistään.

Kivennäispeltojen viljelymenetelmiä kehitetään ja muutetaan. Toimenpiteet sisältävät kerääjäkasvipinta-alan lisäämisen ja laajemman viherlannoitus- ja biokaasunurmien käyttöönoton osana viljelykiertoa sekä

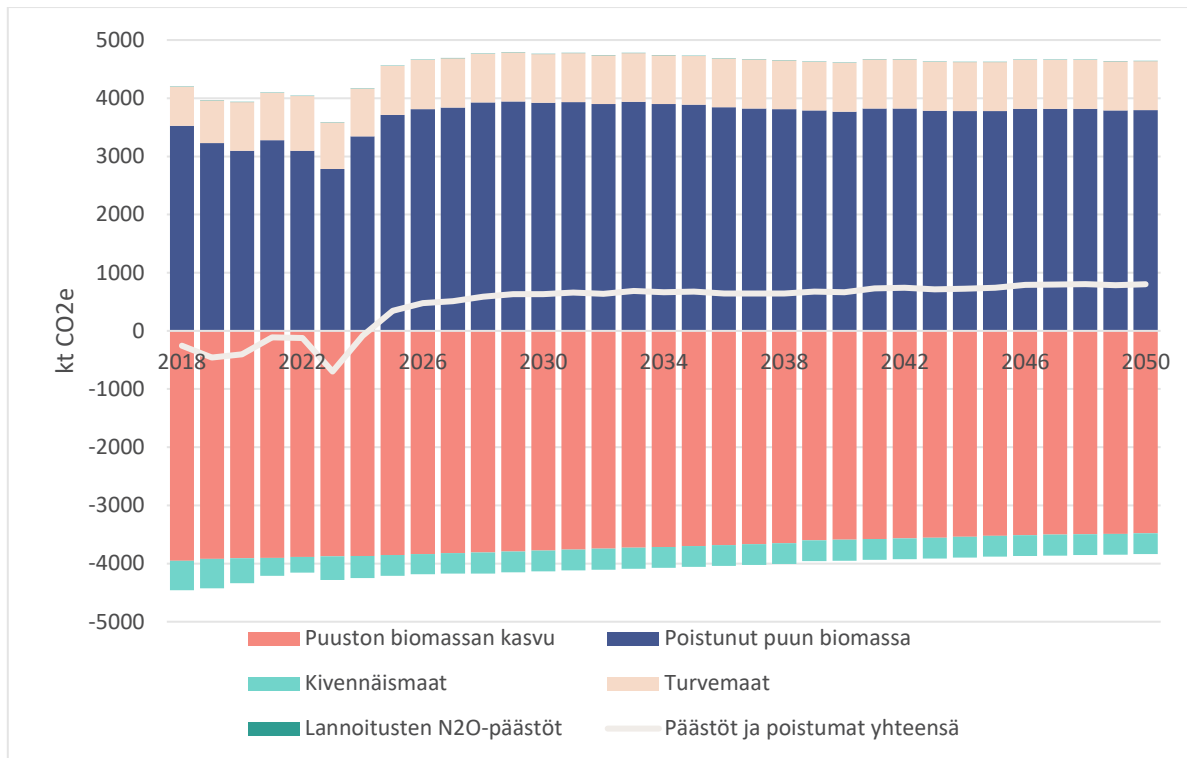
peltojen tuottavuuden lisäämisen (ks. Lehtonen, 2021). Tuotanto- ja ympäristönurmien maaperän hiilensidontaa eli nurmen hiiliviljelyyn liittyviä viljelytekniikoita otetaan käyttöön. Ne sisältävät mm. syväjuuristen kasvilajien osuuden lisäämistä, kohtuullista typpilannoitusta, hyvää nurmipalkokasvipitoisuutta, niittokorkeuden nostamista ja toistuvan muokkauksen vähentämistä. KIERTO-skenaariossa on tavoitteena, että toimenpiteet kattavat kaikki yhteiskunnan näkökulmasta ilmasto vaikutuksiltaan kustannustehokkaat kivennäismaiden hiilensidontaa parantavat toimenpiteet (ks. esim. Hyvönen ym., 2020). KIERTO-skenaarion kosteikkojen ja rakennettujen alueiden oletukset on kuvattu raportin luvussa 4.2.4.

5 Skenaariotarkastelujen tuloksia

5.1 BAU-skenaario

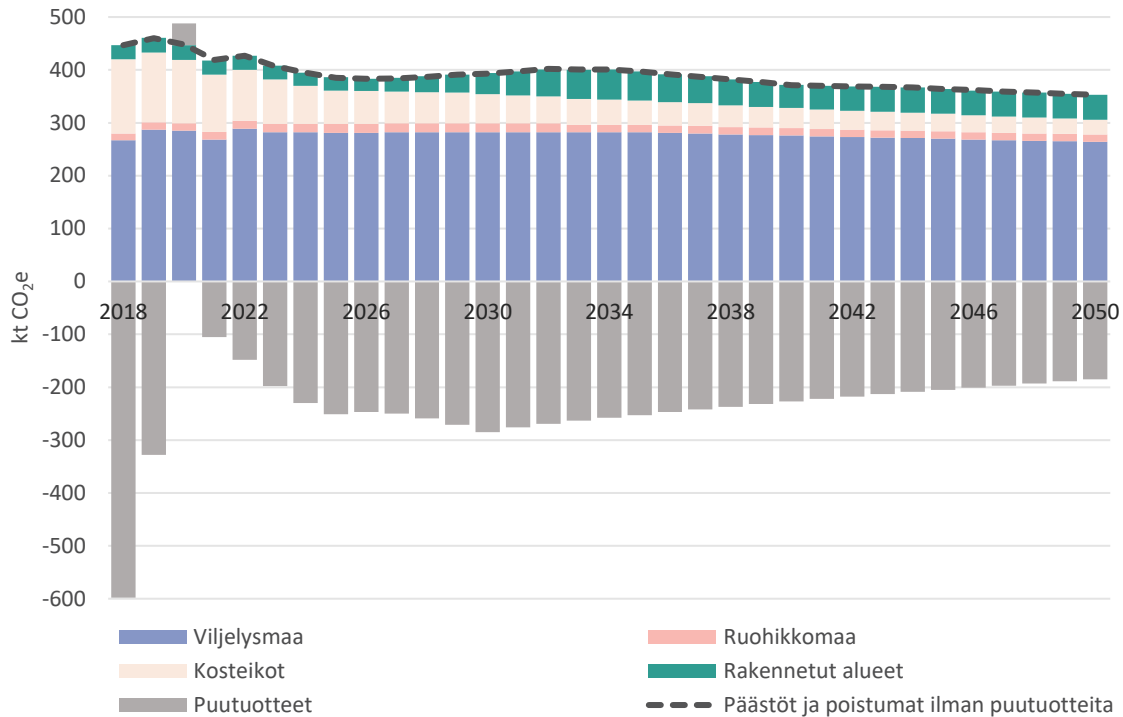
BAU-skenaario kuvaa Keski-Suomen LULUCF-sektorin päästölähteiden ja hiilinielujen tulevaa muutosta ennakoitavissa olevalla kehitysuralla nykyisten ja tiedossa olevien maankäyttösektoriin liittyvien ilmastotoimenpiteiden toteutuessa. Hakkuuoletukset vaikuttavat puuston ja metsän maaperän päästöihin. Venäjän puun tuonnin päättyminen ja sen aiheuttama kotimaisen puuntuotannon tarve aiheuttavat skenaarion *Business as usual*-henkiseen kehitykseen verrattuna maassamme hakkuupaineita, jotka vaikuttavat sekä tässä että muissa skenaarioissa keskisuomalaisen puun kysyntään ja edelleen maakunnan metsien hiilitaseeseen.

Turvemaan määrän vuoksi metsien maaperä on nettomääräisesti kasvihuonekaasupäästöjen lähde Keski-Suomessa. Metsämaan eli puuston ja metsien maaperän päästöjen ja poistumien tase riippuu kuitenkin lopulta hakkuumääristä ja niiden vaikutuksesta metsien hiilensidontaan. Metsänkäsittely vaikuttaa puuston lisäksi myös metsämaaperän hiilivarastoon ja hiilensidontaan. BAU-skenaariossa oletettu puunkäytön lisäys kääntää kuvion 22 mukaisesti Keski-Suomen metsämaan päästöt sen poistumia suuremmiksi. Puusto ja maaperä sitovat BAU-skenaariossa nettomääräisesti vähemmän hiilidioksidia ilmakehästä kuin vapauttavat sitä ilmaan lähes koko skenaarion vuosien 2024–2050 tarkastelujänteen aikana.



Kuvio 22: Keski-Suomen metsämaan päästöjen ja poistumien kehitys BAU-skenaariossa (positiiviset arvot kuvaavat päästöjä ja negatiiviset poistumia).

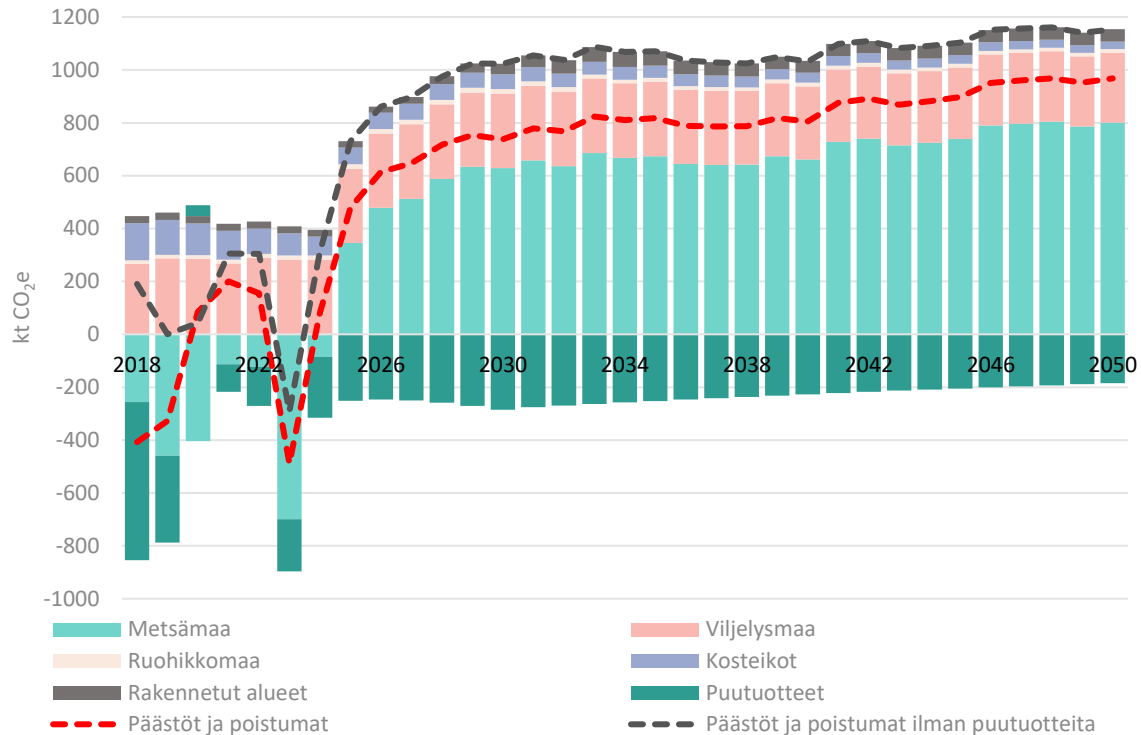
BAU-skenaariossa metsänhoidon taso pysyy nykyisenkaltaisena. Hakkuiden vakiinnuttaminen ja ylläpitäminen skenaarion mukaisella korkealla tasolla voisi todennäköisesti johtaa tekemään perusoletusta enemmän lannoitusta, taimikon hoitoa ja muita puubiomassan kasvua lisääviä hoitotoimenpiteitä keskisuomalaisissa metsissä. Näiden toimenpiteiden pitää olla kuitenkin taloudellisesti hyvin kattavia ja systemaattisesti ilmastotavoitteita tukevia, jotta hiilinielujen kehitystä olisi mahdollista kääntää positiiviseen suuntaan skenaarion tilanteessa, jossa hakkuutarpeen vuoksi poistuneen puun biomassa pysyy suurena suhteessa puuston biomassan kasvuun. Näihin ei oleteta olevan BAU-skenaariossa taloudellista ja ohjauksellista kannustetta.



Kuvio 23: Keski-Suomen muiden maankäytön luokkien kuin metsämaiden päästöjen ja poistumien kehitys BAU-skenaariossa (positiiviset arvot kuvaavat päästöjä ja negatiiviset poistumia).

Muiden Keski-Suomen maankäytön luokkien kasvihuonekaasupäästöt ja -poistumat pysyvät BAU-skenaariossa kuvion 23 mukaisesti lähellä nykyistä tasoa. Kosteikkojen merkitys päästölähteenä pienenee turvetuotannon vähentyessä. Kuviosta havaittavissa oleva rakennettujen alueiden osuuden kasvu johtuu pääosin skenaariolaskennassa oletetun tuulivoimarakentamisen lisääntymisen synnyttämästä metsäkadosta ja joiltain osin myös laskentamallin rakenteellisista ominaisuuksista.

Kuvioiden 22 ja 23 puutuotteiden hiilivarastojen muutoksen kehitykseen vaikuttaa varastoajattelun vuoksi myös aiempien vuosien puutuotteiden tuotanto ja kysyntä. Skenaariovuosien kehitys on mennyttä kehitystä tasaisempaa, koska niissä ei ole mukana kuvaajissa näkyvää menneiden vuosien 2018–2022 hiilivarastoihin vaikuttavaa aiempien vuosien puutuotteiden tuotannon ja kysynnän vaihtelua, joka voi aiheutua esim. markkinatilanteen tai työmarkkinataistelujen kaltaisista ulkoisista tekijöistä. Maakuntatasolla suuntaa antavaa puutuotteiden laskentaa ja sen taustalla olevaa aiempaa kehitystä on kuvattu menetelmäliitteen 1 luvussa 1.6.



Kuvio 24: Keski-Suomen maankäytön sektorin päästöjen ja poistumien kehitys BAU-skenaariossa (positiiviset arvot kuvaavat päästöjä ja negatiiviset poistumia).

Maatalouden maankäytön päästöjen ja poistumien kehitystä ohjaa skenaariossa oletus maataloussektorin nykyisen ilmasto- ja ympäristöohjauksen jatkumisesta. Viljelysala vähenee kokonaisuutena BAU-skenaariossa hyvin maltillisesti. Turvemaapeltojen ala pienenee jonkin verran. Kivennäismaan maaperän hiilen hävikkiin ei liity suoria lisätoimenpiteitä, mutta peltojen kasvukuntoa saadaan parannettua. Kaikki maataloussektoriin liittyvät BAU-skenaarion toimenpiteet ovat viljelijöille taloudellisesti kannattavia.

Keski-Suomen maakuntastrategian mukaisesti maakunta tavoittelee hiilineutraaliutta vuoteen 2030 mennessä. Tavoitteen toteuttamista ohjaava Hiilineutraali Keski-Suomi 2030 -tiekartta tarkentaa, että maakunnan päästöjen tulisi vähentyä 80 % vuoden 2007 tasosta vuoteen 2030 mennessä. Vuonna 2022 alueiden ja kuntien ilmastotyön seurantaan kehitetyn Hinku-laskennan mukaiset käyttöperustaiset kokonaispäästöt olivat Keski-Suomessa 1 405 kt CO₂e, mikä oli 41 % vertailuvuoden 2007 päästöjä (2383 kt CO₂e) pienemmät. Vuonna 2030 päästöjen tulisi olla Keski-Suomen tavoitteen mukaisesti 304 kt CO₂e. Keski-Suomen ilmastotiekartta ei toistaiseksi kata maankäyttösektoria koskevia ilmastotoimenpiteitä tai määrittele, miten jäljelle jäävä 20 % päästömäärä olisi maakunnassa tarkoitus kompensoida hiilineutraaliuden saavuttamiseksi.

Kansallinen vuoden 2035 hiilineutraaliustavoite tarkoittaa, että kasvihuonekaasuinventaarion mukaisten päästöjen ja poistumien tulee olla nollassa. Suomen maankäyttösektorin nielujen tulisi tällöin sitoa vuonna 2035 yhtä paljon hiiltä, kuin mitä pääsee ilmaan mm. liikenteestä ja energiantuotannosta. Kunta- ja aluetasolla yhtä tarkkaa ja yksiselitteistä hiilineutraaliuden määritelmää ei ole, sillä kuntien ja maakuntien ilmastotavoitteet ovat tähän asti painottuneet aluekohtaisiin kokonaispäästöihin, kun taas maankäyttösektorin tavoitteet ja toimenpiteet ovat uudempi näkökulma ilmastotyössä.

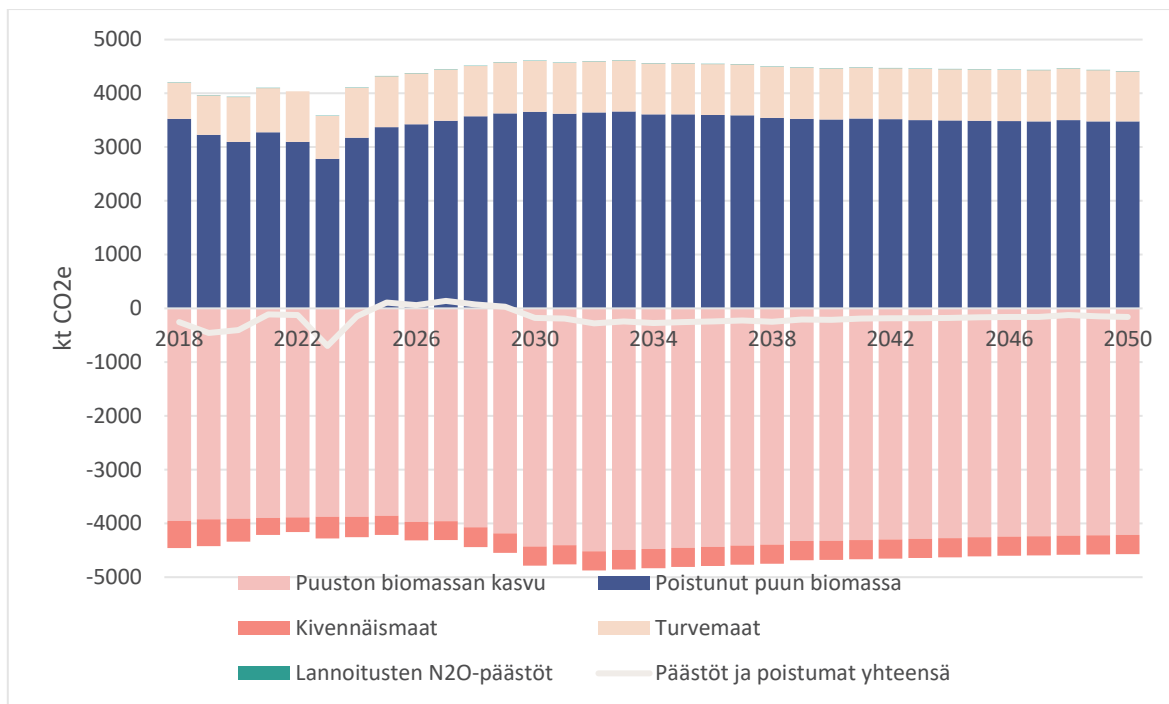
Tämän vuoksi myöskään esimerkiksi Suomen ympäristökeskuksen luotsaama Hiilineutraalit kunnat -verkosto (Hinku) ei ole täsmällisesti määritelty, mitä maakuntien hiilineutraaliustavoite maankäyttösektorin osalta merkitsee. Päästövähennysten osalta tavoite on selkeä, sillä Hinku-maakunnat tavoittelevat 80 % päästövähennystä vuoden 2007 tasosta vuoteen 2030 mennessä. Tavoitteessa ei ole mukana maankäyttösektorin päästöjä, vaan ainoastaan Hinku-päästölaskentasäännön mukaiset käyttöperustaiset päästöt (Lounasheimo ym., 2020). Hinku-verkoston päästöhyvitysmenettelyn mukaisesti maakunta voi saada LULUCF-sektorin lisäisillä päästövähennystoimilla ja nielujen kasvattamisella hyvityksiä päästöihin (Syke, 2020b). Selkeää kompensointimenetelmää 20 % jäljelle jäävän päästöosuuden kattamiseksi hiilinieluilla ei kuitenkaan ole. Näin ollen kunta- ja maakuntatason hiilineutraaliuden määrittely poikkeaa esim. kansallisesta kasvihuonekaasuinventaariosta. Vaikka Keski-Suomi ei kuulu Hinku-verkostoon, sen hiilineutraaliustavoite on verrannollinen Hinku-maakuntatavoitteeseen.

Raportissa esitettyjen skenaarioiden tuloksista ei voida vetää suoria johtopäätöksiä Keski-Suomen hiilineutraaliustavoitteen toteutumisesta. BAU-skenaarion pohjalta voidaan olettaa, että maankäyttösektori tulee nykytoimin kääntymään maakunnassa nettopäästölähteeksi ja pysymään sellaisena Keski-Suomen hiilineutraaliustavoitevuoteen 2030 ja sen yli. Maakunnallisen hiilineutraaliustavoitteen saavuttaminen edellyttäisi LULUCF-sektorin toimimista merkittävänä nettonieluna. BAU-skenaarion oletetut hakkuumäärät ja vähäinen määrä maankäyttösektorin ilmastotoimenpiteitä eivät edistä Keski-Suomen ilmastotavoitteeseen pääsemistä. Edellisen sivun kuvion 24 mukaisesti LULUCF-sektorin päästöt pysyvät poistumia suurempina koko skenaarion 2030- ja 2040-tarkastelujänteen ajan.

5.2 LISÄ-skenaario

LISÄ-skenaariossa haetaan Keski-Suomen maankäyttösektorilla ilmastokestävää kasvua. Hakkuita lisätään nykyisestä, mutta samalla otetaan käyttöön metsien kasvuun ja hiilensidonnan lisäämiseen tähtääviä metsänhoitotoimenpiteitä BAU-skenaariota kattavammin. Hakkuumäärien kehitys noudattelee Luonnonvarakeskuksen suurinta ylläpidettävissä olevaa tukki-, kuitu- ja energiapuun SY-hakkuukertymää kuitenkin siten, että hakkuut ovat 2020-luvun lopulla SY-tasoa korkeammat. Vaikka SY-laskelmien kymmenvuotiskausien 2029–2038 ja 2039–2048 hakkuumäärät ovat korkeita, samalla on huomattava, että ne ovat maakunnassa vain hieman alle 10 % suuremmat kuin 2010-luvun lopun huippuhakkuuaikoina (ks. luvun 4.2.1 kuvio 21 hakkuumäärien kehityksestä eri skenaarioissa).

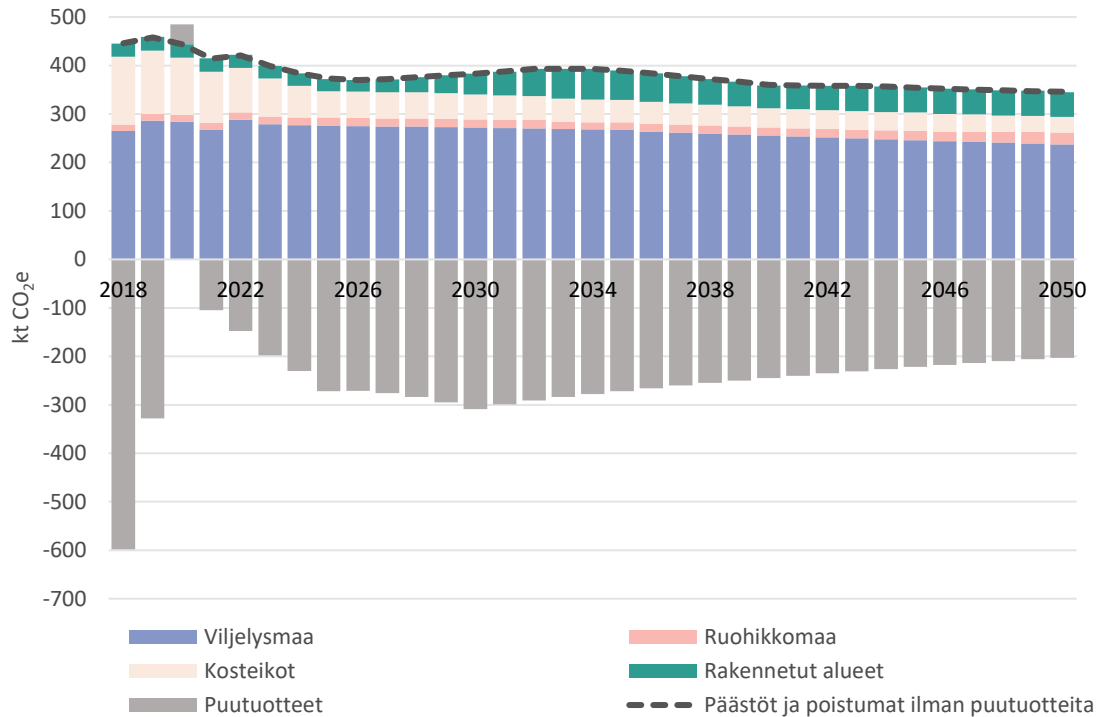
LISÄ-skenaarion vahvistuneet metsänhoitotoimenpiteet pystyvät vaimentamaan osittain paineita, joita hakkuiden lisääntyminen aiheuttaa Keski-Suomen metsän hiilensidonnalle, ja onnistuvat kääntämään nettomääräistä kehitystä nielujen suuntaan ensi vuosikymmenen puolelle siirryttäessä (kuvio 25). Skenaariolaskennan yhteydessä tehdyn herkkyystarkastelun perusteella maakunnan metsien kasvihuonekaasujen päästöt olisivat skenaariossa 2030- ja 2040-luvulla selvästi suuremmat kuin niiden poistumat ilman skenaariossa suhteellisen kattavia ja onnistuneiksi oletettuja puuston ja maaperän hiilensidontaa vahvistavia ja ylläpitäviä metsänhoitotoimia.



Kuvio 25: Keski-Suomen metsämaan päästöjen ja poistumien kehitys LISÄ-skenaariossa (positiiviset arvot kuvaavat päästöjä ja negatiiviset poistumia).

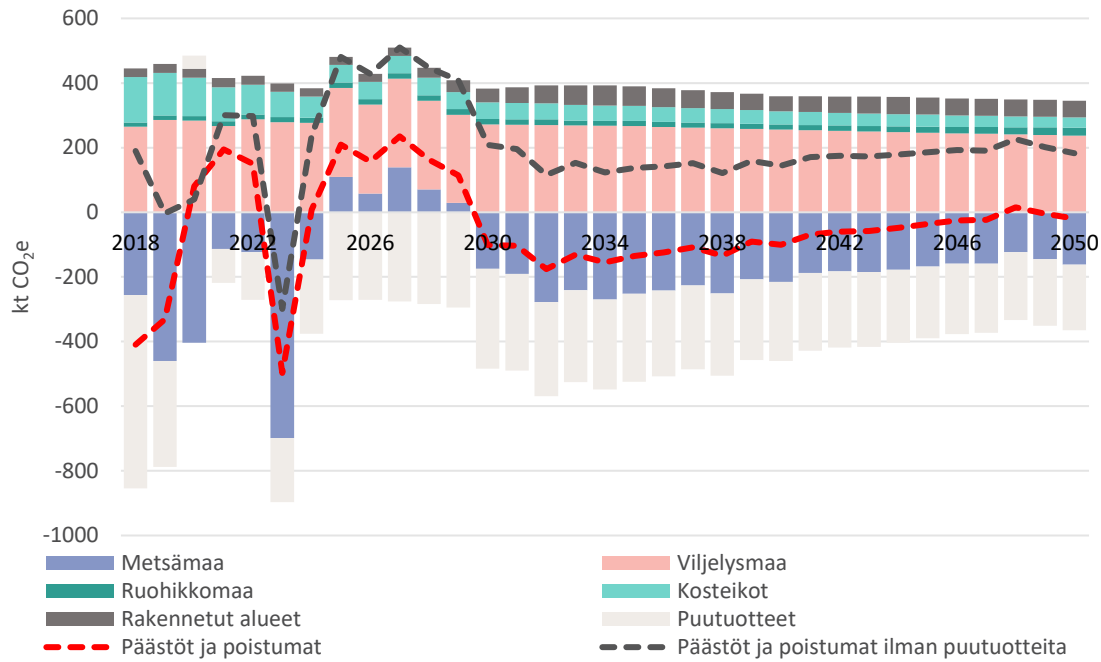
Metsänhoitotoimenpiteisiin sisältyy lannoituksen lisääminen, turvemaiden kunnostusojituksen vähentäminen, jatkuvapeitteisen metsänkäsittelyn lisääminen, metsien tehostettu uudistaminen, taimikonhoidon parantaminen ja muita toimenpiteitä. Kun otetaan huomioon metsien hoitotoimenpiteiden vaikutusten arviointiin liittyvät epätarkkuudet, LISÄ-skenaarion toimenpidepaletilla pystytään pitämään Keski-Suomen metsien puusto ja maaperä nettomääräisesti hiilinieluna Luonnonvarakeskuksen SY-tasoa noudattelevalla hakkuutasolla. Tehdyistä toimenpiteistä huolimatta maakunnan metsien nielujen sitoma hiilen määrä ei kehity LISÄ-skenaariossa merkittävästi päästöjä suuremmaksi. Lisäksi niiden ero kapenee skenaariolaskelmien mukaan vuotta 2050 kohti mentäessä (kuvio 25).

Maataloustuotanto tehostuu LISÄ-skenaariossa ja sektorin maaperäpäästöjen vähentämiseksi otetaan käyttöön vaikuttavia lisätoimia. Erityisesti turvemaapeltoihin kohdennettavat toimet vähentävät viljelysmaiden kasvihuonekaasupäästöjä. Myös kivennäismaihin kohdistuu toimenpiteitä. Hiilen hävikkiä kivennäismaapelloilta hidastetaan viljelymenetelmiä kehittämällä ja muuttamalla. Peltojen tuottavuuden ja rakenteen parantamiseen panostetaan tässä skenaariossa BAU-skenaariota kattavammin. Viljelysmaiden nettomääräisiä päästöjä saadaan vähennettyä LISÄ-skenaariossa kuvion 26 mukaisesti jonkin verran.



Kuvio 26: Keski-Suomen muiden maankäytön luokkien kuin metsämaiden päästöjen ja poistumien kehitys LISÄ-skenaariossa (positiiviset arvot kuvaavat päästöjä ja negatiiviset poistumia).

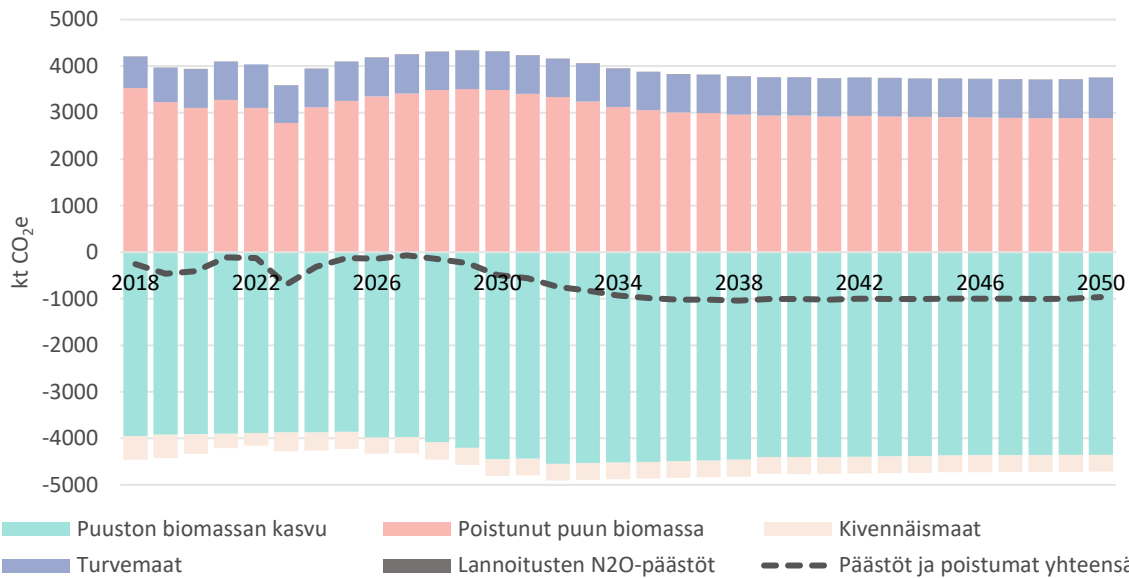
LISÄ-skenaarion laskelmien mukaan maankäytön sektorin kasvihuonekaasupäästöjen ja -poistumien erotus olisi Keski-Suomessa maakunnan ilmastotavoitevuonna 2030 yhteensä -100 kt CO₂e. LULUCF-sektori olisi tällöin kokonaisuudessaan nielu. Tulos sisältää puutuotteiden hiilivarastojen muutokset (kuvio 26). Niiden maakuntatason laskentaan liittyy tulkinnanvaraisuuksia, joita on käsitelty liitteen 1 luvun 1.6 menetelmäkuvauksessa. Jos puutuotteet jätettäisiin laskelmissa arvioimatta, maankäyttö-sektorin päästöt olisivat kuvion 26 mukaisesti LISÄ-skenaariossa vuonna 2030 noin 200 kt CO₂e suuremmat kuin sektorin poistumat.



Kuvio 27: Keski-Suomen maankäytön sektorin päästöjen ja poistumien kehitys LISÄ-skenaariossa (positiiviset arvot kuvaavat päästöjä ja negatiiviset poistumia).

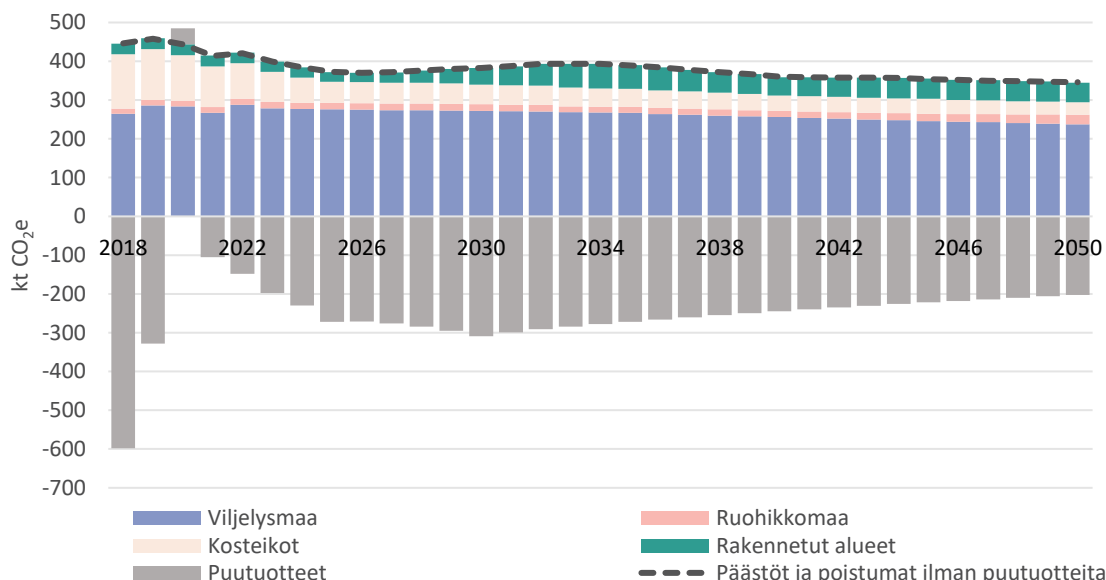
5.3 KIERTO-skenaario

KIERTO-skenaariossa metsätalouden arvonlisä kasvaa samalla, kun hakkuiden kokonaismäärä pienenee ja jatkuva metsänkasvatus yleistyy. Kattavilla biopohjaista kiertotaloutta tukevilla metsien hiilensidontaa lisäävillä ja tehostavilla metsänhoitotoimilla voidaan skenaariolaskelmien perusteella ylläpitää kuvion 28 mukaisesti Keski-Suomen metsien puustosta ja maaperästä muodostuvat metsämaat hiilinieluna ja vahvistaa nielu merkittävästi 2030- ja 2040-lukujen aikana. Erityisesti KIERTO-skenaarioon liittyy inventaariotarkastelussa näkymättömäksi jäävä merkittävä myönteinen välillinen ilmastovaikutus, kun jalostetummilla puutuotteilla voidaan korvata päästöintensiivisemmin tuotettuja materiaaleja ja tuotteita. Tätä kutsutaan ns. substituutiovaikutukseksi.



Kuvio 28: Keski-Suomen metsämaan päästöjen ja poistumien kehitys KIERTO-skenaariossa (positiiviset arvot kuvaavat päästöjä ja negatiiviset poistumia).

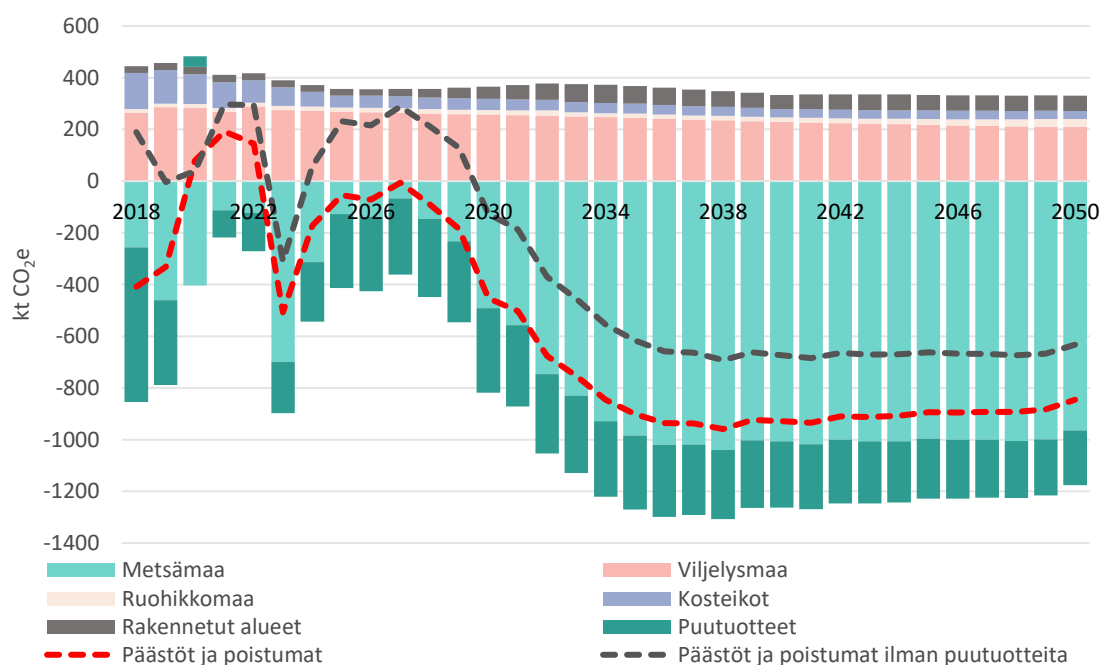
KIERTO-skenaariossa Keski-Suomen metsien hiilinielu kasvaisi vuoteen 2030 mennessä noin -490 kt CO₂e:ksi. Selkeästi 2020-luvulla näkyvään hiilinielujen ja -varastojen lisäykseen ei päästä skenaarion kiertotalouden ratkaisuilla ja puutuotteiden arvonlisää vahvistamalla. Nopeamman muutoksen aikaan saaminen edellyttäisi KIERTO-skenaariolaskelmien oletuksia kattavampaa koko maan tasolla tapahtuvaa metsänhoidon uudelleen ajattelua, voimakkaampaa ohjausta ja laajempaa hakkuiden määrän uudelleenarviointia. KIERTO-skenaarion vaikutuskanavat ovat hitaampia.



Kuvio 29: Keski-Suomen muiden maankäytön luokkien kuin metsämaiden päästöjen ja poistumien kehitys KIERTO-skenaariossa (positiiviset arvot kuvaavat päästöjä ja negatiiviset poistumia).

Kiertotalousajattelun henki näkyy maataloussektorilla ja vahvistaa samalla sen maankäyttöön liittyviä ilmastotoimia KIERTO-skenaariossa. Ruokailutottumusten murros kohti kasvispainotteisempaa ravintoa ohjaa osaltaan maatalouden tuotantoa ja sektorin maankäyttöä vähäpäästöisempään suuntaan. Kotimaisilla kuluttajilla on muutoksessa tärkeä rooli. Muiden maatalouden tuotantosuuntien vahvistuminen ja uudenlaisen liiketoiminnan syntyminen maaseutualueille lieventää karjatalouden vähenemisestä aiheutuvia vaikutuksia.

KIERTO-skenaariossa on muita skenaarioita selkeämpiä taloudellisia kannusteita siihen, että viljelystä pois jätetyiltä ja metsittämiskelvottomilta turvemaapelloilta saataisiin merkittäviä hehtaarikohtaisia päästövähennyksiä vettämisen tai nykyisin harvinaisen kosteikkoviljelyn keinoin. Kosteikkoviljelykasvien markkinoiden kehittyessä ratkaisut muuttuvat skenaariossa viljelijöille taloudellisesti järkeviksi vaihtoehtoiksi. Turvemaapeltojen keinovalikoima on riittävän monipuolinen kattamaan erilaisten tilojen ja lohkojen tarpeet. Keskisuomalaisessa maataloudessa otetaan laajasti käyttöön erilaisia hiiltä sitovia toimenpiteitä kivennäismailla. Viljelijöille maaperän orgaanisen aineen lisäämisen parantaa pellon tuottavuutta ja lisää viljelyn kannattavuutta.



Kuvio 30: Keski-Suomen maankäytön sektorin päästöjen ja poistumien kehitys KIERTO-skenaariossa (positiiviset arvot kuvaavat päästöjä ja negatiiviset poistumia).

Tärkein syy KIERTO-skenaarion kuvan 30 myönteisen hiilinielukehitykseen on muita skenaarioita selvästi matalammat hakkuutasot 2030- ja 2040-luvulla. Hakkuiden määrää pystytään leikkaamaan skenaariossa 2020-lopulta lähtien. Taustalla on raportin luvussa 4.3.3 kuvattu hakkuupainetta lieventävä kehitys, jossa metsäteollisuuden arvonlisä kasvaa uusien tuotteiden ja resurssitehokkuuden parantumisen myötä. Näin metsäalalla ylletään kansallisen kiertotalousohjelman primääriraaka-ainetavoitteen tasolle vuonna 2035. Ilman KIERTO-skenaariossa epäsuorasti oletettua markkinakysynnän ja kannustavien ohjausmekanismien kautta tulevaa hakkuiden määrän vähentämisen ja puun käytön tehostamisen painetta ei päästäisi vuodelle 2035 määritellylle tasolle. Pelkästään Keski-Suomen maakunnan ja sen toimijoiden omilla toimilla ei tällaista muutosta saataisi aikaan. Vuoden 2035 tavoitetaso ei sinänsä ole täysin epärealistinen, sillä se vastaa luvun 4.2.1. kuvion 30 mukaisesti esimerkiksi vuonna 2022 maakunnassa toteutunutta hakkuumäärää.

6 Johtopäätökset

Maankäyttösektori on keskeinen tekijä maakunnallisessa ilmastotyössä ja -tavoitteissa. Perinteisesti alueellisessa ilmastotyössä on keskitytty ilmastonmuutoksen hillitsemiseen ja taakanjakosektorin päästövähennystoimenpiteisiin, mutta jatkossa huomiota on kohdennettava yhä vahvemmin myös maankäyttösektorin hiilinieluihin, -varastoihin ja päästöihin. Etenkin metsien puuston kyky sitoa hiilidioksidia on ratkaisevassa roolissa ilmastotavoitteiden näkökulmasta. Keski-Suomen metsät ovat paitsi maakunnallisesti, myös kansallisesti arvokkaita hiilinieluja. Toisaalta kotimaisen puun kysynnän kasvun myötä voimistuneiden hakkuupaineiden sekä hakkuumäärien kasvun myötä tapahtuva hiilinielujen heikkeneminen vaikeuttaa maakunnallisen hiilineutraaliustavoitteiden onnistumismahdollisuuksia. Tämä selvitys osana Keski-Suomen LUMOAVA-hanketta tukee maakunnallisten ilmastotoimenpiteiden kohdentamista maankäyttösektorille.

Selvityksessä arvioitiin Keski-Suomen hiilinielujen ja -varastojen nykytilaa erilaisten osatarkasteluiden kautta. Hiilinielujen nykytilan analyysi vuodelta 2023 osoitti, että Keski-Suomen maankäyttösektori toimii hiilinieluna, joskin sektorin yhteenlaskettujen kasvihuonekaasupäästöjen ja -poistumien erotusta (-290 kt CO₂e) voidaan pitää kokoluokaltaan niukkana esimerkiksi suhteessa Keski-Suomen käyttöperustaisiin päästöihin (1 405 kt CO₂e vuonna 2022).

Maakunnan hiilinieluja vahvistavat metsien suuret nielut (-699 kt CO₂e), kun taas muut maankäyttösektorin luokat toimivat nykytilantarkastelun mukaisesti päästölähteinä. Rakennettujen alueiden ja ruohikkoalueiden merkitys kokonaisuudessa on pieni verrattuna metsiin, viljelysmaihin ja kosteikkoihin. Tulos alleviivaa Keski-Suomen metsien arvoa ilmakehän hiilidioksidipäästöjen sitoijina sekä toisaalta tarvetta tunnistaa keinoja metsien hiilinielujen turvaamiseksi ja vahvistamiseksi. Viljelysmaiden nettopäästöt (260 kt CO₂e) taas osoittavat tarpeen hiiltä sitovien viljelysmenetelmien valtavirtaistumiselle sekä toisaalta laskentatapojen kehittymiselle.

Viljelysmaiden, ruohikkoalueiden, kosteikkojen ja rakennettujen alueiden nettopäästöissä ei tunnistettu vuosien 2018 ja 2023 välillä suuria eroavaisuuksia, mutta vuoden 2018 metsien nettonielut olivat huomattavasti pienemmät kuin vuonna 2023. Metsien nettonielun vaihtelun taustalla on erityisesti vuositasolla vaihtelevat hakkuumäärät.

Paikkatietotarkasteluna tehdyt hiilinielujen ja -varastojen tarkastelut eivät huomioi hakkuiden vaikutusta, minkä vuoksi paikkatietoanalyysin valossa maakunnan hiilinielut ovat suuret verrattuna tilastoanalyysiin. Paikkatietoanalyysin valossa Keski-Suomen hiilinielut sekä puuston hiilivarastot sijoittuvat tasaisesti ympäri metsäistä maakuntaa. Suuria maaperän hiilivarastoja taas sijaitsee luoteisessa Keski-Suomessa kosteikko-, suo- ja peltoalueilla. Myös Joutsassa sijaitseva Leivonmäen kansallispuisto suoalueineen erottuu suurena yksittäisenä maaperän hiilivarastona. Maaperän päästöjä syntyy tasaisesti ympäri maakuntaa lukuun ottamatta rakennettuja alueita, joiden merkitys hiilinielujen, -varastojen ja maaperäpäästöjen näkökulmasta on vähäinen.

Maakuntatason mahdollisuudet vaikuttaa maankäyttösektorin nieluihin ja päästölähteisiin ovat rajalliset, mitä tulee esimerkiksi yksityisomisteisiin metsiin ja peltoihin. Yksi keskeisimmistä mahdollisuuksista vahvistaa poistumia ja pienentää maaperän päästöjä liittyy maakunnan maankäytön suunnitteluun, sillä negatiiviset maankäyttömuutokset, tällä hetkellä metsäkatot, heikentävät sekä hiilinieluja että -varastoja. Hiilivarasto heikkenee pysyvästi metsäkadon myötä toisen maankäyttömuodon korvatessa metsäpinta-

alaa. Suurin syy metsien pinta-alan pientymiselle on metsän raivaaminen muuhun käyttöön. Keski-Suomen metsäpinta-ala on vähentynyt tarkasteluvälillä 2019–2021 noin 8 300 hehtaarilla, mikä vastaa 0,6 % muutosta maakunnan metsäpinta-alassa. Eniten metsäpinta-alaa on poistunut Saarijärvellä. Vuosina 2012–2018 metsäpinta-ala taas kasvoi lähes kaikissa Keski-Suomen kunnissa (joskin lähtöaineisto oli vuosien 2019–2021 tarkasteluun verrattuna eri, eivätkä tulokset ole täysin verrannolliset keskenään).

Keski-Suomen maankäyttösektorin nielujen kehitystä tarkasteltiin kolmen eri skenaarion avulla. Perusuraa kuvaavan BAU-skenaarion mukaan Keski-Suomen metsät kääntyvät nettomääräisesti päästölähteiksi. Taustalla on oletettu puun kotimaisen kysynnän kasvun kautta syntyvä hakkuiden määrän merkittävä lisääntyminen, mikä supistaa keskisuomalaisten metsien hiilinielua koko tarkastelujänteen aikana. Skenaariossa oletettiin, että metsänhoitotaso pysyy maakunnassa nykyisellään. Vaikka onkin todennäköistä, että hakkuutason ylläpitäminen korostaisi aiempaa enemmän puubiomassan kasvua lisääviä metsänhoitotoimenpiteitä, BAU-skenaarion hakkuutasoilla ei voitaisi ilmastomyönteisilläkään metsänhoidollisilla toimenpiteillä kääntää nettomääräistä hiilinielujen kehitystä positiiviseen suuntaan, sillä poistuneen puun biomassa säilyy ennakoituilla hakkuumäärillä suurena suhteessa puuston biomassan kasvuun. Tämä Keski-Suomen skenaarioiden kuvaama haaste on myös kansallisesti tunnistettu.

Muiden Keski-Suomen maankäytön luokkien kasvihuonekaasupäästöt ja -poistumat pysyvät BAU-skenaariossa lähellä nykyistä. LISÄ-skenaarion hakkuut määrittyivät Luonnonvarakeskuksen laskeman Keski-Suomen suurimman ylläpidettävissä olevan hakkuukertymän pohjalta, joka vastaa lähes BAU-skenaarion hakkuumääriä. LISÄ-skenaarion mukaisilla metsänhoitotoimenpiteillä saadaan maakunnan metsät juuri ja juuri käännettyä netto-nieluiksi 2030-luvun alussa. Tämä edellyttäisi laajamittaisia ja onnistuneita puuston ja metsämaaperän hiilensidontaa vahvistavia toimenpiteitä. Hakkuupaineen vuoksi metsien nettomääräinen hiilinielu pysyisi suhteellisen pienenä ja maakunnan LULUCF-sektori kävisi ensin päästölähteenä 2040-luvun loppupuolella ja pysyttelisi sen jälkeen lähellä nollassa. Maataloustuotannon osalta LISÄ-skenaariossa näkyy maaperäpäästöjen vähentämiseksi käyttöön otettavat lisätoimet. Erityisesti turvemaapeltoihin kohdennettavat toimet vähentävät merkittävästi viljelysmaiden kasvihuonekaasupäästöjä.

Asetettujen ilmastotavoitteiden vaatimaan suureen hiilinielujen ja -varastojen lisäykseen ei päästä edes KIERTO-skenaarion biokiertoalouden ratkaisulla ja puutuotteiden arvonlisää vahvistamalla, vaikka skenaariossa oletettu hakkuutarpeen väheneminen johtaa kuitenkin 2030-luvulla Keski-Suomen metsien hiilivarastojen kasvuun. Skenaario nostaakin esiin kysymyksen siitä, kuinka hyvin metsän hiilensidontaan liittyviin alueellisiin ja myös kansallisiin ilmastotavoitteisiin voidaan lopulta vastata maankäytön ilmastoratkaisujen työkalupakin avulla, ja tarvitaanko laajempaa kiertotalouden, kestävä kehityksen ja uudenlaisen taloudellisen ajattelun välineistöä ja tavoitteita suuremman muutoksen mahdollistamiseksi ja esimerkiksi hakkuumäärien hillitsemiseksi. Toisaalta voidaan pohtia, onko tavoite primääriraaka-aineiden kokonaiskulutuksen jäädyttämisestä vuoden 2015 tasolle puun kaltaiselle uusiutuvalla materiaalille mielekäs.

Skenaariotarkastelujen perusteella metsien hiilinielujen ja -varastojen kasvu edellyttäisi merkittävää metsänhoidon uudelleen ajattelua sen ohjaus- ja kannustejärjestelmissä. Ennen kaikkea kyse olisi kuitenkin hakkuiden määrään puuttumisesta. Tämä ei koske pelkästään Keski-Suomea, vaan koko maata (ks. esim. Silfver ym., 2024). Luonnonvarakeskuksen metsien käyttö- ja hakkuumahdollisuuksia

tarkasteltavalla MELA-optimointimallilla tehtyjen metsien hiilitasetarkastelujen (Luke, 2023b) perusteella suurimmassa osassa Suomen maakunnista metsät muuttuvat ensi vuosikymmenen aikana päästölähteiksi, jos aines- ja energiapuun hakkuutasot vastaisivat suurinta mahdollista hakkuukertymää, joka on mahdollista ylläpitää heikentämättä tulevaisuuden hakkuumahdollisuuksia (Taulukko 2).

Taulukko 2: Luonnonvarakeskuksen MELA-laskelmien (Luke, 2023b) mukaiset Suomen maakuntien suurimpien ylläpidettävien hakkuukertymäärävioiden mukaiset metsien kasvihuonekaasutaseet kymmenvuotiskausittain 2019–2028, 2029–2038 ja 2039–2048 (positiiviset arvot kuvaavat päästöjä ja negatiiviset poistumia)

Maakunta	2019–2028	2029–2038	2039–2048
Ahvenanmaa	100 kt CO ₂ e	0 kt CO ₂ e	0 kt CO ₂ e
Uusimaa	-100 kt CO ₂ e	-200 kt CO ₂ e	-400 kt CO ₂ e
Varsinais-Suomi	400 kt CO ₂ e	400 kt CO ₂ e	300 kt CO ₂ e
Satakunta	800 kt CO ₂ e	900 kt CO ₂ e	900 kt CO ₂ e
Kanta-Häme	200 kt CO ₂ e	100 kt CO ₂ e	400 kt CO ₂ e
Pirkanmaa	-200 kt CO ₂ e	600 kt CO ₂ e	700 kt CO ₂ e
Päijät-Häme	-600 kt CO ₂ e	-200 kt CO ₂ e	-200 kt CO ₂ e
Kymenlaakso	0 kt CO ₂ e	100 kt CO ₂ e	-100 kt CO ₂ e
Etelä-Karjala	-500 kt CO ₂ e	-200 kt CO ₂ e	-200 kt CO ₂ e
Etelä-Savo	-100 kt CO ₂ e	300 kt CO ₂ e	400 kt CO ₂ e
Pohjois-Savo	-600 kt CO ₂ e	600 kt CO ₂ e	900 kt CO ₂ e
Pohjois-Karjala	-500 kt CO ₂ e	400 kt CO ₂ e	600 kt CO ₂ e
Keski-Suomi	-200 kt CO₂e	800 kt CO₂e	1 200 kt CO₂e
Etelä-Pohjanmaa	700 kt CO ₂ e	1 000 kt CO ₂ e	1 100 kt CO ₂ e
Pohjanmaa	200 kt CO ₂ e	500 kt CO ₂ e	700 kt CO ₂ e
Keski-Pohjanmaa	-100 kt CO ₂ e	100 kt CO ₂ e	200 kt CO ₂ e
Pohjois-Pohjanmaa	500 kt CO ₂ e	1 000 kt CO ₂ e	1 800 kt CO ₂ e
Kainuu	-1 500 kt CO ₂ e	-900 kt CO ₂ e	-800 kt CO ₂ e
Lappi	-9 800 kt CO ₂ e	-9 100 kt CO ₂ e	-8 900 kt CO ₂ e

Kehityksen kääntäminen Keski-Suomessa ja muualla Suomessa vaatisi erityisesti kokonaisvaltaisia muutoksia metsäsektorilla, mutta myös paikallisia valintoja ja niiden toteuttamista. Rajallisten vaikutusmahdollisuuksien vuoksi vastuuta ei voi säilyttää pelkästään yksittäisille toimijaryhmille tai sektoreille – oli sitten kyse yksityisistä metsänomistajista, puunostajista, kunnista tai viranomaisista – vaan työhön tarvittaisiin kaikkien yhteistä panosta, jossa kukaan ei saisi toimia maakunnassa

maankäyttösektorin ilmastotyön jarrumiehenä. Metsiin, peltoihin ja muuhun maankäyttöön liittyvää ilmastotyötä ei tule nähdä kansallisella tai paikallisella tasolla nollasummapelinä, jossa on vain voittajia ja häviäjiä. Lisähaasteensa yhteistyölle asettaa tarve integroida tarkasteluun ja ennen kaikkea maakunnalliseen tekemiseen yhtymäkohtineen ja kipupisteineen luonnon monimuotoisuuden näkökulma.

Lähteet

AFRY (2020): Selvitys turpeen energiakäytön kehityksestä Suomessa. Raportti työ- ja elinkeinoministeriölle. https://afry.com/sites/default/files/2020-08/tem_turpeen_kayton_analyysi_loppuraportti_0.pdf

AFRY (2023): Kotimaisten polttoaineiden toimintaympäristö ja käyttöarviot 2028 saakka. Loppuraportti yhtiöille Alholmens Kraft Oy, EPV Aluevarannot Oy, Keravan Energia Oy, Koneyrittäjät ry, Kuopion Energia Oy, Neova Oy, Oulun Energia Oy ja Tampereen Sähkölaitos Oy. https://afry.com/sites/default/files/2023-02/kotimaisten_polttoaineiden_toimintaymparisto_ja_kayttoarviot_2028_saakka_loppuraportti_8.2.2023.pdf

Alakangas, E. (2000). Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. VTT Tiedotteita 2045. Espoo: VTT. 172 s. + liitteet 17 s.

Alm, J., Wall, A., Myllykangas, J. P., Ojanen, P., Heikkinen, J., Henttonen, H. M., Laiho, R., Minkkinen, K., Tuomainen, T. & Mikola, J. (2023), A new method for estimating carbon dioxide emissions from drained peatland forest soils for the greenhouse gas inventory of Finland. Biogeosciences 20(18): 3827–3855. <https://doi.org/10.5194/bg-20-3827-2023>

Alva: Hiilineutraaliustiekartta https://alva.impact.page/alva/Home#?dlg=Dialog-Info&duid=1_0

Alva 5.2.2024 Tiedote: Uusia avauksia matkalla kohti hiilineutraalia energiantuotantoa. <https://www.alva.fi/blog/2024/02/05/uusia-avauksia-matkalla-kohti-hiilineutraalia-energiantuotantoa/>

Energiateollisuus (2022): Energia-alan vähähiilisyystiekartta. Päivitetty 1/2022. https://energia.fi/wp-content/uploads/2020/06/Energia-alan_vahahiilisyystiekartta_paivitetty_1_2022.pdf

Energiateollisuus (2024): Kaukolämpövuosi 2023. Tilasto. https://energia.fi/wp-content/uploads/2024/01/Kaukolampovuosi-2023_ennakkograafit-1.pdf

FCG (2023): Keski-Suomen maakuntakaavan 2040 tuulivoimamerkintöjen ja -määraysten kokonaisvaikutusten arviointi. 28.8.2023. Raportti Keski-Suomen liitolle. <https://keskisuomi.fi/wp-content/uploads/2023/09/Keski-Suomen-maakuntakaavan-2040-tuulivoimamerkintöjen-kokonaisvaikutusten-arviointi.pdf>

Hamberg, L., Henttonen, H. & Tuomainen, T. (2016): Puusta valmistettujen tuotteiden hiilivaraston muutoksen laskenta kasvihuonekaasuinventaariossa. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 73/2016. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-340-6>

Hynynen J., Salminen H., Haikarainen S., Huuskonen S., Lehtonen M., Siipilehto J., Ahtikoski An. & K.T. Korhonen (2020), Metsien käsittelyskenaariot. Metsäteollisuus ry:n ilmastotiekartta – Hiilivaraston kasvattaminen. Luonnonvarakeskus. https://assets-global.website-files.com/5f33b1bfbfd4fdb69d3afe623/5fd363c220057bccfdff506b_Ilmastotiekartta_mets%C3%A4skenaariot_loppuraportti_Luke_16_06_2020.pdf

Hyvönen, T., Heliölä, J., Koikkalainen, K., Kuussaari, M., Lemola, R., Miettinen, A., Rankinen, K. & Turtola, E. (2020). Maatalouden ympäristötoimenpiteiden ympäristö- ja kustannustehokkuus (MYTTEHO). Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 12/2020. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-919-4>

- IPCC (2006): 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. & Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl>
- Kansalliskirjasto (2024). Doria julkaisuarkisto. <https://www.doria.fi/>
- Keski-Suomen ELY-keskus (2022): Keski-Suomen maaseudun kehittämissuunnitelma vuosille 2023–2027. https://maaseutu.fi/wp-content/uploads/2024/04/Keski-Suomen_maaseudun_kehittamissuunnitelma_vuosille_2023-2027.pdf
- Keski-Suomen liitto (2022): Keski-Suomen ilmasto-ohjelma 2030. Keski-Suomen liitto. <https://keskisuomi.fi/wp-content/uploads/2021/12/Keski-Suomen-ilmasto-ohjelma-2030.pdf>
- Keski-Suomen liitto (2023): Keski-Suomen maakuntakaava 2040. Kaavaselostus. Maakuntavaltuusto 8.12.2023 § 21. https://keskisuomi.fi/wp-content/uploads/2023/12/Keski-Suomen-maakuntakaava-2040-kaavaselostus_maaokuntavaltuusto_081223_hyvaesytty.pdf
- Keski-Suomen liitto (2024): Väestömäärä ja ikärakenne. Keski-Suomi ennakoi. <https://info.keskisuomi.fi/vaestokehitys/>
- Keski-Suomen liitto & Keski-Suomen ELY-keskus (2022): Keski-Suomen oikeudenmukaista siirtymää koskeva suunnitelma. JTF-suunnitelma 23.12.2002 (Hyväksytty). <https://keskisuomi.fi/wp-content/uploads/2022/12/Keski-Suomen-oikeudenmukaista-siirtymaa-koskeva-suunnitelma.pdf>
- Koljonen, T., Kurttila, M. & Honkatukia, J. (2021): Suomen biotalouden kestävä kasvun skenaario. Taustaselvitys Suomen biotalousstrategian päivitykseen. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja 2021:57. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-327-986-5>
- Korhonen T., Hirvonen R., Rämetsä, J. & Karjalainen S. (2021): Turvetyöryhmän loppuraportti. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja 2021:24. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-327-856-1>
- Korhonen, T., Ihalainen, A., Viiri, H., Heikkinen, J., Henttonen, H. M., Hotanen, J.-P., Mäkelä, H., Nevalainen, S. & Pitkämä, J. (2013). Suomen metsät 2004–2008 ja niiden kehitys 1921–2008. Metsätieteen aikakauskirja vuosikerta 2013 numero 3 artikkeli 6025. <https://doi.org/10.14214/ma.6025>
- Kärkkäinen, L., Eyvindson, K., Haakana, M., Hirvelä, H., Kniivilä, M., Korhonen, K.T., Lintunen, J., Mutanen, A., Myllykangas, J.-P., Rätty, M., Torvelainen, J. & Viitanen, J. (2023), Metsien ja metsäsektorin muutos, hiilitase ja hakkuumahdollisuudet: Maakunnittaiset tarkastelut: Itä- ja Pohjois-Suomen maakunnat sekä Etelä-Karjala. 2. painos. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 124/2023. Luonnonvarakeskus. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-861-4>
- Kärkkäinen, L., Haakana, M., Heikkinen, J., Helin, J., Hirvelä, H., Jauhiainen, L., Laturi, J., Lehtonen, H., Lintunen, J., Niskanen, O., Ollila, P., Peltonen-Sainio, P., Regina, K., Salminen, O., Tuomainen, T., Uusivuori, J., Wall, A. & Packalen, T. (2019): Maankäyttösektorin toimien mahdollisuudet ilmastotavoitteiden saavuttamiseksi. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 67/2018. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-287-618-8>
- Lehtonen, A., Aro, L., Haakana, M., Haikarainen, S., Heikkinen, J., Huuskonen, S., Härkönen, K., Hökkä, H., Kekkonen, H., Koskela, T., Lehtonen, H., Luoranen, J., Mutanen, A., Nieminen, M., Ollila, P., Palosuo, T., Pohjanmies, T., Repo, A., Rikkonen, P., Rätty, M., Saarnio, S., Smolander, A., Soinne, H., Tolvanen, A., Tuomainen, T., Uotila, K., Viitala, E.-J., Virkajärvi, P., Wall, A. & Mäkipää, R. (2021):

Maankäyttösektorin ilmastotoimenpiteet: Arvio päästövähennysmahdollisuuksista. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 7/2021. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-152-3>

Lehtonen, H., Saarnio, S., Rantala, J., Luostarinen, S., Maanavilja, L., Heikkinen, J., Soini, K., Aakkula, J., Jallinoja, M., Rasi, S. & Niemi, J. (2020): Maatalouden ilmastotiekartta. MTK ry. <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2020082161330>

Lehtonen, A., Aro, L., Haakana, M., Haikarainen, S., Heikkinen, J., Huuskonen, S., Härkönen, K., Hökkä, H., Kekkonen, H., Koskela, T., Lehtonen, H., Luoranen, J., Mutanen, A., Nieminen, M., Ollila, P., Palosuo, T., Pohjanmies, T., Repo, A., Rikkonen, P., Rätty, M., Saarnio, S., Smolander, A., Soinne, H., Tolvanen, A., Tuomainen, T., Uotila, K., Viitala, E.-J., Virkajärvi, P., Wall, A. & Mäkipää, R. (2021): Maankäyttösektorin ilmastotoimenpiteet: Arvio päästövähennysmahdollisuuksista. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 7/2021. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-152-3>

Lehtonen, I., Venäläinen, A. & Gregow, H. (2020): Ilmastomuutoksen vaikutukset Suomessa metsänhoidon näkökulmasta. Raportteja No. 2020:5. Ilmatieteen laitos. <http://hdl.handle.net/10138/319348>

Liski, J. & Westman, C.J. (1997). Carbon storage in forest soil of Finland. Biogeochemistry 36: 261–274.

Lounasheimo J., Cederlöf M. & I. Mäntylä (2023): Ilmastovuosisikertomus 2023. Ympäristöministeriön julkaisuja 2023:27. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-361-265-5>

Luke (2015); Ilmastomuutos kiihdyttää puiden kasvua Suomessa. Päivitetty: 27.3.2015. Ilmasto-opas.fi. <https://www.ilmasto-opas.fi/artikkelit/ilmastomuutos-kiihdyttaa-puiden-kasvua-suomessa>

Luke (2022a): MELA Tulospalvelu, VMI12 (2014–2018). <http://www.luke.fi/mela/metsalaskelmat/>

Luke (2022b): Hakkuukertymä ja puuston poistuma. <https://www.luke.fi/fi/tilastot/hakkuukertyma-ja-puuston-poistuma>

Luke (2023a): MELA ja metsälaskelmat. <http://mela2.metla.fi/mela/index.html>

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

Luke (2023c): Puuston vuotuinen kasvu metsä- ja kitumaalla. Tilastotietokanta. https://statdb.luke.fi/PxWeb/pxweb/fi/LUKE/LUKE_04%20Metsa_06%20Metsavarat/1.24_Puuston_vuotuinen_kasvu_metsa_ja_kitu.px/

Luke (2024a): Metsätilastot. Luonnonvarakeskus. <https://www.luke.fi/fi/tilastot>

Luke (2024b): VMI Laskentapalvelu. Luonnonvarakeskus. <https://vmilapa.luke.fi/>

Luke (2024c): Hakkuukertymä ja puuston poistuma 2023 (ennakko), julkaistu 8.2.2024. <https://www.luke.fi/fi/tilastot/hakkuukertyma-ja-puuston-poistuma/hakkuukertyma-ja-puuston-poistuma-2023-ennakko>

Luke (2024d): Maataloustilastot. Luonnonvarakeskus. <https://www.luke.fi/fi/tilastot>

Luke (2024e): Maatalous- ja LULUCF-sektorin kasvihuonekaasuinventaario - kuvaus. <https://www.luke.fi/fi/seurannat/maatalous-ja-lulucfsektorin-kasvihuonekaasuinventaario/maatalous-ja-lulucfsektorin-kasvihuonekaasuinventaario-kuvaus>

Luke (2024f): Puun markkinahakkuut kunnittain. Tilastotietokanta.

https://statdb.luke.fi/PxWeb/pxweb/fi/LUKE/LUKE_04%20Metsa_02%20Rakenne%20ja%20tuotanto_06%20Puun%20markkinahakkuut_04%20Vuositilastot/12_Kunnittaiset_hakkuut.px/

Lund P. (2023): Oikeudenmukainen energiasiirtymä aluetasolla. Suomen ilmastopaneelin julkaisuja 2/2023. <https://www.ilmastopaneeli.fi/wp-content/uploads/2023/03/Ilmastopaneelin-julkaisuja-2-2023-oikeudenmukainen-energiiasiirtyma-alueetasolla.pdf>

Maa- ja metsätalousministeriö (2022): Valtioneuvoston selonteko maankäyttösektorin ilmastosuunnitelmasta. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja 2022:15. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-366-388-6>

Maa- ja metsätalousministeriö (2023): Kansallinen metsästrategia 2035. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja 2023:22. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-366-740-2>

Maanvilja, L., Tuomainen, T., Aakkula, J., Haakana, M., Heikkinen, J., Hirvelä, H., Kilpeläinen, H., Koikkalainen, K., Kärkkäinen, L., Lehtonen, H., Miettinen, A., Mutanen, A., Myllykangas, J.-P., Ollila, P., Viitanen, J., Vikfors, S. & Wall, A. (2021), Hiilineutraali Suomi 2035: Maankäyttö- ja maataloussektorin skenaariot. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2021:63.

<https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-263-3>

Maanmittauslaitos (2023): Metsätalouden perusteet ja käsitteet.

<https://ak.maanmittauslaitos.fi/2023/metsatalous/metsatalouden-perusteet-ja-kasitteet>

Metsäkeskus (2020): Keski-Suomen metsäohjelma 2021–2025.

<https://www.metsakeskus.fi/sites/default/files/document/alueellinen-metsaohjelma-keski-suomi-2021-2025.pdf>

Metsäteollisuus (2024): Tilastot. Metsäteollisuus ry. <https://www.metsateollisuus.fi/tilastot>

Miettinen, A., Aakkula, J., Koikkalainen, K., Lehtonen, H., Luostarinen, S., Myllykangas, J.-P., Sairanen, A. & Silfver, T. (2022): Hiilineutraali Suomi 2035 – Maatalouden lisätoimenpiteiden ja ruokavaliomuutoksen päästövähennysvaikutukset: Synteesiraportti. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 73/2022. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-500-2>

Ojanen, P. & Minkkinen, K. (2020): Metsäojitetun suon ilmastovaikutukset. Suo 7 (2): 189–198.

<https://helda.helsinki.fi/server/api/core/bitstreams/c1299e27-1c9d-4b65-8183-559f571fe42f/content>

Repola, J., Ojansuu, R. & Kukkola, M. (2007): Biomass functions for Scots pine, Norway spruce and birch in Finland. Metla Working Paper 53. Finnish Forest Research Institute. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-951-40-2046-9>

Routa, J. & Huuskonen, S. (toim.) (2022): Jatkuva- ja kiertotalouden metsänkasvatus: Synteesiraportti.

Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 40/2022. Luonnonvarakeskus. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-427-2>

Räty, T., Häkkinen, T. & Pesu, J. (2021): Pitkäaikaisten biohiilivarastojen arviointimenetelmät: Esiselvitys puutuotteista, Tuloruudut. Luonnonvarakeskus. <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2021081843543>

Räty, L., Kärkkäinen, L. & Korhonen, K. T. (2023), VMI-aineistot ja laskennat. Julkaisussa: Kärkkäinen, L., Eyvindson, K., Haakana, M., Hirvelä, H., Kniivilä, M., Korhonen, K.T., Lintunen, J., Mutanen, A.,

Myllykangas, J.-P., Rätty, M., Torvelainen, J. & Viitanen, J. (2023): Metsien ja metsäsektorin muutos, hiilitase ja hakkuumahdollisuudet: Maakunnittaiset tarkastelut: Itä- ja Pohjois-Suomen maakunnat sekä Etelä-Karjala. 2. painos. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 124/2023. Luonnonvarakeskus.

<http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-861-4>

Savolainen, H., Niemistö, J., Heikkinen, M., Seppälä, J., Springare, S., Salminen, J., Savolahti, M., Soimakallio, S., Ruokamo, E., Koljonen, T., Harlin, A., Keränen, J., Vainio, T., Vainio-Kaila, T., Kivikytö-Reponen, P., Orko, I., Karhu, M., Lehtonen, H., Joutsjoki, V., Niemeläinen, O., Kivinen, M., Eerola, T., Heino, N. & Kaariaho, T. (2024): Suomen kansantalouden materiaalivirrat ja niiden vaikutukset: Toteutunut kehitys ja kiertotalouden skenaariot vuodelle 2035. Valtioneuvoston julkaisuja 2024:8.

<https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-759-1>

Seppälä, J., Kanninen, M., Vesala, T., Uusivuori, J., Kalliokoski, T., Lintunen, J., Saikku, L., Korhonen, R. & Repo, A. (2015): Metsien hyödyntämisen ilmastovaikutukset ja hiilinielujen kehittyminen.

Ilmastopaneelin raportti 3/2015. Suomen ilmastopaneeli. <https://www.ilmastopaneeli.fi/wp-content/uploads/2018/10/Metsien-hyodyntamisen-ilmastovaikutukset-ja-hiilinielujen-kehittyminen.pdf>

Silfver, T., Aakkula, J., Haakana, M., Haikarainen, S., Hirvelä, H., Hynynen, J., Mikola, J., Mutanen, A., Myllykangas, J.-P., Ollila, P., Salminen, H., Tuomainen, T., Viitanen, J., Vikfors, S. & Wall, A. (2024): Maankäyttösektorin ilmastosuunnitelman skenaariotarkastelun päivitys. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 4/2024. Luonnonvarakeskus. <https://jukuri.luke.fi/handle/10024/554539>

Statistics Finland (2020): Greenhouse gas emissions in Finland 1990 to 2018. National Inventory Report under the UNFCCC. 9.4.2020. <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/fin-2020-nir-9apr20.zip>

Statistics Finland (2024): Greenhouse gas emissions in Finland 1990 to 2022. National Inventory Report under the UNFCCC. Submission to the European Union. 15 March 2024.

https://stat.fi/media/uploads/tup/khkinv/fi_nid_eu_2022_2024-03-15_v2.pdf

Syke (2018a): CORINE Land Cover 2018. Paikkatietoaineisto.

<https://ckan.ymparisto.fi/dataset/%7B0B4B2FAC-ADF1-43A1-A829-70F02BF0C0E5%7D>

Syke (2018b): Monimuotoisuudelle tärkeät metsäalueet Suomessa - Puustoisten elinympäristöjen monimuotoisuusarvojen Zonation-analyysien loppuraportti. <https://helda.helsinki.fi/items/7f18c3b7-50c0-432b-a62e-f9955d0b2de1>

Syke (2023a): Kuntien ja alueiden käyttöperusteiset kasvihuonekaasupäästöt.

<https://paastot.hiilineutraalisuomi.fi/>

Syke (2023b): Maankäyttöluokkien hiilitaseet ja arvokkaiden luonto- ja hiilikohteiden tunnistaminen metsäekosysteemeissä – Hankeraportti.

Syke (2024): Liiteri tietopalvelu. Suomen ympäristökeskus. <https://liiteri.ymparisto.fi/>

Tilastokeskus (2023b): Kasvihuonekaasupäästöt maakunnittain, 2011–2021. Tilasto.

https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin_khki/statfin_khki_pxt_122d.px/

Valkonen, S. (2022): Jatkovapeitteinen kasvatusta – mitä se on? Julkaisussa: Routa, J. & Huuskonen, S. (toim.) (2022), Jatkovapeitteinen metsänkasvatusta: Synteesiraportti. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 40/2022. Luonnonvarakeskus. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-427-2>

Valtioneuvoston kanslia (2021): Uusi suunta: Ehdotus kiertotalouden strategiseksi ohjelmaksi. Valtioneuvoston julkaisuja 2021:1. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/162654>

Valtioneuvoston kanslia (2022): Suomen biotalousstrategia – Kestävästi kohti korkeampaa arvonlisää. Valtioneuvoston julkaisuja 2022:3. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-547-4>

Valtioneuvosto (2023): Vahva ja välittävä Suomi. Pääministeri Petteri Orpon hallituksen ohjelma 20.6.2023. Valtioneuvoston julkaisuja 2023:58. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-763-8>

Viitanen, J., Vikfors, S. & Wall, A. (2021): Hiilineutraali Suomi 2035: Maankäyttö- ja maataloussektorin skenaariot. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2021:63. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-263-3>

Ympäristöministeriö (2023): Ilmastovuosikertomus 2023. Ympäristöministeriön julkaisuja 2023:27. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-361-576-2>

Liitteet

Liite 1: Nykytila- ja skenaariolaskennan yksityiskohtainen menetelmäkuvaus

Liite 2: Paikkatietoanalyysin maanpeiteluokkakohtaiset oletukset

Liite 3: Kuntakohtaiset tiedot nettohiilistä/nettopäästöistä

Liite 4: Skenaariolaskennan epävarmuudet

Liite 1: Nykytila- ja skenaariolaskennan yksityiskohtainen menetelmäkuvaus

Nykytilan ja skenaarioiden laskenta kattoi Keski-Suomen maakunnan maankäytön, maankäytön muutosten ja metsätalouden LULUCF-sektorin kasvihuonekaasupäästöjen ja -poistumien toteutuneen kehityksen vuosina 2018 ja 2023 sekä skenaariot vuosille 2024–2050. Mukana oli maankäyttöluokista metsämaa, viljelysmaa, ruohikkoalueet, kosteikot ja rakennettu maa sekä puutuotteet. Luokkien määritelmät perustuvat kansallisen kasvihuonekaasuinventaarion määritelmiin (Statistics Finland, 2024, Ch. 6.2). Maankäyttöluokkien maaperä jaettiin kivennäis- ja turvemaihin.

LULUCF-sektorin kasvihuonekaasupäästöinä huomioitiin skenaariolaskennassa hiilidioksidi (CO₂), typpioksiduuli (N₂O) ja metaani (CH₄). Päästöjen ja poistumien määrät ilmoitettiin hiilidioksidiekvivalentteina (CO₂e), joissa metaanin ja dityppioksidin ilmakehän lämmityspotentiaali on muunnettu vastaamaan hiilidioksidin lämmityspotentiaalia (Global Warming Potential, GWP) sadan vuoden tarkastelujänteellä. Metaanille käytettiin kerrointa 28 ja dityppioksidille kerrointa 265. Kertoimet perustuivat hallitustenvälisen ilmastomuutospaneelin IPCC:n (2013) viidenteen arviointiraporttiin (GWP = AR5). Ne ovat samat kuin uusimmassa kansallisessa kasvihuonekaasuinventaariossa (Statistics Finland, 2024).

Laskenta kattoi biomassojen, kuolleen orgaanisen aineksen ja maaperän hiilivarastojen muutokset. Lisäksi mukana olivat metsien typpilannoituksen ja maaperän tynen mineralisaation dityppioksidipäästöt sekä ojituksen metaanipäästöt. Laskennassa oli mukana vain LULUCF-sektorin kasvihuonekaasupäästöt ja -poistumat. Kansallisessa kasvihuonekaasuinventaariorissa osa maaperään liittyvistä päästöistä raportoidaan maataloussektorilla (Statistics Finland, 2024). Näitä päästöjä ovat lannoitteista, kasvitähteistä ja maiden viljelystä syntyvä dityppioksidi sekä maaperän kalkituksesta ja ureasta vapautuva hiilidioksidi (ks. esim. Luke. 2024e).

Alueellinen tarkastelutaso ja käytettävissä oleva aineisto ja laskentamenetelmät asettivat rajoitteensa tarkastelun tarkkuudelle ja kattavuudelle. Tehtyjä rajoituksia ja yksinkertaistuksia kuvataan päästöluokkien skenaariolaskennan tarkemmissa esittelyissä liitteen alaluvuissa. Keski-Suomen nykytilanlaskennan ja kansallisen kasvihuonekaasuinventaarion (Statistics Finland, 2024) yhteneväisyydet ja eroavaisuudet esitetään liitetaulukossa 1.

Liitetaulukko 1. Kansallisen kasvihuonekaasuinventaarion (Statistics Finland, 2024) ja Keski-Suomen hiilinielujen ja -varastojen nykytilanarvion menetelmien vertailu.

	Kansallinen kasvihuonekaasuinventaarior (Statistics Finland, 2024)	Keski-Suomen laskenta
Laskennan rajaus	Kattaa koko Suomen LULUCF-sektorin (maankäytön, maankäytön muutosten ja metsätalouden) kasvihuonekaasupäästöt ja -poistumat. Kattaa maankäyttöluokista metsämaan, viljelysmaan, ruohikkoalueet, kosteikot, rakennetun maan sekä puutuotteet. LULUCF-sektorin päästölaskenta kattaa hiilidioksidin (CO ₂), typpioksiduulin (N ₂ O) ja metaanin (CH ₄). Ilmoitetaan hiilidioksidiekvivalentteina (CO ₂ e).	Rajaus vastaa kansallista laskentaa. Kattaa Keski-Suomen maakunnan.
Metsämaat	Metsämaiden hiilinielujen ja -varastojen laskenta kattaa puuston hiilinielun, puuston poistuman, metsämaiden maaperän päästöt sekä lannoituksen dityppioksidipäästöjä (N ₂ O). Puuston hiilinielu lasketaan LULUCF-sektorin varastomuutosmenetelmää hyödyntäen. BCEF-kertoimet arvioidaan tuoreimmassa laskennassa biomassafunktioiden avulla.	Metsämaiden hiilinielut ja -varastojen laskenta vastaa periaatteiltaan kansallista laskentaa. BCEF-kertoimet poikkeavat tuoreimmasta kansallisesta laskennasta. Ne arvioitiin vuoden 2020 kasvihuonekaasuinventaariorin tietojen pohjalta Etelä-Suomen kerrointietojen pohjalta. Metsän maaperälaskenta kansallista laskentaa, mutta kangasmaiden päästöt laskettiin kertomalla kangasmaan pinta-alat inventaarioraportin Etelä-Suomen päästökertoimilla. Turvemaiden

		<p>ketoimet ovat peräisin kansallisesta inventaariosta.</p> <p>Metsämaa kattoi laskelmissa metsä- ja kitumaan yhtenä kokonaisuutena.</p>
Viljelysmaat	<p>Jaettu kivennäis- ja turvemaihin. Kivennäismaiden kertoimien määrittely Yasso-maahiilinmallin mukaisesti.</p> <p>Osa viljelysmaan päästöistä raportoidaan maataloussektorilla (lannoitteista, kasvitähteistä ja maiden viljelystä syntyvä N₂O ja kalkituksesta ja ureasta vapautuva CO₂).</p> <p>Viljelysmaaksi muutettujen alueiden päästöt ja poistumat lasketaan 20 vuoden tarkasteluperiodille.</p>	<p>Jako kivennäis- ja turvemaihin vastaa kansallista laskentaa. Kivennäismaiden kertoimien määrittelyssä hyödynnettiin kansallisen inventaarion mukaisia Etelä-Suomen kertoimien tietoja.</p> <p>Turvemaiden laskennassa käytettiin yksivuotisia kasveja ja nurmea kasvavia peltoja koskevia inventaariokertoimia.</p> <p>Laskentaan sisältyi viljelysmaaksi muutettujen alueiden vaikutukset.</p> <p>Maataloussektorilla raportoitavat maaperäpäästöt eivät olleet mukana tarkastelussa.</p>
Ruohikko-alueet	<p>Huomioi ruohikkona säilyvän hoidetun maa-alueen maaperän orgaanisen aineksen ja karikkeen muutoksen.</p> <p>Kivennäismaalla sijaitsevien ruohikkomaiden hiilivarastoissa ei oleteta tapahtuvan vuoden aikana muutoksia.</p> <p>Kuolleen karikkeen varastomuutokset kivennäis- ja turvemaihin tulkitaan merkityksettömiksi.</p> <p>Ruohikkoalueiksi muutettujen alueiden päästöt ja poistumat lasketaan 20 vuoden tarkasteluperiodille.</p>	<p>Ruohikkomaiden päästöjen ja poistumien laskentamenetelmät ja rajaukset vastaavat kansallista inventaariolaskentaa.</p> <p>Tarkennuksena ja poikkeuksena oli turvemaalla olevien ruohikkojen orgaanisen aineksen päästökerroin, joka määriteltiin Etelä-Suomen hehtaarikohtaisella kertoimella.</p>
Kosteikot	<p>Kattaa turvetuotantoalueet, rakennetut kosteikot ja vesialueet kuten tekojärvet, luonnonvedet ja suot. Ihmistoiminnan vaikutuspiirin ulkopuoliset luonnontilaiset kosteikot ovat tarkastelun ulkopuolella.</p> <p>Turvetuotantoalueiden dityppioksidi- ja metaanipäästöt sisällytetään LULUCF-sektorin</p>	<p>Laskennassa rajauduttiin pääosin turvetuotantoalueisiin.</p> <p>Turvetuotantoalueiden hiilidioksidipäästöt laskettiin eteläisellä havumetsävyöhykkeellä olevien turvetuotantokenttien, turveaumojen ja ojien inventaariokertoimien avulla.</p>

	<p>ei-hiilidioksidiperäisiin kasvihuonekaasupäästöjen ryhmään.</p> <p>Kosteikoiksi muutettujen alueiden päästöt ja poistumat lasketaan 20 vuoden tarkasteluperiodille.</p>	<p>Kosteikkolaskelmissa ovat mukana turvetuotantoalueiden dityppioksidi- ja metaanipäästöt, jotka luokitellaan kansallisessa laskennassa LULUCF-sektorin ei -hiilidioksidiperäisten kasvihuonekaasupäästöjen ryhmään.</p> <p>Kosteikoksi muuntuneiden alueiden päästöt ja poistumat laskettiin inventaarion kertoimilla.</p>
Rakennetut alueet	<p>Laskenta huomioi CO₂-päästöt, jotka aiheutuvat elävän biomassan ja kuolleen puun poistumassa maankäytön muutoksen seurauksena ja maankäytön muutoksen jälkeisestä orgaanisen aineksen ja karikkeen muutoksesta.</p> <p>Tarkasteluperiodi on 20 vuotta. Mikäli elävä biomassa jää jätetään kasvamaan alueelle, sen vaikutuksia ei arvioitu. Rakennettuna alueena säilyvien kivennäis- ja turvemaan orgaanisen aineksen ja karikkeen hiilivarastoissa ei tapahdu muutoksia.</p>	<p>Vastaa kansallista inventaariolaskentaa. Laskennassa käytetään inventaarion kertoimia.</p>

Skenaarioiden yleiset reunaehdot perustuvat Savolaisen ym. (2024, luku 2.5) raportin mukaisiin oletuksiin. Talouden kasvu pohjautuu Valtiovarainministeriön pitkän ajan kasvuarvioon, jonka perusteella bruttokansantuotteen vuosittainen kasvu on vuoteen 2035 keskimäärin 1,3 %. Yksinkertaisuuden vuoksi vuosikasvuvauhdin oletettiin jatkuvan skenaarioissa samansuuruisena tarkasteluvuoteen 2050 saakka. Julkisen talous säilyisi skenaarioissa alijäämäisenä Valtiovarainministeriön pitkän aikavälin kestävyyslaskelman mukaisesti. Tärkeimpien fossiilisten polttoaineiden ja päästöoikeuden hintakehitysten osalta hyödynnettiin Savolaista ym. (2024) mukailen Euroopan komission suosituksia, joita on käytetty mm. ilmasto- ja energiapolitiikan vaikutuksia arvioineen kansallisen HIISI-hankkeen skenaarioiden taustaoletuksina. Sähkön ja lämmön tuotannossa vesi-, tuuli-, aurinko- ja ydinvoiman sekä lämpöpumppujen tuotantomäärät olivat skenaariossa lähellä energia-alan vähähiilisyystiekartan (Energiateollisuus, 2022) mukaista vähähiiliskenaariota kuten myös yhteistuotantolaitosten ja kaukolämpölaitosten polttoainejakaumat. Erityisesti tuulivoima kasvaisi kansallisella tasolla kaikissa skenaarioissa merkittävästi. Vuoteen 2035 mennessä olisi luovuttu kivihillen käytöstä ja turpeen käyttö olisi muuttunut koko maan tasolla marginaaliseksi.

Liite 1.1 Metsämaa

Metsämaa muodostuu puustosta ja metsien maaperästä. Metsävaroja koskevat pohjatiedot koostettiin pääosin Luonnonvarakeskuksen aineistoista. Niihin sisältyivät avoimesti saatavilla oleva Valtakunnan metsien inventoinnin VMI12-13-aineisto (Luke, 2024b), MELA-tulospalvelu (Luke, 2022a ja 2023b), metsätilasto (Luke, 2024a) sekä metsävaroja, markkinahakkuita, hakkuukertymiä ja puuston poistumia

koskevat tilastot ja tilastojulkistukset (Luke, 2024c). Menetelmien ja kertoimien lähteenä hyödynnettiin Suomen kasvihuonekaasuinventaarion (Statistics Finland, 2024 ja 2020) tietoja. Sen lisäksi skenaariolaskennassa pyrittiin myös yhtenevyyteen Luonnonvarakeskuksen MELA-ohjelmistolla (Luke, 2023a) laatimien alueellisten hakkuumahdollisuusarvioiden ja niiden yhteydessä laskettujen maakuntien metsien kasvihuonekaasutaseiden kanssa (ks. Luke, 2023b).

Metsämaa kattoi metsä- ja kitumaan yhtenä kokonaisuutena. Tarkastelu ei sisältänyt joutomaita eikä metsätilastojen metsätiet, puuvarastoalueet ym. sisältäviä ns. muita metsämaita. Rajausta ei vaikuta tuloksiin, koska nämä alueet ovat pääosin puuttomia ja muodostavat nykyisin ainoastaan reilut 2 % keskisuomalaisesta metsätalousmaasta (Luke, 2024a). Tarkasteltavat puulajit olivat tilastojen mukaisesti mänty, kuusi, koivu ja muut lehtipuut. Turvemaiden ojitustiedot perustuivat VMI-aineistoihin (Luke, 2024b; Korhonen ym., 2013). Ojitetut suot luokiteltiin kuivatusasteen mukaan äskettäin ojitetuiksi soiksi eli ojikoiksi, ojituksen vaikutuksesta kasvillisuudeltaan jo selvästi muuttuneiksi soiksi eli muuttumiksi sekä turvekankaiksi (luokituksista lisää esim. Maanmittauslaitos, 2023). Kehitysluokalla kuvataan metsän puuston metsänhoidollista ja puuntuotannollista kehitysvaihetta arviointihetkellä. Laskennassa hyödynnettiin VMI-laskentapalvelun (Luke, 2024b) 20 vuoden välein tehtyä ikäluokitusta. Sen pohjalta metsät jaettiin pääpuulajin ja maaperätyypin mukaisesti seuraaviin kehitysluokkiin:

- aukea uudistusala (ikäryhmä 0 vuotta)
- taimikko (ikäryhmä 1–20 vuotta)
- nuori kasvatusmetsikkö (ikäryhmä 21–40 vuotta)
- varttunut kasvatusmetsikkö (ikäryhmä 41–60 vuotta)
- uudistus kypsä metsikkö (ikäryhmät 61–80, 81–100 ja 101–120 vuotta).

Lisäksi eroteltiin erikseen yli 120-vuotiaat metsäalueet omaksi luokakseen pääpuulajin ja maaperän mukaan. Laskennassa käytetyn mallin rajoitteiden vuoksi puuston kehitysluokat määriteltiin myös kitumaalle, vaikka metsän puuntuotannollista laatua arvioidaan yleensä vain puunkasvatukseen tarkoitettulla metsämaalla.

Metsäalue kehittyy ajan kuluessa. Esimerkiksi aukea kasvaa ajan myötä taimikoksi ja edelleen nuoreksi kasvatusmetsiköksi. Uudistuskypsä metsä muuttuu puolestaan hakkuiden myötä aukeaksi tai siirtyy hakkaamattomana yllä määriteltujen vanhojen metsien kehitysluokkaan. Tämä kehitys huomioitiin laskennassa siirtämällä vakiomääräinen osuus tietyn puulajin ja maaperätyypin mukaan luokitellun kehitysluokan metsäalasta seuraavaan kehitysluokkaan. Oletuksen mukaisesti esimerkiksi lähtötilanteessa kivennäismaalla sijaitseva mäntytaimikkohehtaari muuttuu lineaarisesti 20 vuoden aikana kokonaan nuoreksi kasvatusmetsikköhehtaariksi. Hakkuiden myötä osa metsäalueista palautuu ensimmäiseen kehitysluokkaan puuttomaksi aukeaksi. Laskelmissa oletettiin, että hakkuista syntyvä aukea istutetaan taimikoksi heti hakkuuta seuraavana vuonna. Suojelupinta-alojen ja rajoitetun puuntuotannon pinta-alojen oletettiin säilyvän nykytasolla.

Metsäkato huomioitiin laskelmissa poistamalla vuosittain puulajeittain ja maaperätyypeittäin määritellyistä kehitysluokista hehtaarimäärät, jotka määrittyivät pinta-alaosuuden perusteella maakunnan metsäkadon vuosimäärästä. Muuhun maankäyttöön siirtyvä metsämaan kokonaismäärä ja metsiksi muuttuvat alueet määrittyivät muiden maankäyttöluokkien oletettujen maankäytön vuosimuutosten perusteella. Näistä muutoksista kerrotaan menetelmäliitteen muiden maankäyttöluokkien oletusten kuvauksissa. Metsäkadon määriä tulee tarkastella skenaarioiden osalta

ainoastaan yleispiirteisinä arvioina ja mittaluokan kuvaajina. Tarkastelu ei huomionnut esim. taajama-alueiden sisälle jääviä puistoja, viheralueita ja muita rakentamattomia alueita.

Puuston hiilinielu laskettiin biomassojen kasvun ja poistumien erotuksena kasvihuonekaasuinventaarion (Statistics Finland, 2024, Ch. 6.4.2 ja Appendix 6_c) maankäytön ja metsätalouden LULUCF-sektorin laskennassa käyttämää varastomuutosmenetelmää hyödyntäen. Keski-Suomen puuston runkopuukuutioina mitattu vuosittainen kasvu muunnettiin BCEF-kertoimien avulla biomassaksi. Runkopuun kasvukertoimet pohjautuivat Luonnonvarakeskuksen maakuntatason tietoihin puuston vuotuisesta kasvusta metsä- ja kitumaalla (Luke, 2023c). Kertoimia muokattiin laskentamallia varten painokertoimilla huomioimaan paremmin metsän puulajin, maaperätyypin ja kehitysluokan. Kerroinmuokkauksessa hyödynnettiin Luonnonvarakeskuksen aineistoja (erityisesti Luke 2023b, 2024a ja 2024c).

BCEF-kertoimia ei laskettu lähtötietojen puutteellisuuden vuoksi tuoreimman kasvihuonekaasuinventaarion mukaisesti Repolan ym. (2007) biomassafunktioiden avulla, vaan ne arvioitiin yksinkertaisesti aiemman inventaarion (Statistics Finland, 2020) Etelä-Suomen kerrointietojen pohjalta. Puuston biomassan vuosittaisesta kasvusta vähennettiin omilla BCEF-kertoimillaan laajennetut hakkuiden, hakkuiden hukkapuun ja luonnonpoistuman biomassamäärät. Olettamalla biomassan hiilen osuus 50 %:ksi saatiin tuloksena puuston nettomääräinen hiilinielu tarkasteluvuonna. Hukkapuusta ja luonnonpoistumasta muodostuvien metsään jäävien kuolleiden runkopuumäärien suhteellinen osuus arvioitiin Luken kansallisten hakkuukertymää ja puuston poistumaa koskevien tietojen (Luke, 2024c) avulla. Osuuden oletettiin yksinkertaisuuden vuoksi pysyvän samana skenaarion koko tarkastelujänteen ajan. Metsänkäsittelyyn ja puunkäytön tehostamiseen liittyvät oletukset vaikuttivat tämän vakiomääräisen osuuden suuruuteen eri skenaariovaihtoehdoissa.

Metsänkäsittelyn oletukset vaikuttivat runkopuun kasvukertoimiin ja sitä kautta kasvaneen puuston biomassaan ja sitoman hiilen määrään. Metsän lannoituksen osalta tehdyt laskelmat huomioivat myös metsien typpilannoituksen aiheuttamat dityppioksidipäästöt. Kasvihuonekaasuinventaariossa metsälannoituksen dityppioksidipäästöt on eroteltu metsämaan hiilidioksidipäästöistä erilliseksi ei-hiilidioksidiperäisten päästöjen luvuksi (ks. Statistics Finland, 2024, Ch. 6.10).

LISÄ- ja KIERTO-skenaarion oletuksena oli, että kasvatuslannoitukset tehdään niille soveltuville kohteille oikea-aikaisesti. Lannoituksen määrä viisinkertaistettiin vaiheittain nykyisestä tasosta. Kivennäismaiden typpilannoitus lisää maaperän hiilivarastoa. Lehtosen ym. (2021) tietoja mukaillen typpilannoituksen oletettiin vaikuttavan kivennäismaiden puuston tilavuuskasvuun. Männyn hehtaarimääräinen kasvu oli 10 m³, kuusen 8 m³ ja lehtipuiden 6 m³ siten, että kasvuvaikutuksen kesto-oletus oli kaikilla puulajeilla 8 vuotta. Tuhkalannoituksen oletettiin lisäävän turvemaametsien puuston kasvua 20 vuoden aikajänteellä 40 m³ hehtaarilla. Taustaoletuksen mukaan turvemaiden puuston kasvunlisäyksestä syntyvä hiilinielun lisäys oli skenaarioissa lyhyellä aikajänteellä suurempi kuin lannoituksen kiihdyttämästä turpeen hajoamisesta aiheutuva maaperän hiilivaraston pieneneminen.

LISÄ- ja KIERTO-skenaarioissa turvemaametsien kunnostusojituksia vähennetään 40 %:lla eikä niitä tehdä enää ravinteikkaan kasvupaikan ruoho- ja mustikkaturvekankailla. Kunnostusojitus aiheuttaa kasvihuonekaasupäästöjä erityisesti rehevillä kasvupaikoilla (Ojanen & Minkkinen, 2020). Kuivatus ylläpitää turpeen hävikkiä ja siitä seuraavia hiilidioksidi- ja dityppioksidipäästöjä. Kunnostusojitusten seurauksena suon pinta ja ojan pohja painuvat syvemmälle ja turve häviää vuosikymmenten kuluessa. Karuilla, puolukka- ja varputurvekankailla ojitukseen perustuva metsätalous voi olla ilmastollisesti

kestävää myös paksuturpeisilla soilla, jos ojitus on maltillista eikä vedenpintaa päästetä laskemaan kovin syvälle (Ojanen & Minkkinen, 2020).

LISÄ- ja KIERTO-skenaarioissa Keski-Suomessa ennallistettiin yhä enenevässä määrin metsätalouden kannalta kannattamattomia turvemaametsäalueita. Ennallistaminen kohdistettiin erityisesti ravinteikkaisiin heikkotuottoisiin ojitetuihin suometsiin, joissa heikko puuntuotantokyky johtuu ravinneepätasapainosta ja pintaturpeen epäedullisesta rakenteesta. Karujen suometsien ennallistamisen ilmastohyödyt realisoituvat vasta pitkällä, kymmenien tai satojen vuosien aikavälillä. Metaanin tuotanto käynnistyy turpeessa samalla kun puuston hiilensidonta lakkaa ennallistamisen yhteydessä tehdyn puuston poiston seurauksena. (Lehtonen ym., 2021)

LISÄ-skenaariossa oletettiin skaalaamalla Lehtosen ym. (2021, luku 12.2) kansallisia oletuksia maakuntatasolle, että vuosien 2024 ja 2050 välisenä aikana ennallistettaisiin Keski-Suomessa turvemaametsiä yhteensä 2 000 ha. KIERTO-skenaariossa ennallistettava määrä nousi 4 000 ha:iin. Ennallistamisen kokonaisvaikutuksen kertoimina käytettiin Lehtosen ym. (2021, Taulukko 26) laskelmien hehtaarikohtaisia tuloksia. LISÄ- ja KIERTO-skenaariossa jatkuvan kasvatuksen metsäpinta-alat kaksinkertaistettiin. Poimintahakkuissa poistetaan pääasiassa suuria puita ja jätetään pienempiä puita kasvamaan. Poimintahakkuiden piiriin tulisi skenaarioissa kivennäismaiden kuusikoiden pinta-alasta 3 % ja turvemaiden korpikuusikoiden pinta-alasta 30 %.

Periaatteessa jatkuvapeitteinen metsänkäsittely lisää puuston hiilensidontaa ja -varastointia verrattuna tasaikäiseen kasvatukseen. Jatkuvapeitteisen kasvatuksen ilmastohyödyn oletettiin kuitenkin pienenevän hieman, sillä puuston tilavuuskasvu on tasaikäisinä kasvatettujen metsien puustoa pienempi. Taustaoletuksena oli, että rehevissä ojitetuissa turvemaametsissä jatkuvapeitteinen metsänkäsittely voi hidastaa maaperän turvevaraston vähenemistä pidemmällä aikavälillä säätelemällä kasvupaikan vedenpinnan tasoa. Tulosten osalta on huomioitava, että skenaariolaskennassa käytetty malli ei pystynyt kunnolla huomioimaan jatkuvapeitteisen metsänkäsittelyn vaikutuksia metsien hiilensidontaan.

Jalostetun männyn ja kuusen siemenmateriaalin avulla voidaan lisätä hiilensidontaa verrattuna jalostamattomaan metsikkösiemeneen. LISÄ- ja KIERTO-skenaariossa oletettiin, että jalostetulla viljelymateriaalilla voidaan lisätä puiden tilavuuskasvua 10 %. Jalostettua siementä käytetään jo nykyisin suurimmalla osalla metsänviljelyalasta, joka pienentää oletettua hiiltä sitovaa kasvuvaiikutusta. Skenaarioiden laskennassa käytetty malli huomioi heikosti toimenpiteet, joiden vaikutukset näkyvät vasta pitkällä, suurelta osin viimeiseksi tarkasteluvuodeksi valitun laskentavuoden 2050 ylittävillä aikajäniteillä.

Skenaariolaskelmissa huomioitiin ilmastonmuutoksen vaikutus puuston kasvuun vakiokertoimen avulla. Lämpötilan ja ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden nousun oletettiin lisäävän nettomääräisesti puuston biomassan kasvua Keski-Suomessa nykyhetkestä vuosisadan loppuun mennessä 0,1 % vuodessa. Vaikutuksen oletettiin tapahtuvan lineaarisesti vuoteen 2100 mennessä. Kasvukerroin on suhteellisen konservatiivinen (ks. esim. Luke, 2015). Sen määrittelyssä oletettiin, että mm. kosteusolosuhteissa, metsätuhojen määrässä ja ilmakehän otsonipitoisuudessa tapahtuvat muutokset vaikuttavat kielteisesti tulevaan biomassan ja hiiliinielun kehitykseen (ks. esim. Luke, 2015; Lehtonen ym., 2020).

Metsän maaperälaskennat perustuivat kasvihuonekaasuinventaarion (Statistics Finland, 2023a, Ch. 6.4.2.1) kertoiimiin. Laskennat tehtiin metsä- ja kitumaalle. Kangasmaiden päästöt laskettiin kertomalla kangasmaan pinta-alat inventaarioraportin Etelä-Suomen päästökertoimilla.

Myös turvemaiden kertoimet ovat peräisin kansallisesta inventaariosta. Ojitettujen turvemaametsien maaperän päästölaskenta oli epätarkempaa kuin esimerkiksi Kärkkäisen ym. (2023) käyttämä uudempi Almin ym. (2023) laskentamenetelmä, joka huomioi turpeen ja karikkeen nopeamman hajoamisen ilmaston lämmitessä. Esimerkiksi BAU-skenaariossa Keski-Suomen metsien nettomääräinen hiilensidonta kääntyisi todennäköisesti vahvemmin päästöiksi, jos turvemaametsien maaperään varastoituneen hiilen laskennassa olisi ollut käytössä inventaarion lämpötilariippuva turvemaaperän laskentamalli, koska ojitettujen turvemaiden päästömäärät olisivat luvussa 5.1 esitettyjä jonkin verran suuremmat. Ojitettujen turvemaiden maaperän metaani ja dityppioksidipäästöt laskettiin Kärkkäistä ym. (2023) mukailleen käyttämällä eri kasvupaikkojen pinta-alatietoja ja Ojasen ym. (2010, 2018) turvemaiden päästökertoimia (Statistics Finland, 2023a, Ch. 6.10.2 ja Appendix_6k).

Skenaariolaskelmien tuloksia voidaan periaatteellisella tasolla verrata Luonnonvarakeskuksen MELA-tulospalvelun (Luke, 2023b) alueellisten hakkuumahdollisuusarvioiden kasvihuonekaasutaseisiin, jotka on laskettu valtakunnan metsien inventointiaineiston VMI12-13 avulla. MELA-laskelmien suurimman ylläpidettävissä olevan aines- ja energiapuun hakkuukertymän (SY) tasetta voidaan verrata skenaarioiden tulosten kanssa. Vertailu on esitelty alla olevassa liitetaulukossa 2. Siinä esitetyt BAU-, LISÄ- ja KIERTO-skenaarioiden lukuarvot ovat MELA-laskelmien mukaisten kymmenvuotiskausiensa 2019–2028, 2029–2038 ja 2039–2048 keskiarvoja.

Liitetaulukko 2. Skenaariolaskelmien kymmenvuotiskausiensa 2019–2028, 2029–2038 ja 2039–2048 keskiarvojen vertailu MELA-laskelmien (Luke, 2023b) Keski-Suomen SY-arvioiden metsien kasvihuonekaasutaseisiin (positiiviset arvot kuvaavat nettomääräisiä päästölähteitä tilanteessa, jossa nielut ovat pienemmät kuin päästölähteet, ja negatiiviset arvot tilannetta, jossa nielut ovat suurempia kuin nettomääräiset hiilinielut ja päästölähteet)

Skenaario tai hakkuumahdollisuusarvio	2019–2028	2029–2038	2039–2048
BAU-skenaario	-20 kt CO ₂ e	640 kt CO ₂ e	730 kt CO ₂ e
LISÄ-skenaario	-130 kt CO ₂ e	-230 kt CO ₂ e	-200 kt CO ₂ e
KIERTO-skenaario	-240 kt CO ₂ e	-850 kt CO ₂ e	-1060 kt CO ₂ e
Suurin ylläpidettävissä oleva aines- ja energiapuun hakkuukertymä -arvio (SY)	-200 kt CO ₂ e	800 kt CO ₂ e	1 200 kt CO ₂ e

Metsämaan päästöjen ja poistumien laskennan merkittävimmät epävarmuudet liittyivät varsinaisen laskennassa käytetyn mallin oletusten ja rajoitteiden lisäksi seuraaviin tekijöihin:

- puuston biomassan kasvun ikä-, puusto- ja maaperäpainotetut kertoimet määriteltiin ja arvioitiin epäsuorasti laskennallisesti ja asiantuntijapohjaisesti käytettävissä olleen kirjallisuuden avulla (skenaarioiden kannalta merkittävä epävarmuustekijä)
- BCEF-kertoimet määriteltiin aiemman kasvihuonekaasuinventaarion pohjalta (Statistics Finland, 2020) sen sijaan, että ne olisi laskettu inventaariossa esitetyillä Repolan ym. (2007) kaavoilla (skenaarioiden kannalta merkittävä epävarmuustekijä)
- laskentamalli ei ottanut kunnolla huomioon metsänhoitotoimenpiteitä eikä pystynyt kunnolla erottelemaan niiden vaikutuksia (skenaarioiden kannalta merkittävä epävarmuustekijä)

- turvemaaperän päästökertoimet perustuivat taulukkokertoimiin (metsämaan skenaarion kannalta merkittävä epävarmuustekijä)
- metsäksi muuttuneiden alueiden päästöt ja poistumat sisältyivät laskentamallissa muuhun metsien ja metsämaan laskentaan sen sijaan, että ne olisi arvioitu skenaariolaskennassa erikseen kuten muissa maankäyttöluokissa (skenaarioiden kannalta melko merkittävä epävarmuustekijä)
- metsäojien eri kuntoluokkien osuusarviot vaikuttivat turvemaan metaanipäästöihin (metsämaan skenaarion kannalta merkittävä epävarmuustekijä)
- laskentamallissa huomioitiin heikosti turvemaametsien mahdollisen ennallistamisen vaikutukset eikä laskelmissa ollut mukana turvemaan ravinteisuutta (metsämaan skenaarion kannalta merkittävä epävarmuustekijä)

Liite 1.2 Viljelysmaa

Keski-Suomen viljelysmaita koskevat pohjatiedot koostettiin laskentaan varten seuraavista tietolähteistä: Luonnonvarakeskuksen maataloustilastojen maatalousmaatiedoista (Luke, 2024d), Eurofins Agron (2024) ylläpitämän Viljavuuspalvelun Tulosaari-tilastosta, Suomen ympäristökeskuksen elinympäristön tietopalvelu Liiteristä (Syke, 2024) ja CORINE-aineistosta (Syke, 2018a) sekä vanhempien viljelysalatietojen osalta maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskuksen maataloustilastollisista vuosikirjoista (ks. Kansalliskirjasto, 2024).

Kasvihuonekaasupäästöjen laskentaan tarvittu tiedot viljelykasveista saatiin Luonnonvarakeskuksen satotilastoista (Luke, 2024d). Viljellyt alueet luokiteltiin maataloustilaston mukaisesti viljoihin, alle viisivuotiaisiin nurmiin ja muihin viljelykasveihin sekä kesantoalaan. Muussa käytössä oleva maatalousmaa ei ollut mukana laskennassa. Tarkasteluun sisältyivät yksi- ja monivuotisista kasveista syys- ja kevätvehnä, ruis, ohra, kaura, öljykasvit, herne, peruna, sokerijuurikas, heinä ja rehu (Statistics Finland, 2023a, Appendix_6j). Monivuotisten puutarhakasvien, kasvihuoneviljelyn ja kotitarvepuutarhojen määrien, viljelykasvien ja satojen oletettiin pysyvän kaikissa skenaarioissa nykytasolla.

Keski-Suomessa käytössä oleva maatalousmaa jaettiin ProAgria Keski-Suomen alueen maalajisuhdetietojen (Eurofins Agro, 2024) ja Corine-aineistolla (Syke, 2018a) tehtyjen laskelmien perusteella kansallisen kasvihuonekaasuinventaarion (Statistics Finland, 2024) käyttämän hallitusten välisen ilmastomuutospaneelin IPCC:n luokittelun mukaisesti kivennäis- ja turvemaihin.¹⁰

Laskennassa huomioitiin viljelysmaana säilyvän maan maaperän hiilivaraston vuosittaiset muutokset. Alueellisten tietojen ja laskentamallin puuttumisen vuoksi kivennäismaiden kertoimien määrittelyssä ei käytetty Yasso-maahiilimallia (ks. esim. Statistics Finland 2024, Appendix_6e), vaan laskennassa hyödynnettiin yksinkertaisuuden vuoksi inventaarioraportin (ibid., Appendix_6j) Etelä-Suomen kertoimien tietoja. Turvemaiden laskennassa käytettiin yksivuotisia kasveja ja nurmea kasvavia peltoja koskevia kertoimia (ibid., Appendix_6j).

¹⁰ IPCC:n luokittelu poikkeaa suomalaisesta hiilipitoisuuteen perustuvasta turve-, multa- ja kivennäismaaluokituksesta. Osa Suomessa multamaaksi luokitelluista turvemaapelloista kuuluu IPCC:n ohjeiden mukaisesti eloperäisiin eli orgaanisiin maihin (Lehtonen ym., 2021; Statistics Finland, 2024).

Suomalaiseen ja keskisuomalaiseen peltohehtaariin on varastoitunut keskimäärin enemmän hiiltä kuin Keski- ja Etelä-Euroopassa. Tämä johtuu viileästä ja kosteasta ilmastosta ja peltojemme nuoresta iästä. Peltojen hiilipitoisuuteen vaikuttaa maassamme vielä peltojenraivausta edeltävä metsävaihe. Kivennäismaapeltojen hiilipitoisuus on laskenut Suomessa lähes lineaarisesti viimeisten viiden vuosikymmenen aikana keskimäärin 0,4 % vuodessa. Peltojen nuoren iän lisäksi maaperän hiilen katoon vaikuttaa myös viljelykiertojen yksipuolistuminen, yksivuotisten kasvien viljelyn lisääntyminen ja yhä enenevässä määrin ilmastonmuutos. (Lehtonen ym., 2021)

Kivennäismaiden hiilivarastojen muutosta kuvaavien kertoimien kehitys arvioitiin Lehtosen ym. (2021, luku 4.3.2) mallinnuksen tulosten perusteella. BAU-skenaariossa kerroinkehitys vastasi maaperän hiilivaraston kehittymistä ilman lisätoimenpiteitä (ibid., Kuva 3). LISÄ- ja KIERTO-skenaarioissa maaperähiilen kehitykseen vaikuttavat oletetut toimenpiteet (ks. ibid., Kuva 3). Ilmastonmuutos tulee kiihdyttämään maaperän orgaanisen aineen hajoamista ja sen vaikutus on suurempi kuin yksittäisten viljelymenetelmien hiiltä kerryttävä vaikutus. Myös sen vaikutuksen kokoluokka määriteltiin kaikissa skenaarioissa Lehtosen ym. (ibid., Kuva 3) tulosten pohjalta.

LISÄ- ja KIERTO-skenaariossa metsäksi ja kosteikoksi vuoteen 2050 mennessä muutettavien turvemaapeltojen 400 ja 1 200 ha kokonaismäärät arvioitiin Keski-Suomen turvemaapello-osuuden avulla Lehtosen ym. (2020) maatalouden tiekartan kansallisista kokonaismääristä. LISÄ- ja KIERTO-skenaarioissa jäi viljelykäytöstä noin 1 700 ha turvepeltomaata vuoteen 2050 mennessä.

Uusien turvemaapeltojen raivausmäärä ja pitkään käytössä olleiden ohutturpeisten keskisuomalaisten peltojen muutos kivennäismaaksi arvioitiin Lehtosen ym. (2021, luku 3.3) koko Suomea koskevista määristä suhteuttamalla ne Keski-Suomen turvepeltojen määriin. Kaikissa kolmessa skenaariossa uutta turvemaapelloa tulee nettomääräisesti lisää vain 10 ha vuodessa siten, että raivattavan turvemaan määrä on 30 ha ja kivennäismaaksi muuttuvan turvemaan määrä 20 ha. Puolet uudesta peltoalasta ohjautui skenaarioissa yksivuotisten kasvien viljelyyn ja puolet monivuotisten kasvien viljelyyn.

Laskentaan sisältyi myös viljelysmaaksi muutettujen alueiden vaikutukset. Niiden päästöt ja poistumat laskettiin kasvihuonekaasuinventaarion (Statistics Finland, 2024, Appendix_6j) mukaisilla kertoimilla 20 vuoden tarkastelujaksolla. Mukana olivat tarkasteluvuonna toisesta maankäyttöluokasta viljelysmaaksi muuttuneiden alueiden lisäksi alueet, jotka ovat muuttuneet viljelysmaaksi viimeisen 20 vuoden aikana. Maankäyttöluokkien muutosta viljelysmaaksi arvioitiin asiantuntijapohjaisesti Liiteri-palvelun (Syke, 2024) maankäytön muutostietojen ja muiden maankäyttöluokkia koskevien aineistojen kuten maataloustilastojen (Luke, 2024d; Kansalliskirjasto, 2024) avulla. Skenaariossa uuden raivatun pellon nettomäärä oletettiin vähäiseksi.

Hiilidioksidipäästöjen lisäksi maankäytön muuttuessa syntyy kivennäismaiden orgaanisen aineen hajoamisessa dityppioksidipäästöjä. Mineralisoitumisen päästölaskenta perustui viljelysmaan määrän muutostietoihin ja kasvihuonekaasuinventaarion (Statistics Finland, 2024, Ch. 6.10.3.2) poimituihin maaperän hiilen ja typen määrään pohjautuviin keskimääräisiin kertoiimiin. Inventaarion mineralisoitumisen dityppioksidipäästöt erotellaan viljelysmaan ja ruohikkoalueiden hiilidioksidipäästöistä omaan ei-hiilidioksidiperäisten päästöjen lukuun (Lehtonen ym. 2021., Ch. 6.10). Maaperän hiilivarasto voi saavuttaa saturaatiotilan, jonka jälkeen hiilen kerryttäminen on hitaampaa tai ei enää onnistu. Maan hiilensidontapotentiaali on sitä suurempi, mitä kauempana maa on tästä saturaatiotilasta. Tällä perusteella vähämullaiset savimaat ja mahdollisesti myös multavat savimaat olisivat hiilen kerryttämisen kannalta potentiaalisia kohteita. Karkeiden maalajien osalta vähämullaisiin maihin voidaan

todennäköisesti vielä kerryttää hiiltä hajotusta kestävään muotoon. Keski-Suomi ei kuitenkaan sisälly pinta-alojen perusteella merkittävien hiilenkerryttämispotentiaalin omaavien suomalaisten maakuntien joukkoon savimaiden eikä karkeiden maalajien osalta. (Lehtonen ym., 2021, luku 4.3.3)

Kasvibiomassan muutoksen laskennassa olivat mukana inventaariolaskennan mukaisesti omenapuut ja herukkapensaat. Laskenta perustui Luonnonvarakeskuksen parametrien (Statistics Finland, 2024, Appendix_6c) avulla arvioituun omenapuiden ja herukkapensaiden kasvun sekä vanhojen puiden ja pensaiden poistamisen yhteydessä häviävän biomassan erotukseen ja sen sisältämään hiilen määrään. Muiden satokasvien biomassaa ei huomioitu, koska niihin sitoutuneen hiilen oletetaan vapautuvan saman vuoden aikana kun sato korjataan. Viljelysmaaksi muutetuilla maa-alueilla huomioitiin kuitenkin inventaarion (ibid.) mukaisilla kertoimilla muutosvuoden aikana tapahtunut ja muuttuvasta maatyypistä riippuva mahdollinen viljelykasvien biomassan lisäys ja puuston poisto. Myöhempinä viljelyvuosina peltobiomassoissa tapahtuvaa kehitystä ei huomioitu.

Viljelysmaan kasvihuonekaasupäästöjen ja -poistumien laskentaan liittyy ainakin seuraavia rajoituksia ja epävarmuustekijöitä:

- kivennäis- ja turvemaiden osuuksissa oli epävarmuuksia (skenaarion kannalta melko merkittävä epävarmuustekijä)
- laskenta ei kattanut maatalouskäytön ulkopuolella olevien peltojen eli ns. joutoalueiden määrää (viljelysmaan skenaarion kannalta merkittävä epävarmuustekijä)
- eri maankäyttömuotojen muutos viljelysmaaksi arvoitiin pääosin Liiteri-palvelun ja käytettävissä olleen tilastoaineiston avulla, minkä aiheuttaman arviopohjaisuuden vuoksi maankäytön muutoksen laskenta oli vain suuntaa antavaa (viljelysmaan skenaarion kannalta merkittävä epävarmuustekijä)
- laskelmat eivät huomioineet sitä, että turvemaapellet eivät sovi kaikkeen käyttöön johtuen esim. haasteista paksuturpeisten peltojen metsittämisessä, turvemaiden vettämisessä ja kasvinviljelytilojen mahdollisuuksissa kasvattaa nurmea tai muita monivuotisia viljelykasveja (viljelysmaan skenaarion kannalta merkittävä epävarmuustekijä)
- laskenta ei huomioinut kivennäismaiden osalta kuolleen puun vaikutusta (viljelysmaan skenaarion kannalta melko merkittävä epävarmuustekijä)
- laskelmissa ei huomioitu sitä, miten oletetun karjan määrän ja lannan levityksen väheneminen pienentää maaperään lisätyn orgaanisen aineksen määrää, mikä osaltaan hidastaisi hiilen kertymistä kivennäismaiden hiilivarastoon (viljelysmaan skenaarion kannalta melko merkittävä epävarmuustekijä)

Liite 1.3 Ruohikkomaa

Ihmisen toiminnan piirissä olevien keskisuomalaisten ruohikkomaiden määrä arvioitiin Suomen ympäristökeskuksen Corine-maanpeiteaineiston (Syke, 2018a) maataloustukijärjestelmän ulkopuolisia maatalousmaita kuvaavan alaluokan avulla. Se jaettiin maaperätyyppeihin keskisuomalaisten viljelysmaiden kivennäis- ja turvemaajakautaan mukaisesti. Tätä oletusta perusteli se, että Suomen kasvihuonekaasuinventaariossa ruohikkomaat muodostuvat pääosin hylätyistä puuttomista tai metsittyvistä pelloista. Ruohikkomaiden päästöjen ja poistumien laskentamenetelmät johdettiin kasvihuonekaasuinventaarion (Statistics Finland, 2024, Ch. 6.6.2.1). Laskennassa huomioitiin ruohikkona säilyvän hoidetun maa-alueen maaperän orgaanisen aineksen ja karikkeen muutos.

Inventaarion mukaisesti kivennäismaalla sijaitsevien ruohikkomaiden hiilivarastoissa ei oletettu tapahtuvan vuoden aikana muutoksia. Turvemaalla olevien ruohikkojen orgaanisen aineksen päästökerroin määriteltiin Etelä-Suomen hehtaarikohtaisella kertoimella (Statistics Finland, 2024, Ch. 6.6.2.1). Kuolleen karikkeen varastomuutokset kivennäis- ja turvemailla tulkittiin inventaariolaskennan tavoin merkityksettömiksi.

Ruohikkomaiksi muuttuneiden alueiden päästöt ja poistumat laskettiin inventaarion (Statistics Finland 2024, Appendix_6j) kertoimilla. Laskenta sisälsi tarkasteluvuonna toisesta maankäyttöluokasta ruohikkoalueeksi muuttuneiden hoidettujen alueiden lisäksi myös alueet, jotka olivat muuttuneet tai muuttuisivat ruohikkomaiksi 20 vuoden laskentajänteen aikana. Maankäytön muutosta ruohikkoalueiksi arvioitiin mm. Liiteri-palvelun (Syke, 2024) maankäytön muutostietojen avulla.

Ruohikkomaille levittyvän puuston ja toisaalta alueelta poistetun puuston ja viljelykasvien vaikutusta arvioitiin kansallisilla päästökertoimilla (Statistics Finland, 2024, Ch. 6.6.2.2 ja Appendix_6c). Kivennäismaalla sijaitsevien ruohikkomaiden mineralisoitumisen dityppioksidipäästöjen laskenta perustui viljelysmaiden tavoin inventaariosta (ibid., Ch. 6.10.3.2) poimittuihin maaperän hiilen ja typen määrän päästökertoimiin ja maankäytön muutoksen aiheuttamaan hiilivarastojen muutokseen.

Ruohikkomaiden päästöjen ja poistumien arvioinnin merkittävimmät epävarmuudet liittyvät aineistoon:

- laskennassa käytetty Corine-maanpeiteaineiston alaluokka ei täysin kattanut kansallisen kasvihuonekaasuinventaarion (Statistics Finland, 2024, luku 6.2) mukaista ruohikkomaiden määritelmää eikä vastannut tarkkuudeltaan koko maan tasolla käytettyä VMI-aineistoa (ruohikkomaan skenaarion kannalta merkittävä epävarmuustekijä)
- ruohikkomaiden kehitykseen ei liittynyt omia skenario-oletuksia, vaan niiden pinta-ala kehittyi muiden maankäyttöluokkien oletusten kautta (ruohikkomaan skenaarion kannalta merkittävä epävarmuustekijä)
- ruohikkomaiden maaperätyyppien jakauma oli sama kuin viljelysmaalla ja tarkemmassa määrittelyssä olisi voitu hyödyntää esim. Luonnonvarakeskuksen paikkatietopohjaista maannostietokantaa (ruohikkomaan skenaarion kannalta merkittävä epävarmuustekijä)
- aineistorajoitteiden ja arviopohjaisuuden vuoksi eri maankäyttöluokkien välisten maankäytön muutosten laskenta oli ruohikkomaiden osalta vain suuntaa antavaa (ruohikkomaan skenaarion kannalta merkittävä epävarmuustekijä)
- mukana ei ollut aineiston puuttumisen vuoksi kansallisessa kasvihuonekaasuinventaariossa ruohikkomaiden tarkasteluun sisällytettyjä maastopalojen ja kulotusten päästöjä (ruohikkomaan skenaarion kannalta merkittävä epävarmuustekijä)
- ruohikkomaiden metsittymisen myötä tapahtunutta puuston kasvua ei otettu laskelmissa huomioon (ruohikkomaan skenaarion kannalta merkittävä epävarmuustekijä)
- käytetty malli aliarvioi ruohikkomaiden elävän puuston ja maankäytön muutoksen yhteydessä muuttuvan maankäyttöluokan puuston ja kasviston biomassan päästöjä ja poistumia (ruohikkomaan skenaarion kannalta melko merkittävä epävarmuustekijä)
- kokonaisuudessaan epävarmuuksien vuoksi syntyvien virheiden vaikutus Keski-Suomen maankäyttösektorin nettomääräisiin nieluihin on suhteellisen pieni ruohikkomaiden suhteellisen vähäisen kokonaismerkittävyyden vuoksi (skenaarion kannalta vähäinen epävarmuustekijä).

Liite 1.4 Kosteikot

Kosteikkojen maankäyttöluokkaan kuuluvat määritelmällisesti turvetuotantoalueet, rakennetut kosteikot ja vesialueet kuten tekojärvet, luonnonvedet ja suot. Ihmistoiminnan vaikutuspiirin ulkopuoliset luonnontilaiset kosteikot jätetään kasvihuonekaasuinventaariossa tarkastelun ulkopuolelle. Kosteikot rajautuivat laskennassa pääosin turvetuotantoalueisiin. Ne ovat myös suurin ihmistoimintojen piirissä olevien kosteikkojen päästölähde Suomessa (Statistics Finland, 2024, Ch. 6.7.1). Laskennassa huomioitiin kuitenkin myös mahdollisten tulevien ennallistamistoimista syntyvien kosteikkojen vaikutukset. Maatalouden kosteikkoviljely sisältyi skenaariotarkastelussa viljelysmaihin.

Keski-Suomessa sijaitsevien turvetuotantoalueiden vuoden 2018 kokonaispinta-ala arvioitiin Corine-maanpeiteaineistolla (Syke, 2018a). Turvetuotannon pinta-alan kehitykseen vaikutti skenaarioissa energiaturpeen kysynnän kehitysoletukset. Oletuksia on esitelty raportin luvussa 4.2.3. On huomioitava, että turvetuotannossa olevien alueiden pinta-aratiedot riippuvat yleisesti käytetystä arviointitavasta (ks. esim. Lehtonen ym., 2021, luku 12.2).

Skenaariokohtaisista oletuksista riippui, mikä osa turvetuotantoalueista metsitetään, muutetaan viljelysmaaksi, annetaan ruohikoitua tai ennallistetaan suoksi. Ennallistaminen johtaa maaperän muuttumiseen hiilidioksidipäästöjen lähteestä hiilinieluksi ja samalla metaanipäästöjen kasvamiseen. Kokonaisvaikutus on kuitenkin kasvihuonekaasupäästöjen pienenemisen kannalta varsin suuri. Ennallistamisen vaikutukset arvioitiin Lehtosen ym. (2021, Taulukko 27) tietojen avulla. Ennallistettava määrä oletettiin BAU-skenaariossa 400 ha:ksi maakunnan oikeudenmukaista vihreää siirtymää koskevan suunnitelman mukaisesti (Keski-Suomen liitto & Keski-Suomen ELY-keskus, 2022). LISÄ- ja KIERTO-skenaarioiden 600 ha:n ja 1 200 ha:n ennallistamisalat perustuvat Lehtosen ym. (2021, luku 12.2) skenaarioiden koko maan määrien turvetuotantoalapohjaiseen skaalaukseen.

Turvetuotantoalueiden hiilidioksidipäästöt laskettiin eteläisellä havumetsävyöhykkeellä olevien turvetuotantokenttien, turveaumojen ja ojien inventaariokertoimien avulla (Statistics Finland, 2024, Ch. 6.7.2.1). Lisäksi kosteikkolaskelmissa ovat mukana turvetuotantoalueiden dityppioksidi- ja metaanipäästöt¹¹. Niiden laskenta perustui samoihin pinta-aloihin ja menetelmiin kuin hiilidioksidipäästöjen laskenta (ibid., Ch. 6.7.2.1). Muutettujen metsien mukana huomioitiin kuolleen puun biomassan hiili (ibid., Appendix_6i).

Kosteikoksi muuntuneiden alueiden kasvihuonekaasupäästöt ja -poistumat laskettiin inventaarion mukaisilla kertoimilla (Statistics Finland, 2024, Appendix_6f). Laskenta vastasi menetelmällisesti viljelysmaiden ja ruohikkoalueiden laskentaa. Mukana oli tarkasteluvuonna toisesta maankäyttöluokasta turvetuotantoalueeksi muuttuneiden alueiden lisäksi myös alueet, jotka olivat siirtyneet tai siirtyisivät turvetuotannon piiriin 20 vuoden aikana. Toteutunut maankäytön muutos turvetuotantoalueiksi arvioitiin Liiteri-palvelun (Syke, 2024) maankäytön muutostietojen ja muita maankäyttöluokkia koskevien aineistojen avulla.

¹¹ Turvetuotantoalueiden dityppioksidi- ja metaanipäästöt sisällytetään kasvihuonekaasuinventaariossa oikeastaan LULUCF-sektorin ei-hiilidioksidiperäisiin kasvihuonekaasupäästöjen ryhmään (Statistics Finland, 2024, Ch. 6.10).

Kosteikkojen kasvihuonekaasupäästöjen ja -poistumien laskentaan liittyy ainakin seuraavia rajoituksia ja epävarmuustekijöitä:

- turvetuotantoalueiden määrä perustui Corine-pohjaiseen laskennalliseen arvioon ja Lehtonen ym. (2021, luku 12.2) mukaisesti on tiedostettava, että turvetuotantoalueiden pinta-alat riippuvat arviointitavasta (skenaarion kannalta melko merkittävä epävarmuustekijä)
- laskenta rajautui vain turvetuotantoalueisiin ja niiden ennallistamisesta syntyviin rakennettuihin kosteikkoihin eikä tarkastelu sisältänyt muita kosteikoiksi inventaariossa luokiteltuja alueita eikä ympäristöturpeen käytöstä aiheutuvia kasvihuonekaasupäästöjä (kosteikkojen skenaarion kannalta merkittävä epävarmuustekijä)
- laskenta ei huomionut tietojen puuttumisen vuoksi viiden vuoden ajan syntyviä päästöjä, jotka syntyvät, kun luonnon suo tai muu kosteikko muutetaan turvetuotantoalueeksi (kosteikkojen skenaarion kannalta vähäinen epävarmuustekijä).

Liite 1.5 Rakennetut alueet

Rakentaminen vaikuttaa alueen hiilivarastoihin. Rakennusten, teiden, voimalinjojen, kiviaineisalueiden ja muun infran alta poistetaan kokonaan puusto ja muu biomassa tai jätetään niistä vain osa kasvamaan muutoin rakennetuksi muuttuvalla alueella. Maaperän hiilivarastot pienenevät rakentamisvaiheessa, mutta myös vuosia rakentamisen jälkeen. Laskennassa huomioitiin hiilidioksidipäästöt, jotka aiheutuvat elävän biomassan ja kuolleen puun poistumassa maankäytön muutoksen seurauksena ja maankäytön muutoksen jälkeisestä orgaanisen aineksen ja karikkeen muutoksesta.

Rakennettujen alueiden vuoden 2018 pinta-ala laskettiin Suomen ympäristökeskuksen Corine-maanpeiteaineistosta (Syke, 2018a). Hiilivarastojen muutoksen määrittelyssä tarvittavat aiemmin tapahtuneet maankäyttöluokan muutosten määrät arvioitiin käyttämällä Liiteri-palvelun (Syke, 2024) maankäytön muutostietoja, muiden maankäyttöluokkien laskelmia ja tarkasteluvuosien 2000, 2006 ja 2012 Corine-aineistoja (Syke, 2018a).

Metsämaan rakentamisen aiheuttama karikkeen ja kuolleen puun hiilen määrän poistuma laskettiin inventaariokertoimien (Statistics Finland, 2024, Appendix_6i) avulla pinta-alatiedoista. Muutosten arvioinnissa käytettiin apuna kolmea alaluokkaa. Rakennusten tai muun infrastruktuurin alle jäävän tai kiviaineisten ottoalueiksi muuttuneen metsämaan osalta oletettiin, että 20 % maaperän hiilivarastosta menetetään 20 vuoden siirtymäkauden aikana. Nurmikoksi tai muiksi viheralueiksi rakennetun metsämaan kasvihuonekaasupäästöt arvioitiin käyttämällä ruohikkoalueiksi muuttuvien metsämaiden kertoimia (ibid., Appendix_6j). Osittain puustoisiksi alueiksi jäävien rakennettujen alueiden osalta oletettiin, että karikkeen ja maaperän orgaanisen aineksen hiilivarastot eivät muutu (ibid., Ch. 6.8.2.2). Muiden maankäyttömuotojen muuttuessa rakennetuksi alueiksi ei lähtötilanteessa ole kuollutta puuta.

Maan muuttuessa viljelymaasta ja ruohikkoalueesta rakennetuksi alueeksi huomioitiin elävän biomassan häviö maankäytön muuttumisvuonna. Mikäli biomassaa jää kasvamaan alueelle, tämän biomassan vaikutuksia ei ole arvioitu. Kasvihuonekaasuinventaarion (Statistics Finland, 2024, Ch. 6.8.2.1) oletusten mukaisesti rakennettuna säilyvien alueiden kivennäis- ja turvemaaperän orgaanisen aineksen ja karikkeen hiilivarastoissa ei tapahtunut muutoksia.

Rakennettujen alueiden kasvihuonekaasupäästöjen ja -poistumien laskentaan liittyy ainakin seuraavia rajoituksia ja epävarmuustekijöitä:

- staattisiin nykykertoimiin perustuvan laskentamallin vuoksi rakennettujen alueiden kasvihuonekaasupäästölähteiden ja -nielujen painoarvo korostui skenaarioiden tarkastelujänteen loppujaksolla laskentavuosina 2035–2050 (skenaarion kannalta melko merkittävä epävarmuustekijä)
- rakennettujen alueiden määrät perustuivat Corine-pohjaiseen laskennalliseen arvioon (skenaarion kannalta merkitykseltään vähäinen epävarmuustekijä)
- aineistorajoitteiden ja arviopohjaisuuden vuoksi eri maankäyttöluokkien välisiä maankäytön muutoksia koskevat tulokset ovat kokonaisuutena korkeintaan suuntaa antavia (skenaarion kannalta merkitykseltään vähäinen epävarmuustekijä).

Liite 1.6. Puutuotteet

Puutuotteiden päästöt ja poistumat laskettiin maakuntatasolle sovitulla laskentamenetelmällä, joka mukaili kasvihuonekaasuinventaarion (Statistics Finland, 2024, Ch. 6.11.2) puutuotteiden ns. tuotantopohjaista lähestymistapaa. Keski-Suomen laskennassa hyödynnetään IPCC:n (2006, Volume 4 ja Appendix 12.A.1) ohjeiden yksinkertaista Tier 1 -tason mallia ja siihen liittyvää työkalua.¹²

Hiilivarastojen muutos laskettiin sahatavaran, puulevyjen sekä sellun varastomuutoksina. Jälkimmäisen tuoteryhmän avulla arvioitiin paperin ja kartongin muutoksia. Käytetty luokittelu oli karkeampi kuin kansallisessa menetelmässä, joka huomioi myös näiden tuoteryhmien alaluokat.

Tuotantolähestymistavassa puutuotteiden hiilivaraston vuotuiset muutokset perustuivat keskisuomalaisesta puusta valmistettavien tuotteiden hiilivarastoon riippumatta siitä, missä päin maailmaa tuotteet käytetään. Puutuotteiden muutokset jätteenkäsittelypaikoilla oletettiin nollassi, koska syntyneet päästöt ovat inventaariossa ns. tiedoksi ilmoitettavia päästöjä, jotka näkyvät jättesektorilla (Statistics Finland, 2024, Ch. 6.10.7).

Puoliintumisajoilla kuvataan hiilen vapautumista puusta valmistetusta tuotteesta. Ne oletettiin kansalliseen tapaan (Statistics Finland, 2024, Ch. 6.10.8.1) sahatavaralle 35 vuodeksi, puupaneeleille ja puulevyille 25 vuodeksi sekä paperille, kartongille ja muille sellutuotteille 2 vuodeksi.¹³ Muokattuja puoliintumisaikakertoimia hyödynnettiin laskennassa parametreina, joiden avulla kuvattiin käyttöiältään eroavien puutuotteiden tuotannossa tapahtuvia tulevia muutoksia kuten esim. uudenlaisten sellupohjaisten materiaalien tuotantoa.

Puutuotteiden hiilisisältö arvioitiin puun tiheyden perustuvilla muuntokertoimilla (Statistics Finland, 2024, Table 6.11-2; Hamberg ym., 2016, luku 2.5.1). Puutuoteteollisuuden levytuotteiden kertoimien määrittelyssä huomioitiin vuosittain eri tuotteiden tuotantomäärien vaihtelut Luonnonvarakeskuksen metsätilastojen (Luke, 2024a) tuotantotietojen pohjalta. Hiilisisältökertoimien arvot pysyvät

¹² Skenaarioiden laadinnan yhteydessä tehtyjen suuntaa antavien testilaskelmien perusteella Tier 1 -mallin avulla päästiin koko maan aineistolla suhteellisen lähelle kasvihuonekaasuinventaariorissa (Statistics Finland, 2024, Ch. 6.10.7) julkaistujen Luonnonvarakeskuksen tekemien puutuotelaskelmien kanssa.

¹³ Kotimaahan jääville puutuotteille olisi voinut käyttää myös omia puoliintumisaikakertoimia. Suomi käyttää kuitenkin inventaarioraporteissa kaikille puutuotteille tekstissä mainittuja IPCC:n oletuspuoliintumisaikakertoimia.

Metsän ja etenkin pitkäaikaisten puutuotteiden hiilivarastojen rinnastaminen keskenään on tulkinnanvaraista ja riippuu valitusta tarkastelun näkökulmasta ja aikaikkunasta. Näitä metsä-puutuote- ketjun hiilitaseiden laskennan kysymyksiä käsitellään tarkemmin esim. Rädyn ym. (2021) selvityksessä.

Puutuotteiden laskenta on skenaarioissa korkeintaan suuntaa antavaa ja mukana lähinnä siksi, että skenaariolaskenta noudattaisi kasvihuonekaasuinventaarion maankäytön päästösektorijakoa. Puutuotteiden maakunnalliseen hiilivarastojen muutosten laskentaan liittyy ainakin seuraavia rajoituksia ja epävarmuustekijöitä:

- Keski-Suomen alueella puutuotteiden tuotantomäärät perustuivat kansalliseen tilastoaineistoon ja sen perusteella tehtiin asiantuntija-arvioihin paikallisten aineistojen heikon saatavuuden vuoksi (skenaarion kannalta merkittävä epävarmuustekijä)
- skenaariolaskelmat perustuvat paljolti aiempaan kehitykseen ja kansallisen kehityksen skaalaamiseen eivätkä niinkään keski-suomalaisen puunjalostusteollisuuden tuotannon tai tuotantorakenteen muutoksen tarkempaan analyysiin ja sen kehityksen ennakointiin eri skenaariovaihtoehdoissa (skenaarion kannalta merkittävä epävarmuustekijä)
- skenaarioissa ei huomioitu suhdannesyklejä, jotka vaikuttavat mm. puutuotteiden kysynnän ja työmarkkinataistelujen kaltaisten tekijöiden kautta puutuotevarastoihin (skenaarion kannalta merkittävä epävarmuustekijä)
- laskentamenetelmät eivät ottaneet huomioon rakennettuun ympäristöön kuten rakennuksiin ja rakenteisiin pitkään sitoutunutta hiiltä potentiaalisena ilmastomuutoksen hillitsijänä (Räty ym., 2021) eivätkä puutuotteiden substituutiohyötyjä, kun uusilla biotuotteilla korvataan fossiilisiin raaka-aineisiin perustuvia tuotteita (ei merkitystä inventaariopohjaisessa tarkastelussa)
- inventaariopohjaisella skenaariolaskentamallilla ei myöskään pystytty havainnollistamaan eri kiertotalousratkaisujen ja uusien tuotteiden potentiaalia hiilen sitojana (ei merkitystä inventaariopohjaisessa tarkastelussa).

Liite 2: Paikkatietoanalyysin maanpeiteluokkakohtaiset oletukset

Liitetaulukko 3 Hiilinielujen ja -varastojen laskennan oletukset Corine-luokittain (CLC) ja hiilinielujen, hiilivarastojen ja hiilipäästöjen osalta

LC0level4	CLC luokka	Hiilinielut, t CO ₂ ekv/ha vuodessa	Maaperän hiilivarastot kivennäismaa, t C/ha	Maaperän hiilivarastot turvemaa, t C/ha	Maaperän hiilipäästöt kivennäismaa, t C/ha	Maaperän hiilipäästöt turvemaa, t C/ha
1111	Kerrostaloalueet	-3 [1]	54	166	0,317	0,317
1121	Pientaloalueet	-3 [1]	54	166	0,3	0,3
1211	Palveluiden alueet	-3 [1]	54	166	0,238	0,238
1212	Teollisuuden alueet	-3 [1]	54	166	0,238	0,238
1221	Liikennealueet	0	0	0	0	0
1231	Satama-alueet	0	0	0	0	0
1241	Lentokenttäalueet	-4,6 [2]	54	166	0,272	0,273

1311	Maa-ainesten ottoalueet	0	0	0	0	0
1312	Kaivokset	0	0	0	0	0
1321	Kaatopaikat	0	0	0	0	0
1331	Rakennustyöalueet	0	0	0	0	0
1411	Puistot	-4,5672 [4]	42	533	1,402	1,402
1421	Vapaa-ajan asunnot	-4,6 [2]	54	166	0,272	0,272
1422	Muut urheilu- ja vapaa-ajan toiminta-alueet	-4,6 [2]	54	166	0,272	0,272
1423	Golfkentät	-4,6 [2]	54	166	0,272	0,272
1424	Raviradat	-4,6 [2]	54	166	0,272	0,272
2111	Pellot	-8,3 [3]	54	166	0,179	0,498
2221	Hedelmäpuu- ja marjapensasviljelmät	-4,6 [2]	54	166	0,272	0,272
2311	Laidunmaat	-4,6 [2]	54	166	0,272	0,272
2312	Luonnon laidunmaat	-4,6 [2]	54	166	0,272	0,272
2431	Käytöstä poistunut maatalousmaa	-4,6 [2]	54	166	0,179	0,179
2441	Puustoiset pelto- ja laidunmaat	-4,6 [2]	54	166	0,272	0,272
3111	Lehtimetsät kivennäismaalla	-4,5672 [4]	42	42	1,402	1,402
3112	Lehtimetsät turvemaalla	-3,0488 [5]	533	533	1,104	1,104
3121	Havumetsät kivennäismaalla	-3,7433 [1]	42	42	1,131	1,131
3122	Havumetsät turvemaalla	-2,49553 [4]	533	533	0,804	0,804
3123	Havumetsät kalliomaalla	-1,2477 [4]	42	42	0,768	0,768
3131	Sekametsät kivennäismaalla	-3,79137 [4]	42	42	1,199	1,199
3132	Sekametsät turvemaalla	-2,52758 [4]	533	533	0,811	0,811
3133	Sekametsät kalliomaalla	-2,658 [4]	42	42	0,893	0,893
3211	Luonnonniityt	-4,6 [2]	54	166	0,272	0,272
3221	Varvikot ja nummet	-4,6 [2]	54	166	0,272	0,272
3241	Harvapuustoiset alueet, cc <10 %	-3 [1]	42	42	0,238	0,238

3242	Harvapuustoiset alueet, cc 10–30 %, kivennäismaalla	-3 [1]	42	42	0,238	0,238
3243	Harvapuustoiset alueet, cc 10–30 %, turvemaalla	-3 [1]	533	533	0,238	0,238
3244	Harvapuustoiset alueet, cc 10–30 %, kalliomaalla	-3 [1]	42	42	0,238	0,238
3246	Harvapuustoiset alueet, sähkölinjan alla	-3 [1]	54	166	0,238	0,238
3311	Rantahietikot ja dyynialueet	0	54	166	0	0
3321	Kalliomaat	0	0	0	0	0
3331	Niukkakasvustoiset kangasmaat	-4,6 [2]	54	166	0,272	0,272
4111	Sisämaan kosteikot maalla	-4,6 [5]	533	533	0,498	0,498
4112	Sisämaan kosteikot vedessä	19,1625 [5]	0	0	0	0
4121	Avosuot	-0,159 [5]	533	533	0,498	0,498
4122	Turvetuotantoalueet	19,1625 [5]	0	0	0,498	0,498
4211	Merenrantakosteikot maalla	-4,6 [5]	533	533	0,498	0,498
4212	Merenrantakosteikot vedessä	19,1625 [5]	0	0	0	0

[1] Heinonsalo et al, 2009; Pirhonen et al, 2011

[2] Nykänen et al, 1995; Martikainen et al, 2003; Kauppi et al, 2010

[3] Huttunen et al, 2000; Lohila et al, 2000; Maljanen et al, 2000; Martikainen et al, 2003; Maljanen et al, 2004

[4] Heinonsalo et al, 2009; Kauppi et al, 2010; Pirhonen et al, 2011

[5] Alm et al, 1997; Martikainen, 2000; Nykänen et al, 2003; Bartlett and Harriss, 1993

Liite 3: Kuntakohtaiset tiedot nettonieluista/nettopäästöistä

Liitetaulukko 4: Keski-Suomen kuntien metsien nettonielujen/nettopäästöjen laskennan tiedot yhteensä ja asukasta kohti vuonna 2018

<i>tCO₂ ekv / vuosi</i>	<i>Puuston biomassan kasvu</i>	<i>Poistunut puun biomassa</i>	<i>Mineeraali- maat</i>	<i>Turve- maat</i>	<i>Lannoituksen N₂O-päästöt</i>	<i>Nettonielut/ päästöt yhteensä</i>	<i>Nettonielut/ päästöt yhteensä /asukas</i>	<i>Nettonielut/ päästöt yhteensä / ha</i>
<i>Hankasalmi</i>	-132 780	188 646	-18 257	16 896	65	54 569	11	1
<i>Joutsa</i>	-215 572	246 782	-28 657	32 171	106	34 830	7,8	0,4
<i>Jyväskylä</i>	-283 649	269 448	-40 144	28 035	136	-26 174	-0,2	-0,2
<i>Jämsä</i>	-401 287	411 504	-53 947	47 721	190	4 182	0,2	0
<i>Kannonkoski</i>	-116 501	73 451	-14 880	17 757	56	-40 116	-29,6	-0,9
<i>Karstula</i>	-202 803	137 856	-21 330	60 352	108	-25 817	-6,4	-0,3
<i>Keuruu</i>	-322 409	276 886	-38 137	63 641	158	-19 861	-2	-0,2
<i>Kinnula</i>	-108 432	63 989	-12 459	28 330	57	-28 515	-17,7	-0,6
<i>Kivijärvi</i>	-120 566	65 887	-14 392	27 846	63	-41 163	-37,3	-0,9
<i>Konnevesi</i>	-130 291	135 059	-18 671	13 027	63	-813	-0,3	0
<i>Kyyjärvi</i>	-94 338	45 938	-8 816	38 508	55	-18 653	-13,9	-0,4
<i>Laukaa</i>	-148 281	157 301	-21 433	12 973	71	631	0	0
<i>Luhanka</i>	-56 344	81 748	-8 042	4 725	27	22 114	31,3	1
<i>Multia</i>	-185 232	121 709	-19 650	48 885	94	-34 195	-21,6	-0,5
<i>Muurame</i>	-34 840	27 241	-5 001	2 826	16	-9 757	-1	-0,7
<i>Petäjävesi</i>	-113 211	102 416	-14 388	18 753	55	-6 375	-1,6	-0,1
<i>Pihlajavesi</i>	-254 424	168 419	-29 565	62 371	133	-53 067	-13,1	-0,5
<i>Saarijärvi</i>	-305 670	273 223	-37 358	57 203	151	-12 452	-1,3	-0,1
<i>Toivakka</i>	-92 403	108 653	-12 799	10 281	44	13 776	5,7	0,4
<i>Uurainen</i>	-84 538	80 044	-10 621	15 296	42	224	0,1	0
<i>Viitasaari</i>	-321 867	270 585	-42 928	43 429	156	-50 626	-8,1	-0,4
<i>Äänekoski</i>	-228 016	220 404	-32 068	20 665	107	-18 908	-1	-0,2
<i>Keski- Suomi</i>	-3 953 453	3 527 188	-503 544	671 690	1 954	-256 166	-0,9	-0,2

Liitetaulukko 5: Keski-Suomen kuntien metsien nettonielujen/nettopäästöjen laskennan tiedot yhteensä ja asukasta kohti vuonna 2023

<i>tCO₂ ekv / vuosi</i>	<i>Puuston biomassa n kasvu</i>	<i>Poistunut puun biomassa</i>	<i>Mineeraali- maat</i>	<i>Turve- maat</i>	<i>Lannoituksen N₂O-päästöt</i>	<i>Nettonielut/ päästöt yhteensä</i>	<i>Nettonielut/ päästöt yhteensä /asukas</i>	<i>Nettonielut/ päästöt yhteensä / ha</i>
<i>Hankasalmi</i>	-131 028	165 054	-14 606	20 093	56	39 570	8,6	0,7
<i>Joutsa</i>	-212 962	193 401	-22 925	38 258	92	-4 137	-1	0
<i>Jyväskylä</i>	-280 266	235 988	-32 115	33 339	117	-42 936	-0,3	-0,4
<i>Jämsä</i>	-395 999	311 876	-43 157	56 750	164	-70 366	-3,6	-0,4
<i>Kannonkoski</i>	-113 861	65 473	-11 904	21 118	48	-39 126	-30,8	-0,9
<i>Karstula</i>	-197 009	120 971	-17 064	71 772	93	-21 237	-5,8	-0,2
<i>Keuruu</i>	-315 275	216 343	-30 509	75 684	136	-53 622	-5,8	-0,4
<i>Kinnula</i>	-105 209	54 878	-9 967	33 691	50	-26 558	-17,1	-0,6
<i>Kivijärvi</i>	-117 232	43 168	-11 514	33 114	54	-52 409	-49,3	-1,1
<i>Konnevesi</i>	-128 604	98 342	-14 937	15 491	55	-29 652	-11,8	-0,6
<i>Kyyjärvi</i>	-91 073	55 359	-7 053	45 795	48	3 076	2,6	0,1
<i>Laukaa</i>	-146 195	111 577	-17 147	15 428	61	-36 276	-1,9	-0,6
<i>Luhanka</i>	-55 859	65 389	-6 434	5 620	23	8 738	12,6	0,4
<i>Multia</i>	-180 396	89 953	-15 720	58 135	81	-47 947	-32,5	-0,7
<i>Muurame</i>	-34 520	27 731	-4 001	3 361	14	-7 414	-0,7	-0,5
<i>Petäjävesi</i>	-111 178	70 710	-11 511	22 301	48	-29 629	-8,1	-0,6
<i>Pihlajavesi</i>	-247 773	145 304	-23 652	74 172	114	-51 834	-13,7	-0,5
<i>Saarijärvi</i>	-298 875	194 506	-29 887	68 026	130	-66 099	-7,4	-0,5
<i>Toivakka</i>	-91 039	82 953	-10 239	12 226	38	-6 061	-2,5	-0,2
<i>Uurainen</i>	-82 885	48 752	-8 496	18 191	36	-24 402	-6,8	-0,7
<i>Viitasaari</i>	-315 537	205 848	-34 343	51 646	134	-92 251	-15,5	-0,7
<i>Äänekoski</i>	-224 572	177 456	-25 655	24 575	93	-48 104	-2,7	-0,5
<i>Keski- Suomi</i>	-3 877 348	2 781 032	-402 835	798 788	1 686	-698 677	-2,6	-0,4

Liitetaulukko 6: Keski-Suomen kuntien nettonielujen/nettopäästöjen laskennan tiedot vuonna 2018

<i>tCO₂</i> ekv / vuosi	<i>Metsämaat</i>	<i>Viljelysmaat</i>	<i>Rakennetut alueet</i>	<i>Ruohikkomaat</i>	<i>Kosteikot</i>	<i>Yhteensä</i>	<i>Yhteensä /asukas</i>	<i>Yhteensä/ha</i>
<i>Hankasalmi</i>	54 569	13 443	1 127	555	6 141	75 835	15,4	1,3
<i>Joutsa</i>	34 830	20 788	1 207	1 142	16 060	74 028	16,6	0,9
<i>Jyväskylä</i>	-26 174	9 496	2 956	568	2 422	-10 732	-0,1	-0,1
<i>Jämsä</i>	4 182	10 973	2 495	371	1 561	19 582	1	0,1
<i>Kannonkoski</i>	-40 116	5 977	442	160	565	-32 972	-24,4	-0,7
<i>Karstula</i>	-25 817	29 828	2 441	1 734	35 478	43 664	10,8	0,5
<i>Keuruu</i>	-19 861	13 681	2 401	1 013	8 820	6 054	0,6	0
<i>Kinnula</i>	-28 515	16 265	790	364	3 420	-7 676	-4,8	-0,2
<i>Kivijärvi</i>	-41 163	5 430	541	320	1 250	-33 622	-30,5	-0,7
<i>Konnevesi</i>	-813	4 933	394	296	887	5 698	2,1	0,1
<i>Kyyjärvi</i>	-18 653	18 915	1 228	1 545	14 486	17 522	13	0,4
<i>Laukaa</i>	631	12 993	1 354	633	89	15 700	0,8	0,2
<i>Luhanka</i>	22 114	991	148	90	278	23 621	33,4	1,1
<i>Multia</i>	-34 195	3 409	1 225	378	16 016	-13 166	-8,3	-0,2
<i>Muurame</i>	-9 757	1 371	314	96	0	-7 977	-0,8	-0,6
<i>Petäjävesi</i>	-6 375	4 975	976	331	4 754	4 661	1,2	0,1
<i>Pihtipudas</i>	-53 067	29 721	1 384	1 132	3 326	-17 504	-4,3	-0,2
<i>Saarijärvi</i>	-12 452	10 913	1 867	495	22 177	23 000	2,4	0,2
<i>Toivakka</i>	13 776	2 809	466	222	0	17 273	7,2	0,5
<i>Uurainen</i>	224	2 187	665	97	194	3 368	0,9	0,1
<i>Viitasaari</i>	-50 626	17 755	1 103	1 481	1 692	-28 595	-4,6	-0,2
<i>Äänekoski</i>	-18 908	5 987	1 107	308	661	-10 845	-0,6	-0,1
<i>Keski-Suomi</i>	-256 166	242 841	26 632	13 330	140 277	166 915	0,6	0,1

Liitetaulukko 7: Keski-Suomen kuntien nettonielujen/nettopäästöjen laskennan tiedot vuonna 2023

<i>tCO₂ ekv / vuosi</i>	<i>Metsämaat</i>	<i>Viljelysmaat</i>	<i>Rakennetut alueet</i>	<i>Ruohikkomaat</i>	<i>Kosteikot</i>	<i>Yhteensä</i>	<i>Yhteensä /asukas</i>	<i>Yhteensä/ha</i>
<i>Hankasalmi</i>	39 570	14 868	1 024	615	4 779	60 856	13,2	1,1
<i>Joutsa</i>	-4 137	21 452	1 097	1 273	12 498	32 183	7,7	0,4
<i>Jyväskylä</i>	-42 936	11 082	2 735	625	1 884	-26 610	-0,2	-0,2
<i>Jämsä</i>	-70 366	13 134	2 288	406	1 215	-53 323	-2,8	-0,3
<i>Kannonkoski</i>	-39 126	6 358	403	178	440	-31 748	-25	-0,7
<i>Karstula</i>	-21 237	29 697	2 188	1 932	27 609	40 189	11	0,5
<i>Keuruu</i>	-53 622	14 193	2 168	1 125	6 863	-29 272	-3,2	-0,2
<i>Kinnula</i>	-26 558	16 666	710	406	2 661	-6 115	-3,9	-0,1
<i>Kivijärvi</i>	-52 409	5 584	489	356	973	-45 008	-42,3	-0,9
<i>Konnevesi</i>	-29 652	5 473	365	328	691	-22 797	-9	-0,4
<i>Kyyjärvi</i>	3 076	18 996	1 098	1 724	11 273	36 167	30,2	0,8
<i>Laukaa</i>	-36 276	14 773	1 248	699	69	-19 487	-1	-0,3
<i>Luhanka</i>	8 738	1 222	137	99	216	10 413	15	0,5
<i>Multia</i>	-47 947	3 705	1 101	419	12 464	-30 259	-20,5	-0,4
<i>Muurame</i>	-7 414	1 484	293	106	0	-5 531	-0,5	-0,4
<i>Petäjävesi</i>	-29 629	5 668	883	367	3 699	-19 012	-5,2	-0,4
<i>Pihtipudas</i>	-51 834	30 282	1 250	1 260	2 588	-16 454	-4,3	-0,2
<i>Saarijärvi</i>	-66 099	13 427	1 698	544	17 258	-33 173	-3,7	-0,3
<i>Toivakka</i>	-6 061	3 142	427	246	0	-2 247	-0,9	-0,1
<i>Uurainen</i>	-24 402	2 934	603	105	151	-20 608	-5,7	-0,6
<i>Viitasaari</i>	-92 251	18 854	1 012	1 646	1 317	-69 423	-11,7	-0,6
<i>Äänekoski</i>	-48 104	7 173	1 025	339	515	-39 053	-2,2	-0,4
<i>Keski- Suomi</i>	-698 677	260 169	24 240	14 795	109 164	-290 310	-1,1	-0,2

Liite 4: Skenaariolaskennan epävarmuudet

Skenaariolaskennan yhteydessä ei tehty tarkempaa herkkyystarkastelua tai laskenta-aineiston, -mallin ja tulosten epävarmuusmarginaalien laskennallista arviointia (vrt. esim. kansallisen kasvihuonekaasuinventaarion epävarmuustarkastelu (Statistics Finland, 2024)). Skenaariolaskennassa käytetystä laskentamallista puuttui epävarmuustarkasteluun tarvittava elementti eikä erilliseen tarkasteluun ollut projektissa ajallisia resursseja.

Suhteellisesti eniten kokonaistuloksiin vaikuttaviksi skenaariolaskennan parametreihin ja menetelmiin liittyviksi epävarmuus- tai herkkyystekijöiksi tunnistettiin kuitenkin alla olevan listan mukaiset laskennan parametrit tai menetelmävalinnat. Niille arvioitiin suuntaa antava parametri- tai menetelmäkohtainen epävarmuusmarginaali (listassa suluissa prosentteina). Mukana ei ole skenaarioiden laadinnassa käytettyjä valinnanvaraisia avainparametreja kuten hakkuumääriä.

- puuston biomassan kasvun ikä-, puusto- ja maaperäpainotetun kertoimen määrittely ja sen kumuloivat vaikutukset tarkasteltavalla aikavälillä (keskimäärin ± 20 %)
- puun vuosikasvun biomassamuunnoksessa käytettyjen BCEF-kertoimien tarkkuus ja laskennallisen määrittelyn puuttuminen sekä kerroinmäärittelyn kumuloivat vaikutukset tarkasteltavalla aikavälillä (keskimäärin ± 20 %)
- metsien turvemaaperän päästökertoimen määrittely (keskimäärin ± 30 %)
- eri metsänhoitotoimenpiteiden vaikuttavuuden arviot ja niiden kumuloivat vaikutukset tarkasteltavalla aikavälillä (keskimäärin ± 35 %)
- viljelysmaan kivennäis- ja turvemaasuusien epävarmuudet (± 15 %)
- turvetuotantoalueiden määrän vaikutus etenkin tarkastelujänteen alussa (± 15 %)
- laskentamallin ja aineiston vaikutus rakennettujen alueiden kasvihuonekaasupäästöjen ja -poistumien tuloksiin etenkin tarkasteltavan aikavälin loppuosuudella (keskimäärin ± 20 %, aikavälin loppuosuudella ± 20 %)
- kansalliseen tilastoaineistoon ja sen pohjalta tehtyihin arvoihin perustuvat puutuotteiden tuotantomäärät ja -osuudet sekä niiden kehitys maakuntatasolla sekä oletusten kumuloiva vaikutus puutuotevaraston kehitykseen tarkasteltavalla aikavälillä (keskimäärin ± 30 %)
- puutuotteiden suhdannesykliden puuttuminen ja niiden kumuloiva vaikutus puutuotevaraston kehitykseen tarkasteltavalla aikavälillä (keskimäärin ± 20 %)

Yllä olevien epävarmuustekijöiden todennäköinen yhteisvaikutus skenaarioissa laskettuihin maankäytön kasvihuonekaasupäästöihin ja -poistumiin Keski-Suomessa on tarkasteltavan aikavälin keskivaiheilla 2030-luvun puolivälissä maksimissaan noin ± 25 %. Todennäköinen enimmäisvaihteluväli kasvaa vuotta 2050 kohti mentäessä parametrivalintojen ja laskentamenetelmien kumuloivien vaikutusten takia arviolta ± 35 %:iin. Vaihteluväli on käytännössä esitettyä pienempi, sillä epävarmuustekijät vaikuttavat todennäköisesti hyvin ristikkäisesti ja kompensoivat skenaariolaskennassa osittain toistensa vaikutuksia.