



AFRY

Pohjois-Savon maankäyttösektorin hiilitaseselvitys 2023

Kesäkuu 2025

Selvityksen on laatinut AFRY Management Consulting Oy Pohjois-Savon ELY-keskuksen toimeksiannosta.

Raportin laatijat:

Nico Österberg, Jussi Rasinmäki, Fardin Esmaeilikargani, Jouni Kalliovirta ja Victoria Poljatschenko.

Julkaisija:

Pohjois-Savon ELY-keskus, Hiilineutraali Pohjois-Savo – vastuullisesti ja vaikuttavasti (HIPOVA) -hanke

Tämä raportti on tuotettu AFRY Management Consulting Smart Forestry ("AFRY") toimesta yksinomaan Pohjois-Savon ELY-keskuksen käyttöön. **Hyväksymällä tämän raportin vastaanottamisen, vastaanottaja tunnustaa ja hyväksyy tämän vastuuvapauslausekkeen ehdot.**

MIHINKÄÄN TÄSSÄ RAPORTISSA EI TULE LUOTTAA LUPAUKSENA TAI ESITYKSENÄ MENNEISTÄ TAI TULEVISTA TAPAHTUMISTA TAI TULOKSISTA. AFRY ON VALMISTANUT TÄMÄN RAPORTIN PERUSTUEN SILLE SAATAVILLA OLEVAAN TIETOON SEN VALMISTELUAIKANA, EIKÄ SILLÄ OLE VELVOLLISUUTTA PÄIVITTÄÄ TÄTÄ RAPORTTIA.

AFRY ei anna mitään esitystä tai takuuta, ilmaistua tai implisiittistä, raportissa annettujen tietojen tarkkuudesta tai täydellisyydestä tai mistään muusta raporttiin liittyvästä esityksestä tai takuusta. Tämä raportti perustuu osittain tietoihin, jotka eivät ole AFRYn hallinnassa. Raportissa esitetyt arviot voivat muuttua, ja todelliset määrät voivat poiketa merkittävästi raportissa kuvatuista riippuen monista tekijöistä. AFRY nimenomaisesti kieltäytyy kaikesta vastuusta, joka perustuu kokonaan tai osittain AFRYlle annettuihin virheellisiin tai puutteellisiin tietoihin tai joka johtuu AFRYn tai sen toimihenkilöiden, johtajien, työntekijöiden tai edustajien huolimattomuudesta, virheistä tai laiminlyönneistä. Tämän raportin ja sen sisältämien arvioiden käyttö on käyttäjien omalla vastuulla.

AFRY nimenomaisesti kieltäytyy kaikesta vastuusta, joka johtuu tai liittyy tämän raportin käyttöön, paitsi siinä määrin kuin toimivaltainen tuomioistuim on lopullisella tuomiolla (ei muutoksenhakukelpoinen) todennut, että tällainen vastuu johtuu AFRYn tahallisuudesta, väärinkäytöksestä tai törkeästä huolimattomuudesta. AFRY kieltäytyy myös kaikesta vastuusta erityisistä, taloudellisista, satunnaisista, rangaistuksellisista, epäsuorista tai välillisistä vahingoista. **Missään olosuhteissa AFRYllä ei ole vastuuta raportin käytöstä, joka ylittää raportin tuottamisesta saadut maksut.**

Copyright © 2025 AFRY Management Consulting Oy

Kaikki oikeudet (mukaan lukien tekijänoikeudet) pidätetään AFRYlle. Raporttia ei saa jäljentää missään muodossa tai millään tavalla ilman AFRYn etukäteen antamaa kirjallista lupaa. Kaikki tällainen sallittu käyttö tai jäljentäminen on nimenomaisesti ehdollista tämän vastuuvapauslausekkeen ehtojen ja rajoitusten jatkuvalle soveltamiselle.



HIILINEUTRAALI
POHJOIS-SAVO



Elinkeino-, liikenne- ja
ympäristökeskus



Pohjois-Savon liitto



Euroopan unionin
osarahoittama

Sisältö

1	Johdanto Pohjois-Savon maankäyttösektorin hiilitaseselvitykseen.....	1
2	Pohjois-Savon hiilitase ja hiilivarastot vuonna 2023 maankäyttöluokittain	3
2.1	Metsämaa	7
2.2	Viljelysmaa ja ruohikkoalueet	8
2.3	Kosteikot.....	9
2.4	Rakennetut alueet ja muu maa	10
2.5	Puutuotteet	11
3	Selvityksen tulosten analyysi ja vertailu	12
4	Toimenpidesuosituksset metsämaalle hiilinielujen vahvistamiseksi	16

LIITE 1: Kuvaus AFRYn maankäyttösektorin hiililaskennasta

LIITE 2: Kuvaus Pohjois-Savon maankäyttöluokituksista hiilitaselaskennan lähtökohtana

LIITE 3: Yhteenvedo Pohjois-Savon hiilitaseista ja -varastoista kunnittain ja maankäyttöluokittain

LIITE 4: Hiilitasetta selittävät tekijät: maankäyttöluokkien pinta-alat, maaperätyypit ja hakkuut

Kuvat ja taulukot

Taulukko 1.1 Yhteenveto Pohjois-Savon kuntien kokonaishiilitaseista ja -hiilivarastoista sisältäen metsämaan, viljelysmaan, ruohikko- ja kosteikkoalueet.	1
Kuva 2.1 Yhteenveto Pohjois-Savon kuntien päästöistä ja poistumista maankäyttöluokittain sekä hiilitaseista	3
Kuva 2.2 Karttakuva Pohjois-Savon maankäyttösektorin nettonielujen ja -päästöjen alueellisesta jakaumasta.	4
Kuva 2.3 Karttakuva Pohjois-Savon maankäyttösektorin hiilivarastojen alueellisesta jakaumasta.	5
Taulukko 2.1 Yhteenveto Pohjois-Savon kuntien kokonaishiilitaseista ja -hiilivarastoista sisältäen metsämaan, viljelysmaan, ruohikkoalueet, kosteikkoalueet sekä rakennetut alueet ja muun maan.....	7
Taulukko 2.2 Yhteenveto Pohjois-Savon kuntien hiilitaseista puustolle, maaperälle ja CH ₄ ja N ₂ O päästöille eriteltyinä metsämaalla.....	8
Taulukko 2.3 Yhteenveto Pohjois-Savon kuntien hiilivarastoista puustossa ja maaperässä metsämaalla.	8
Taulukko 2.4 Yhteenveto Pohjois-Savon kuntien hiilitaseista viljelysmaalla ja ruohikkoalueilla.	9
Taulukko 2.5 Yhteenveto Pohjois-Savon kuntien hiilitaseista kosteikoissa.	10
Taulukko 2.6 Yhteenveto Pohjois-Savon kuntien hiilitaseista puutuotevarastossa.	11
Kuva 3.1 Yhteenveto Pohjois-Savon kokonaismaapinta-alasta kunnittain ja maankäyttöluokittain.	12
Kuva 3.2 Yhteenveto Pohjois-Savon kuntien suhteellisista hiilitaseista sekä niitä selittävästä maankäyttäjakaumista, maaperätyyppijakaumista ja hakkuista.	13
Kuva 3.7 Esimerkki metsämaan laskennan tarkkuudesta ruudukkotasolla, missä oranssin ja vihreän värin sävyt osoittavat hiilivuon suuruuden.	16

Raportin keskeiset käsitteet ja määritelmät¹

Hiilidioksidiekvivalenttitonni (tCO₂e) on kasvihuonekaasupäästöjen yhteismitta, jossa eri kasvihuonekaasujen vaikutus on muunnettu vastaamaan hiilidioksidin ilmastovaikutusta.

Hiilineutraalius on tila, jossa ihmisen toiminnan kasvihuonekaasupäästöt (KHK-päästöt) ja hiilinielujen sitoma määrä ovat tasapainossa (ts. hiilitase on nolla).

Hiilinielu on prosessi, toiminta tai mekanismi, jossa hiilidioksidia sitoutuu ilmakehästä esimerkiksi puustoon ja maaperään metsän kasvaessa (luonnollinen hiilinielu) tai teknologisen ratkaisun myötä (tekninen hiilinielu).

Hiilitase kuvaa maankäyttösektorin, yksittäisen maankäyttöluokan tai hiilivaraston päästöjen ja poistumien nettomuutosta tietyllä aikavälillä.

Hiilivarasto on puuston ja maaperän sisältämä hiilen määrä, joka ilmaistaan usein hiilitonneina (tC).

Hiilivuo on hiilidioksidin liikkuminen ilmakehän ja ekosysteemin välillä, joka voi olla joko positiivinen (päästö) tai negatiivinen (poistuma).

Hoidettu maa -luokittelu rajaa kansallisen KHK-laskennan maankäyttösektorilla alueisiin, jotka ovat ihmistoiminnan kohteena ja sen myötä ihmisen aiheuttamien päästöjen ja poistumien lähde.

(Päästö)kompensointi tarkoittaa ihmisen toiminnasta aiheutuvien kasvihuonekaasupäästöjen hyvittämistä tukemalla esim. hiilinieluja toisaalla.

Maankäyttösektori (LULUCF) kattaa maankäytön, maankäytön muutokset ja metsätalouden vaikutukset kasvihuonekaasupäästöihin ja -nieluihin.

Nettonielu syntyy maankäyttösektorille, kun päästöjen ja poistumien summa on negatiivinen arvo.

Nettopäästö syntyy maankäyttösektorille, kun päästöjen ja poistumien summa on positiivinen arvo.

(Kasvihuonekaasun) poistuma on hiilinielun tuottama vähennys ilmakehän hiilidioksidikertymästä.

(Kasvihuonekaasu)päästö on kasvihuonekaasun vapautumisen tuottama lisäys ilmakehässä.

Päästölähde prosessi, toiminta tai mekanismi, jossa kasvihuonekaasua vapautuu ilmakehään.

Valtakunnan metsien inventointi (VMI) kartoittaa säännöllisesti Suomen metsävarat arvioiden olemassa olevan puuston määrän ja laadun.

¹ Käsitteistö on linjassa Hiilineutraalisuomi.fi sivuston määritelmien kanssa

Yhteenveto selvityksestä

Tämä selvitys tarjoaa ajankohtaista tietoa Pohjois-Savon maankäyttösektorin hiilitaseesta ja hiilivarastoista maakunta- ja kuntatasolla. Selvitys nojaa tuoreimpaan Valtakunnan metsien inventointiin ("VMI13"), joka sisältää inventointitietoja vuosilta 2019–2023. Saatavilla olevien aineistojen ajankohdasta johtuen, selvityksen tarkasteluvuodeksi valittiin 2023. Osana Hiilineutraali Pohjois-Savo – vastuullisesti ja vaikuttavasti (HIPOVA) -hanketta, selvityksen on tarkoitus tuottaa uutta tietoa maakunnan ilmastotoimien tueksi kohti hiilineutraaliutta 2035.

Pohjois-Savon maankäyttösektorin hiilitase vuonna 2023 oli **-525,6 ktCO₂e/v** muodostaen hiilinielun (Taulukko 1.1). Maakunnan kokonaishiilivarasto oli **337 046 ktC**. Maakunnan suhteellinen hiilinielu pinta-alan yksikköä kohden oli **-0,3 ktCO₂e/v/ha**. Keskimääräinen hiilivarasto Pohjois-Savossa tarkasteluvuonna oli **192,4 tC/ha**.

Kokonais- hiilitase, ktCO ₂ e/v	Kokonais- hiilitase, tCO ₂ e/v/ha	Kokonais- hiilivarasto, ktC	Kokonais- hiilivarasto, tC/ha
-525,6	-0,3	337 046	192,4

Taulukko 1.1 Pohjois-Savon kokonaishiilitase ja -hiilivarasto sisältäen metsämaan, viljelysmaan, ruohikko- ja kosteikkoalueet.

Aikaisempaan, vuonna 2020 julkaistuun Pohjois-Savon kasvihuonekaasupäästöt ja hiilitase -selvitykseen, nähden maakunnan laskennallinen hiilinielu oli nyt noin 210 ktCO₂e/v heikompi kuin vuonna 2018. Tulosten vertailukelpoisuutta heikentää olennaisesti tässä selvityksessä sovelletun menetelmän poikkeavuus aiemmasta. Aiemman raportin menetelmä ei ole yksiselitteisesti kuvattu, mutta erityisesti ojitettujen turvemaiden maaperän mallinnus, puuston kasvumallit sekä mallien ilmastoparametrien aikasarjat ovat päivittyneet ja kehittyneet malleista, jotka olivat yleisesti saatavilla vuonna 2020. Myös kansallisen KHK-inventaarion menetelmissä on selvitysten välisenä aikana tapahtunut merkittäviä päivityksiä², jotka ovat pienentäneet metsämaan laskennallista hiilinielua aiemmasta.

Maakunnalla on hyvät mahdollisuudet vahvistaa hiilinieluja metsänhoidollisin toimenpitein, jotta hiilinielun taso saadaan riittäväksi hiilineutraalisuustavoitteen saavuttamiseksi vuonna 2035. Pohjois-Savon metsät ovat reheviä ja nykyinen ikärakenne painottaa nopean kasvun vaihetta³. Hiilinielua kasvattavia toimenpiteitä on mahdollista suorittaa läpi metsän kiertoajan ja sen päätteeksi esimerkiksi muokkaamalla hakkuuvoimakkuutta.

² <https://www.luke.fi/fi/uutiset/kasvihuonekaasuinventaarion-ennakkotiedot-2023-metsat-ovat-kaantyneet-paastolahteeksi-koska-puuston-nielu-ei-ena-riita-kattamaan-metsien-maaperan-paastoja>

³ Pohjois-Savon metsäohjelma 2021–2025. Metsäkeskus.

1 Johdanto Pohjois-Savon maankäyttösektorin hiilitaseselvitykseen

Pohjois-Savon maakunta tavoittelee hiilineutraaliutta vuoteen 2035 mennessä. Tavoitteeseen pyritään vähentämällä maakunnan kasvihuonekaasupäästöjä (KHK-päästöjä) 80 %:a vuoden 2007 tasosta. Se osuus laskennallisista päästöistä, jota ei ole mahdollista vähentää tietyllä aikavälillä, on tarkoitus poistaa ilmakehästä hiilinielujen avulla. Hiilen poistumaa on tarkoitus ensisijaisesti vahvistaa Pohjois-Savossa ja lisäksi tarvittaessa tukemalla hiilinieluja maakunnan rajojen ulkopuolella (ts. kompensoida). Päästövähennysten ja -poistojen perimmäisenä tarkoituksena on tilanne, missä koko maakunnan hiilitase on tasapainotilassa (hiilineutraali).

Tämä selvitys on osa Pohjois-Savon ELY-keskuksen koordinoimaa Hiilineutraali Pohjois-Savo - vastuullisesti ja vaikuttavasti (HIPOVA) -hanketta, joka on käynnistynyt maaliskuussa 2024. Maakunta on teettänyt aikaisemman selvityksen kaikkien talouden sektoreiden päästöistä ja poistumista vuonna 2020⁴, jossa maankäyttösektorin hiilitase raportoitiin vuodelle 2018 ja puuston hiilivarasto vuodelle 2015. Aikaisemmasta selvityksestä poiketen, tämä selvitys keskittyy tarkastelemaan **Pohjois-Savon maankäyttösektoria** ja sen sisältämiä luonnollisia hiilivarastoja. Luonnolliset hiilivarastot poistavat kasvaessaan hiiltä ilmakehästä ja voivat toimia hiilinieluinä. Kansallista päästölaskentaa ohjaavassa KHK-laskentaohjeessa luonnolliset hiilivarastot voivat sijoittua maankäyttösektorin kuuteen laskentaluokkaan: metsämaa, viljelysmaa, ruohikkoalueet, kosteikkoalueet, rakennetut alueet ja muu maa sekä puutuotteet. Kaikkien mainittujen maankäyttöluokkien hiilivarastojen hiilitaseet mallinnettiin tässä selvityksessä kunnittain. Nojaten saavutettuihin mallinnustuloksiin, tämän raportti

1. tarjoaa ajankohtaista tietoa hiilivarastoista ja hiilitaseista maankäyttösektorilla
2. vertaa tuloksia aikaisemman selvityksen tuloksiin maankäyttösektorin osalta
3. kommentoi aikaisemman selvityksen ilmastoskenaarioiden toteutumista
4. tarjoaa metsämaalle hiilinielua vahvistavia toimenpidesuosituksia

Maankäyttösektori on yksi keskeisimmistä tekijöistä Suomen ja monien yksittäisten maakuntien ilmastopolitiikassa. Sektorilla on merkittävä rooli sekä hiilinielujen ylläpitämisessä että päästöjen vähentämisessä. Hiilivarastojen muutosta mittaamalla arvioidaan, miten ihmisen toiminta: maankäyttö ja maankäytön muutos vaikuttavat sektorin hiilitaseeseen. Maankäytön muutokset on rajattu tämän selvityksen ulkopuolelle. Ymmärtämällä maankäytön vaikutusta hiilitaseeseen, voidaan arvioida Pohjois-Savon mahdollisuuksia saavuttaa hiilineutraalius. Pohjois-Savon toimet maankäyttösektorin hiilinielujen vahvistamisessa tukevat kansallisia ilmastotavoitteita sekä alueellisten velvoitteiden⁵ saavuttamista EU:ssa. Toimien suunnittelu ja vaikuttavuuden arviointi tarjoaakin arvokasta tietoa myös maan kokonaisvaltaisen ilmastostrategian jalkauttamiseen ja edelleen kehittämiseen.

Maankäyttösektorilla metsämaan rooli hiilinieluna on erityisen keskeinen ilmastotavoitteisiin pyrkiessä: metsät sitovat luontaisesti ilmakehän hiilidioksidia. Hiilidioksidi muuttuu hiileksi puuston tilavuuskasvun myötä ja kulkeutuu maaperään puustosta muodostuvan syötteen kautta. Luonnollisen ympäristön tarkka mallinnus

⁴ Pohjois-Savon kasvihuonekaasupäästöt ja hiilitase. Benviroc & Luonnonvarakeskus. Kesäkuu 2020

⁵ Seppälä ym. 2025. Arvio Suomen maankäyttösektorin tilanteesta. Tarkastelussa EU:n LULUCF-velvoitekaudet 2021–2025 ja 2026–2030. Suomen Ilmastopaneeli.

edellyttää kansainvälisesti sovitun KHK-laskentaohjeen ja muiden menetelmien⁶ noudattamista, mihin kuuluu myös viimeisimmän tutkimustiedon soveltaminen. Kaikki mainitut edellytykset on huomioitu tässä selvityksessä, joka nojaa uusimpiin julkisiin tilastoihin, alueen maankäyttöaineistoihin, mallinnukseen ja tutkimustietoon (Liite 1).

Kestävät metsänhoitomenetelmät ovat ratkaisevassa asemassa vahvistettaessa metsien hiilinielua, mihin vaikuttavat ihmisen toiminta ja luonnolliset tekijät. Kestävän metsänhoidon tulisin

- vähentää ihmisen toimien vaikutusta luonnollisessa ympäristössä
- ylläpitää metsien kykyä selviytyä (resilienssiä) ilmaston ja muun ympäristön muuttuessa

Tarve metsien hiilinielujen vahvistamiselle sekä sopeuttaville toimenpiteille ilmaston ja elinolosuhteiden muuttuessa korostuu myös käynnissä olevassa julkisessa keskustelussa. Keskustelua on viime vuosina kiihdyttänyt erityisesti kansallista kasvihuonekaasuinventaariota koskevat julkaisut: Suomen maankäyttösektori (LULUCF) muuttui nettohiilinielusta päästön lähteeksi vuonna 2018, minkä jälkeen vuonna 2021 myös metsämaa kääntyi vuosikymmenten aikaisesta nielusta päästön lähteeksi⁷. Kiireellisyttä hiilinielujen vahvistamisessa on painottanut hiljattain myös Euroopan tieteellinen ilmastoneuvosto⁸. Neuvosto on viimeisimpien suositusten myötä muistuttanut nielujen roolia EU:n ilmastotavoitteisiin pyrkiessä. Pyrkimyksenä entisestään tukea Pohjois-Savoa hiilinielujen vahvistamisessa, tämä selvitys tarjoaa metsänhoidollisia toimenpide-ehdotuksia metsämaalle. Suositukset nojaavat nykyiseen ymmärrykseen hiilinieluja ja metsän resilienssiä (kykyä selviytyä muuttuvissa olosuhteissa) parantavista toimista.

Hiilitase syntyy hiilivarastojen nettomuutoksesta, mikä lähtökohtaisesti tuottaa hiilipäästön tai -poistuman

Kansainvälisen KHK-laskentaohjeen mukaisesti, tämä selvitys huomioi hoidetun maan luonnollisten hiilinielujen lisäksi myös luonnollisen ympäristön päästöt. Käytännössä hiilivarasto tuottaa kasvaessaan hiilinielun ja pienentyessään hiilipäästön. Raportoinnissa hiilitase (ts. hiilivarastojen yhteenlaskettu nettomuutos) on negatiivinen, kun hiilivarastot yhteenlaskettuna kasvoivat. Kasvu tarkoittaa, että hiilivarasto on tietyllä ajanjaksolla tarkasteltuna poistanut ilmankehän hiilidioksidia enemmän kuin päästänyt kasvihuonekaasuja. Vastaavasti hiilitase on positiivinen, kun varastot yhdessä pienentyvät ja päästö ilmakehään on poistumaa suurempi. Hiilivaraston suuruus ilmoitetaan positiivisena kokonaislukuna. Kuvaten kumulatiivisen hiilen poistuman seurausta hiilivarasto ei ole yhteenlaskettavissa yksittäisten päästöjen ja poistumien kanssa. Hiilivarastojen muutokset tuottavat lähtökohtaisesti hiilivuon (ts. hiilidioksidivirran maan ja ilman välillä). Hiilidioksidin (tCO₂) lisäksi hiilivaraston muutos aiheuttaa maaperässä muidenkin luonnollisten KHK-kaasujen vapautumisen. Siksi maaperän laskennassa on huomioitu metaani- (CH₄) ja typpipäästöt (N₂O), jotka syntyvät hiilivaraston vähentyessä maantumalla. Vertailun mahdollistamiseksi kaikki hiilitaseet kuitenkin raportoidaan yhteismitallisesti CO₂ekvivalentteina (CO₂e).

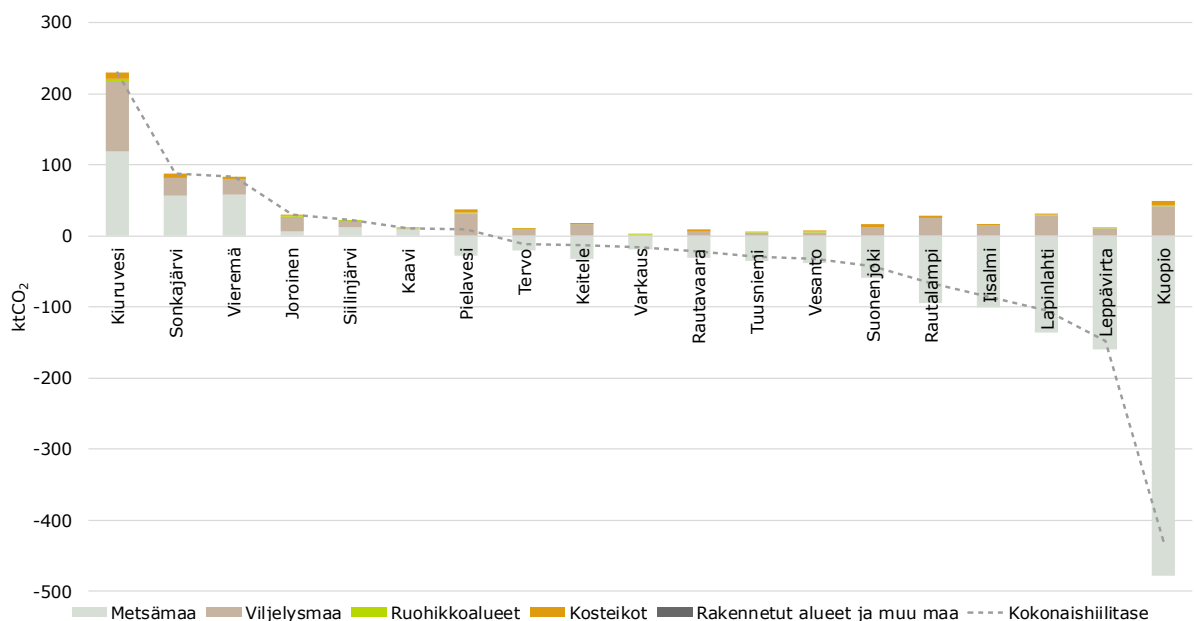
⁶ Erityisesti: 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories; 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories; 2013 Revised Supplementary Methods and Good Practice Guidance Arising from the Kyoto Protocol

⁷ Kasvihuonekaasuinventaario 2023: maataloussektorin ja maankäyttösektorin lopulliset tulokset hyvin lähellä ennakkotuloksia. Uutinen 14.2.2025. Luonnonvarakeskus.

⁸ Scaling up carbon dioxide removals - Recommendations for navigating opportunities and risks in the EU. European Scientific Advisory Board on Climate Change, 2025

2 Pohjois-Savon hiilitase ja hiilivarastot vuonna 2023 maankäyttöluokittain

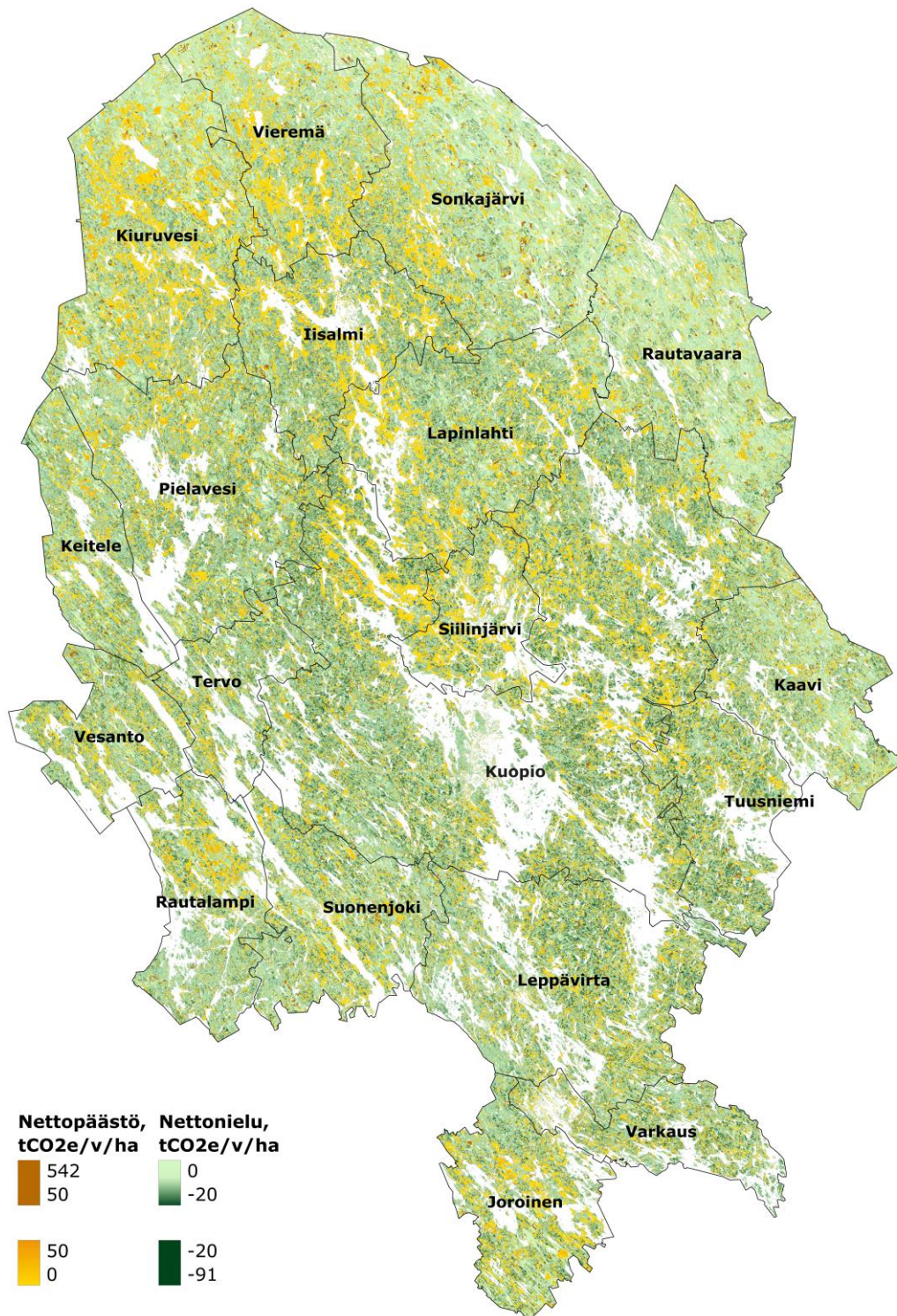
Pohjois-Savon maankäyttösektorin kokonaishiilitase vuonna 2023 muodosti **-525,6 ktCO₂e/v** suuruisen hiilinielun. Pohjois-Savon kunnista noin kaksi kolmasosaa (63 %) tuotti maankäyttösektorilla hiilinielun (Kuva 2.1). Tämä tarkoittaa, että kyseisissä kunnissa vuotuiset päästöt eivät ylittäneet vuotuisia poistumia. Absoluuttisesti suurimman hiilinielun tuotti maapinta-alaltaan suurin Kuopio (-34,6 ktCO₂e/v), joka vastasi 80 %:sta maakunnan vuotuisesta hiilinielusta. Koko maakunnan keskimääräinen hiilinielu hehtaaria kohden oli **-0,3 tCO₂e/v/ha** (Taulukko 2.1).



Kuva 2.1 Yhteenveto Pohjois-Savon kuntien päästöistä ja poistumista maankäyttöluokittain sekä hiilitaseista

Suurimmat suhteelliset hiilinielut kunnan kokonaispinta-alan nähden sijaitsivat Kuopiossa ja Leppävirralla, missä molemmissa hiilinielu oli hehtaaria kohden -1,3 tCO₂e/v/ha. Maankäyttösektori muodosti suurimman suhteellisen päästön Kiuruvedellä (1,7 tCO₂e/v/ha), mikä on myös havaittavissa hiilinielujen ja -päästöjen alueellista jakaumaa kuvaavasta kartasta (Kuva 2.2) Kartassa keltaisen ja vihreän värin tummuus osoittaa hiilivuon suuruuden. Laskennassa huomioitiin lähtökohtaisesti kaikki muut alueet paitsi vesistöt. Vesistöjen ei yleisesti katsota olevan ihmistoiminnan kohde eikä sen myötä hoidetun maan piirissä, mihin kansallinen KHK-laskenta rajautuu⁹. Kuva 2.2 vesistöt näkyvät kartan valkoisena pinta-alana.

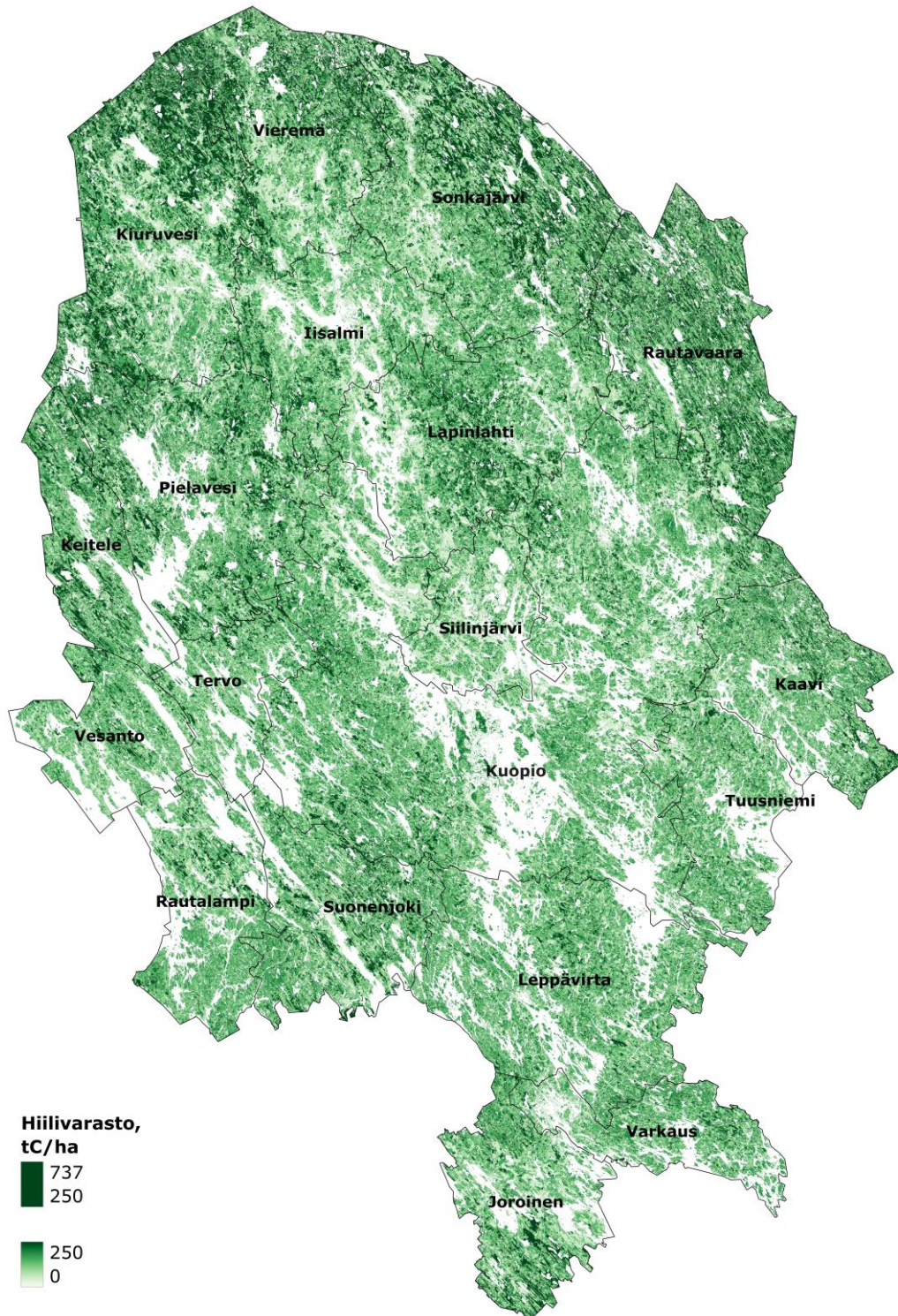
⁹ 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4 Agriculture, Forestry and Other Land Use. IPCC, 2019.



Kuva 2.2 Karttakuva Pohjois-Savon maankäyttösektorin nettonielujen ja -päästöjen alueellisesta jakaumasta.

Pohjois-Savon kokonaishiilivarasto vuonna 2023 oli **337 046 ktC** (Taulukko 2.1). Suurimman hiilinielun tavoin, myös absoluuttisesti suurin hiilivarasto löytyi Kuopiosta (50 255 ktC). Maakunnan keskimääräinen hiilivarasto hehtaaria kohden oli **192,4 tC/ha**. Suurin suhteellinen hiilivarasto kunnan pinta-alaan nähden (268,2 tC/ha), sijaitsi Rautavaaralla, missä runsashiilisten turvemaiden osuus metsämaan pinta-alasta on maakunnan suurin (Taulukko 2.1 Yhteenveto Pohjois-Savon kuntien

kokonaishiilitaseista ja -hiilivarastoista sisältäen metsämaan, viljelysmaan, ruohikkoalueet, kosteikkoalueet sekä rakennetut alueet ja muun maan. Tulosten mukaan Pohjois-Savon suurimmat hiilivarastot pinta-alan yksikköä kohden (tC/ha) sijoittuvat maakunnan pohjoisiin kuntiin, mitkä erottuvat kartalla (Kuva 2.3) tummimman sävyisinä. Kartan valkoiset alueet ovat enimmäkseen vesistöjä ja rajautuvat laskennan ulkopuolelle.



Kuva 2.3 Karttakuva Pohjois-Savon maankäyttösektorin hiilivarastojen alueellisesta jakaumasta.

Yllä mainitut tulokset hiilitaseille ja -varastoille kattavat viisi kuudesta maankäyttöluokasta: metsämaan, viljelysmaa, kosteikko- ja ruohikkoalueet sekä rakennetut alueet ja muun maan. Kuudentena laskennallisena maankäyttöluokkana, puutuotevarasto muodosti vuotuisen hakkuukertymän myötä -1 017 ktC/v suuruisen nielun. Puutuotevaraston muutosta tarkasteltiin tässä selvityksessä erikseen, koska sille sovellettava laskentatapa (kuvattu liitteessä 1) poikkeaa muiden maankäyttöluokkien laskentatavasta.

Yhteenveto maakunnan ja erillisten kuntien hiilitaseista on kuvattu Taulukko 2.1 Yhteenveto Pohjois-Savon kuntien kokonaishiilitaseista ja -hiilivarastoista sisältäen metsämaan, viljelysmaan, ruohikkoalueet, kosteikkoalueet sekä rakennetut alueet ja muun maan.. Positiiviset arvot kuvaavat nettopäästöä ja negatiiviset arvot nettonielua. Kuntien välisen vertailun mahdollistamiseksi tulokset on kuvattu kokonaisarvojen (ktCO₂e/v ja ktC) lisäksi myös suhteellisina pinta-alan yksikköä kohti (tCO₂e/v/ha ja tC/ha). Kokonaishiilitasetta tarkemmat tulokset on esitetty maankäyttöluokittain tämän luvun (2) erillisissä kappaleissa. Tätä tarkemmin tulokset on esitetty metsämaalle (Kappale 2.1), missä ainoana maankäyttöluokkana hiilitase ja -varasto määrittäivät puuston ja maaperän hiilivarastojen sekä maaperän metaani (CH₄) ja dityppioksidi (N₂O) päästöjen summana.

Sijainti	Kokonais- hiilitase, ktCO ₂ e/v	Kokonais- hiilitase, tCO ₂ e/v/ha	Kokonais- hiilivarasto, ktC	Kokonais- hiilivarasto, tC/ha
Iisalmi	-84,9	-1,1	11 744	151,1
Joroinen	30,4	0,5	10 392	176,7
Kaavi	11,3	0,2	13 196	194,5
Keitele	-13,4	-0,3	11 018	225,9
Kiuruvesi	229,4	1,7	32 020	238,5
Kuopio	-430,0	-1,3	50 255	153,1
Lapinlahti	-104,3	-0,9	20 144	181,1
Leppävirta	-148,0	-1,3	18 417	160,3
Pielavesi	9,3	0,1	25 376	218,2
Rautalampi	-66,0	-1,2	8 871	163,4
Rautavaara	-21,6	-0,2	30 969	268,2
Siilinjärvi	22,2	0,5	4 699	115,5
Sonkajärvi	87,9	0,6	37 181	252,5
Suonenjoki	-42,5	-0,6	13 909	194,1
Tervo	-10,9	-0,3	5 785	164,6
Tuusniemi	-29,7	-0,5	8 689	158,8
Varkaus	-15,7	-0,4	6 051	154,2
Vesanto	-32,0	-0,8	6 680	157,0
Vieremä	83,1	0,9	21 649	232,3
Pohjois-Savo	-525,6	-0,3	337 046	192,4

Taulukko 2.1 Yhteenveto Pohjois-Savon kuntien kokonaishiilitaseista ja -hiilivarastoista sisältäen metsämaan, viljelysmaan, ruohikkoalueet, kosteikkoalueet sekä rakennetut alueet ja muun maan.

2.1 Metsämaa

Metsämaa tuotti ainoana maankäyttöluokkana hiilinielun Pohjois-Savossa (Taulukko 2.2) pääasiassa puuston kasvun ansiosta. Pohjois-Savon hiilitase metsämaalla oli yhteensä **-969,5 ktCO₂e/v**. Keskimäärin maakunta tuotti **-0,7 tCO₂e/v/ha** suuruisen hiilinielun yhtä metsämaan hehtaaria kohden. Kuntatasolla metsämaa muodosti muutamassa kunnassa päästön, eli puuston kasvun tuottamat poistumat eivät riittäneet kattamaan puuston ja maaperän päästöjä. Kunnan pinta-alaan nähden suurin metsämaan hiilinielu muodostui metsämaalla Rautalammilla (-2,0 tCO₂e/v/ha). Hiilinielu oli keskimääräistä voimakkaampi myös Kuopiossa (-1,8 tCO₂e/v/ha) ja Iisalmissa (-1,7 tCO₂e/v/ha).

Metsämaan hiilinielu syntyy pitkälti puuston kasvun ja hakkuukertymän erotuksesta. Lisäksi metsämaan hiilitaseeseen vaikuttaa myös maaperän hiilivaraston muutos, mikä kivennäismailla voi tuottaa hiilinielun. Ojitetut turvemaat ovat tyypillisimmin päästölähde.

Kunta	Puuston hiilitase, ktCO ₂ e/v	Maaperän hiilitase, ktCO ₂ e/v	CH ₄ ja N ₂ O päästöt, ktCO ₂ e/v	Hiilitase, ktCO ₂ e/v	Hiilitase, tCO ₂ e/v/ ha
Iisalmi	-153,0	24,0	28,0	-100,9	-1,7
Joroinen	-49,8	25,5	30,0	5,7	0,1
Kaavi	-41,7	10,7	40,1	9,0	0,1
Keitele	-75,7	1,3	42,2	-32,2	-0,8
Kiuruvesi	-93,2	83,2	129,5	119,5	1,2
Kuopio	-681,6	102,4	100,4	-478,8	-1,8
Lapinlahti	-240,3	41,7	62,6	-136,0	-1,5
Leppävirta	-279,3	85,4	34,1	-159,9	-1,6
Pielavesi	-166,6	40,3	97,8	-28,5	-0,3
Rautalampi	-121,7	7,2	20,5	-94,0	-2,0
Rautavaara	-258,5	79,3	147,8	-31,4	-0,3
Siilinjärvi	-22,2	27,9	7,1	12,8	0,5
Sonkajärvi	-178,8	67,8	167,8	56,8	0,4
Suonenjoki	-120,2	20,6	41,1	-58,5	-0,9
Tervo	-43,8	7,1	16,3	-20,5	-0,7
Tuusniemi	-81,2	30,2	16,2	-34,8	-0,7
Varkaus	-52,2	22,2	11,6	-18,4	-0,5
Vesanto	-49,3	-2,0	13,4	-37,8	-1,0
Vieremä	-116,0	81,3	93,1	58,4	0,8
Pohjois-Savo	-2825,1	756,2	1099,5	-969,5	-0,7

Taulukko 2.2 Yhteenveto Pohjois-Savon kuntien hiilitaseista puustolle, maaperälle ja CH₄ ja N₂O päästöille eriteltyinä metsämaalla.

Muista maankäyttöluokista poiketen, metsämaan hiilivarasto sijaitsee elävässä puustossa sekä maaperän orgaanisessa aineessa. Taulukko 2.3 kuvaa kokonaisvaraston suuruuden sekä erikseen maaperän ja puuston varastot kunnittain.

Kunta	Puuston hiilivarasto, ktC	Maaperän hiilivarasto, ktC	Kokonais- hiilivarasto, ktC	Kokonais- hiilivarasto, tC/ha
Iisalmi	2 719	8 264	10 983	189,9
Joroinen	2 205	7 702	9 907	215,5
Kaavi	2 826	10 257	13 083	210,7
Keitele	2 032	8 748	10 780	251,7
Kiuruvesi	4 291	26 035	30 326	295,1
Kuopio	13 274	34 933	48 208	181,2
Lapinlahti	4 164	15 027	19 191	217,6
Leppävirta	5 223	12 830	18 053	178,2
Pielavesi	4 677	20 087	24 764	245,4
Rautalampi	2 346	6 156	8 503	184,4
Rautavaara	4 088	26 747	30 835	295,9
Siilinjärvi	1 181	3 093	4 274	159,5
Sonkajärvi	4 799	31 794	36 593	286,7
Suonenjoki	3 068	10 555	13 624	217,5
Tervo	1 450	4 186	5 636	181,9
Tuusniemi	2 322	6 174	8 496	176,3
Varkaus	1 738	4 232	5 970	177,9
Vesanto	1 741	4 720	6 462	177,1
Vieremä	2 869	18 076	20 946	277,6
Pohjois-Savo	67 014	259 617	326 631	223,7

Taulukko 2.3 Yhteenveto Pohjois-Savon kuntien hiilivarastoista puustossa ja maaperässä metsämaalla.

2.2 Viljelysmaa ja ruohikkoalueet

Pohjois-Savon viljelysmaiden ja ruohikkoalueiden kokonaispäästöt olivat erikseen **385,1 ktCO₂e/v** ja **14,7 ktCO₂e/v** (Taulukko 2.4). Yhdessä viljelysmaa ja ruohikkoalueet muodostivat **399,8 ktCO₂e/v** suuruisen päästön. Hehtaaria kohden yhteenlaskettu päästö oli **2,5 tCO₂e/v/ha**.

Sekä viljelysmaiden että ruohikkomaiden päästöt olivat kokonaisuudessaan suurimmat Kiuruvedellä (98,7 ktCO₂e/v ja 2,4 ktCO₂e/v samassa järjestyksessä). Pinta-alaan nähden suurin päästö muodostui Keiteleen viljelysmailla ja ruohikkoalueilla ollen 5,6 tCO₂e/v/ha. Vähäisestä ja lyhytikäisestä kasvillisuudesta johtuen, viljelysmaat ja ruohikkoalueet ovat tyypillisesti päästönlähde.

Kunta	Hiilitase, viljelysmaa, ktCO ₂ e/v	Hiilitase, ruohikkoalueet, ktCO ₂ e/v	Hiilitase yhteensä, ktCO ₂ e/v	Hiilitase yhteensä, tCO ₂ e/v/ha
Iisalmi	14,9	0,8	15,6	1,2
Joroinen	21,3	0,9	22,2	3,1
Kaavi	2,2	0,1	2,2	1,1
Keitele	16,4	0,5	16,9	5,6
Kiuruvesi	98,7	2,4	101,1	4,4
Kuopio	41,4	1,9	43,3	1,2
Lapinlahti	28,3	1,7	30,0	1,9
Leppävirta	10,8	1,1	11,9	2,0
Pielavesi	31,5	0,8	32,3	3,7
Rautalampi	25,0	0,6	25,5	5,3
Rautavaara	6,5	0,2	6,6	3,4
Siilinjärvi	8,9	0,5	9,4	1,3
Sonkajärvi	24,5	1,2	25,7	2,9
Suonenjoki	11,5	0,4	11,8	2,7
Tervo	9,2	0,3	9,5	4,7
Tuusniemi	4,9	0,2	5,1	1,6
Varkaus	2,3	0,4	2,7	2,0
Vesanto	5,5	0,4	5,8	1,6
Vieremä	21,5	0,6	22,1	1,9
Pohjois-Savo	385,1	14,7	399,8	2,5

Taulukko 2.4 Yhteenvedo Pohjois-Savon kuntien hiilitaseista viljelysmaalla ja ruohikkoalueilla.

2.3 Kosteikot

Kosteikoiden päästöt laskettiin yksinomaan nykyisiltä ja käytöstä poistuneilta turvetuotantoalueilta, mitkä ovat (olleet) ihmisen toiminnan kohteena. Pohjois-Savon kosteikot muodostivat **44,1 ktCO₂e/v** suuruisen kokonaispäästön (Taulukko 2.5). Päästö yhtä kosteikon hehtaaria kohden oli keskimäärin **1,2 tCO₂e/v/ha**. Suurin absoluuttinen päästö syntyi Kiuruveden kosteikoissa (8,8 ktCO₂e/v), kun taas suhteellisesti suurin päästö muodostui Suonenjoella (5,8 tCO₂e/v/ha).

Viljelysmaiden ja ruohikkoalueiden tavoin, kosteikot ovat tyypillisesti päästölähde runsaan ja pitkäikäisen kasvillisuuden puuttuessa. Mahdollisen hiilinielun puuttumisen lisäksi kosteikoiden tyypillinen maaperätyyppi tuottaa merkittäviä päästöjä ihmisen toiminnan seurauksena: maaperätyypeistä turvemaata muodostaa usein perustan kosteikoille (LIITE 4: Hiilitasetta selittävät tekijät: maankäyttöluokkien pinta-alat, maaperätyypit ja hakkuut). Pohjois-Savossakin turvemaan taloudellinen käyttö tuottaa merkittävän hiilidioksidin- ja metaanipäästön, sillä se edellyttää turvemaan kuivattamista. Maan kuivattaminen (esimerkiksi ojittamalla) nopeuttaa maaperän

hiilivaraston hajoamista. Hajoaminen ei hidastu merkittävästi suoraan taloudellisen toiminnan päätyttyä vaan edellyttää sen lisäksi ennallistamistoimia tai maankäytön muutosta. Tuotantokäytöstä poistuneiden turvemaiden päästöt laskevat merkittävästi vasta, kun turvemaat on saatettu takaisin luonnolliseen tilaan tai toisen maankäytön piiriin.

Kunta	Hiilitase, ktCO ₂ e/v	Hiilitase, tCO ₂ e/v/ha
Iisalmi	0,3	0,2
Joroinen	2,5	1,2
Kaavi	0,0	0,0
Keitele	1,9	1,9
Kiuruvesi	8,8	2,4
Kuopio	5,5	1,4
Lapinlahti	1,7	0,8
Leppävirta	0,0	0,0
Pielavesi	5,6	2,6
Rautalampi	2,4	5,2
Rautavaara	3,2	0,5
Siilinjärvi	0,0	0,0
Sonkajärvi	5,4	0,9
Suonenjoki	4,2	5,8
Tervo	0,0	0,0
Tuusniemi	0,0	0,0
Varkaus	0,0	0,0
Vesanto	0,0	0,0
Vieremä	2,7	0,9
Pohjois-Savo	44,1	1,2

Taulukko 2.5 Yhteenveto Pohjois-Savon kuntien hiilitaseista kosteikoissa.

2.4 Rakennetut alueet ja muu maa

Pohjois-Savon rakennetut alueet ja muu maa muodostivat **0 ktCO₂e/v** suuruisen kokonaispäästön. Kansallisen maankäyttösektorin KHK-inventaarion mukaisesti rakennettujen alueiden ja muun maankäytön biomassan ja maaperän hiilivarastojen oletetaan olevan tasapainossa eivätkä ne näin ollen toimi päästölähteinä tai nieluina.

Rakennetut alueet ja muu maa -luokka sisälsi tässä selvityksessä myös luokittelemattoman maan, jonka osuus kuntien kokonaispinta-alasta oli vähäinen (2–4 %). Luokittelemattoman maan oletettiin niin ikään olevan tasapainossa hiilitaseen osalta. Oletus perustuu rakennettuihin alueisiin ja muuta maata vastaaviin kasvuolosuhteisiin ja vähäiseen kasvillisuuteen. Luokittelematon maa sisältää pääosin metsäteitä, voimalinjoja, puistoalueita ja hautausmaita.

2.5 Puutuotteet

Pohjois-Savon puutuotevaraston kasvu muodosti – **3 727,7 ktCO₂e/v** suuruisen hiilinielun (Taulukko 2.6). Varaston kasvu johdettiin suoraan kuntien vuotuisesta hakkuukertymästä (LIITE 4: Hiilitasetta selittävät tekijät: maankäyttöluokkien pinta-alat, maaperätyypit ja hakkuut). Suurin absoluuttinen hakkuukertymä ja sen myötä syntynyt suurin lisäys puutuotevarastoon oli Kuopiossa. Kuopion osuus maakunnan puutuotteiden hiilinielusta oli – 763,6 ktCO₂e/v. Kunnan kokonaispinta-alaan nähden suurimmat hakkuukertymät hehtaaria kohden sijaitsivat Siilinjärvellä, missä puutuotevaraston suhteellinen hiilitase oli korkeimmillaan, -3,2 tCO₂e/v/ha.

Kunta	Saha- tavara, ktCO ₂ e/v	Puulevyt, ktCO ₂ e/v	Paperi ja kartonki, ktCO ₂ e/v	Hiilitase yht., ktCO ₂ e/v	Hiilitase yht., tCO ₂ e/v/ha
Iisalmi	-37,0	-4,5	-103,7	-145,2	-2,5
Joroinen	-38,2	-5,3	-92,4	-135,9	-3,0
Kaavi	-48,3	-5,8	-128,1	-182,2	-2,9
Keitele	-25,5	-3,1	-80,1	-108,7	-2,5
Kiuruvesi	-59,6	-7,3	-193,1	-260,0	-2,5
Kuopio	-214,2	-31,1	-518,3	-763,6	-2,9
Lapinlahti	-53,1	-7,4	-147,7	-208,2	-2,4
Leppävirta	-72,4	-10,8	-179,4	-262,7	-2,6
Pielavesi	-63,8	-8,0	-196,9	-268,6	-2,7
Rautalampi	-31,1	-5,3	-79,1	-115,5	-2,5
Rautavaara	-41,2	-3,5	-125,7	-170,5	-1,6
Siilinjärvi	-25,6	-3,8	-55,6	-85,1	-3,2
Sonkajärvi	-60,7	-5,9	-195,9	-262,5	-2,1
Suonenjoki	-45,4	-5,5	-115,3	-166,2	-2,7
Tervo	-21,8	-3,6	-64,8	-90,2	-2,9
Tuusniemi	-43,3	-6,7	-98,7	-148,7	-3,1
Varkaus	-26,1	-4,3	-66,5	-96,9	-2,9
Vesanto	-27,6	-3,7	-75,0	-106,3	-2,9
Vieremä	-32,8	-3,3	-114,7	-150,8	-2,0
Pohjois-Savo	-967,9	-128,6	-2 631,2	-3 727,7	-2,6

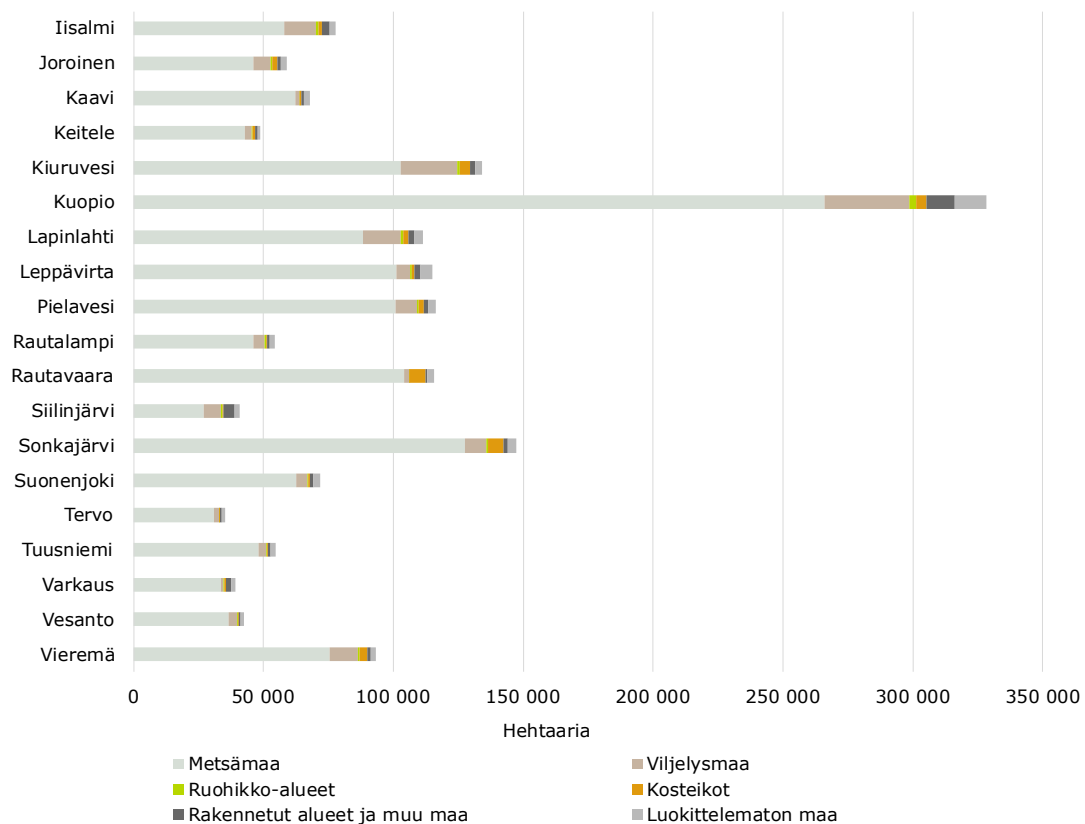
Taulukko 2.6 Yhteenveto Pohjois-Savon kuntien hiilitaseista puutuotevarastossa.

Muista hiilivarastoista poiketen vuotuista vähennystä puutuotevarastossa ei ollut tässä selvityksessä mahdollista huomioida. Puutuotteiden vähenemän arvioiminen edellyttäisi kuntakohtaisia tilastoja pitkän aikavälin markkinahakkuista sekä tietoa puutavaralajien toteutuneista elinkaarista ja loppukäytöstä. Esimerkiksi sahatavaraa voi hyödyntää niin lyhyt- kuin pitkäikäisissä rakenteissa. Sahatavarasta poiketen, paperi- ja kartonkituotteet ovat aina lyhytikäisiä, kuten myös niiden tuottama hiilinielu. Yleisesti voidaan olettaa paperi- ja kartonkituotteiden poistuvan käytöstä enintään kahden vuoden kuluessa niiden tuotannosta. Käytöstä poistuttua puuperäisen materiaalin hiili vapautuu takaisin ilmakehään, jos sitä ei kierrätetä. Koska laskenta ei

huomioinut vähenemiä puutuotevarastossa, myöskään tuotteen hävityksen tai mahdollisen kierrätyksen vaikutusta ei ole huomioitu.

3 Selvityksen tulosten analyysi ja vertailu

Edellisessä kappaleessa kuvatut absoluuttiset hiilitasetulokset selittyvät pitkälti kuntien pinta-alaeroilla (Kuva 3.1). Tulokset osoittivat, että Kuopio vastasi suuren pinta-alan myötä useammasta absoluuttisesta äärituloksesta. Pinta-aloja tarkastellessa erityisesti metsämaan koko vaihtelee suuresti pienten ja suurien kuntien välillä, mikä vaikuttaa kunnan mahdollisuuksiin tuottaa hiilinieluja.



Kuva 3.1 Yhteenveto Pohjois-Savon kokonaismaapinta-alasta kunnittain ja maankäyttöluokittain.

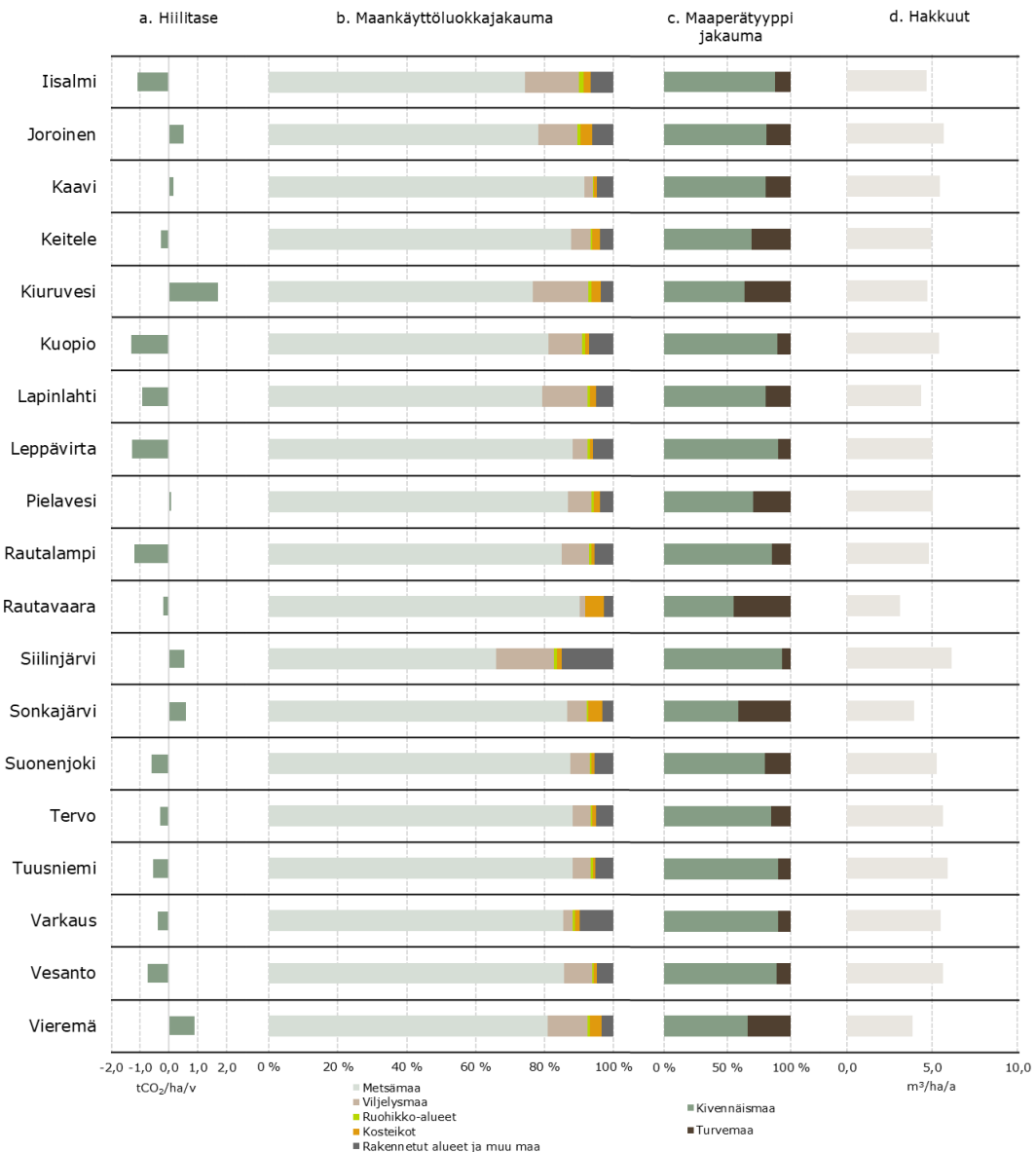
Suurten kokoerojen takia kuntien tulosten vertailu ja analyysi onnistuu absoluuttisten arvojen sijaan suhteellisia tuloksia ja niitä selittäviä muuttujia tarkastelemalla (Kuva 3.2). Selittäviä muuttujia tarkastellessa suhteellisina arvoina voidaan ymmärtää, miksi esimerkiksi Leppävirran, Rautalammin, Kuopion suhteelliset hiilitaseet ovat maakunnan suurimpia nettonieluja hehtaaria kohden. Vastaavasti ymmärretään, miksi Kiuruveden ja Vieremän suhteelliset hiilitaseet ovat maakunnan suurimpia nettopäästöjä hehtaaria kohden.

Yksittäisen muuttujan vaikutusta hiilitaseeseen on monimutkaista arvioida luonnollisen ympäristön dynaamisuuden takia. Muutamilla muuttujilla tiedetään kuitenkin yleisesti olevan merkittävä painoarvo metsien ilmastovaikutuksen, tai hiilitaseen, muodostumisessa. Näiden muuttujien merkitys havaittiin myös tässä selvityksessä. Vaikka yksittäisen muuttujan vaikutus ei olisi tarkkaan selvitettävissä, niiden yhdessä

tarkastelu mahdollistaa merkityksellisen kuntakohtaisen analyysin perustaksi toimenpidesuosituksen kohdentamiselle.

Pohjois-Savon kuntien hiilitaseita selittävät ennen kaikkea

- Maankäyttöluokkien jakauma
- Maaperätyyppien jakauma
- Hakkuuvoimakkuus.



Kuva 3.2 Yhteenveto Pohjois-Savon kuntien suhteellisista hiilitaseista sekä niistä selittävistä maankäyttöjakaumista, maaperätyyppijakaumista ja hakkuista.

Metsämaan osuus alueen pinta-alasta (Kuva 3.2) luo perustan kunnan mahdolliselle hiilinielulle. Metsämaalla on tulosten (Taulukko 2.2) osoittamalla tavalla merkittävä rooli hiilitaseen muodostumisessa, koska se voi ainoana maankäyttöluokkana tuottaa kasvavan puuston myötä hiilinielun. Erityisesti, kasvavan puuston nykyinen ikärakenne Pohjois-Savossa tukee hiilinielun muodostumista. Tässä työssä käytetyn VMI13-aineiston perusteella noin 74 %:a Pohjois-Savon metsien pinta-alasta sijoittuu alle 60-

vuotiaiden kasvavaan ikäluokkaan verrattuna koko maan 56 %:n osuuteen. Vastaavasti pinta-alasta vain 3 %:a on yli 120-vuotiaita hidaskasvuisia, kun koko maassa metsäpinta-alasta 10 %:a luokitellaan aineiston perusteella vanhoiksi metsiksi. Maakunnan metsäpinta-ala painottuu myös koko maan keskiarvoja enemmän reheville kasvupaikoille, missä kasvu on karuja kasvupaikkoja nopeampaa.

Maankäyttöluokan lisäksi kuntakohtaisia tuloksia selittävät maaperätyyppien jakauma ja erityisesti turvemaiden osuus kokonaispinta-alasta (Kuva 3.2). Maaperätyypeistä merkittävimmän maanalaisen hiilivaraston muodostavat turvemaat, missä orgaanisen aineen pitoisuus on suuri. Turvemaat muodostavat 22 % Pohjois-Savon maapinta-alasta, mutta osuudet vaihtelevat 10–45 % välillä kuntien kesken. Kuva 3.2 osoittaa esimerkiksi, että turvemaiden suhteellinen osuus on suurin Rautavaaralla – Rautavaaralla sijaitsi myös maakunnan suurin hiilivarasto hehtaaria kohden (Taulukko 2.1). Turvemaiden osuus on suurin kosteikkoalueilla, missä sijaitsee 65 % Pohjois-Savon turvemaapinta-alasta. Turvemaan päästöillä on suurin suhteellinen vaikutus niissä kunnissa, missä kosteikkojen pinta-ala on suuri kokonaispinta-alan nähden.

Maankäyttöluokkien ja maaperätyyppien jakauman lisäksi kuntakohtaisia tuloksia selittää toteutunut hakkuuvoimakkuus vuonna 2023 (Kuva 3.2). Hakkuut sijoittuvat metsämaalle, mitä ainoana maankäyttöluokkana määrittää kasvava puusto ja sen myötä mahdollinen hiilinielu.

Näihin selittäviin muuttujiin nojaten Kuva 3.2 tarjoaa mahdollisuuden tulosten arvioimiselle. Esimerkiksi Leppävirralla kunnan hiilinielu selittyy metsämaan ja kivennäismaan suurella osuudella kokonaispinta-alasta. Metsämaan tuottama kasvu sekä vähäiset turvemaan päästöt tuottavat nettonielun toteutuneista hakkuista huolimatta.

Aikaisempaan, vuoden 2018, laskentatulokseen ($-735,9 \text{ ktCO}_2\text{e/v}$) nähden Pohjois-Savon maankäyttösektorin vuotuinen hiilinielu heikkeni vuonna 2023. Heikennys aikaisempaan tulokseen verrattuna oli n. $209,3 \text{ ktCO}_2\text{e/v}$ (-28%). Vaikka kyseinen kehitys ei nykyisellään tue hiilineutraaliustavoitteen saavuttamista, se on vielä mahdollista kääntää metsän hiilinieluja vahvistamalla (toimenpidesuosituksat kuvataan seuraavassa kappaleessa 0). Vuodelle 2040 arvioituihin päästöihin nähden hiilinielun nykyistä tasoa tulee nostaa, jotta hiilineutraaliustavoite saavutetaan. Maakunnan hiilineutraaliustavoite on saavutettavissa, kun hiilinielu vastaa suuruudeltaan vuodelle 2040 arvioituja hiilipäästöjä (HIPOS 2040 -skenaario¹⁰) $718,7 \text{ ktCO}_2\text{e/v}$.

Laskennallisen hiilinielun heikkeneminen ei tämän tarkastelun perusteella oletettavasti tarkoita merkittävää muutosta metsäympäristössä. Oletus perustuu tulosten varmennuksen yhteydessä tehtyyn vertailuun hakkuutasoissa ja puuston hiilivarastossa vuosien 2018 ja 2023 välillä. Maankäytön toimien sijaan muutosta aikaisempaan laskentatulokseen nähden selittää erityisesti erot tässä työssä sovelletuissa menetelmissä (kuvattu liitteissä 1 ja 2). Erityisesti seuraavat mallit ja parametrisoinnit, jotka eivät olleet käytettävissä vuonna 2020, heikentävät tulosten vertailukelpoisuutta:

- Ojitettujen turvemaiden laskentamallit
- Yasso15-mallin ilmastoparametrien päivitetty aikasarja
- Luonnonvarakeskuksen uusimmat Motti-kasvumallit

Kansainvälisen KHK-laskentaohjeen mukaisesti, tässä selvityksessä käytettiin uusimpia laskentamalleja ojitettujen turvemaiden päästöille, joita ei ollut saatavilla aikaisemman

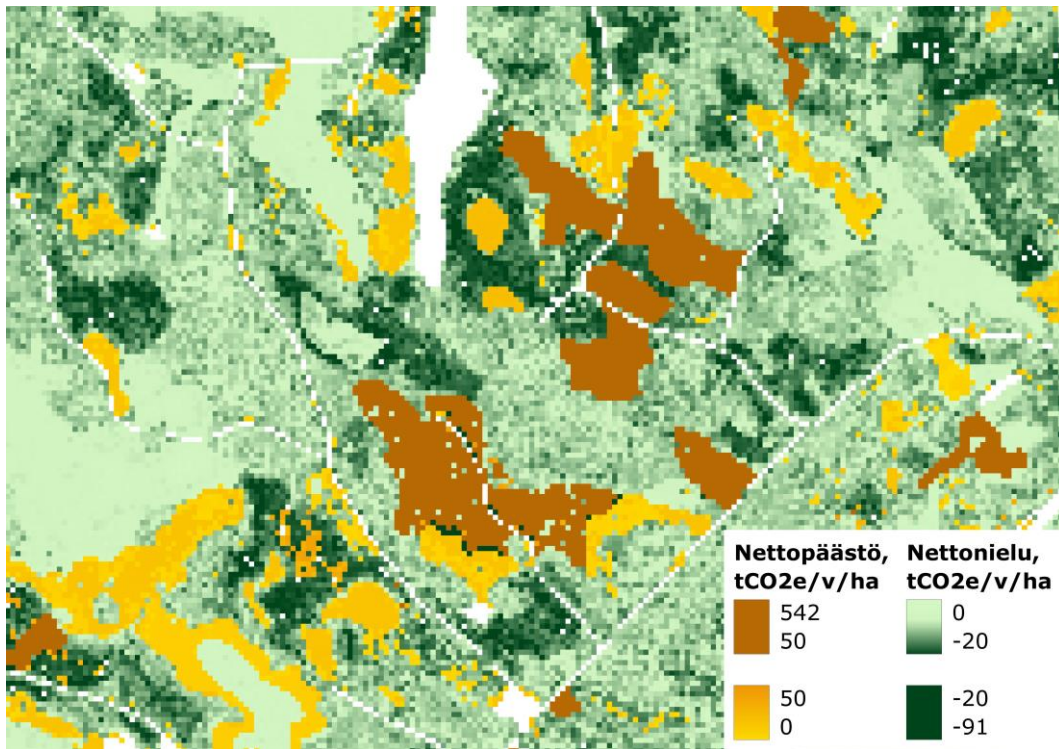
¹⁰ Pohjois-Savon Kasvihuonekaasut ja hiilitase. Luke & Benviroc. 2020.

selvityksen aikaan. Uusien laskentamallien käyttäminen lisäsi ojitettujen turvemaiden laskennallisia päästöjä merkittävästi aikaisempaan 2020 laadittuun selvitykseen nähden. Kyseisillä laskentamalleilla oli samanlainen vaikutus¹¹ myös kansallisessa KHK-laskennassa, kun ne otettiin käyttöön vuonna 2022. Lisäksi työssä käytetyn Yasso15-ohjelman ilmastoparametrien vuoden 2020 jälkeen päivitetty aikasarja huomioi ilmaston lämpenemisen. Ilmaston lämpeneminen nopeuttaa kivennäismailla maaperän hiilivaraston hajoamista, mikä lisää maaperän päästöjä. Ojitettujen turvemaiden laskentamallien sekä ilmastoparametrien lisäksi myös puuston kasvun mallinnuksessa käytetyt Luonnonvarakeskuksen Motti-mallit ovat päivittyneet (useamman kerran) vuoden 2020 jälkeen.

Tämä selvitys perustuu luonnollisen ympäristön tarkkaan mallinnukseen, minkä tulokset vertautuvat ainoastaan samaan menetelmään perustuviin tuloksiin. Kansallisen KHK-laskennan tavoin, tämä selvitys nojaa ennen kaikkea valtion metsien inventoinnin viimeisimpiin tuloksiin (VMI13), kansallisiin hakkuutilastoihin sekä puuston ja maaperän kehityksen simulointiin tarkoitettuihin Motti- (LUKE) ja Yasso15-malleihin (Ilmatieteenlaitos). Käytettyjen tietolähteiden ja mallien lisäksi metsämaan mallinnuksen tarkkuus nojaa 16x16 metrin suuruisen ruudukon tarkasteluun (Kuva 3.3). Työlle määriteltyä tarkastelutasoa vastaavasti hakkuut kohdennettiin laskentaruuduille metsänkäyttöilmoitusten perusteella.

Kuva 3.3 osoittaa karttakuvan myötä erään esimerkin laskennan tulosten alueellisesta jakaumasta metsämaalla, missä sävyn tummuus osoittaa hiilitaseen voimakkuuden. Kartassa tummimmat punaiset ruudut tuottivat suurimmat päästöt; tummimmat harmaat ruudut suurimman nielun pinta-alan yksikköä (tCO₂e/ha/v) kohden. Suurimmat päästöt aiheutuivat hakkuista, mitkä vähensivät alueen puustoa merkittävästi. Nojaten neljään toisiaan täydentävään maanpeiteaineistoon, myös tämän työn perustana oleva maankäyttöluokitus voi poiketa aikaisemmasta.

¹¹ Kasvihuonekaasuinventaarion ennakkotiedot vahvistavat: maankäyttösektori päästölähde vuonna 2021, metsät pysyivät edelleen nettohiililähteenä. Uutinen, 14.12.2022. Luke.



Kuva 3.3 Esimerkki metsämaan laskennan tarkkuudesta ruudukotasolla, missä oranssin ja vihreän värin sävyt osoittavat hiilivuon suuruuden.

4 Toimenpidesuosituksset metsämaalle hiilinielujen vahvistamiseksi

Pohjois-Savon hiilinieluja metsämaalla tulisi vahvistaa entisestään, jotta maakunta parantaa mahdollisuuksiaan saavuttaa hiilineutraaliustavoitteen. Lyhyellä aikavälillä tasapainotilan sijaan tavoitteena hiilinieluille tulisi olla päästöt ylittävä taso, jotta pitkän aikavälin hiilineutraaliustavoite ei vaarannu mahdollisten ennakoimattomien tapahtumien myötä. Esimerkiksi suunniteltua suurempi hakkuukertymä tai luonnolliset metsätuhot yhdessä paikassa edellyttävät sen seurauksena entistä suurempaa nielua toisaalla.

Maakunnan puuston ja maaperän hiilivaraston kasvun (hiilinielujen) vahvistaminen onnistuu oikein mitoitetuilla, oikea-aikaisilla ja tarkoituksenmukaisilla metsänhoitotoimenpiteillä. Metsänhoitotoimenpiteillä tulisi hiilivaraston kasvun lisäksi tukea myös jo muodostuneen hiilivaraston säilymistä, jotta hiilinielun tuottama ilmastohyöty (poistuma) olisi mahdollisimman pitkäaikainen. Yleisesti, Pohjois-Savon metsien rehevyys yhdessä nykyisen kiihtyvää kasvuvaihetta painottavan ikärakenteen kanssa luo hyvän lähtökohdan hiilinielujen vahvistamiselle.

Hiilinielu- ja hiilivarastohyötyjä voi saavuttaa biomassan kokonaiskestävän tuotannon, puuston uusiutumisen ja muiden ekosysteemipalveluiden rinnalla¹². Biomassan tuotantoa ohjaavien kestävien metsänhoitotoimenpiteiden tulisi

- vähentää ihmisen toimien vaikutusta luonnollisessa ympäristössä sekä

¹² Hynynen ym. 2024. Synteesiraportti: Metsien kasvun lisäämisen keinot ja vaikutukset. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 92/2024. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 52 s.

- parantaa metsien elinvoimaisuutta ja resilienssiä (kykyä selviytyä muuttuvissa olosuhteissa) luonnollisten häiriöiden lisääntyessä ilmaston muuttuessa.

Yllä listatuilla tavoitteilla pyritään varmistamaan aidosti kestävä ja jatkuva raaka-aineen tuotanto, kun myös metsän elinvoimaisuudesta huolehditaan. Valtaosa Pohjois-Savon metsämaasta on talouskäytön piirissä, missä ihmisen vaikutus metsään on suurin. Vaikutuksen haittoja on mahdollista lieventää erilaisin toimenpitein läpi metsän kiertoajan.

Talousmetsän kiertoajan ensimmäinen toimenpide on tyypillisesti **maaperän muokkaus** ennen istutusta. Kyseisen toimenpiteen tulisi olla mahdollisimman kevyt istutuksen ja varhaisen kasvun tarpeet huomioiden sen vapautuvien päästöjen takia: maaperän muokkaus nostaa maaperään varastoitunutta hiiltä hapellisiin olosuhteisiin, mikä kiihdyttää hiilen vapautumista ilmakehään. Maaperän päästöjä voidaan hillitä myös välttämällä ylimääräistä metsäkoneajoa metsässä. Hyvin **laaditulla hakkuusuunnitelmalla** vähennetään metsäkoneen tarpeettoman laajaa kulkua metsässä ja sen myötä maaperän vahinkoja.

Metsän ripeä **uudistaminen** istutuksen myötä luo perustan tulevalle kasvuille. Uudistaminen heti päätehakkuuta seuraavana kasvukautena varmistaa, ettei taimen kehitystä häiritsevä pintakasvillisuus pääse kehittymään ennen uuden metsän istutusta. Istutuksessa metsän tulevaa kasvua ja kehitystä voi tukea valitsemalla kasvupaikalle sopivaa **jalostettua taimi- tai siemenmateriaalia**.

Puuston kasvaessa **oikea-aikaisella taimikonhoidolla ja harvennushakkuilla** kasvua ohjataan hyväkasvuisiin puihin. Harvennushakkuilla pyritään myös säätelemään yksittäisten metsäkuvioiden puuston tiheyttä. Sieni- ja tuholaislajien osuessa kohdalle tiheä metsä mahdollistaa nopean leviämisen ja altistaa laajoille metsätuhoille.

Kuvioita harventaessa on tiheyden lisäksi mahdollista säädellä puulajisuhteita. Metsän kasvaessa **sekapuustoisuudella** voi parantaa metsien vastustuskykyä häiriöiden edessä ja sen myötä edelleen hallita mahdollisia tuhoja. Sekapuustoisuus tukee metsän elinvoimaisuutta ja sillä voi myös rajata mahdollisten ilmastonmuutoksen aiheuttamien luonnollisten häiriöiden laajuutta. Vaikutukset voivat olla lievemmat esimerkiksi tapauksessa, missä kuusikkoa suosivien tuholaisien vaikutus rajautuu sekapuustoiseen alueeseen. Ilmastonmuutokseen sopeutumisen lisäksi sekapuustoiset metsät edistävät myös metsän monimuotoisuutta, joka edelleen ylläpitää metsien kasvukuntoa. Pohjois-Savossa sekapuustoisuus voikin ensisijaisesti ylläpitää kasvukuntoa parantuneen resilienssin myötä. Sekapuustoisuudella ei kuitenkaan ole havaittu maakunnassa suoraan kasvua edistävää vaikutusta¹³.

Suurin ja suoraviivaisin vaikutus metsämaan hiilitaseeseen on kuitenkin hakkuilla. Aikaisemman hiilitaseselvityksen¹⁴ skenaariot osoittavat, ettei maakunta saavuta hiilineutraaliustavoitettaan suurinta kestäväää hakkuutasoa ylläpitämällä: kyseisen hakkuutason ylläpitäminen johtaisi -336.1 ktCO₂e/v suuruisen hiilinielun syntymiseen vuonna 2040 päästöjen ollessa saamaan aikaan 718.7 ktCO₂e/v.

Harvennusvoimakkuuden vähentämisellä on mahdollista tukea hiilinielua lyhyelläkin aikavälillä. Pitkällä aikavälillä, **kiertoajan pidentäminen** ylläpitää

¹³ Huuskonen ym. 2024. Metsien monipuolajisuuden lisäämisen vaikutukset metsien kasvuun aluetasolla. LUKE Tietokortti. Luonnonvarakeskus.

¹⁴ [Pohjois-Savon Kasvihuonekaasut ja hiilitase. Luke & Benviroc. 2020.](#)

hiilivarastoa. Suomen luontoa määrittävässä boreaalisessa metsässä kiertoaikaa on mahdollista pidentää runsaastikin ennen kuin kasvu hidastuu merkittävästi¹⁵.

Ihmisen toimin on myös mahdollista kiihdyttää kasvua, esimerkiksi **lannoituksen** myötä, mikä voimistaa hiilinielua. Tuhkalannoitus on luonnollinen keino lisätä puuston kasvua ilman kemiallisten lannoitteiden kaltaista käänteistä vaikutusta ilmastoon ja elinympäristöön. Kestävän metsänhoidon tulisikin tukea erilaisia ekosysteemin tuottamia hyötyjä ilman, että yhden suosiminen merkittävästi heikentäisi mahdollisuuksia tuottaa muita - nyt tai tulevaisuudessa.

¹⁵ Peich ym. 2022. Landscape-variability of the carbon balance across managed boreal forests. Global Change Biology 29: 1119–1132.

LIITE 1: Kuvaus AFRYn maankäyttösektorin hiililaskennasta

1 Metsämaa

Laskenta pääpiirteittäin

SIMO-ohjelmistolla ennustetaan puuston vuotuinen kasvu sekä lasketaan puuston biomassassa ja kasvussa sitoutuneen hiilen määrä. Vuosittain ennustetaan karikesadanta puustosta ja aluskasvillisuudesta maahan sekä luonnonpoistuma perustuen puuston ikään ja tiheyteen. Hakkuiden yhteydessä lasketaan maahan jäävän hukkapuun määrä. Kariketuotannosta, luontaisesti kuolleista puista ja hakkuiden biomassasta, jota ei korjata ainespuuksi, muodostuu vuotuinen syöte Yasso15-mallille, jolla ennustetaan hiilen kierto maaperässä: maahan sitoutuneen hiilen määrä sekä hajoamisen kautta ilmakehään siirtyvän hiilen määrä. Lisäksi lasketaan metsästä korjatun ainespuun sisältämän hiilen elinkaari erilaisina puutuotteina.

Puuston kasvun ennustaminen SIMO-ohjelmistolla

SIMO laskentaohjelmistossa käytetyt puustoa ja puuston kehitystä kuvaavat mallit perustuvat tieteellisissä sarjoissa julkaistuihin artikkeleihin. Puiden kasvu ennustetaan Luonnonvarakeskuksen (LUKE) kehittämällä Motti-kasvumalleilla, jotka ovat käytössä myös LUKE:n Motti-suunnitteluohjelmistossa. Mallit perustuvat viimeisimpiin valtakunnan metsien inventoinnin (VMI) tuloksiin. Ne mahdollistavat puuston rakenteen tarkan kuvauksen sekä esimerkiksi erilaisten harvennushakkuiden vaikutusten huomioimisen. Metsätieto kerätään Suomessa metsikön keskitunnusten tasolla; keskimääräinen puuston pituus, läpimitta ja määrä puulajeittain. Simuloinnissa tarvittavat yksittäiset puut tuotettiin laskennallisesti metsikön keskitunnuksista empiirisillä läpimittajakaumamalleilla. SIMO-ohjelmiston kasvumallit kattavat kaikki Suomessa yleisimmin esiintyvät puulajit sekä metsätyypit.

Metsämaan osalta tarkastelu tehtiin VMI13-aineistolla, jota Pohjois-Savon alueelta löytyi 57 028 501 metsäpikselin verran, pikselin koon ollessa 16x16 metriä. Metsäpikseleiksi tulkittiin pikselit, joille VMI-aineiston nimeämiskäytäntöä¹⁶ käyttäen täyttyivät ehdot: "Maaluokka 2021"-tunnuksen arvon on 1, tai "Maaluokka 2021"-tunnuksen arvo on 2 tai 3 ja "Tilavuus puusto yhteensä 2021"-tunnuksen arvon on suurempi kuin 0. Pikseliaineisto ositettiin laskentaa varten samankaltaista puustoa sisältäviin ositteisiin. Ositteluperusteina olivat seuraavat tunnuksat:

- Kunta (tätä tunnusta käytettiin aineiston maantieteelliseen osittamiseen)
- Maaluokka 2021
- Kasvupaikan päätyyppi 2021 (1–4)
- Kasvupaikka 2021 (1–10)
- Männyn osuus, 2021
- Kuusen osuus, 2021
- Lehtipuun osuus, 2021
- Puuston pohjapinta-ala, 2021 (m²/ha), tunnukselle käytettiin 1 m²/ha askellusta
- Puuston keskipituus 2021 (dm): tunnukselle käytettiin 10 dm askellusta
- Puuston keskiläpimitta 2021 (cm)

¹⁶ <https://kartta.luke.fi/LUETAMA-2021.txt>

Askeellus puustotummuksissa tarkoittaa puustotietojen ryhmittelyä 1 m²/ha ja 10 dm välillä luokkiin ositusta tehtäessä. Eli esimerkiksi pikselit, joiden pohjapinta-ala oli välillä 10,5–11,4 m²/ha, ryhmiteltiin 11 m²/ha pikseliositteeseen.

Yllä olevassa listassa tunnuksat "Männyn osuus, 2021", "Kuusen osuus, 2021" ja "Lehtipuun osuus, 2021" johdettiin puulajikohtaisista tilavuustunnuksista.

Näiden pikseliositteiden perusteella hiilitunnusten laskenta suoritettiin simulointimalleilla osajoukolle, jossa ositteen pikseleiden yhteenlaskettu pinta-ala ylitti 1 hehtaarin. Näin saatiin 648 202 pikseliositetta simuloitavaksi. Metsäpikseliositteille, joiden edustama pinta-ala jäi raja-arvon alle, haettiin laskentatulokset ositteelta, jolle simulointi oli tehty seuraavilla etsintäkriteereillä:

- Ensisijaisesti ositetunnuksiltaan (kasvupaikka ja puustotiedot) identtinen osite koko maakunnan alueelta.
- Toissijaisesti puulajisuhteita lukuun ottamatta identtinen osite koko maakunnan alueelta.

Näistä kandidaateiksi vastinpariositteeksi valittiin puulajikoostumukseltaan vähiten alkuperäisistä ositetunnuksista eroava pikseli. Puulajikoostumuksen ero johdettiin tunnuksista "Männyn osuus, 2021", "Kuusen osuus, 2021" ja "Lehtipuun osuus, 2021".

Hakkuiden vaikutus hiilitaseeseen

Laskennassa lähtöaineistona käytetty VMI13-aineisto kuvasi puuston tilaa Pohjois-Savossa ajanhetkellä 31.7.2021. Tämän jälkeen maakunnan alueella on tehty hakkuita, jotka puuston kasvudynamiikan ohella on merkittävä vaikutus metsän hiilitaseeseen. Hakkuiden vaikutus tulosaineistoon johdettiin Suomen metsäkeskuksen ylläpitämästä avoimesta metsänkäyttöilmoitusaineistosta (MKI). Metsänkäyttöilmoitus tulee tehdä vähintään 10 päivää ennen hakkuun aloittamista, ja se on voimassa 3 vuotta. Ilmoituksessa yksilöidään käsiteltävä metsäalue ja toteutettavan hakkuun tyyppi.

Tätä aineistoa käytettiin kohdentamaan toteutuneet hakkuut VMI-aineiston metsäpikseleille. Ainespuun hakkuumäärät haettiin Luonnonvarakeskuksen kunnittaisten markkinahakkuiden tilastosta. Hakkuut kohdennettiin tulosaineistoon MKI-monikulmioiden avulla. Monikulmion alle sijoituville metsäpikseleille simuloitiin MKI:n erittelemä hakkuu kohdevuonna. Kohdevuosia olivat vuosi 2021 alkaen 31.7., sekä vuodet 2022 ja 2023. Vuodelle 2021 simuloitiin 45 % tilastoiduista vuotuisista markkinahakkuista. Metsänkäyttöilmoituksia kohdennettiin tulosaineistoon alkaen vuodesta 2023 ilmoituksista, jotka olivat tuolloin voimassa (1.1.2020–31.12.2023 jätetyt ilmoitukset). Vuonna 2023 käyttämättä jääneet metsänkäyttöilmoitukset kohdennettiin vastaavalla logiikalla edelleen vuosille 2022 ja 2021.

Tilastolliset hakkuukertymät saavutettiin tarkasteluvuonna 2023, mutta kertymät jäivät tilastollisten alle vuosina 2021 ja 2022. Käytettävissä olevat metsänkäyttöilmoitukset loppuivat ennen vuosien 2021–2023 kumulatiivisten tilastollisten hakkuutilavuuksien saavuttamista. Merkittävin tätä selittävä tekijä oli VMI-aineiston pikselikohtaisten puustotietojen ja MKI-aineiston yhteensopimattomuus. Esimerkiksi ilmoitetun avohakkuualueen alaisten pikseleiden puustotiedot eivät simulointiaineistossa vielä täyttäneet uudistuskypsän puuston kriteereitä, eikä avohakkuuta voitu simuloida. Vastaavasti ilmoitettujen harvennushakkuualueiden alaisuuteen sijoittui pikseleitä, joiden puustotiedot eivät täyttäneet harvennushakkuiden rajoja. Uudistushakkuiden osalta ongelma ratkaistiin toteuttamalla ilmoitetun uudistushakkuualueen alaisille pikseleille hakkuu huolimatta

rajojen täyttymättömyydestä. Näissä tapauksissa hakkuukertymä arviointiin pystyvuoston tilavuuden perusteella. Harvennushakkuille vastaavaa oletusta ei tehty ja vain harvennusrajat täyttävät pikselit käsiteltiin ilmoituksen mukaisella hakkuutavalla.

Hiililaskennan tunnusten osalta pikselit, joille hakkuuta ei voitu simuloida metsänkäyttöilmoituksen ja puustotunnusten eroavaisuuksien vuoksi, yleistettiin hakkuualueen tulosten keskiarvo simuloiduilta pikseleiltä. Laskentavuodelle 2023 tuotettiin tätä keskiarvoa tarkempi puuston hiilitasearvio vähentämällä pystyvuoston biomassasta hakkuutilavuutta vastaava puuston tilavuus.

Biomassa ja hiili

Ennustettu puuston kehitys muunnetaan kokonaisbiomassaksi Repola (2008)¹⁷, Repola (2009)¹⁸ ja Repola et al. (2007)¹⁹ malleilla. Biomassamalleista saadaan tuloksena kuiva-ainemassa, josta hiilen osuus on 50 % (Liski ym. 2006)²⁰. Muuntokerroin hiilestä hiilidioksidiksi: hiilimäärä (g C) * (44/12) = hiilidioksidimäärä (g CO₂). Hiilen kulkeutuminen puustosta ja kasvillisuudesta maahan sisältää hakkuiden yhteydessä maastoon jäävät hakkuutähteet, luonnonpoistuman ja karikesadannan. Hakkuumalleilla saadaan metsästä poistuvan puuston sekä hakkuutähteiden määrä. Osa hakkuutähteistä jää maahan lahoamaan. Yhden vuoden laskennassa hakkuutähteiden maaperään muodostama syöte huomioidaan täysimääräisesti laskentavuoden hiilitaseessa. Puuston iän ja tiheyden perusteella ennustetaan puuston luontaista kuolleisuutta. Karikesadanta ennustetaan (Liski ym. 2006) malleilla. Karikesadanta tarkoittaa puustosta ja metsän muusta kasvillisuudesta vuosittain maahan varisevaa kuollutta materiaalia, jonka sisältämä hiili alkaa hajota maassa. Kariketta tuottava materiaali jaetaan ei-puumaiseen karikkeeseen sekä hienoon ja karkeaan puukarikkeeseen.

Kivennäismaiden hiilivaraston kehityksen ennustaminen Yasso15-mallilla

Maaperähiilen alkutila (hiilen määrä ja sen jakautuminen eri hiilen komponentteihin) vaikuttaa merkittävästi Yasso-mallin antamiin tuloksiin. Hiilen määrä metsämaassa vaihtelee sijainnin, ravinteisuuden, puulajin sekä puuston kehitysvaiheen mukaan. Tämän takia maaperähiilen alkutila määritellään kasvupaikoittain ja puuston kehitysvaiheittain vastaamaan mahdollisimman hyvin kunkin kuvion inventointitietoja. Lähtökohtana käytetään Liski ja Westman (1997)²¹ tutkimuksessa esitetyjä maaperähiilen keskimääräisiä arvoja. Maaperän hiilen alkuarvon selvittämisessä sovelletaan Akujärvi et al. (2016)²² esittelemää menetelmää, jossa puustoa kasvatetaan useampi kiertoaika ja maahiilen alkuarvot poimitaan kuviolle sopivasta puuston kehitysvaiheesta.

Maaperähiilen kehitys kivennäismailla ennustetaan Ilmantieteenlaitoksen Yasso15-mallilla. Yasso15-malli ennustaa maaperän orgaanisen hiilen varaston suuruuden ja sen muutokset. Maaperän hiili jaetaan mallinnuksessa viiteen komponenttiin: alkoholiliukoiset (vahat ym.), vesiliukoiset (sokerit ym.), happoon liukenevat

¹⁷ Repola, J., 2008. Biomass equations for birch in Finland. *Silva Fennica* 42(4): 605–624.

¹⁸ Repola, J., 2009. Biomass equations for Scots pine and Norway spruce in Finland. *Silva Fennica* 43(4): 625–647.

¹⁹ Repola, J., Ojansuu, R. & Kukkola, M., 2007. Biomass functions for Scots pine, Norway spruce and birch in Finland. *Metla Working Paper* 53.

²⁰ Liski, J., Lehtonen, A., Palosuo, T., Peltoniemi, T., Eggers, T., Muukkonen, P., & Mäkipää, R., 2006. Carbon accumulation in Finland's forests 1922–2004 – an estimate obtained by combination of forest inventory data with modelling of biomass, litter and soil. *Ann. For. Sci.* 63: 687–697.

²¹ Akujärvi A., Lehtonen A. & Liski J., 2016. Ecosystem services of boreal forests - Carbon budget mapping at high resolution. *Journal of Environmental Management* 181 (2016) 498–514.

²² Liski J. & Wetman, C. J., 1997. Carbon storage in forest soil of Finland. *Biogeochemistry* 36: 261–274.

(selluloosa ym.), ei-liukenevat (ligniini ym.) ja humus. Komponenttien hajoaminen johtaa hiilen virtaan maaperästä ulos ja eri komponenttien välillä.

Mallissa komponenttien hajoamista ohjaavat maaperään tulevan syötteen jakaantuminen eri komponentteihin ja ilmasto-olosuhteet. Vuotuiset syötteen maaperään koostuvat elävien puiden, pensaiden, varpujen, sammalten ym. metsän kasvillisuuden karikesadannasta, puiden kuolleisuudesta sekä hakkuussa maastoon jäävistä puun osista (hakkuutähteet, kannot ja juuret) siltä osin, kun niitä ei kerätä energiapuuksi. Yasso15-mallin tarvitsema ilmastoparametrit: keskilämpötila, keskilämpötilan vaihtelu ja sadanta ovat määritetty maakunnittain Ilmatieteenlaitoksen aineistojen (Ilmatieteenlaitos 2021)²³ perusteella.

Ojitettujen turvemaiden hiilivaraston kehityksen ennustaminen

Turvemaametsien hiilivaraston määrä riippuu turpeen paksuudesta, tiheydestä ja hiilipitoisuudesta (Minkkinen ym. 2013)²⁴. Yleisesti käytettyjen aineistojen perusteella näitä asioita ei saada yksittäisten alueiden osalta selville, joten turvemaan metsän hiilivaraston määräksi otetaan oletuksena koko Suomen soiden hehtaariohtainen keskiarvo 592 000 kg/ha.

Maaperähiilen kehitys ojitetuilla turvemaidella ennustetaan pääosin Ojanen et al. (2014)²⁵ malleilla. Mallit eivät kuitenkaan sisällä puiden kuolleisuudesta ja hakkuusta maastoon jäävien puun osien hajotusta. Niiden osalta maaperähiilen kehityksen ennustamiseen käytettiin Ilmatieteenlaitoksen Yasso15-mallia. Vuotuiset syötteen maaperään koostuvat elävien puiden, pensaiden, varpujen, sammalten ym. metsän kasvillisuuden karikesadannasta, puiden kuolleisuudesta sekä hakkuussa maastoon jäävistä puun osista (hakkuutähteet, kannot ja juuret) siltä osin, kun niitä ei kerätä energiapuuksi. Ojanen et al. (2014) mallien tarvitsema ilmastoparametri, touko-lokakuun keskilämpötila, on määritetty maakunnittain Ilmatieteenlaitoksen aineistojen (Ilmatieteenlaitos 2021) perusteella. Ojitettujen turvemaiden malleja on laskennassa sovellettu kansallisen KHK-inventaarion tapaan, kuten kuvattu Alm et al. (2023)²⁶ julkaisussa.

Johtuen maaperään sitoutuneen hiilen suuresta absoluuttisesta sekä suhteellisesta määrästä, että maantieteellisesti tarkan tiedon puutteesta, maaperään sitoutuneen hiilen sekä sen muutoksen laskenta muodostaa mallinnuksen suurimman yksittäisen epävarmuustekijän.

Luonnontilaisten soiden oletetaan olevan tasapainotilassa.

Metsämaan metaani- ja dityppioksidipäästöt ojitetuilta turvemailta

Metaani (CH₄) ja dityppioksidi (N₂O) päästöjen laskentaan ojitetuilla turvemaidella sijaitsevista metsistä sovellettiin kansallisen maankäyttösektorin KHK-inventaarion

²³ Ilmatieteenlaitos, 2021. Tilastoja Suomen ilmastosta ja merestä 1991–2020, Ilmatieteen laitos, raportteja 2021:8.

²⁴ Minkkinen, K. & Ojanen, P., 2013. Pohjois-Pohjanmaan turvemaiden kasvihuonekaasutaseet. Metlan työraportteja 258: 75–111.

²⁵ Ojanen, P., Lehtonen, A., Heikkinen, J., Penttilä, T., ja Minkkinen, K., 2014. Soil CO₂ balance and its uncertainty in forestry-drained peatlands in Finland. Forest Ecology and Management 325: 60–73.

²⁶ Alm, J., Wall, A., Myllykangas, J.-P., Ojanen, P., Heikkinen, J., Henttonen, H.M., Laiho, R., Minkkinen, K., Tumainen, T., ja Mikola, J., 2023. A new method for estimating carbon dioxide emissions from drained peatland forest soils for the greenhouse gas inventory of Finland. Biogeosciences, 20, 3827–3855.

parametriarvoja. Kaasukohtaiset päästökertoimet muunnettiin hiilidioksidiekvivalenteiksi IPCC:n viidennen arviointiraportin²⁷ kertoimilla.

Metaanipäästöjen laskenta perustuu ojitettujen turvemaiden ojien kuntoon. Kansallisessa KHK-inventaariorissa ojat jaotellaan hyvä- ja huonokuntoisiin. Ojien kokonaispituudet turvemaiden sijaitsevilla metsäisillä ruuduilla haettiin Maanmittauslaitoksen Maastotietokannasta. Ojat oletettiin hyväkuntoisiksi, jos niiden kunnostukseen oli myönnetty Kemera-tukea vuoden 2015 jälkeen.

Dityppioksidipäästöjen laskenta ojitetuilla turvemaiden perustuu VMI-aineistoon kirjattuun kasvupaikkatyyppiin.

2 Viljelysmaa ja ruohikkoalueet

Viljelysmaiden ja ruohikkoalueiden mallinnus sisältää maaperän hiilivaraston, johon maanpäällinen biomassa muodostaa syötteä. Kansallisen KHK-inventaariorin tapaan omenapuille ja herukkapensaille laskettiin myös maanpäällinen biomassa, mutta ilman tietoa vuoden 2023 aikana uudistetuista puista ja pensaista näiden hiilitase on oletettu nolllaksi.

Viljelysmaat ja ruohikkoalueet jaettiin kivennäis- ja turvemaihin Maannostietokannan perusteella. Kivennäismaiden maaperän mallinnukseen sovellettiin Ilmatieteenlaitoksen Yasso15-mallia ja tilastoja kotieläinten määristä ja viljasadosta laskenta vuonna. Yasso15-mallin käyttö on kuvattu tarkemmin Liitteen 1 kappaleessa 1. Yasso15-mallilla tuotettiin maaperähiilen tasapainotila olettaen viljelykasvien keskimääräinen syöte. Mallilla laskettiin maaperähiilen kehitys vuosille 1891–1990 vuosien 1961–1990 ilmastotiedoilla ja vuosille 1991–2023 vuosien 1991–2020 ilmastotiedoilla. Laskennassa tarkasteltiin myös mahdollisuutta huomioida viljelykasvikohtainen syöte maaperään laskentavuonna, mutta tästä luovuttiin lajikohtaisten tasapainotilojen poiketessa liiaksi keskimääräisestä. Laskentateknisesti ei ollut mahdollista myöskään huomioida peltokohtaisia historiatietoja, jotka olisivat mahdollistaneet peltokohtaisen tasapainotilan laskennan.

Turvemaiden sijaitsevien viljelysmaiden ja ruohikkoalueiden hiilitaseen laskentaan sovellettiin kansallisen KHK-inventaariorin kertoimia. Maaperähiilivaraston koolle sovellettiin arvoa 166 000 kgC/ha²⁸.

3 Kosteikot

Kosteikkoalueiden laskenta rajautui turvetuotantoalueisiin. Turvetuotantoalueille sovellettiin kansallisen KHK-inventaariorin päästökertoimia ja pinta-alajakaumaa. Päästökertoimet sisältävät hiilidioksidi-, metaani- ja dityppioksidipäästöt. Tuotantokäytössä olevan alueen pinta-ala jakautuu kansallisen laskennan perusteella varastoihin (2 % pinta-alasta), ojiin (7 %) ja tuotantoon (91 %). Tuotantokäytöstä poistuneen alueen pinta-alan oletettiin jakautuvan ojiin ja entiseen tuotantoalueeseen, ellei alue ollut siirtynyt toisen maankäyttöluokan alle.

4 Puutuotteet

Hakkuissa metsästä poistetun puun sisältämä hiili päättyy tuotantoprosessin kautta puutuotteisiin. Puutuotteilla on elinkaari, jonka ajan hiili on sitoutuneena siihen.

²⁷ IPCC, 2013. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

²⁸ Heikkinen et.al 2013. Declining trend of carbon in Finnish cropland soils in 1974–2009. Global Change Biology (2013) 19.

Tämän jälkeen sitoutunut hiili joko vapautuu ilmakehään poltossa tai jatkaa sitoutuneena jonakin toisena puuperäisenä tuotteena kierrätyksen kautta.

Laskennassa on sovellettu kansallisella KHK-inventaarioraportilla esitettyjä puulajien tiheyksien hiilipitoisuuksia ja hiilenmuuntokertoimia puutuoteryhmittäin. Puutuotteiden allokatio eri tuotantolinjoille (sahatavara, puulevyt, mekaaninen ja puolikemiallinen massateollisuus ja selluteollisuus) perustuu Luonnonvarakeskuksen tuottamiin vuoden 2023 metsäteollisuuden puunkäytön tilastoihin. Tuotantolinjojen tehokkuuteen sovelletaan Liski ym. (2001) kertoimia. Valmiit puutuotteet jakautuvat kolmeen luokkaan, joilla jokaisella on erilainen puoliintumisaika: sahatavara (35 vuotta), puulevyt (25 vuotta) ja paperi ja kartonki (2 vuotta). Raportin rajautuessa yksittäiseen vuoteen, mallinnuksessa huomioitiin vain syöte puutuotevarastoihin, ei puoliintumista.

LIITE 2: Kuvaus Pohjois-Savon maankäyttöluokituksista hiilitaselaskennan lähtökohtana

Pohjois-Savon maakunnan kattava rasterimuotoinen maanpeiteaineisto muodostettiin yhdistämällä tietoa useasta lähteestä. Maanpeiteaineiston pohjaksi otettiin Corine 2018 paikkatietoaineisto, joka kattaa koko maakunnan pinta-alan. Corinen maankäyttöluokituksen tietoa hyödynnettiin kuitenkin vain tapauksissa, joissa laskentakohteelle (16m x 16m ruutu) ei ollut saatavissa ajantasaisempaa luokitustietoa muista paikkatietoaineistoista. Lopputuloksena syntyi maakunnan kattava maankäyttöluokittainen maanpeiteaineisto, mitä hyödynnettiin biomassan ja maaperän hiilivarastojen mallinnukseen maankäyttöluokittain

Ensimmäisessä vaiheessa Corine 2018-aineistoa tarkennettiin monilähteillä valtakunnan metsien inventointiaineistolla vuosilta 2018-2023 ("VMI13"). Ruutu luokiteltiin metsämaaksi, mikäli sen maaluokka VMI13-aineistossa oli metsämaa ja puuston tilavuus positiivinen. Jotta Corine 2018 ja VMI13-aineiston kattamat metsämaaksi luokitellut puuttomat ruudut (pääasiassa metsäteitä, voimalinjoja ja muiden maankäyttöluokkien puuttomia reunavyöhykkeitä) saatiin rajattua metsämaan ulkopuolelle, siirrettiin nämä ruudut omaan luokkaansa.

Toisessa vaiheessa tarkistettiin maankäyttöluokitusta ELY-keskuksen toimittaman Pohjois-Savon turvetuotantoalueiden ympäristölupa-aineiston perusteella. Aineisto luokitteli turvetuotantoalueet tuotantokäytössä oleviin, käytöstä poistuneisiin ja tuotannon ulkopuolisiin alueisiin. Ruutu luokiteltiin kosteikoksi, mikäli sitä ei luokiteltu metsämaaksi ensimmäisessä vaiheessa ja se jäi ympäristölupa-aineiston peiton alle.

Kolmannessa vaiheessa maankäyttöluokitus tarkistettiin Peltolohkorekisterin perusteella. Peltolohkorekisterin kattamat ruudut luokiteltiin viljelysmaaksi seuraavien poikkeuksin. Ruutu luokiteltiin ruohikkoalueeksi, mikäli kasvikoodi²⁹ Peltolohkorekisterissä oli 9409, 6300, 9425, 9651, 6060, 6050, 9710, 9805, kosteikoksi kasvikoodi 9814 ja metsämaaksi kasvikoodi 9813.

Lopuksi ruuduille lisättiin maaperätyyppi. Ensimmäisessä maaperätyyppi lisättiin VMI13-aineistosta. Ruuduille, jotka jäivät VMI13-aineiston ulkopuolelle, maaperätyyppi haettiin Maannostietokannasta.

²⁹ 9409 Luonnonhoitonurmi, 6300 luonnonlaidun ja -niitty, 9425 monimuotoisuuskasvit niitty, 9651 muu luomuvälvön ala (ei maatalousmaata), 6060 siirtonurmi, 6050 viherlannoitusnurmi, 9710 viljelemätön, 9805 ympäristösopimusala, pysyvä nurmi, 9814 ympäristösopimusala, kosteikko, 9813 ympäristösopimusala, puustoinen tai muu ala.



Kuvaus Pohjois-Savon maankäyttöluokituksen lopputuloksesta.

LIITE 3: Yhteenveto Pohjois-Savon hiilitaseista ja -varastoista kunnittain ja maankäyttöluokittain

Kunta	Metsämaan hiilitase, ktCO ₂ e/v	Viljelysmaan hiilitase, ktCO ₂ e/v	Ruohikkoalueiden hiilitase, ktCO ₂ e/v	Kosteikoiden hiilitase, ktCO ₂ e/v	Rakennettujen alueiden ja muun maan hiilitase, ktCO ₂ e/v	Kokonais- hiilitase, ktCO ₂ e/v
Iisalmi	-100,9	14,9	0,8	0,3	0,0	-84,9
Joroinen	5,7	21,3	0,9	2,5	0,0	30,4
Kaavi	9,0	2,2	0,1	0,0	0,0	11,3
Keitele	-32,2	16,4	0,5	1,9	0,0	-13,4
Kiuruvesi	119,5	98,7	2,4	8,8	0,0	229,4
Kuopio	-478,8	41,4	1,9	5,5	0,0	-430,0
Lapinlahti	-136,0	28,3	1,7	1,7	0,0	-104,3
Leppävirta	-159,9	10,8	1,1	0,0	0,0	-148,0
Pielavesi	-28,5	31,5	0,8	5,6	0,0	9,3
Rautalampi	-94,0	25,0	0,6	2,4	0,0	-66,0
Rautavaara	-31,4	6,5	0,2	3,2	0,0	-21,6
Siilinjärvi	12,8	8,9	0,5	0,0	0,0	22,2
Sonkajärvi	56,8	24,5	1,2	5,4	0,0	87,9
Suonenjoki	-58,5	11,5	0,4	4,2	0,0	-42,5
Tervo	-20,5	9,2	0,3	0,0	0,0	-10,9
Tuusniemi	-34,8	4,9	0,2	0,0	0,0	-29,7
Varkaus	-18,4	2,3	0,4	0,0	0,0	-15,7
Vesanto	-37,8	5,5	0,4	0,0	0,0	-32,0
Vieremä	58,4	21,5	0,6	2,7	0,0	83,1
Pohjois-Savo	-969,5	385,1	14,7	44,1	0,0	-525,6

Yhteenveto Pohjois-Savon kuntien hiilitaseista maankäyttöluokittain

Kunta	Metsämaan hiilivarasto, ktC	Viljelysmaan hiilivarasto, ktC	Ruohikkoalueiden hiilivarasto, ktC	Kosteikoiden hiilivarasto, ktC	Rakennettujen alueiden ja muun maan hiilivarasto, ktC	Kokonais- hiilivarasto, ktC
Iisalmi	10 983	700,8	59,6	0,0	0,0	11 744
Joroinen	9 907	446,3	39,3	0,0	0,0	10 392
Kaavi	13 083	101,7	11,0	0,0	0,0	13 196
Keitele	10 780	220,4	17,9	0,0	0,0	11 018
Kiuruvesi	30 326	1 619,5	74,5	0,0	0,0	32 020
Kuopio	48 208	1 886,4	160,6	0,0	0,0	50 255
Lapinlahti	19 191	890,6	62,4	0,0	0,0	20 144
Leppävirta	18 053	308,7	56,0	0,0	0,0	18 417
Pielavesi	24 764	576,2	36,5	0,0	0,0	25 376
Rautalampi	8 503	343,1	25,5	0,0	0,0	8 871
Rautavaara	30 835	121,8	11,9	0,0	0,0	30 969
Siilinjärvi	4 274	398,1	26,4	0,0	0,0	4 699
Sonkajärvi	36 593	547,8	41,0	0,0	0,0	37 181
Suonenjoki	13 624	263,4	21,6	0,0	0,0	13 909
Tervo	5 636	136,5	12,6	0,0	0,0	5 785
Tuusniemi	8 496	176,8	16,8	0,0	0,0	8 689
Varkaus	5 970	66,8	15,0	0,0	0,0	6 051
Vesanto	6 462	202,4	15,9	0,0	0,0	6 680
Vieremä	20 946	666,8	36,4	0,0	0,0	21 649
Pohjois-Savo	326 631	9 674,1	740,9	0,0	0,0	337 046

Yhteenveto Pohjois-Savon kuntien hiilivarastoista maankäyttöluokittain.

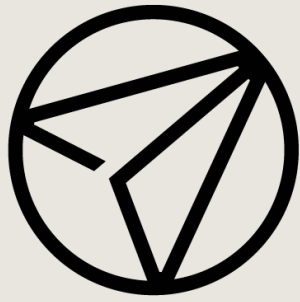
LIITE 4: Hiilitasetta selittävät tekijät: maankäyttöluokkien pinta-alat, maaperätyypit ja hakkuut

Kunta	Metsämaa, ha	Viljelysmaa, ha	Ruohikko-alueet, ha	Kosteikot, ha	Rakennetut alueet ja muu maa, ha	Pinta-ala yhteensä, ha
Iisalmi	57 848 (15%)	12 138 (4%)	1 002 (6%)	1 589 (16%)	5 168 (2%)	77 746 (13%)
Joroinen	45 965 (21%)	6 658 (13%)	594 (12%)	1 969 (42%)	3 620 (4%)	58 806 (19%)
Kaavi	62 083 (21%)	1 758 (5%)	199 (2%)	517 (59%)	3 302 (4%)	67 859 (20%)
Keitele	42 820 (32%)	2 761 (24%)	255 (15%)	1 014 (57%)	1 931 (8%)	48 780 (31%)
Kiuruvesi	102 782 (41%)	21 840 (19%)	1 014 (18%)	3 690 (65%)	4 913 (9%)	134 238 (36%)
Kuopio	265 995 (12%)	32 526 (5%)	2 731 (5%)	4 083 (35%)	22 805 (2%)	328 141 (11%)
Lapinlahti	88 215 (23%)	14 573 (7%)	896 (15%)	2 011 (34%)	5 516 (5%)	111 211 (20%)
Leppävirta	101 292 (11%)	4 978 (8%)	884 (9%)	906 (32%)	6 804 (2%)	114 864 (10%)
Pielavesi	100 894 (31%)	8 125 (16%)	558 (11%)	2 121 (67%)	4 605 (8%)	116 304 (30%)
Rautalampi	46 098 (14%)	4 397 (22%)	389 (11%)	464 (69%)	2 938 (4%)	54 288 (15%)
Rautavaara	104 198 (44%)	1 756 (15%)	200 (6%)	6 112 (97%)	3 222 (13%)	115 487 (45%)
Siilinjärvi	26 802 (8%)	6 866 (5%)	413 (10%)	553 (17%)	6 061 (1%)	40 695 (7%)
Sonkajärvi	127 614 (42%)	8 279 (12%)	571 (17%)	6 036 (92%)	4 764 (3%)	147 263 (42%)
Suonenjoki	62 629 (21%)	4 059 (11%)	351 (8%)	720 (88%)	3 879 (5%)	71 638 (20%)
Tervo	30 977 (16%)	1 831 (19%)	183 (14%)	362 (39%)	1 796 (4%)	35 150 (16%)
Tuusniemi	48 197 (11%)	2 952 (6%)	290 (5%)	373 (42%)	2 906 (2%)	54 718 (10%)
Varkaus	33 560 (11%)	1 082 (8%)	224 (12%)	573 (29%)	3 814 (1%)	39 254 (10%)
Vesanto	36 495 (12%)	3 402 (6%)	243 (11%)	367 (42%)	2 042 (2%)	42 548 (11%)
Vieremä	75 466 (37%)	10 811 (8%)	594 (8%)	3 056 (83%)	3 282 (8%)	93 210 (34%)
Pohjois-Savo	1 459 930 (24%)	150 792 (10%)	11 592 (10%)	36 517 (65%)	93 371 (4%)	1 752 201

Yhteenveto maankäyttöluokkien pinta-aloista kunnittain. Suluissa turvemaan osuus ilmoitetusta maankäyttöluokan kokonaispinta-alasta.

Kunta	Kokonais- hakkuut, m ³ /v	Hakkuut, m ³ /v/ha
Iisalmi	270 900	4,7
Joroinen	261 300	5,7
Kaavi	338 900	5,5
Keitele	211 600	4,9
Kiuruvesi	488 100	4,7
Kuopio	1 443 600	5,4
Lapinlahti	384 200	4,4
Leppävirta	506 300	5,0
Pielavesi	507 200	5,0
Rautalampi	222 700	4,8
Rautavaara	324 700	3,1
Siilinjärvi	164 200	6,1
Sonkajärvi	505 500	4,0
Suonenjoki	331 200	5,3
Tervo	174 300	5,6
Tuusniemi	285 000	5,9
Varkaus	185 500	5,5
Vesanto	206 100	5,6
Vieremä	291 400	3,9
Pohjois-Savo	7 102 700	4,9

Yhteenveto Pohjois-Savon kuntien hakkuista vuonna 2023. Suhteelliset luvut ilmoitettu kuutiona per hehtaari metsämaata.



AFRY