

Etelä-Pohjanmaan metsien kasvihuonekaasutase

Pro gradu -tutkielma maatalous- ja metsätieteiden
maisterin tutkintoa varten

Helsingin yliopisto, metsätieteiden laitos

Tammikuu 2012

Jaakko Hautanen

Tiedekunta/Osasto — Fakultet/Sektion — Faculty Maatalous- metsätieteellinen tiedekunta		Laitos — Institution — Department Metsätieteiden laitos	
Tekijä — Författare — Author Hautanen, Jaakko			
Työn nimi — Arbetets titel — Title Etelä-Pohjanmaan metsien kasvihuonekaasutase			
Oppiaine — Läroämne — Subject Metsäekologia			
Työn laji — Arbetets art — Level Maisterin tutkielma		Aika — Datum — Month and year Tammikuu 2012	Sivumäärä — Sidoantal — Number of pages 65 sivua.
Tiivistelmä — Referat — Abstract			
<p>Maapallon lämpötila nousee nopeammin kuin luonnollisesti olisi mahdollista. Lämpenemisen aiheuttavat kasvihuonekaasut. Tärkeimmät ilmastonmuutokseen vaikuttavat kasvihuonekaasut, joiden määrä ilmakehässä on lisääntynyt ihmistoiminnan seurauksena, ovat CO₂, CH₄ ja N₂O. Ilmastopimuksen allekirjoittaneet valtiot ovat sitoutuneet vähentämään päästöjään ja raportoimaan niistä. Suomessa on ryhdytty kartoittamaan myös alueellisia kasvihuonekaasutaseita osana ilmastostrategioita.</p> <p>Tämän työn tarkoituksena oli selvittää metsäkeskus Etelä-Pohjanmaan sekä Seinäjoen kaupunkiseudun metsien kasvihuonekaasutase. Lisäksi selvitettiin maanmuokkauksen, hakkuutähteiden korjuun ja lannoituksen vaikutus Etelä-Pohjanmaan metsien kasvihuonekaasutaseeseen. Puusto- ja pinta-alatiedot saatiin VMI-tiedoista sekä Etelä-Pohjanmaan metsäkeskuksen aluesuunnitelmista. Laskentoihin käytetyt kasvihuonekaasujen päästökertoimet otettiin kasvihuonekaasututkimuksista. Metsänhoitotöiden kokonaisvaikutus kasvihuonekaasutaseeseen saatiin laskemalla yhteen maaperästä hävinnyt hiili sekä puuston kasvuun sitoutuneen hiilen massan muutos.</p> <p>Etelä-Pohjanmaan metsäkeskusalueen maaperän ja puuston yhteenlaskettu kasvihuonekaasutase oli -4 Tg CO₂-ekv./v, eli kasvihuonekaasuja sitoutui metsään enemmän kuin niitä vapautui ilmakehään. Ojitettujen soiden maaperä oli kasvihuonekaasujen lähde, puusto ja kivennäispuusto olivat nieluja. Seinäjoen kaupunkiseudulla kasvihuonekaasutase oli suhteessa pienempi, koska puuston poistuma oli lähempänä kasvua kuin Etelä-Pohjanmaan metsäkeskuksen alueella. Suuren poistuman aiheutti hakkuiden suuri määrä. Ojitettujen soiden päästöistä suurimmat olivat N₂O sekä huuhtoutunut hiili.</p> <p>Metsänhoitotöiden vaikutus kasvihuonekaasutaseeseen oli Etelä-Pohjanmaan metsäkeskusalueella -107 Gg CO₂-ekv./v. Maanmuokkaus ja lannoitus synnyttivät kasvihuonekaasujen nielun. Hakkuutähteiden korjuu aiheutti pienen päästön. Maanmuokkaus ja lannoitus kasvattivat puuston kasvuun sitoutuneen hiilen massaa moninkertaisesti verrattuna maaperästä hävinneeseen hiileen. Hakkuutähteiden korjuu aiheutti sekä maaperän hiilivaraston vähenemistä että kasvun heikkenemistä. Hakkuutähteiden korjuun vaikutus oli pieni verrattuna maanmuokkaukseen ja lannoitukseen.</p> <p>Etelä-Pohjanmaan ja Seinäjoen kaupunkiseudun metsiin ja metsien kasvihuonekaasutaseeseen on vaikutettu voimakkaasti metsänparannustoimilla. Ojitettujen soiden maaperä oli kasvihuonekaasujen lähde, mutta puuston nielu oli moninkertainen verrattuna maaperän päästöihin. Metsänhoitotöiden vaikutus kasvihuonekaasutaseeseen arvioitiin vain metsän osalta, jolloin kaikkia vaikutuksia ei huomioitu. Lisäksi niiden vaikutuksien arvioinnissa havaittiin suurta epävarmuutta.</p>			
Avainsanat — Nyckelord — Keywords ilmastonmuutos, kasvihuonekaasu, metsätalousmaa, metsänhoitotyö			
Säilytyspaikka — Förvaringsställe — Where deposited Helsingin yliopisto, Viikin kampuskirjasto			
Muita tietoja — Övriga uppgifter — Further information			

Alkusanat

Tämä on Helsingin yliopiston maatalous- ja metsätieteellisessä tiedekunnassa metsätieteiden laitoksella tehty pro gradu -tutkielma. Työ tehtiin Seinäjoen seudun ilmastostrategian toimeksiantona. Ilmastostrategian työtä koordinoi Lapuan kaupunki. Pro gradun tarkastajina toimivat professori Annikki Mäkelä Helsingin yliopistosta sekä vanhempi tutkija Aleksi Lehtonen Metsäntutkimuslaitokselta. Ohjaajina toimivat Paavo Ojanen Helsingin yliopistosta sekä Mika Yli-Petäys Lapuan kaupungilta. Tietoja laskentoja varten antoivat Jarmo Sinko ja Juha Viirimäki (Etelä-Pohjanmaan metsäkeskus) sekä Sakari Tuominen, Antti Ihalainen ja Elina Mäki-Simola (Metsäntutkimuslaitos).

Suuret kiitokset ohjaajilleni Paavolle ja Mikalle tuesta ja avusta työn aikana. Kiitokset myös kaikille tietojen luovuttaneille, sekä neuvoja ja arvokkaita kommentteja laskentoihin ja tiedonhakuun antaneille.

Kiitos perheelle ja ystäville tuesta opiskelujeni aikana.

Helsingissä tammikuussa 2012

Jaakko Hautanen

Sisältö

Käsitelista	6
1 Johdanto.....	7
1.1 Työn tausta.....	7
1.2 Työn tarkoitus	9
1.3 Työn rajaus.....	10
1.3.1 Etelä-Pohjanmaan metsäkeskus	10
1.3.2 Seinäjoen kaupunkiseutu.....	11
1.3.3 Laskennan rajaus	12
2 Kasvihuonekaasut metsämaassa ja puustossa.....	13
2.1 Hiilen kierto	13
2.2 Typen kierto	16
3 Metsänhoitotöiden vaikutus.....	18
3.1 Maanmuokkaus	18
3.2 Hakkuutähteiden korjuu.....	18
3.3 Lannoitus	19
4 Aineistot ja menetelmät	20
4.1 Metsien kasvihuonekaasutase	20
4.1.1 Laskennan perusteet.....	20
4.1.2 Puusto.....	21
4.1.3 Kivennäismaan maaperä	22
4.1.4 Ojitettujen soiden maaperä.....	22
4.2 Metsänhoitotöiden vaikutus	25
4.2.1 Yleistä laskelmista	25
4.2.2 Maanmuokkaus	25
4.2.3 Hakkuutähteiden korjuu.....	25
4.2.4 Lannoitus.....	26

5 Tulokset	27
5.1 Pinta-alat ja puuston tilavuus	27
5.2 Metsien kasvihuonekaasutase	30
5.2.1 Puusto.....	30
5.2.2 Kivennäismaan maaperä	32
5.2.3 Ojitettujen soiden maaperä.....	33
5.2.4 Kokonaistase	37
5.3 Metsänhoitotöiden vaikutus	38
5.3.1 Metsänhoitotöiden kokonaisvaikutus	38
5.3.2 Maanmuokkaus.....	41
5.3.3 Hakkuutähteiden korjuu	41
5.3.4 Lannoitus.....	42
6 Tulosten tarkastelu	43
6.1 Etelä-Pohjanmaan metsien kasvihuonekaasutase	43
6.2 Metsänhoitotöiden vaikutus kasvihuonekaasutaseeseen	44
6.3 Laskennan epävarmuustekijät	46
7 Johtopäätökset.....	47
Kirjallisuus	48
Liitteet	55

Käsitelista

BEF	Biomass expansion factor, biomassan muuntokerroin. Kertoo, kuinka suurta biomassaa yksi kuutio runkopuuta vastaa (Mg/m^3).
CH_4	Metaani, CO_2 :n ja N_2O :n ohella merkittävin kasvihuonekaasu.
CO_2	Hiilidioksidi
CO_2 -ekv.	Hiilidioksidiekvivalentti, mittayksikkö eri kasvihuonevaikutusten yhteismitallistamiseen. Ekvivalentti saadaan kertomalla kaasun massa GWP:lla.
Gg	Gigagramma, tuhat tonnia, 10^9 g
GWP	Global warming potential; kasvihuonekaasun globaali lämmityspotentiaali. Kertoo, mikä on kasvihuonekaasun ilmastoa lämmittävä vaikutus verrattuna CO_2 :een. CO_2 :n GWP=1.
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change, hallitusten välinen ilmastonmuutospaneeli.
KHK-tase	Kasvihuonekaasutase = Kasvihuonekaasujen nielujen ja lähteiden CO_2 -ekvivalenteiksi muutettu summa.
LULUCF	Land Use, Land Use Change and Forestry; maankäyttö, maankäytön muutos ja metsätaloussektori kansallisessa kasvihuonekaasujen inventaariossa.
Mg	Megagramma, tonni, 10^6 g
N_2O	Typpioksiduuli
Pg	Petagramma, miljardi tonnia, 10^{15} g
Päästö	Kaasun lähde ilmakehään. Yleensä päästöllä tarkoitetaan ihmistoiminnan aiheuttamaa lähdettä.
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change; YK:n ilmastomuutosta koskeva puitesopimus.
Tg	Teragramma, miljoona tonnia, 10^{12} g

1 Johdanto

1.1 Työn tausta

Maapallon lämpötila nousee tällä hetkellä nopeammin kuin olisi luonnollisesti mahdollista. Hallitustenvälisen ilmastopaneelin (IPCC) uusimman arviointiraportin mukaan maapallon keskilämpötila on kohonnut 0,74 astetta viimeisimmän sadan vuoden aikana ja samalla esimerkiksi merenpinta on noussut ja jää- ja lumipeitteet ovat vähentyneet (IPCC 2007).

Kasvihuoneilmiö on luonnollinen ilmiö, jota ilman maapallon keskimääräinen pintalämpötila olisi noin -18 astetta nykyisen +15 asteen sijaan (Hakala & Välimäki 2003). Ihmisen toiminta on kuitenkin voimistanut kasvihuoneilmiötä. Kasvihuonekaasut aiheuttavat kasvihuoneilmiön päästämällä lävitseen lyhytaaltoista auringonvaloa ja pidättämällä maanpinnasta säteilevää pitkäaaltoista lämpösäteilyä. Ihmisen toiminnasta aiheutuvista kaasuista merkittävimpiä ovat Hakalan ja Välimäen (2003) mukaan hiilidioksidi (CO₂), metaani (CH₄) sekä typpioksiduuli (N₂O). Kasvihuonekaasuille on määritetty lämmittävyyskertoimet (GWP) niiden eliniän ilmakehässä ja lämpösäteilyn pidättävyyskyvyn mukaan (Taulukko 1). Esimerkiksi metaanin GWP₁₀₀ 25, mikä kertoo sen, että sadan vuoden kuluessa päästöstä sama massa metaania on lämmityspotentialiltaan 25 kertaa voimakkaampi kasvihuonekaasu kuin hiilidioksidi. Samalla luvulla 25 kerrottuna metaanin massa muutetaan CO₂-ekvivalentiksi, jolloin voidaan vertailla metaanin ja hiilidioksidin määrää samassa yksikössä (esim. Tg CO₂). Ilmastonmuutoksen kannalta on 100 vuotta pidetty yleensä tarkoituksenmukaisimpana tarkasteluajanjaksona kasvihuonekaasujen ja niiden ilmakehässä aiheuttamien muutoksien tarkasteluun (IPCC 2007).

Ilmastosopimuksen allekirjoittaneet maat sopivat Kiotossa 1997 kasvihuonekaasujen päästövähennysvelvoitteista vuosille 2008–2012. Ilmastosopimusta täsmentävä Kioton pöytäkirja tuli voimaan 16.2.2005 (Statistics Finland 2010). Sopimuksen mukaan teollisuusmaiden kasvihuonekaasupäästöjä vähennetään 5,2 %:lla vuoteen 1990 verrattuna (Ilvesniemi 2010). Suomella on UNFCCC:n ja EU:n jäsenenä raportointivelvollisuus kasvihuonekaasutaseestaan. Suomessa raportoinnista vastaa Tilastokeskus (Statistics Finland 2010). Eri sektorien nielujen ja päästöjen laskennassa sitä avustavat valtion tutkimuslaitokset. Metsätalouden ja maankäytön muutoksen vaikutuksia tutkii Metsäntutkimuslaitos (Kasvihuonekaasujen laskenta... 2011).

Metsillä on Suomen kasvihuonekaasutaseeseen suuri merkitys nieluna. Metsien nieluilla voitaisiin kompensoida muualta tulevia päästöjä. Tätä nielua ei kuitenkaan päästä päästölaskennassa hyödyntämään. Durbanissa solmittu uusi ilmastopimus ei anna mahdollisuutta Suomelle kompensoida metsän pinta-alan pienentymisestä aiheutunutta päästöä puuston hiilinielun kasvulla (YLE 2011).

Taulukko 1. Kasvihuonekaasujen elinikä ja lämmityspotentiaali (GWP) 20, 100 ja 500 vuoden aikana päästöstä (IPCC 2007). Hiilidioksidin potentiaali on aina yksi, koska muiden kaasujen potentiaaleja verrataan hiilidioksidiin.

Kaasu	Elinikä (vuosia)	GWP 20 vuotta	GWP 100 vuotta	GWP 500 vuotta
Hiilidioksidi CO ₂	50–200	1	1	1
Metaani CH ₄	12	72	25	7,6
Typpioksiduuli N ₂ O	114	289	298	153

1.2 Työn tarkoitus

Kasvihuonekaasutaseita on tarkasteltu kansainvälisellä ja kansallisella tasolla myös metsämaiden osalta kattavasti. Maakunnallisella tasolla tehdyt selvitykset ovat tähän asti keskittyneet raportoimaan maakuntien kaikki päästöt ja nielut. Niissä on käytetty kansainvälisten ja kansallisten päästöraporttien kertoimia, joten on vaikea arvioida, kuinka totuudenmukaisia arvoja on saatu tietylle maakunnalle. Myöskään taseisiin vaikuttavia tekijöitä, kuten metsänhoitotoimenpiteet, ei ole selvityksissä juurikaan tarkasteltu. Selvityksiä on tehty maakunnista ja kaupunkiseuduista riippuen hieman erilaisilla tarkastelunäkökulmilla, kuten Seinäjoen kaupungin maankäytön kasvihuonevaikutuksia koskeva selvitys (Koski 2008) ja Keski-Suomessa tehty selvitys luonnon kasvihuonekaasulähteistä ja -nieluista (Lakanen 2011). Myös Pohjois-Pohjanmaalla ja Pohjois-Karjalassa on tehty selvitykset kasvihuonekaasutaseesta (Bionova Engineering 2009, Lohilahti ym. 2009). Lahden kaupungin metsien hiilitaseen selvityksen (Indufor & Simosol Oy 2011) yhteydessä oli tarkasteltu myös kaupunkimetsien hoidon vaikutusta hiilitaseeseen.

Tämä pro gradu-tutkielma on osa Seinäjoen kaupunkiseudulle tehtävää ilmastostrategiaa (Seinäjoen kaupunkiseutu 2011). Ilmastostrategian tavoitteena on laatia päästövähennysesityksiä eri aloille taselaskelmien avulla (Lapuan kaupunki 2010). Tässä työssä selvitetään metsien kasvihuonekaasunielut ja -lähteet, eli mikä on Etelä-Pohjanmaan metsien kasvihuonekaasutase. Tase koostuu kasvihuonekaasujen lähteiden ja nielujen summasta. Tase voi olla joko positiivinen (päästöt suuremmat kuin nielu) tai negatiivinen (nielu suurempi kuin päästöt). Kasvihuonekaasutaseen lisäksi mielenkiinto kohdistuu ihmisen mahdollisuuksiin vähentää päästöjä. Talousmetsissä ihminen vaikuttaa päästöihin hakkuilla ja metsänhoitotöillä. Hakkuut lasketaan kasvihuonekaasutaseeseen lähteenä hakatun biomassan mukaan. Metsänhoitotöiden vaikutus kasvihuonekaasujen nieluihin ja lähteisiin metsissä on kuitenkin monimutkaisempi asia, koska metsänhoitotöillä on monenlaisia vaikutuksia maaperään ja puustoon.

Tässä työssä on kaksi tutkimuskysymystä:

- 1. Mikä on Etelä-Pohjanmaan metsien kasvihuonekaasutase?**
- 2. Miten metsänhoitotyöt vaikuttavat kasvihuonekaasutaseeseen?**

Etelä-Pohjanmaan metsien kasvihuonekaasutase saadaan vähentämällä nielut päästöistä. Pinta-ala- ja puustotiedot laskentoihin saadaan Metsäntutkimuslaitoksen valtakunnan metsien inventoinnista (VMI). Uusimmat metsävaratiedot perustuvat 10. arviointiin, jonka maastotyöt on suoritettu vuosina 2004–2008 (Valtakunnan metsien... 2011). Seinäjoen kaupunkiseudun taseen tarkasteluun kuntakohtaiset tiedot tulevat puuston ja ojitustilanteiden suhteiden osalta Etelä-Pohjanmaan metsäkeskuksen aluesuunnitelmista koostetuista yhdistelmä tiedoista. CO₂:n nielut ja lähteet lasketaan puusto- ja pinta-alatietojen perusteella sekä puustolle että maaperälle. CH₄:n ja N₂O:n nielut ja lähteet lasketaan maaperälle. Laskentoihin tarvittavat päästökertoimet ovat peräisin Suomen kasvihuonekaasuraportoinnista (Statistics Finland 2010) sekä kansallisista tutkimuksista. Metsänhoitotöiden osalta arvioidaan kaikkia mitattavissa olevia päästöjä sekä kokonaisvaikutusta, koska metsänhoitotyöt vaikuttavat kasvihuonekaasutaseeseen myös epäsuorasti puuston kasvun kautta. Metsänhoitotöiden määrät on tilastoinut Metsäntutkimuslaitos metsäkeskuskohtaisesti. Tässä työssä tarkastellaan maanmuokkauksen, hakkuutähteiden korjuun sekä lannoituksen vaikutusta kasvihuonekaasutaseeseen.

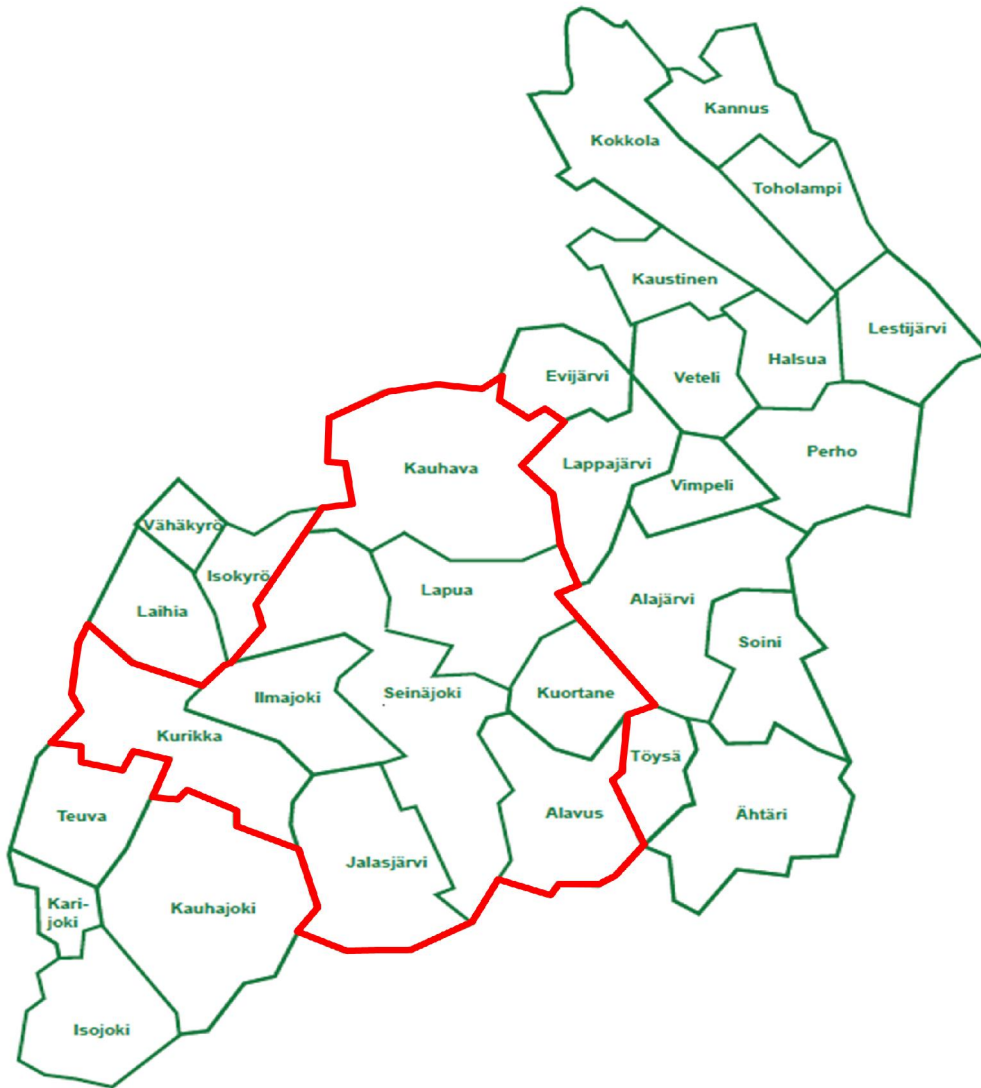
1.3 Työn rajaus

1.3.1 Etelä-Pohjanmaan metsäkeskus

Etelä-Pohjanmaan metsäkeskuksen toimialue käsittää Etelä- ja Keski-Pohjanmaan maakunnat sekä kolme kuntaa (Isokyrö, Vähäkyrö ja Laihia) Pohjanmaan maakunnasta (Kuva 1). Metsätalouden maata metsäkeskuksen alueella on yhteensä 1,5 miljoonaa hehtaaria. Soiden määrä alueella on suuri, 46 % metsätalousmaasta (Metla 2010). Lisäksi maaperä on verrattain karua, minkä vuoksi mänty on metsäkeskuksen alueella ylivoimaisesti merkittävin puulaji 61 %:n osuudella kokonaistilavuudesta. Muista puulajeista kuusta on 20 %, hieskoivua 15 % ja rauduskoivua vain 2 % kokonaistilavuudesta (Etelä-Pohjanmaan metsäkeskus 2010). Vuoden 2012 alussa 13 alueellista metsäkeskusta yhdistyivät ja metsäkeskusten toiminta jaettiin julkisiin palveluihin ja metsäpalveluihin. Etelä-Pohjanmaan metsäkeskuksen hallinnoima alue pysyi entisellään, mutta metsäkeskusalueen nimi on vuodesta 2012 alkaen Etelä- ja Keski-Pohjanmaa (Suomen metsäkeskus 2012).

1.3.2 Seinäjoen kaupunkiseutu

Seinäjoen kaupunkiseutu on 140 000 asukkaan seutukunta Etelä-Pohjanmaalla. Sen muodostavat Alavus, Ilmajoki, Jalasjärvi, Kauhava, Kuortane, Kurikka, Lapua ja Seinäjoki (Kuva 1). 2000-luvulla kaupunkiseutu on laajentunut useiden kuntaliitosten myötä. Vuonna 2005 Peräseinäjoki liittyi Seinäjokeen, minkä jälkeen Seinäjoen kaupunkiin liittyivät vielä Nurmo ja Ylistaro vuonna 2009. Samana vuonna liittyivät Alahärmä, Ylihärmä ja Kortesjärvi Kauhavan kaupunkiin, sekä Jurva Kurikan kaupunkiin (Metla 2011). Nykyisellään Seinäjoen kaupunkiseutu muodostaakin merkittävän osan Etelä-Pohjanmaan metsäkeskusalueesta erityisesti palveluiden ja metsän hyödyntämisen osalta. Seinäjoen kaupunkiseudulla metsätalousmaata on yhteensä 454 000 ha, mikä on 30 % koko metsäkeskusalueen metsätalousmaasta (Etelä-Pohjanmaan metsäkeskus 2007, 2010). Syksyllä 2010 käynnistyi kaupunkiseudulla ilmastostrategian laatiminen, jota koordinoi Lapuan kaupunki. Hanke toteutetaan 1.9.2010–31.12.2012. Hanketta rahoittaa Euroopan aluekehitysrahasto. Ilmastostrategian tavoitteena on hillitä ilmastonmuutosta, sitouttaa kunnat sekä kuntien virka- ja luottamushenkilöstö ilmastotyöhön, sekä lisätä alueen toimijoiden yhteistyötä ilmastostrategian laadinnan kautta (Lapuan kaupunki 2010).



Kuva 1. Etelä-Pohjanmaan metsäkeskuksen toimialue sekä Seinäjoen kaupunkiseutu (punaisella rajattu) vuoden 2010 kuntarajoilla (muokattu Etelä-Pohjanmaan metsäkeskus 2010).

1.3.3 Laskennan rajaus

Kasvihuonekaasutase laskettiin Etelä-Pohjanmaan metsäkeskuksen alueelle metsäkeskuskohtaisista tiedoista. Seinäjoen kaupunkiseudulle tase laskettiin kuntakohtaisista tiedoista, joten tälle alueelle kasvihuonekaasutase saatiin kunnittaisella tarkkuudella. Metsänhoitotöiden vaikutus kasvihuonekaasutaseeseen laskettiin metsäkeskuskohtaisista tiedoista Etelä-Pohjanmaan metsäkeskuksen alueelle. Metsien kasvihuonekaasutase ja metsänhoitotöiden vaikutus

kasvihuonekaasutaseeseen on laskettu erikseen. VMI-tiedoissa metsänhoitotöiden vaikutus on jo mukana kasvussa, joten metsänhoitotöiden vaikutusta ei voi vain lisätä puuston nieluun. Taselaskenta suoritettiin metsätalousmaalle, johon kuuluu metsämaa (puuston kasvu vähintään 1 m³/ha/v), kitumaa (0,10–0,99 m³/ha/v), joutomaa (alle 0,10 m³/ha/v), sekä muu metsätalousmaa (metsäautotiet, siemenviljelymetsät, metsätalouden pysyvät varasto- ja tonttialueet jne.) (VMI10 2008). Puuston nielut ja lähteet laskettiin koko metsätalousmaan puustosta. Maaperän osalta laskelmat tehtiin kivennäismaalle ja metsäojitetuille soille. Luonnontilaisten soiden maaperän kasvihuonekaasutaseeseen on laskelmissa ajateltu olevan nolla, vaikka erilaiset suot voivat ravinteisuudesta riippuen olla joko nieluja tai lähteitä. Luonnontilainen suo sitoo hiilidioksidia mutta päästää ilmakehään metaania (MMM11 2007). Tässä tapauksessa ei ollut mielekästä laskea luonnontilaisten soiden maaperän tasetta, koska kasvihuonekaasutasetta tarkasteltiin ihmisen toiminnasta aiheutuvan ilmastonmuutoksen näkökulmasta. Metsänhoitotöiden vaikutuksia laskiessa otettiin huomioon vain niiden vaikutukset maaperään ja puustoon. Muita päästöjä tai nieluja, kuten lannoitteen valmistuksesta syntyvät päästöt, ei otettu mukaan tarkasteluun.

2 Kasvihuonekaasut metsämaassa ja puustossa

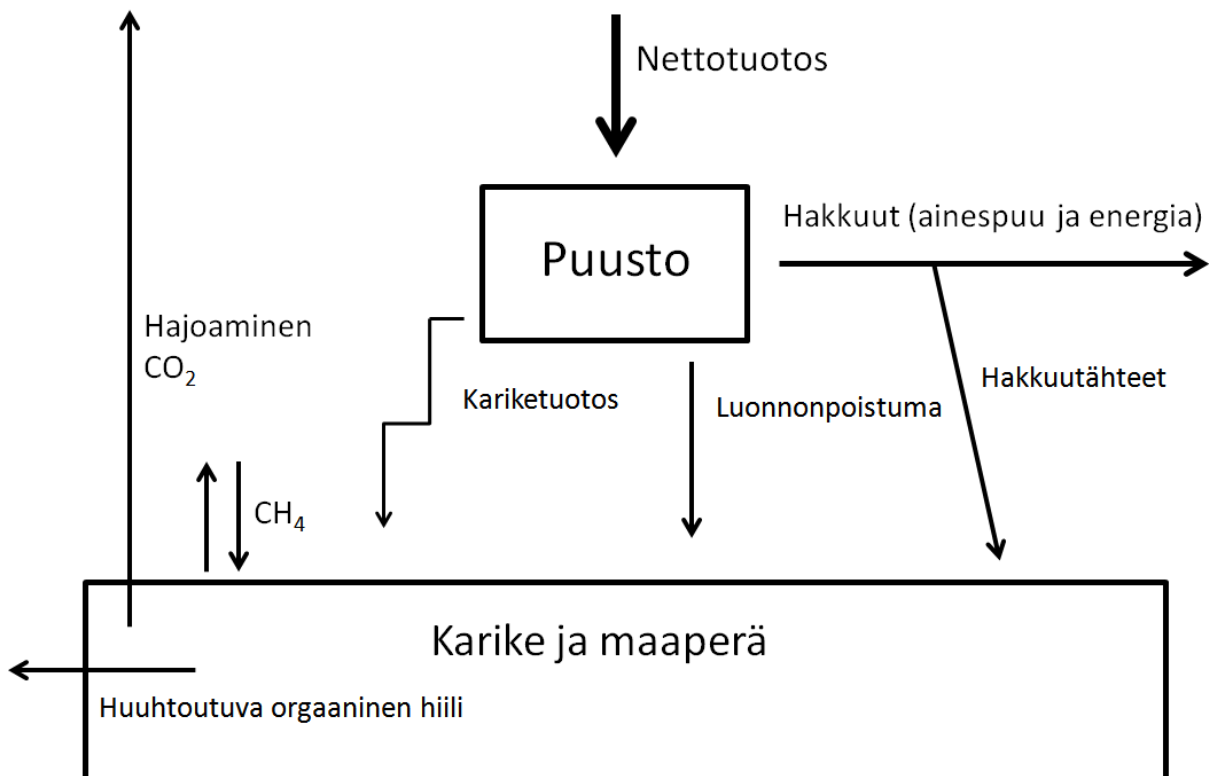
2.1 Hiilen kierto

Hiiltä on metsissä sitoutunut puustoon, pintakasvillisuuteen ja maahan. Suurin osa hiilestä on karikkeessa, humuksessa sekä humuskerroksen alla kivennäismaassa, soilla turpeessa (Savolainen 1996). Aluskasvillisuuteen sitoutuneen hiilen määrä on pieni, 4–13 % metsäekosysteemin kokonaishiilimäärästä (Mälkönen 1974, Havas & Kubin 1983). Puustossa hiiltä on sitoutunut eniten runkopuuhun. Myös juurissa on paljon hiiltä. Puustoon hiiltä sitoutuu yhteytyksen tuloksena. Yhteytyksen tuloksena puustoon sitoutuneesta hiilestä osa poistuu hakkuissa ja loput sitoutuvat metsän biomassaan ja maaperään eloperäisen kuolleen aineksen (karike), kuolleen puuston (luonnonpoistuma) sekä hakkuutähteen mukana (Kuva 2). Hakkuutähteen osuus hakatun puuston biomassasta on arvioitu olevan noin 9 % (Liski ym. 2006).

Puuston hiilivarasto on vuosien saatossa kasvanut. Tähän ovat vaikuttaneet paitsi metsätalousmaan pinta-alan kasvu, myös tehokas metsänhoito sekä maltilliset hakkuut. Vuonna 1952 puuston hiilivaraston Suomessa metsätalousmaalla arvioitiin olevan 2,5 kg/m², eli 540 Tg, kun vuonna 1990

se oli $2,8 \text{ kg/m}^2$ (660 Tg) (Savolainen 1996). Vuonna 2007 puuston hiilivarastoksi arvioitiin 835 Tg (Metla 2010).

Suurin osa maahan tulevasta hiilestä palautuu takaisin hiilidioksidina ilmakehään maaperässä tapahtuvan hajoamisen seurauksena (Liski ym. 2006). On kuitenkin huomattu, että osa hiilestä ei sitoudu maaperään tai palaudu ilmakehään, vaan huuhtoutuu metsikön valuma-alueelle, ja aiheuttaa hiilidioksidipäästöjä vesistöistä (Huotari ym. 2011, Kuva 2). Huuhtoutuvan orgaanisen hiilen määrän on arvioitu olevan 1–4 % maahan tulevan hiilen määrästä (Jonsson ym. 2007, Ojala ym. 2011).



Kuva 2. Hiilen kierto metsäekosysteemissä. Laatikot kuvaavat hiilen varastoja ja nuolet kaasu- ja materiaalivirtoja.

Puuston hiilivaraston suuruuteen vaikuttavat kasvuolosuhteet, puuston rakenne sekä hakkuut. Maaperän hiilivarastoja ohjailee karikkeen tuotos, koska karikkeen, humuksen ja maaperän hiilivarastoon vaikuttaa ensisijaisesti karikkeen määrä ja laatu (Kellomäki 1996, Savolainen 1996). Suurin osa kivennäismaiden maaperän hiilestä (noin 70 %) on humuskerroksen alla yhden metrin paksuisessa maakerroksessa (Kellomäki 1996). Liskin ym. (2006) mukaan hiiltä on sitoutunut kivennäismaan maaperään keskimäärin Suomessa $6,3 \text{ kg/m}^2$ ja hiilivarasto lisääntyy vuosittain $0,011 \text{ kg/m}^2$. Myös Lehtonen ym. (2011) arvioivat hiilen lisääntyvän, mutta vähemmän (Metsähallitus, metsätalousmaa Etelä-Suomi $0,003 \text{ kg/m}^2/\text{v}$). Molemmat tulokset saatiin maaperän hiilimalli Yasson simuloinneilla, mutta Lehtonen ym. (2011) käyttivät uudempaa, parannettua versiota Yasso-mallista (Yasso07 2011). Maaperän hiilivarastoa on mitattu myös maanäytteistä. Maanäytteiden analysoinnin tuloksena saatu keskimääräinen kivennäismaan hiilivarasto Suomessa on noin 6 kg/m^2 (Metla 2007).

Orgaanisen aineen hajoamiseen vaikuttavat maan lämpötila ja kosteus. Lämpötilan kasvu nopeuttaa hajotustoimintaa, mutta kosteuden vaikutus ei ole yhtä suoraviivainen; kuivuus hidastaa hajotusta, mutta myös liiallisen märkyyden johdosta hajotus hidastuu hapenpuutteen vuoksi (Smolander 2003). Hapeton hajotustoiminta on hitaampaa kuin hapellinen. Tämän vuoksi soille kertyy turvetta (Martikainen 2003). Maaperän hiilivarasto kasvaa, jos maahan tulevan hiilen massa (karikesyöte) on suurempi kuin maaperässä tapahtuva hajotus (Savolainen 1996).

Hapellisissa oloissa maaperän bakteerit hajottavat maaperän hiiltä hiilidioksidiksi, kun taas hapettomassa hajoamisessa hiilestä muodostuu metaania metanogeenisten arkkien toimesta (Martikainen 2003). Kivennäismaan maaperä toimii ilmakehän metaanin nieluna, koska maaperän mikrobit hapettavat ilmakehän metaania hiilidioksidiksi maannoksen pinta-osissa. Tiiviissä, sekä runsasvetisessä maassa kaasujen diffuusionopeus on alhainen, joten myös metaanin siirtyminen ilmasta maahan hajotettavaksi on vähäistä, jolloin metaaninielu pienenee (Savolainen 1996). Myös maaperän korkea typpipitoisuus haittaa metaanin hapetusta. Kivennäismaiden metaaninielu on noin $1-3 \text{ kg CH}_4/\text{ha}/\text{v}$ (Savolainen 1996). Maahan metaanina tullut hiili palaa takaisin ilmakehään hiilidioksidina.

Luonnontilaisina suot toimivat yleensä hiilidioksidin nieluna ja metaanin lähteinä. Ojituksessa myös suon toiminta muuttuu, turpeen hiilivarastot alkavat hajota ja runsasravinteisilla soilla

hiilinielu muuttuu hiilen lähteeksi (MMM11 2007). Jos ojitus on onnistunut suunnitellusti, se kuivattaa suota, ja näin ollen vähentää metaanin päästöjä. Ojikko ja muuttuma ovat vielä metaanin lähteitä ($1,16 \text{ g/m}^2/\text{v}$), mutta turvekankaaksi kehittynyt ojitusalue on muuttunut metaanin nieluksi ($-0,28 \text{ g/m}^2/\text{v}$) (Ojanen ym. 2010). Kosteuden ja ravinteisuuden lisäksi ojitetun suon päästöihin vaikuttavat ojat. Samaan aikaan kun metaanipäästöt vähenevät suon kuivuessa, ojat aiheuttavat merkittävää vaihtelua päästöihin. Ojissa syntyy metaanipäästöjä, joiden suuruus riippuu veden virtauksesta ja vedenpinnan korkeudesta ojassa (Minkkinen & Laine 2006).

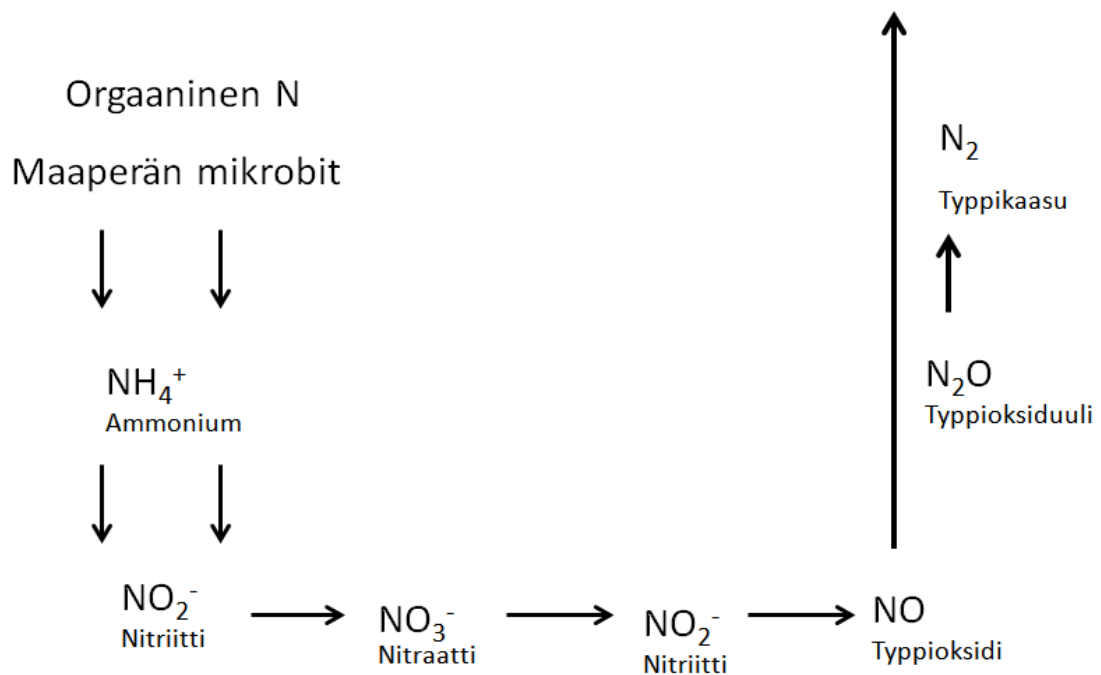
2.2 Typen kierto

Typpi on elämälle välttämätön alkuaine. Ilmakehän kaasutilavuudesta 78 % on typpeä, mutta silti se on lähes aina kasvien kasvua rajoittava ravinne (Hanski ym. 1998). Lukuun ottamatta typensitojabakteereita, kasveille käyttökelpoista typpeä on vain kuolleissa eliöissä. Kasvit saavatkin suurimman osan typestään, kun bakteerit ja sienet hajottavat typpeä kasveille käyttökelpoiseen muotoon.

Nitrifikaation saavat aikaan nitrifikaatiobakteerit, jotka hapettavat ammoniumia nitriitin kautta nitraateiksi hapen, hiilidioksidin ja ravinteiden avulla (Martikainen 2003). Metsämaan nitrifikaatiota rajoittaa ammoniumin vähäinen saatavuus. Luonnontilaisessa metsäekosysteemissä on vähän typpeä ammoniumiksi hajottavia eliöitä, mutta paljon ammoniumia nitrifioivia bakteereita, mistä seuraa että maassa ei vapaata ammoniumia juurikaan ole (Savolainen 1996). Denitrifikaatiossa hapettomissa oloissa toimivat bakteerit pelkistävät nitraatti- ja nitriitti-ioneja energianlähteekseen, jolloin vapautuu typen oksideja tai täydellisesti etenevän reaktion kautta typpikaasua (Martikainen 2003, Kuva 3). Denitrifikaatio vapauttaa ilmakehästä sidottua typpeä takaisin kaasumaiseen muotoon, ja sen merkitys typen kierrossa onkin suuri (Campbell ym. 1999).

Typpioksiduulia syntyy maaperässä, kun nitraatti pelkistyy (denitrifikaatio) tai ammonium hapettuu (nitrifikaatio). Typpilaskeuman lisäksi metsässä tehdyt toimenpiteet, kuten avohakkuu, maanmuokkaus ja lannoitus lisäävät typpioksiduulipäästöjä. Ravinteikkaassa kivennäismaan metsämaassa päästö voi olla hakkuita seuraavana vuonna noin $1 \text{ kg N}_2\text{O/ha/v}$, mutta laskee sen jälkeen nopeasti ollen keskimäärin $0,1-0,3 \text{ kg N}_2\text{O/ha/v}$ (Savolainen 1996).

Luonnontilaisilla soilla hapettomuus estää nitrifikaatiota ja ojitetuilla soilla alhainen pH rajoittaa tätä prosessia, mutta ravinteikkailla tai lannoitetuilla soilla typpioksiduulin muodostuminen on mahdollista (Minkkinen ym. 2007b). Soiden ojituksen myötä typpioksiduulipäästöt lisääntyvät. Ravinteikkailla ojitusalueilla typpioksiduulipäästöt ovat korkeampia kuin vähäravinteisilla (Ojanen ym. 2010).



Kuva 3. Typen kierto metsämaassa (mukaiillen Martikainen 2003). Orgaaninen typpi hapettuu maaperän mikrobien toimesta ammoniumiksi, joka edelleen hapettuu nitriitin kautta nitraatiksi (nitrifikaatio). Nitraatti pelkistyy nitriitin ja typpioksidin kautta typpioksiduuliksi ja typpikaasuksi (denitrifikaatio).

3 Metsänhoitotöiden vaikutus

3.1 Maanmuokkaus

Maanmuokkaus parantaa taimien kasvuun lähtöä. Maata paljastamalla saadaan taimille paremmat lämpöolosuhteet ja etumatkaa kilpailussa aluskasvillisuutta vastaan. Maanpinnan olosuhteet muuttuvat merkittävästi maanmuokkauksen myötä. Myös veden imeytyminen maahan sekä juuriston kehittyminen paranee (Jandl ym. 2007). Mannerkosken ja Mälkösen (2000) mukaan männiköissä muokatulla maalla oli 18 vuotta istutuksesta keskimäärin 15 m³/ha enemmän puustoa kuin muokkaamattomalla maalla.

Maanmuokkaus vaikuttaa myös maaperän kasvihuonekaasujen päästöihin. Johnson (1992) tarkasteli useita tutkimuksia, joiden mukaan maanmuokkaus pienentää maaperän hiilivarastoa. Muun muassa viljelykäyttöön muokatulla metsämaalla havaittiin 20 %:n väheneminen hiilivarastossa (Goldin & Lavkulich 1990). Metsämaalla maanmuokkauksen vaikutukset jäävät pienemmiksi, koska maanmuokkaus tehdään vain kerran kiertoaikana. Piirainen ym. (2009) havaitsivat maaperän hiilivaraston pienentyneen 8 %:lla 8 vuotta äestyksen jälkeen. Typen varaston he sen sijaan huomasivat lisääntyneen 9 %. Tämä ero johtui luultavasti siitä, että suurin osa hiilestä vapautui ilmakehään hajotuksessa, mutta tpestä suuri osa sitoutui maahan. Ajan kuluessa ja metsän kasvaessa maanmuokkauksen vaikutus hiilivarastoon todennäköisesti tasoittuu kohti maanmuokkausta edeltävää tilannetta. Maanmuokkauksen voimakkuudella on myös merkitystä. Mitä voimakkaampi muokkaus, sitä suurempia ovat muutokset maan lämpö-oloissa, kosteudessa ja mikrobitoiminnassa (Mälkönen 2003).

3.2 Hakkuutähteiden korjuu

Hakkuutähteen korjuu pienentää hiilen varastoa maaperässä ja puustossa. Se vähentää maaperään tulevan hiilen määrää, mikä pienentää maaperän hiilinielua. Toisaalta maaperän päästöt vähenevät hajoavan aineen poistamisen seurauksena, mikä pienentää hiilivaraston häviämistä. Hakkuutähteiden korjuu vaikuttaa myös seuraavan puusukupolven kasvuun, ja puustoon sitoutuvan hiilen määrään. Hiilen määrän muutos maaperässä ja seuraavassa puusukupolvessa muodostavat

hakkuutähteiden korjuun kokonaisvaikutuksen kasvihuonekaasutaseeseen. Tässä työssä hakkuutähteillä tarkoitetaan latvusmassaa.

Hakkuutähteeseen on sitoutunut hiiltä, josta suurin osa hajoaa nopeasti, ja loput hajoavat hyvin hitaasti. Hakkuutähteiden hiilestä 90 % hajoaa ensimmäisen 20 vuoden aikana. Hakkuutähteiden poiston vaikutus on heti hakkuun jälkeen suuri, mutta ensimmäisten 20 vuoden jälkeen tilanne tasoittuu lähelle tavanomaisia hakkuiden jälkeisiä hiilimääriä (Palosuo ym. 2001a). Palosuo ym. (2001b) simuloivat maaperän hiilivarastoa hakkuutähteiden korjuu huomioituna, ja arvioivat maaperän hiilivaraston pienentyneen 2 % 20 vuodessa hakkuutähteiden korjuun seurauksena.

Hiilen lisäksi hakkuutähteiden mukana poistuu myös ravinteita, jotka vaikuttavat kasvuun. Harvennushakkuun yhteydessä tapahtuva hakkuutähteiden korjuu vähentää Helmisaaren ym. (2011) mukaan puuston tilavuuden kasvua kuusikoissa 5 % ja männiköissä 4 % kokonaiskasvusta hakkuuta seuraavana 10-vuotiskautena. Hakkuutähteeseen sitoutunut typpi vapautuu noin 3 vuotta hakkuun jälkeen. Siksi hakkuutähteen poiston vaikutukset kasvuun eivät ilmene välittömästi, kun hakkuutähte on poistettu. Ravinteiden poistumisesta johtuvat kasvutappiot saattavat hyvin olla merkittävin hakkuutähteiden korjuun vaikutus.

3.3 Lannoitus

Metsänlannoituksia tehdään kasvun lisäämiseksi sekä ravinne-epätasapainon tai -puutteiden korjaamiseksi. Kasvulannoituksella haetaan metsikön lisääntyvän kasvun kautta parempaa tuottoa, kun terveyslannoituksella korjataan ravinteiden epätasapainoa (Kaunisto ym. 2002). Terveyslannoitusten tarpeessa ovat lähinnä kaliumin ja boorin puutteesta kärsivät turve- ja kangasmaat, kun taas kasvatuslannoituksessa käytetään tavallisesti typpi-fosforilannoitteita (Salonen 1999). Typpi on kangasmailla tärkein puiden kasvua rajoittava ravinne, kun taas turvemaidilla ravinteisuus vaihtelee suuresti (Kukkola & Moilanen 2005).

Typpilannoituksella lisätään saatavilla olevan typen määrää metsämaassa, mutta myös lisätään typpioksiduulipäästöjä. Paikallisesti typen määrän lisäyksellä voi olla suurikin vaikutus typpioksiduulipäästöihin, koska kaikki lisätty typpi ei mene puuston kasvuun tai sitoudu maaperään.

IPCC:n (2003) mukaan noin 1,25 % lannoituksessa käytetystä typestä päätyy typpioksiduulipäästönä ilmakehään.

Typpilannoitus on metsätaloudellisesti kannattava sijoitus. Lannoituksen tuoman kasvunlisäyksen tuotto saadaan nopeasti realisoitua, kun lannoitus tehdään ennen hakkuuta. Typpilisäys vaikuttaa 6-10 vuotta. Etelä-Suomessa puuston kasvunlisäys on 12–20 m³/ha (Kukkola & Moilanen 2005). Mälkönen (1982) on saanut samansuuntaisia tuloksia kasvunlisäyksestä; 12–18 m³/ha 10 vuodessa 150 kilon typpiannoksella hehtaaria kohti. Kuusi reagoi hieman mäntyä hitaammin lannoitukseen, mutta lannoituksen positiivinen vaikutus kasvuun säilyy sillä kauemmin. Suurimmillaan kasvureaktio on keskimäärin 2–4 vuoden kuluttua lannoituksesta (Kukkola & Nöjd 2000).

4 Aineistot ja menetelmät

4.1 Metsien kasvihuonekaasutase

4.1.1 Laskennan perusteet

Puuston kasvihuonekaasutaseen laskennassa Metsäntutkimuslaitokselta (Metla) ja Etelä-Pohjanmaan metsäkeskukselta saadut puustotiedot (m³ runkopuuta) muutettiin biomassan sisältämäksi hiileksi käyttäen biomassan muunnoskertoimia (biomass expansion factor, BEF). Maaperän tase puolestaan saatiin kertomalla pinta-alat päästökertoimilla. Luvut laskelmiin löytyivät metsäkeskuskohtaisesti VMI10:n tiedoista. Seinäjoen kaupunkiseudulle kuntakohtaiset puustotiedot ovat peräisin Etelä-Pohjanmaan metsäkeskuksen aluesuunnitelmista. Kunnittaiset maaperätiedot ja puuston poistumatiedot tulivat Metsäntutkimuslaitokselta. Tarkasteluja varten saadut taseet muutettiin CO₂-ekvivalenteiksi GWP-kertoimilla (Taulukko 1). Eri kaasujen taseet ovat tällöin yhteismitallisia ja vertailtavissa keskenään.

4.1.2 Puusto

Puustoon sitoutuneen hiilidioksidin määrän muutos ($T_g \text{ CO}_2/v$) saatiin vähentämällä kasvusta poistuma (hakkuut ja luonnonpoistuma). Kasvuun ja poistumaan sisältynyt hiilen massa laskettiin puustotietojen perusteella. Etelä-Pohjanmaan metsäkeskusalueelle käytettiin valmista kokonaispoistuman keskiarvoa vuosilta 2000–2009 (Metla 2010), mutta Seinäjoen kaupunkiseudulle kokonaispoistuma jouduttiin laskemaan kunnittaisten hakkuiden, luonnonpoistuman ja hukkapuuprosentin perusteella (Metla 2011). Kunnittaisten hakkuiden osalta käytettiin vuoden 2000–2010 hakkuutietoja. Kuntaliitoksia tehneiden kuntien osalta (kts. Seinäjoen kaupunkiseutu) jouduttiin käyttämään lyhyempiä ajanjaksoja, koska liitoksien jälkeiset tiedot hakkuista eivät olleet kattavia. Etelä-Pohjanmaan metsäkeskusalueen luonnonpoistuma (m^3/v) muutettiin kunnittaiseksi luonnonpoistumaksi seuraavalla tavalla:

$$P_{kun} = P_{\text{metsäkeskus}} \times \frac{V_{kun}}{V_{kok}}, \quad (1)$$

missä

P = luonnonpoistuma (m^3/v)

V_{kun} = Puuston tilavuus kunnittain (m^3)

V_{kok} = Koko metsäkeskusalueen puuston tilavuus (m^3)

Kunnittaiset hukkapuun tilavuudet (m^3/v) saatiin selville kertomalla kunnittaiset hakkuut (runkopuu) hukkapuuprosenteilla. Kokonaispoistuma saatiin laskemalla hakkuut, luonnonpoistuma ja hukkapuun tilavuus yhteen. Kokonaispoistuma (m^3) muutettiin biomassaksi biomassan muunnoskerroimilla (biomass expansion factor, BEF), jotka on estimoitu biomassayhtälöiden ja VMI10:n tietojen perusteella (Statistics Finland 2010). Kertoimilla laskettiin biomassa jokaiselle puulajille erikseen kivennäis- ja turvemaalle Metlan ja metsäkeskuksen puustotiedoista. Hiilen määrän puustossa on yleisesti pidetty olevan noin puolet puuston biomassasta (Statistics Finland 2010). Hiilidioksidin määrä tulee hiilen ja hiilidioksidin moolimassojen suhteesta. Kilogramma hiiltä vastaa 3,67 kg hiilidioksidia.

4.1.3 Kivennäismaan maaperä

Kivennäismaan hiilidioksiditase saatiin simuloimalla maaperään tulevaa kariketta, hakkuutähdettä ja kuollutta puustoa, sekä maaperässä tapahtuvaa lahoamista (Lehtonen ym.2011, Liski ym. 2006). Tässä työssä päädyttiin käyttämään uusimpia simuloiteja Suomen maaperästä, eli Lehtosen ym. (2011) Yasso07-simuloiteja Metsähallituksen Etelä-Suomen metsätalousmaalta, joiden mukaan maaperään kertyi hiiltä $0,003 \text{ kg/m}^2/\text{v}$. Yasso-simuloinnin oletuksiin on sisällytetty lämpenevän ilmaston vaikutus sekä maaperässä tapahtuvat ilmiöt, kuten hiilen huuhtoutuminen (Yasso07 2011). CO_2 -taseeseen laskettiin mukaan metaanin nielusta johtuva CO_2 -päästö. Metaani muutettiin hiileksi ja hiili CO_2 :ksi moolimassojen suhteilla (C: $1,33 \text{ kg CH}_4$, $3,67 \text{ kg CO}_2$). Typpioksiduulin ja metaanin osalta tukeuduttiin tutkimustulosten vähäisyyden johdosta Savolaisen (1996) ilmoittamien tuloksien keskiarvoihin Suomesta; metaaninielu on $2 \text{ kg CH}_4/\text{ha}/\text{v}$ ja typpioksiduulipäästö $0,2 \text{ kg N}_2\text{O}/\text{ha}/\text{v}$.

4.1.4 Ojitettujen soiden maaperä

Ojitettujen soiden päästöille on kansallisissa tutkimuksissa määritelty päästökertoimet turvekangastyypin tai ojitustilanteen mukaan. Turvekangastyypit saatiin sekä metsäkeskusalueelle että Seinäjoen kaupunkiseudulle Metlan (2009b, 2011) tiedoista. Ojitustilanteet metsäkeskusalueelle löytyivät VMI-tiedoista (Metla 2009a) ja Seinäjoen kaupunkiseudulle Etelä-Pohjanmaan metsäkeskuksen (2007) aluesuunnitelmatiedoista sekä Metlan tiedoista. Ojitettujen soiden kokonaismäärä kunnittain saatiin Metsäntutkimuslaitoksen tiedoista ja ojitustilanteiden suhteelliset osuudet metsäkeskukselta (Metla 2011, Etelä-Pohjanmaan metsäkeskus 2007).

Hiilidioksidin ja typpioksiduulin taseet laskettiin uusimpien tutkimustulosten perusteella (Ojanen ym. 2010, 2011) turvekangastyypin mukaan (Taulukko 2). Kasvihuonekaasutaseeseen laskettiin myös ojitetuilta soilta vesistöön huuhtoutunut hiili (DOC, dissolved organic carbon). Minkkinen ja Ojanen (2011) arvioivat nettohuuhtoumaksi ojitetuilta soilta $8 \text{ g C m}^2/\text{v}$ Pohjois-Pohjanmaalta. Koska metaanipäästöt ovat riippuvaisia lähinnä suon kosteudesta, laskettiin ne erikseen ojikoille ja muuttumille, sekä turvekankaille (Ojanen ym. 2010, Taulukko 2). Ojikat ovat juuri ojitettuja tai vaillinaisesti kuivuneita, muuttumissa puuston kasvu on jo elpynyt, ja turvekankailla kasvillisuus on muuttunut suokasvillisuudesta kivennäismaan kasvillisuudeksi (Päivänen 2007). Ojitetut suot

luokitellaan turvekangastyyppeihin sen mukaan, minkä ravinteisuustason kasvupaikaksi ne kehittyvät (Päivänen 2007).

Ojitetuilla soilla ojat ovat metaanin lähteitä. Minkkinen ja Ojanen (2011) määrittivät ojien päästökertoimet samoiksi luonnontilaisten soiden metaanipäästöjen kanssa ja ojien pinta-alaksi 2,5 % ojitetun suon pinta-alasta, metrin levyisten ojien ollessa 40 metrin välein (Taulukko 2). Ojitusalueiden ojien päästöt laskettiin niiden suotyyppien mukaan, mistä alueet ovat ojituksen seurauksena kehittyneet (Laine & Vasander 2008).

Taulukko 2. Metsäojitettujen soiden päästökertoimet (Ojanen ym. 2010, 2011, Minkkinen & Ojanen 2011). Miinusmerkkinen päästö merkitsee sidontaa. Ojien metaanipäästöjen laskennassa käytettiin luonnontilaisten soiden päästökertoimia (Minkkinen & Ojanen 2011).

Kaasu	Luokittelutekijä	Päästö (g KHK m²/v)
CO₂	Tyyppi	kerroin
	Rhtkg–Mtkg	192
	Ptkg–Jätkg	-69
	Nettohuuhtouma	kerroin
	Ojitetut suot	29,36
CH₄	Kuivatusaste	kerroin
	Ojikat ja muuttumat	1,16
	Turvekankaat	-0,28
	Ojat	kerroin
	Saranevat	24
	Avosuot, sekä sararämeet ja korvet	15
	Muut harvapuustoiset rämeet	5
	Aidot puustoiset korvet ja rämeet	2
N₂O	Tyyppi	kerroin
	Rhtkg	0,185
	Mtkg I	0,116
	Mtkg II	0,167
	Ptkg I	0,028
	Ptkg II	0,071
	Vatkg	0,029
	Jätkg	0

4.2 Metsänhoitotöiden vaikutus

4.2.1 Yleistä laskelmista

Maanmuokkauksen ja hakkuutähteiden korjuun osalta tarkasteltiin maaperän hiilivaraston muutosta tehtyjen töiden seurauksena. Lannoituksen päästö laskettiin käytetyn typpilannoitteen määrän, ja siitä aiheutuvan typpioksiduulipäästön mukaan. Osiossa tarkasteltiin myös metsänhoitotöiden vaikutusta hiilivarastoon puuston kasvun muuttumisen kautta. Näin saatiin selville metsänhoitotöiden kokonaisilmastovaikutus. Lannoituksen, maanmuokkauksen sekä hakkuutähteen korjuun suoritettujen pinta-alat ovat keskiarvoja vuosilta 2006–2010.

4.2.2 Maanmuokkaus

Maanmuokkauksen vaikutuksia maan typpi- ja hiilivarastoon laskettiin tehtyjen maanmuokkausmäärien perusteella. Maanmuokkauksen päästökertoimena käytettiin Piiraisen ym. (2009) havainnoimaa 8 %:n vähenemistä hiilivarastossa 8 vuotta maanmuokkauksen jälkeen. Vaikutus oli mitattu 20 cm:n syvyydeltä. Väheneminen kerrottiin 20 cm kivennäismaakerroksen hiilivarastolla, joka oli 3,87 kg/m² (Metla 2007). Näin saatu hiilihävikki kerrottiin Etelä-Pohjanmaan metsäkeskuksen alueella tehtyjen maanmuokkausten pinta-alalla (Metla 2011). Maanmuokkauksen osalta selvitettiin myös puuston lisääntyneeseen kasvuun sitoutunut hiilidioksidi. Mannerkosken ja Mälkösen (2000) mukaan muokatulla alalla oli 18 vuotta uudistamisesta 15 m³/ha enemmän puustoa kuin muokkaamattomalla alalla. Kasvunlisäys/ha kerrottiin maanmuokkauksen vuotuisella pinta-alalla (ha). Puuston lisääntynyt kasvu muutettiin biomassan sisältämäksi hiilidioksidiksi (Kts. 4.1.1 Puusto).

4.2.3 Hakkuutähteiden korjuu

Hakkuutähteiden korjuun vaikutusten arviointiin käytettiin Palosuon ym. (2001b) simulointituloksia hakkuutähteiden keräämisen pienentävästä vaikutuksesta Suomen maaperän hiilivarastoon. Hakkuutähteiden korjuu pienensi maaperän hiilivarastoa 2 % 20 vuoden tarkastelujakson aikana (Palosuo ym. 2001b). Koska hakkuutähteiden korjuun vaikutus on simuloitu tulos, on perusteltua

käyttää simuloitua hiilivarastoa laskennoissa maaperämittausten sijaan. Maaperän hiilivarasto (Liski ym. 2006) kerrottiin varaston vähenemisellä. Tämä tulos puolestaan kerrottiin hakkuutähteen korjuun pinta-alalla, joka johdettiin avohakkuiden pinta-alasta (Etelä-Pohjanmaan Metsäkeskus 2008) ja hakkuutähteen korjuun osuudesta avohakkuualoilla. Etelä-Pohjanmaan metsäkeskusalueella hakkuutähteitä korjattiin keskimäärin (2006–2010) 15 %:lla avohakkuualoista (Luonnonhoidon laadunarviointi 2010). Lisäksi laskettiin havaittujen kasvutappioiden (Helmisaari ym. 2011) kautta menetetyn hiilen massa. Yhden harvennushakkuun jälkeen männyllä oli 5% ja kuusella 4% heikompi tilavuuskasvu verrattuna metsikköihin, josta ei oltu kerätty hakkuutähteitä (Helmisaari ym. 2011). Heikentyneen kasvun sitoma hiilimäärä vähennettiin normaaliin kasvuun sitoutuneesta hiilen massasta. Tällöin saatiin selville kasvutappion aiheuttama hiilen massan muutos. Kokonaisilmastovaikutus saatiin summaamalla maaperän hiilivaraston pieneneminen sekä kasvutappion seurauksena vähentynyt puuston hiilen massa (Gg CO₂).

Ilmastovaikutusten lisäksi laskettiin hakkuutähteen korjuussa poistunut hiilen massa. Hiilen massan väheneminen on laskettu jo sisältyväksi maaperän hiilen hävikkiin (Palosuo ym. 2001b). On kuitenkin hyödyllistä tietää, kuinka paljon biomassaa on poistettu (Gg CO₂), jotta saadaan kokonaiskäsitys siitä, mitä metsässä tapahtuu kun hakkuutähteet poistetaan. BEF:ien sijaan biomassan laskemiseen käytettiin hakkuutähteen kuivatuoretiheyttä (Lindblad ym. 2010). Tietoa hakkuutähteen korjuun määristä (m³) Etelä-Pohjanmaan metsäkeskuksen alueella saatiin Metsätalastollisesta vuosikirjasta (Metla 2010).

4.2.4 Lannoitus

Lannoituksen typpioksiduulipäästöt laskettiin käytetyn typen määrän mukaan. Metsäkeskusalueen lannoituspinta-alojen (ha) mukaisesti laskettiin, kuinka paljon typpeä on levitetty metsämaahan. Keskimääräisenä levitysmääränä käytettiin 150 kg N/ha (Kukkola & Nöjd 2000). Suomen kasvihuonekaasuraportoinnissa ei ole vielä kehitetty omia kansallisia kertoimia typpioksiduulipäästöjen laskentaan, minkä vuoksi käytettiin IPCC:n (2003) suosittelemaa 1,25 %:n kerrointa typpioksiduulipäästöjen selvittämiseksi. Sen mukaan 1,25 % tyypestä muuttuu typpioksiduulin tyypeksi (N₂O-N). Typpi muutetaan typpioksiduuliksi moolimassojen suhteella (44/28). 1 kg N vastaa 1,57 kg N₂O:a. Typpioksiduulipäästöjä voidaan CO₂-ekvivalenteiksi muutettuna vertailla lannoituksen lisäämään hiilen määrään puustossa. Mälkösen (1982) sekä

Kukkolan ja Moilasan (2005) havainnoimien kasvunlisäysten perusteella laskennoissa käytettiin lannoituksesta syntyneenä keskimääräisenä kasvunlisäyksenä 15 m³/ha. Kasvunlisäys kerrottiin lannoitetulla pinta-alalla. Näin saatu kokonaiskasvunlisäys muutettiin biomassan sisältämäksi hiilidioksidiksi (Kts. 4.1.1 Puusto).

5 Tulokset

5.1 Pinta-alat ja puuston tilavuus

Etelä-Pohjanmaan metsäkeskuksen alueella on metsätalousmaata 1 502 000 hehtaaria (Taulukko 3). Leimaavaa metsäkeskusalueelle on kasvuolosuhteiden karuus sekä soiden suuri määrä. Sillä on Etelä-Suomen metsäkeskuksista eniten kitu- ja joutomaata (Metla 2010). Pohjois-Pohjanmaan metsäkeskuksen jälkeen Etelä-Pohjanmaalla on eniten soita Suomen metsäkeskuksista, 46 % metsätalousmaan pinta-alasta (Metla 2010). Soista 78 % on ojitettu metsätaloukseen. Seinäjoen kaupunkiseudulla soita on hieman enemmän kuin metsäkeskuksen alueella keskimäärin; soiden osuus metsätalousmaasta on 49 % (Metla 2011). Puulajeista mänty on metsäkeskusalueen selkeä valtapuulaji 62 %:n osuudella kokonaistilavuudesta (Taulukko 4). Männyn suuri osuus johtuu kasvupaikkojen karuudesta. Lehtipuusta suurin osa, noin 90 % on hieskoivua (Etelä-Pohjanmaan metsäkeskus 2010). Myös Seinäjoen kaupunkiseudulla mänty on selkeä valtapuulaji. Sitä vastoin puuston kasvun ja poistuman suhteessa on metsäkeskusalueen sisällä eroja. Etelä-Pohjanmaan metsäkeskusalueella kasvu on noin kolmanneksen suurempi kuin poistuma, kun taas Seinäjoen kaupunkiseudulla poistuma on hyvin lähellä vuotuista kasvua (Taulukko 4). Pinta-alatiedot Seinäjoen kaupunkiseudulta löytyvät Liitteestä 2.

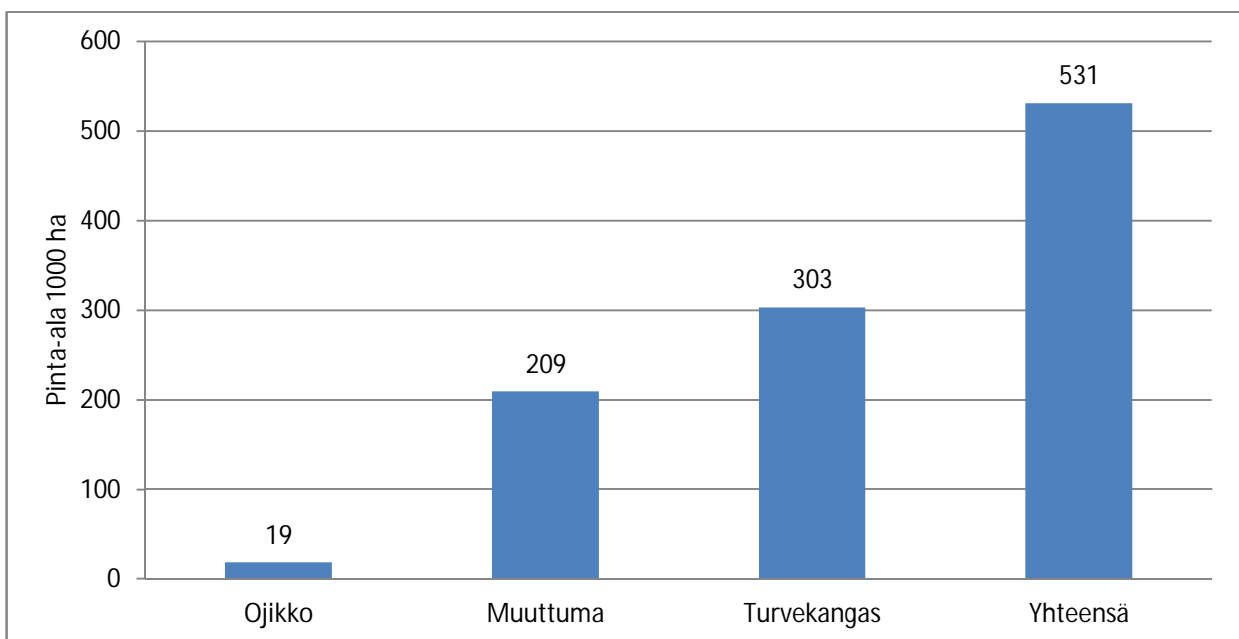
Taulukko 3. Etelä-Pohjanmaan metsäkeskusalueen metsätalousmaa maatyypeittäin (Metla 2009a).

Etelä-Pohjanmaan metsäkeskus	Pinta-ala 1000 ha
Metsätalousmaa	1502
• Metsämaa	1313
• Kitumaa	92
• Joutomaa	82
• Muu metsätalousmaa	15

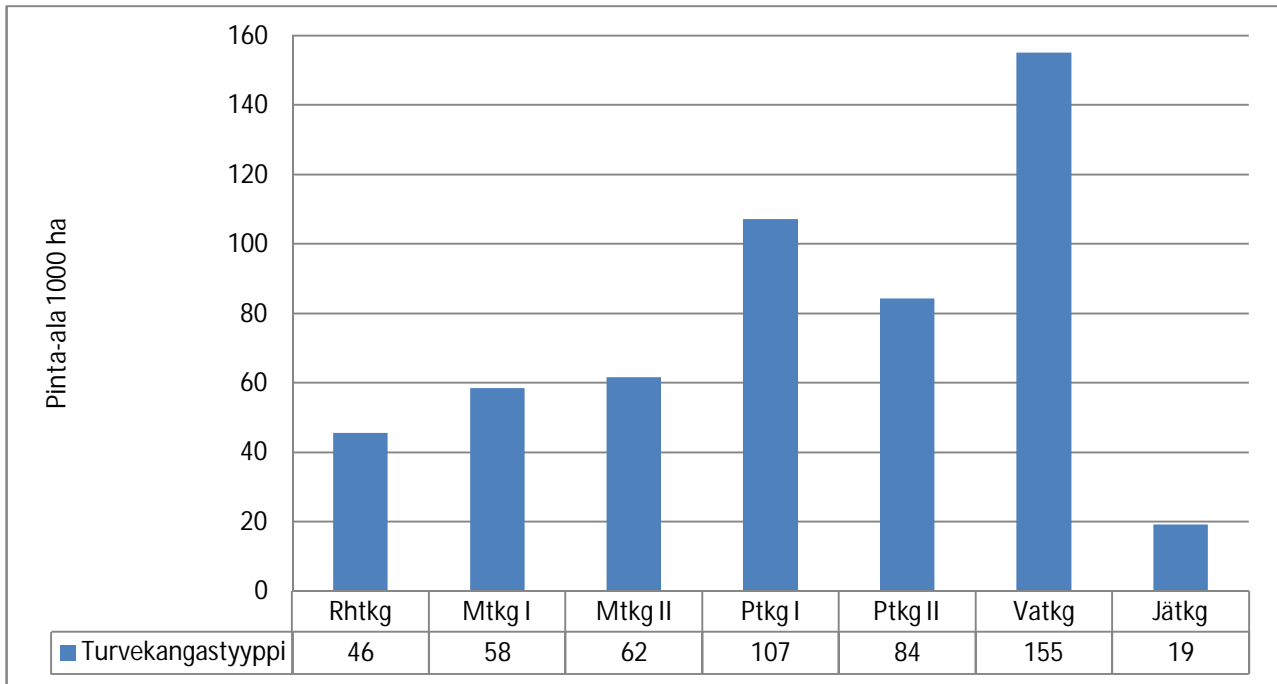
Taulukko 4. Puuston tilavuus, vuotuinen kasvu ja poistuma puulajeittain sekä puulajin osuus kokonaistilavuudesta Etelä-Pohjanmaan metsäkeskuksen alueella (E-P) sekä Seinäjoen kaupunkiseudulla (Sjk) (Metla 2009a, Etelä-Pohjanmaan metsäkeskus 2007).

Puulaji	Puuston tilavuus milj. m ³		Osuus kokonaistilavuudesta %		Kasvu milj. m ³ /v		Poistuma milj. m ³ /v	
	E-P	Sjk	E-P	Sjk	E-P	Sjk	E-P	Sjk
Mänty	86	25	62	66	4,3	1,5	2,3	0,8
Kuusi	28	8	20	21	1,3	0,3	1,3	0,5
Lehtipuut	26	5	18	13	1,5	0,1	1,1	0,3
Yhteensä	140	38	100	27	7,1	1,9	4,7	1,6

Etelä-Pohjanmaan metsäkeskuksen alueella lähes kaikki (96 %) ojitettut suot ovat joko muuttumia tai turvekankaita (Kuva 4). Etelä-Pohjanmaalla soiden ojitus on ollut erittäin intensiivistä. Ojitettujen soiden osuus on kolmasosa koko metsätalousmaasta. Turvekangastyypittäiset pinta-alat ja puulajisuhteet kertovat metsäkeskusalueen kasvupaikkojen karuudesta. Puolukka- ja varputurvekankaat muodostavat suurimman osan, 65 % turvekangastyypeistä (Kuva 5). Seinäjoen kaupunkiseudulla puolukka- ja varputurvekankaiden osuus oli 49 % kaikista turvekangastyypeistä (Liite 2).



Kuva 4. Etelä-Pohjanmaan metsäkeskusalueen ojitustilanne kuivatusasteittain (Metla 2009a).

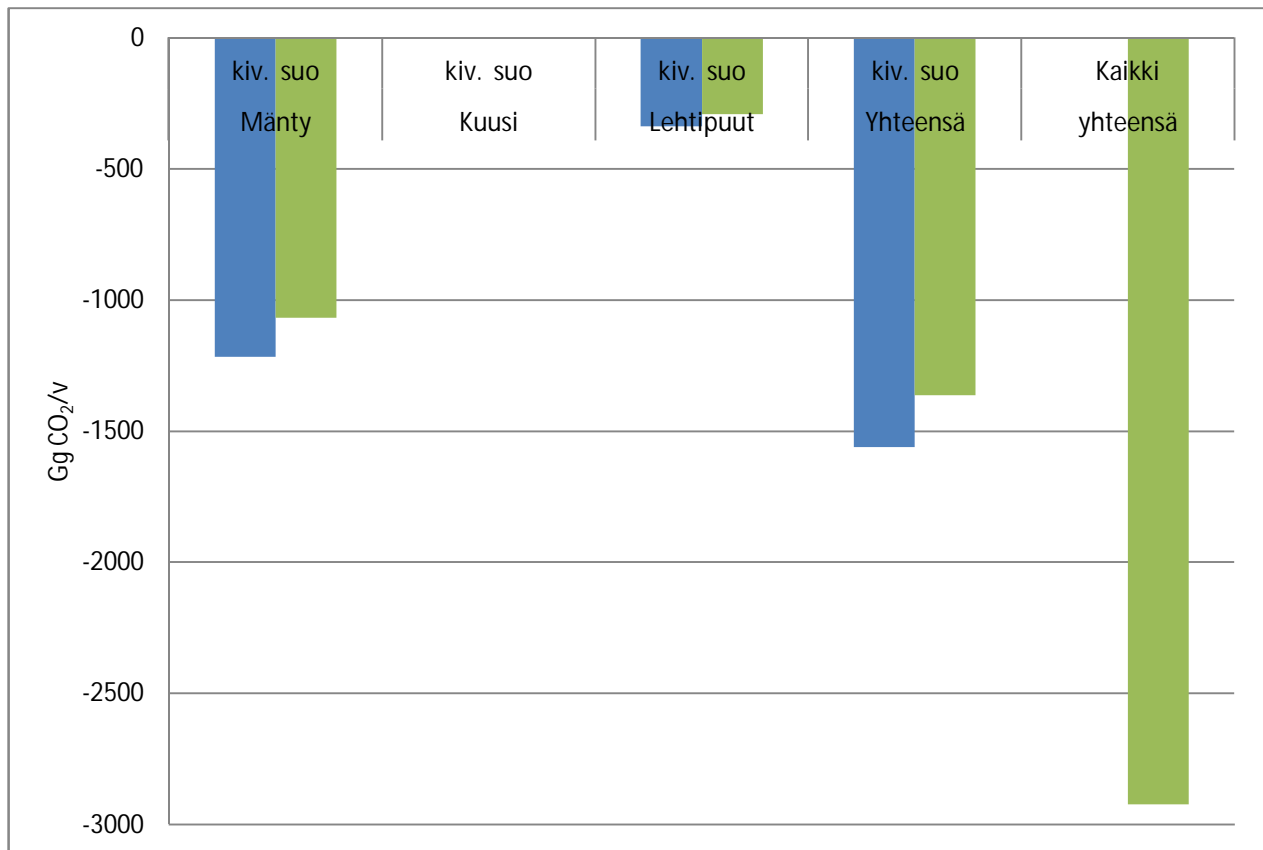


Kuva 5. Etelä-Pohjanmaan metsäkeskusalueen ojitettujen soiden pinta-ala turvekangastyypeittäin järjestyksessä rehevästä (Rhtkg) karuun (Jätkg) (Metla 2009b).

5.2 Metsien kasvihuonekaasutase

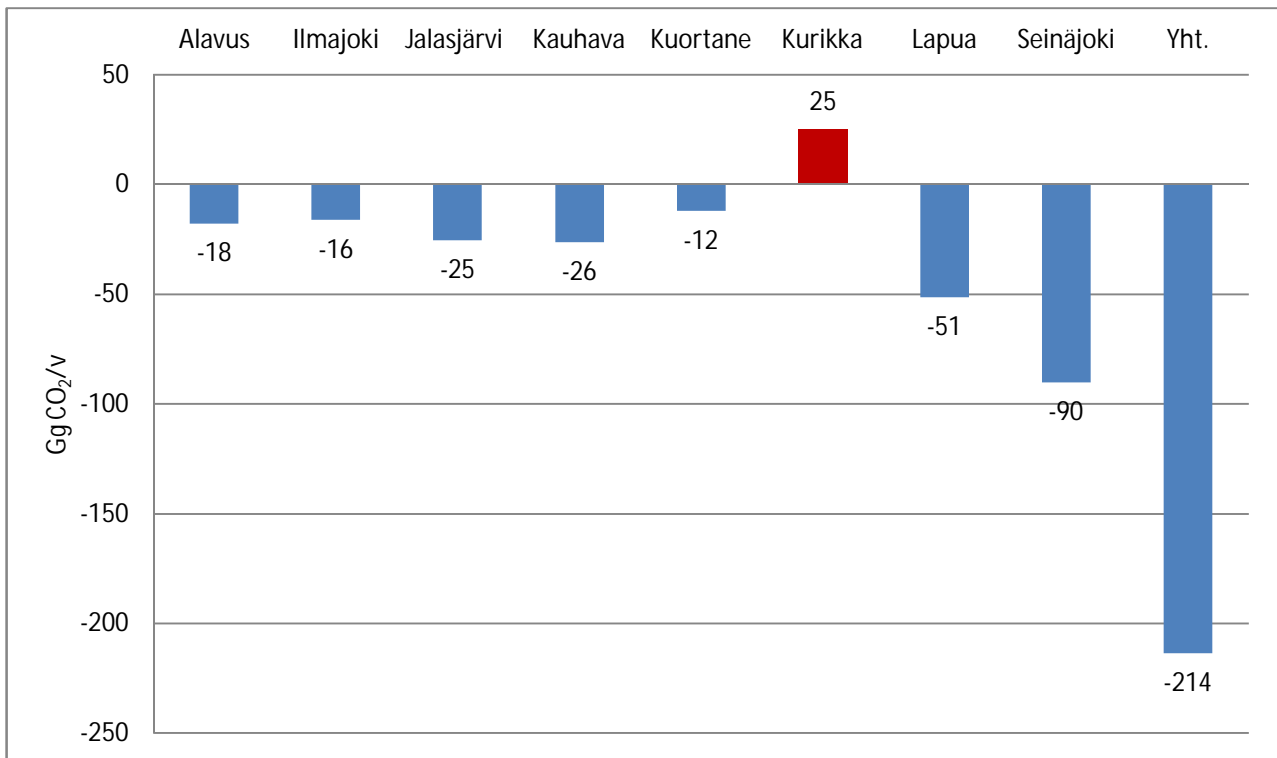
5.2.1 Puusto

Puuston osalta laskettiin puuston kokonaisbiomassaan sisältyvä hiili (Tg CO₂) sekä biomassan muutokseen sisältyvä hiili (Gg CO₂/v). Puustoon sisältyneen hiilen määrä oli 177 Tg CO₂, josta noin 100 Tg oli kivennäismaalla ja loput turvemaalla. Puustoon sitoutui vuosina 2000–2009 hiiltä keskimäärin noin 3000 Gg CO₂/v (Kuva 6). Puustoon vuosittain sitoutuvan hiilen jakautuminen noudatti puulajijakaumaa. Koska mänty on alueella selkeä valtapuulaji, on siihen sitoutunut selvästi eniten hiiltä. Kuusen hiilen muutos oli hyvin lähellä nollaa (-6 Gg CO₂/v), eli poistuma ja kasvu olivat hyvin lähellä toisiaan. Männyn hiilitase oli noin -2300 Gg CO₂/v. Nykyisillä hakkuumäärillä puustoon sisältyvän hiilen määrä kasvaa vuosittain 1,7 %, eli puusto on hiilinielu.



Kuva 6. Puuston kasvihuonekaasutase puulajeittain kivennäis- (kiv.) ja turvemaalla (suo) Etelä-Pohjanmaan metsäkeskusalueella (Gg CO₂/v). Negatiivinen luku tarkoittaa hiilen sidontaa, positiivinen luku päästöä.

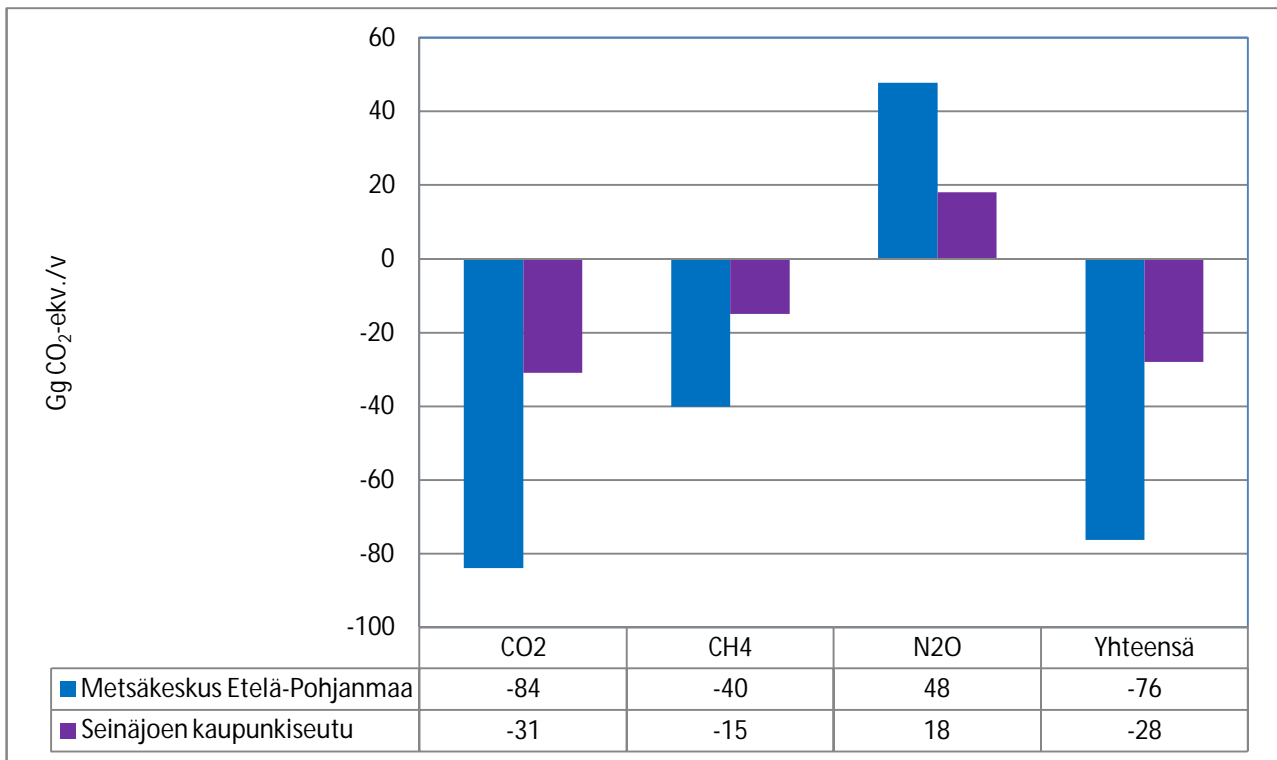
Seinäjoen kaupunkiseudulla puusto sitoi lisää hiiltä noin 200 Gg CO₂/v (Kuva 7). Kuitenkin biomassan poistuma (hakkuut ja luonnonpoistuma) oli suhteessa puustoon suurempi kuin metsäkeskusalueella. Yhdessä kaupunkiseudun kunnista (Kurikka) poistuma ylitti kasvun. Kaupunkiseudun muiden kuntien puuston vuotuinen muutos oli kuitenkin selkeästi negatiivinen, eli hiiltä sitova. Etelä-Pohjanmaan metsäkeskusalueen puuston hiilitaseesta Seinäjoen kaupunkiseudun osuus oli vain 7 %, vaikka puuston tilavuudesta kaupunkiseudun osuus oli 27 % (Taulukko 4).



Kuva 7. Puuston kasvihuonekaasutase Seinäjoen kaupunkiseudulla kunnittain (Gg CO₂/v).

5.2.2 Kivennäismaan maaperä

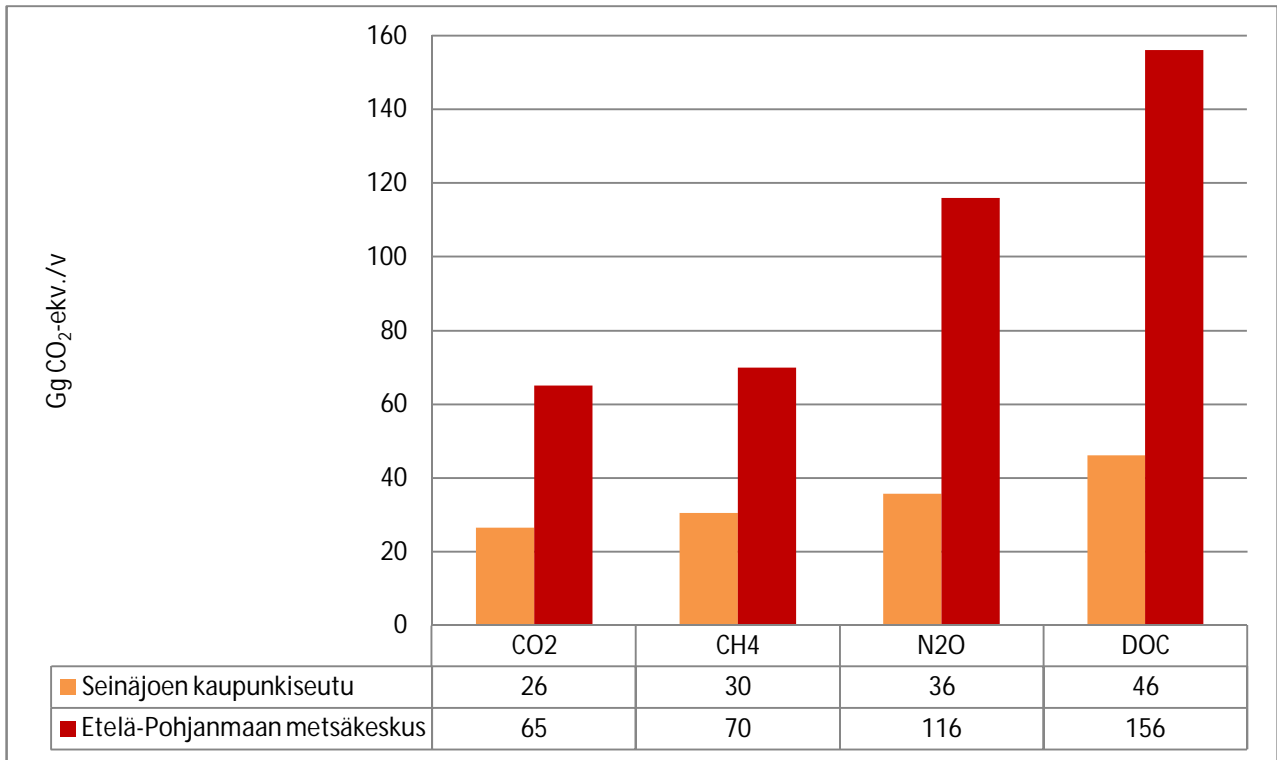
Kivennäismaan maaperä toimi kasvihuonekaasujen nieluna, sillä sinne sitoutui lisää hiiltä 84 Gg CO₂-ekv./v (Kuva 8). Yksittäisten kaasujen osalta kivennäismaa oli CO₂:n ja CH₄:n nielu, mutta N₂O:n lähde. Merkittävin yksittäinen kaasu oli CO₂, jonka nielu oli lähes kaksinkertainen verrattuna N₂O-päästöön. Seinäjoen kaupunkiseudun osuus koko metsäkeskusalueen kivennäismaan maaperän kasvihuonekaasutaseesta oli 37 %.



Kuva 8. Kivennäismaan maaperän kasvihuonekaasutase kasvihuonekaasuittain Etelä-Pohjanmaan metsäkeskusalueella sekä Seinäjoen kaupunkiseudulla (Gg CO₂-ekv./v).

5.2.3 Ojitettujen soiden maaperä

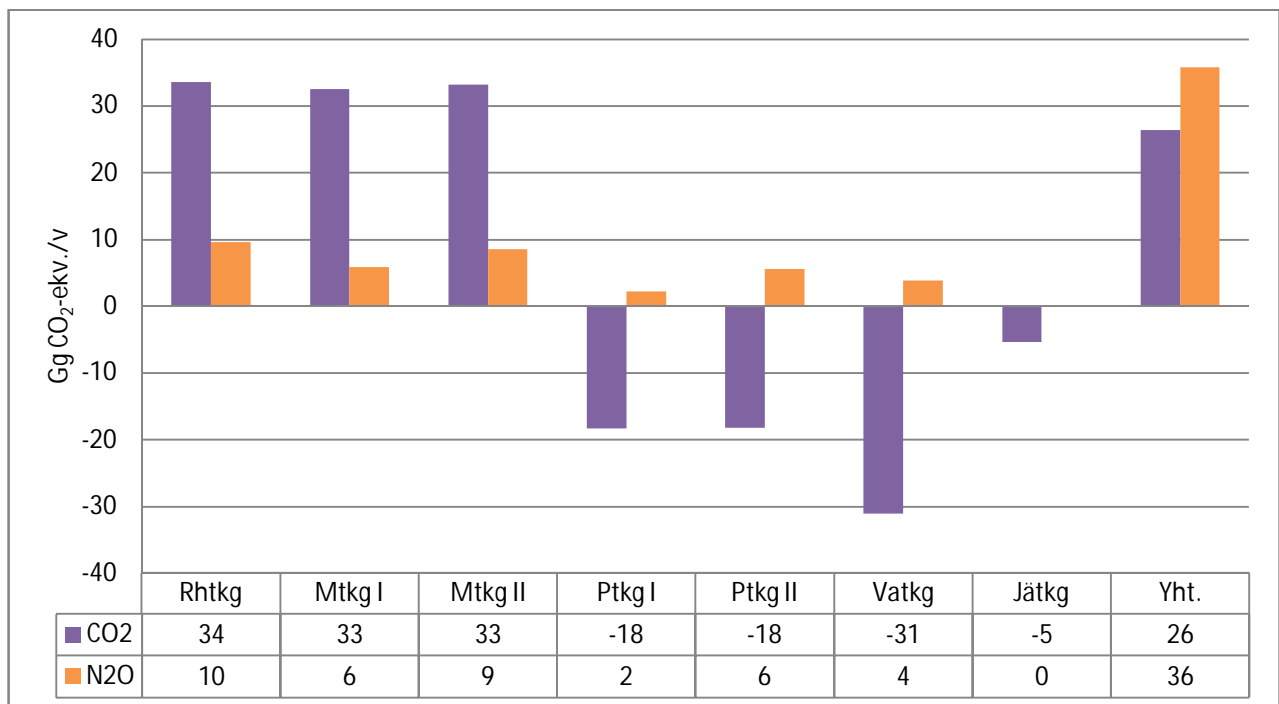
Ojitettujen soiden maaperä oli kasvihuonekaasujen lähde. Ojitettujen soiden päästöt olivat Etelä-Pohjanmaan metsäkeskusalueella 408 Gg CO₂-ekv./v, kun mukana oli hiilen nettohuuhtouma (Kuva 9). N₂O-päästöjä syntyi melko tasaisesti jokaiselta turvekangastyypiltä, mutta CO₂:n kohdalla päästöjä tuli vain ravinteikkaimmilta kasvupaikoilta (Rhtkg-Mtkg) (Taulukko 5, Kuva 10). Karumpien kasvupaikkojen (Ptkg-Jätkg) nieluvaikutus vähensi CO₂:n päästöjä huomattavasti. Päästöjen lisäksi hiiltä huuhtoutui soilta huomattava määrä vesistöihin. Hiilen nettohuuhtouma metsäkeskusalueella oli 156 Gg CO₂/v. Seinäjoen kaupunkiseudun ojitettujen soiden päästöissä metaania oli suhteellisen paljon verraten metsäkeskusalueeseen. Tämä johtui muuttumien suuresta pinta-alasta Seinäjoen kaupunkiseudulla (Liite 1). Myös CO₂-päästöt olivat Seinäjoen kaupunkiseudulla korkeat suhteessa metsäkeskusalueeseen johtuen soiden ravinteisuudesta.



Kuva 9. Kasvihuonekaasupäästöt Etelä-Pohjanmaan metsäkeskusalueen ja Seinäjoen kaupunkiseudun ojitetuilla soilla kasvihuonekaasuittain sekä hiilen nettohuuhtouma ojitetuilta soilta (DOC) (Gg CO₂-ekv./v).

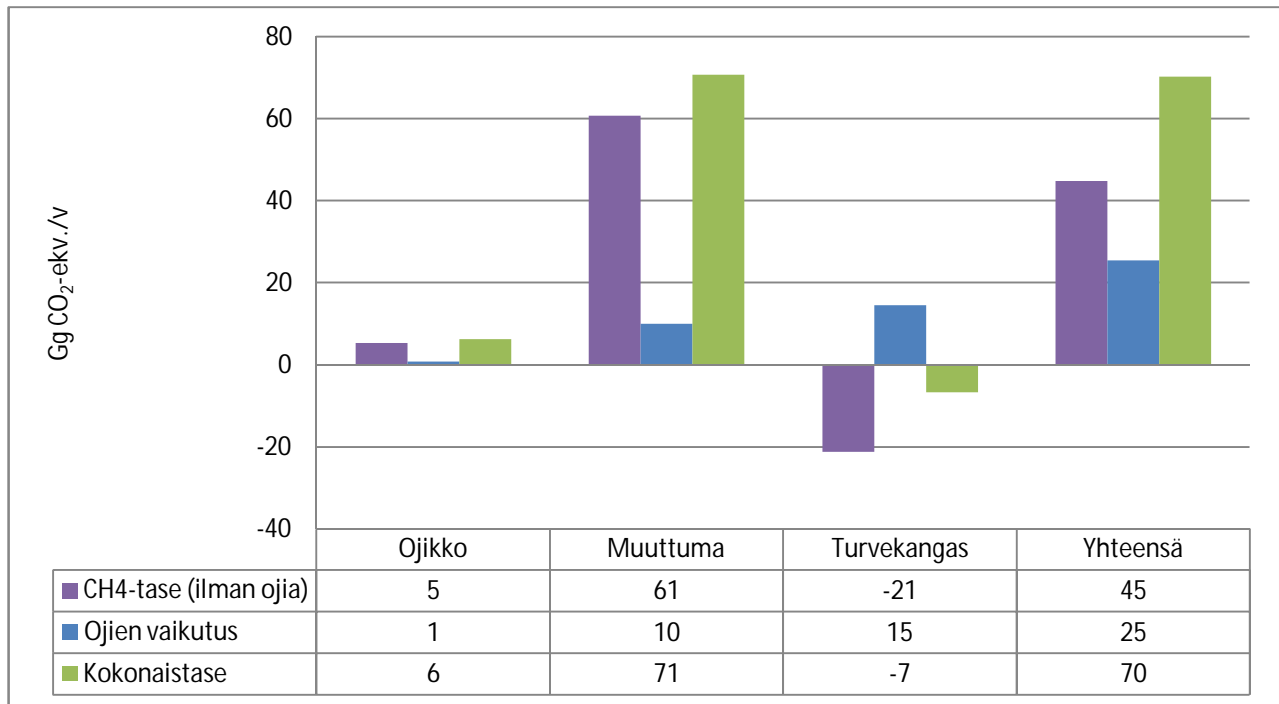
Taulukko 5. CO₂- ja N₂O-päästöt Etelä-Pohjanmaan metsäkeskusalueen ojitetuilla soilla turvekangastyypeittäin (Gg CO₂-ekv./v).

Turvekangastyyppi	CO ₂ -päästö (Gg CO ₂ -ekv./v)	N ₂ O-päästö (Gg CO ₂ -ekv./v)
Rhtkg	87	25
Mtkg I	112	20
Mtkg II	118	31
Ptkg I	-74	9
Ptkg II	-58	18
Vatkg	-107	13
Jätkg	-13	0
Yhteensä	65	116



Kuva 10. CO₂- ja N₂O-taseen jakautuminen ojitetuilla soilla turvekangastyypeittäin Seinäjoen kaupunkiseudulla.

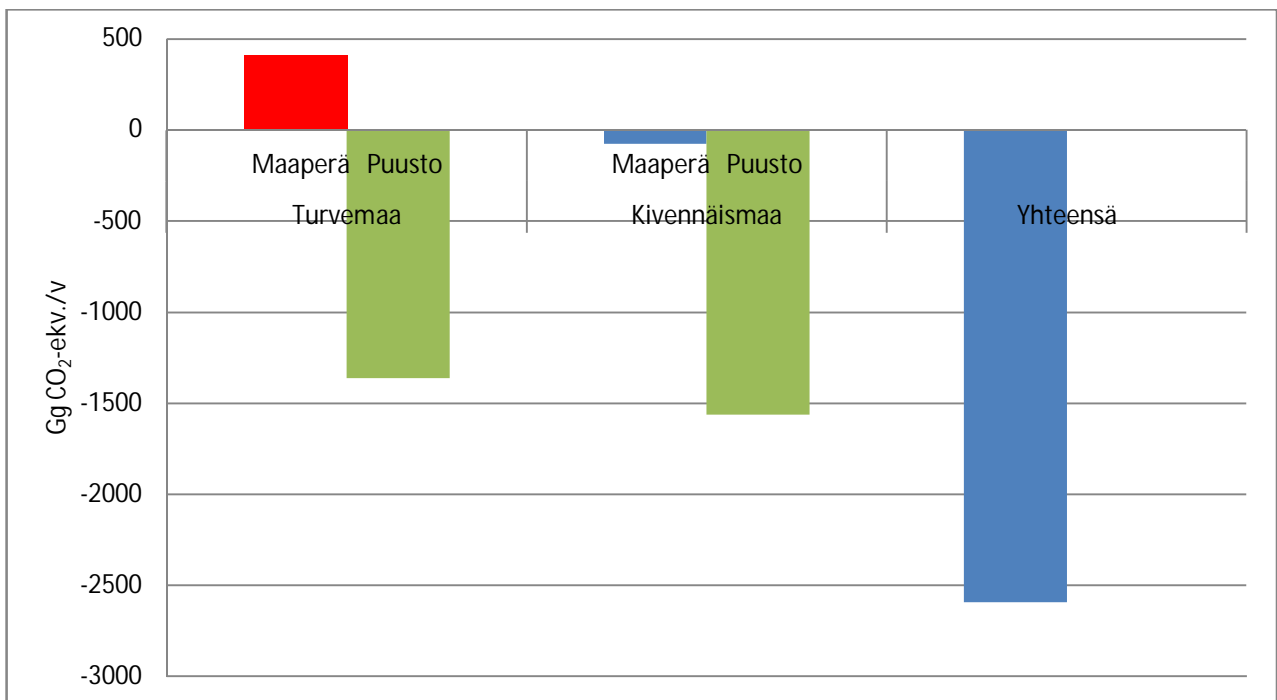
Ojitettujen soiden CH₄-taseseen vaikuttivat merkittävästi ojien CH₄-päästöt. Etelä-Pohjanmaan metsäkeskusalueella ojitettujen soiden CH₄-päästöistä lähes kolmannes oli ojien aiheuttamaa (Kuva 11). Turvekankaat, joita Etelä-Pohjanmaalla on huomattava määrä, olisivat olleet ilman ojien vaikutuksen huomioimista merkittävä CH₄-nielu. Ojien kanssa nieluvaikutus oli vähäinen.



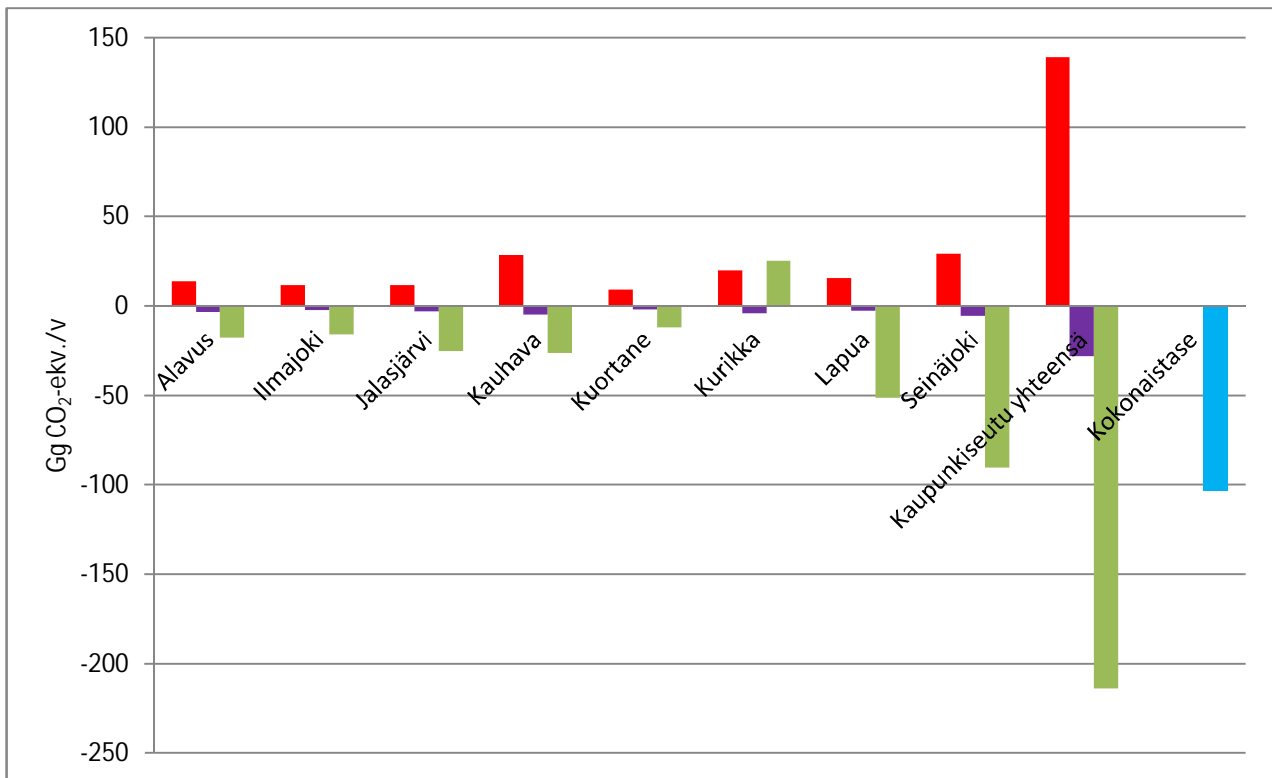
Kuva 11. Ojitettujen soiden CH₄-tase ilman ojien vaikutusta, ojien vaikutus sekä kokonaistase ojitustilanteen mukaan Etelä-Pohjanmaan metsäkeskusalueen ojitetuilla soilla (Gg CO₂-ekv./v).

5.2.4 Kokonaistase

Etelä-Pohjanmaan metsäkeskusalueen kasvihuonekaasutase oli vuosien 2000–2009 aikana keskimäärin noin -2600 Gg CO₂-ekv./v, eli kasvihuonekaasuja sitoutui maahan ja puustoon vuosittain 2,6 Tg CO₂-ekv./v enemmän kuin niitä vapautui ilmakehään (Kuva 12). Merkittävin tekijä sidontaan oli puuston biomassan kasvu. Biomassa ja siihen sisältyvän hiilen massa (puolet biomassasta) kasvaa, kun puuston kasvu ylittää poistuman (hakkuut ja luonnonpoistuma). Maaperän havaittiin olevan turvemaalla kasvihuonekaasujen lähde ja kivennäismaalla pieni nielu. Maaperän taseeseen laskettiin mukaan CO₂:n, N₂O:n ja CH₄:n lähteet ja nielut CO₂-ekvivalentteina. Myös huuhtoutunut hiili oli laskelmassa mukana oletuksella, että siitä tulee CO₂-päästö. Seinäjoen kaupunkiseudulla havaittiin myös kokonaistaseen olevan negatiivinen, eli metsät olivat kasvihuonekaasujen nielu. Erot päästöjen ja nielujen välillä olivat kuitenkin paljon pienemmät kuin metsäkeskuksen alueella (Kuva 13). Tämä johtui kasvun ja poistuman läheisyydestä Seinäjoen kaupunkiseudulla.



Kuva 12. Etelä-Pohjanmaan metsäkeskusalueen kasvihuonekaasutase turve- ja kivennäismaan maaperässä ja puustossa (Gg CO₂-ekv./v).



Kuva 13. Ojitettujen soiden maaperän (punainen), kivennäismaan maaperän (violetti) ja puuston (vihreä) kasvihuonekaasutase sekä kokonaiskasvihuonekaasutase (sininen) Seinäjoen kaupunkiseudulla kunnittain (Gg CO₂-ekv./v).

5.3 Metsänhoitotöiden vaikutus

5.3.1 Metsänhoitotöiden kokonaisvaikutus

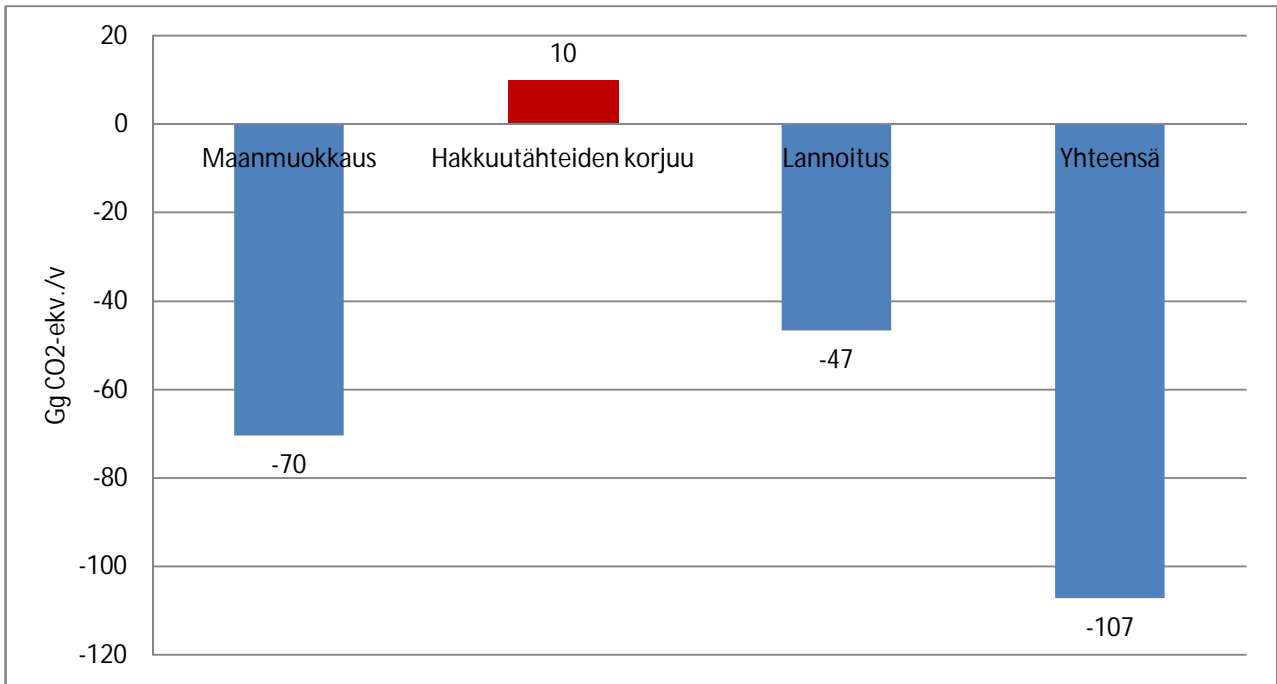
Metsänhoitotöiden vaikutusta kasvihuonekaasutaseeseen tarkasteltiin ainoastaan Etelä-Pohjanmaan metsäkeskusalueella, koska pienemmiltä alueilta ei ollut mahdollista saada luotettavia tietoja tehtyjen metsänhoitotöiden määristä. Metsänhoitotöiden määrät vaihtelivat vuosien 2006–2010 välillä melkoisesti. Siksi laskelmissa käytettiin näiden vuosien keskiarvoa. Maanmuokkausmenetelmistä käytetyin oli mätästys (Taulukko 6). Entistä valtamenetelmää äestystä käytettiin enää hieman yli kolmanneksella muokatusta pinta-alasta. Laikutusta tehtiin alueella merkittävästi vähemmän kuin mätästystä ja äestystä. Hakkuutähteiden korjuun alojen osuudet avohakkuualoista ovat kasvaneet bioenergian suosion kasvaessa, mutta vaihtelivat vuosina 2006–2010 24 %:sta (2007) 9 %:iin (2009) (Luonnonhoidon laadunarviointi 2010). Lannoitusta tehtiin

Etelä-Pohjanmaan metsäkeskuksen alueella vuosina 2006–2010 vaihtelevia määriä 900 hehtaarista (2008) 5000 hehtaariin (2007) (Metla 2011).

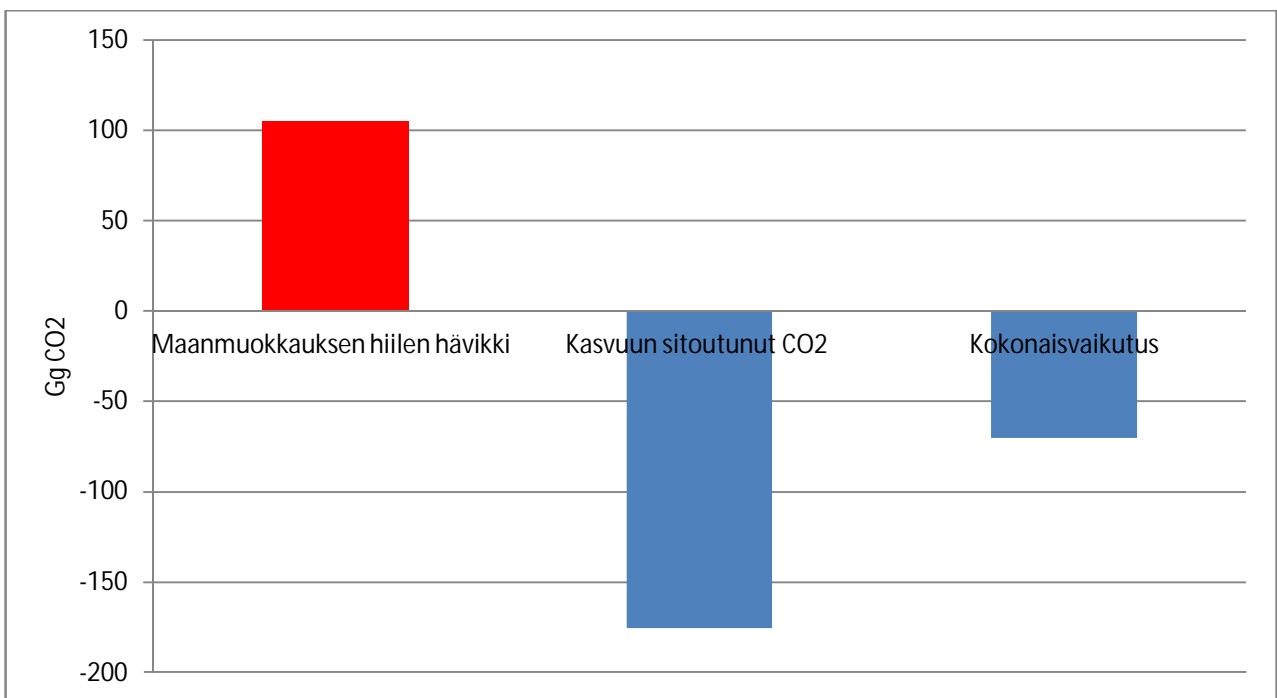
Metsänhoitotöistä maanmuokkauksen ja lannoituksen vaikutus oli kasvihuonekaasupäästöjä vähentävä, kun taas hakkuutähteiden korjuu synnytti pienen päästölähteen (Kuva 14). Maanmuokkauksen aikaansaama kasvihuonekaasunielu oli selvästi merkittävämpi kuin lannoituksella, johtuen lähinnä maanmuokkauksen moninkertaisesta suorituspinta-alasta lannoitukseen nähden.

Taulukko 6. Etelä-Pohjanmaan metsäkeskusalueella suoritettujen metsänhoitotöiden pinta-alat (ha) vuosina 2006–2010 (Metla 2011). Hakkuutähteiden korjuun pinta-ala on arvio tehtyjen avohakkuiden ja hakkuutähteiden korjuun suhteesta (Etelä-Pohjanmaan metsäkeskus 2008, Luonnonhoidon laadunarviointi 2010).

Metsänhoitotyö	Pinta-ala (ha)
Maanmuokkaus yhteensä	9248
Äestys	3570
Laikutus	777
Mätästys	4901
Hakkuutähteiden korjuu	1036
Lannoitus	2575



Kuva 14. Metsänhoitotöiden vaikutus kasvihuonekaasutaseeseen Etelä-Pohjanmaan metsäkeskusalueella (Gg CO₂-ekv./v).



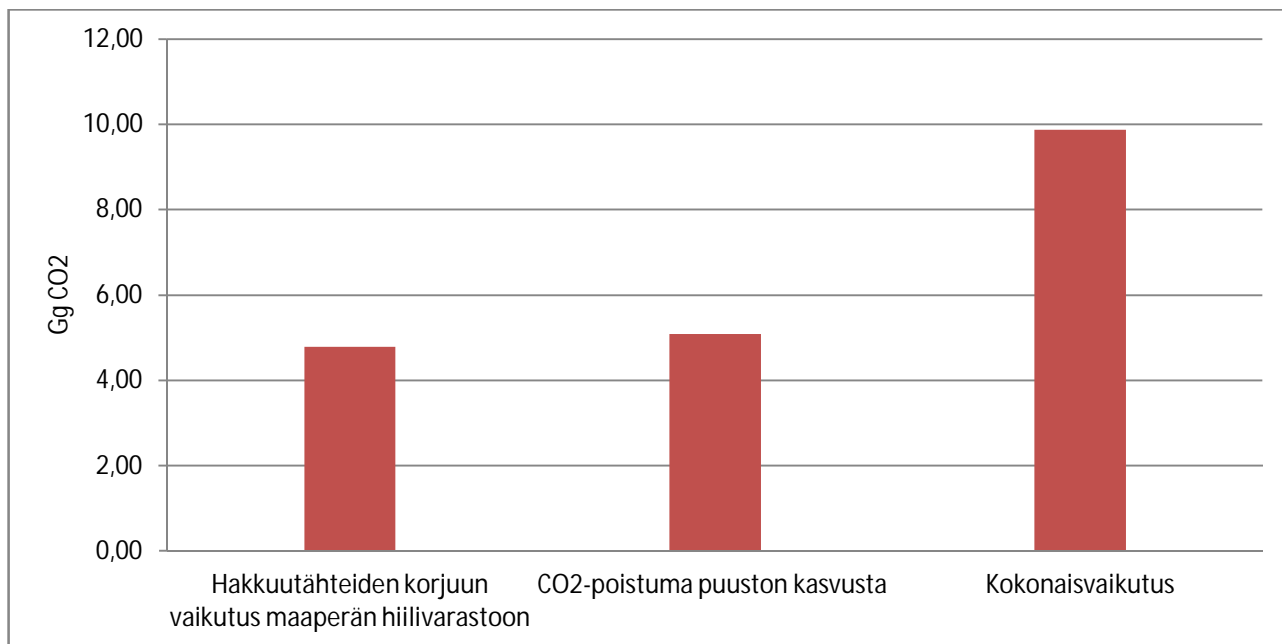
Kuva 15. Maanmuokkauksen vaikutus kasvihuonekaasutaseeseen Etelä-Pohjanmaan metsäkeskusalueella (Gg CO₂/v).

5.3.2 Maanmuokkaus

Maanmuokkauksen kokonaisvaikutus kasvihuonekaasutaseeseen muodostui maanmuokkauksen aiheuttamasta hiilen häviämisestä maaperässä, sekä puuston lisääntyneeseen kasvuun sitoutuneesta hiilestä (Kuva 15). Puuston lisääntyneeseen kasvuun sitoutuneen hiilen massa oli noin 1,5-kertainen verrattuna maaperästä hävinneeseen hiileen.

5.3.3 Hakkuutähteiden korjuu

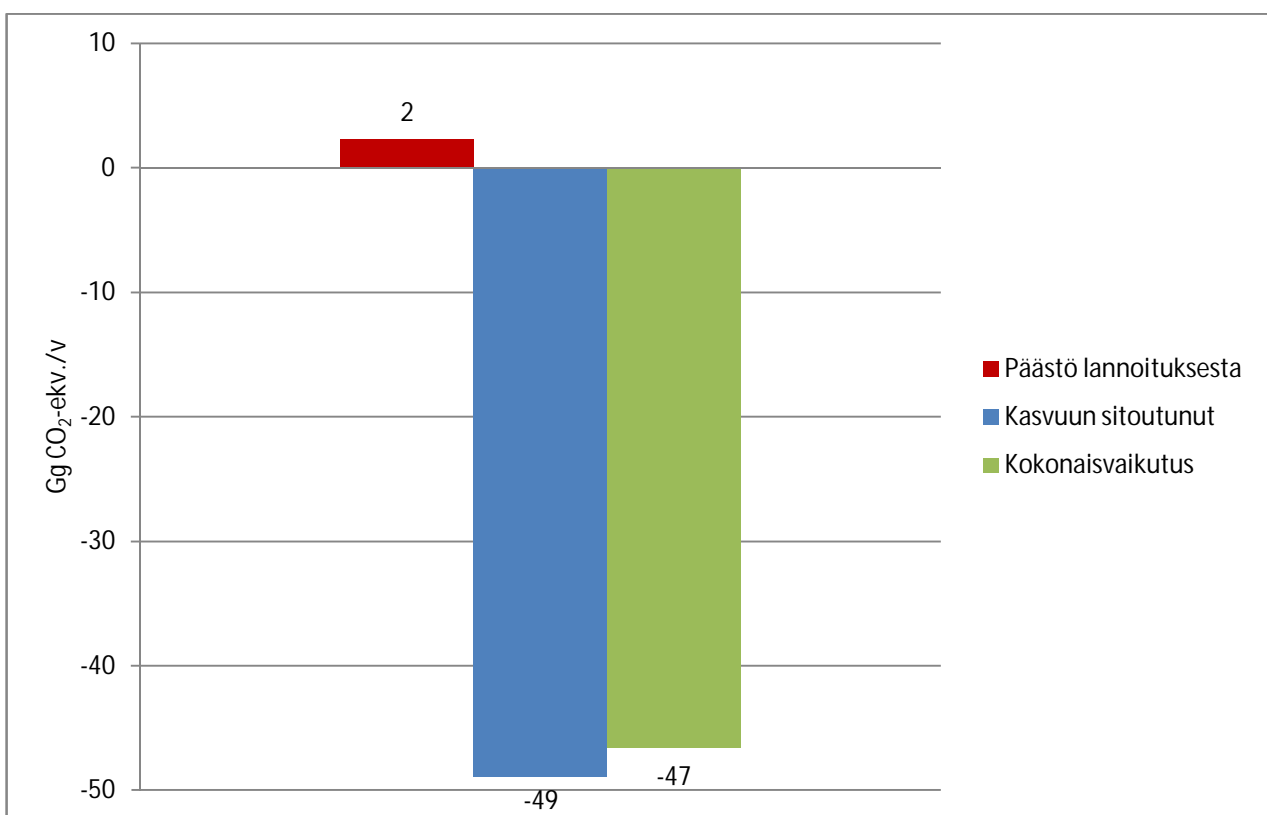
Hakkuutähteiden korjuu vaikutti kasvihuonekaasutaseeseen pienentämällä maaperän hiilivarastoa, sekä vähentämällä puuston kasvuun sitoutunutta hiiltä (Kuva 16). Maaperän varastosta hävinnyt hiili oli lähes samansuuruinen päästönlähde kuin puuston vähentyneen kasvun aiheuttama hiilen häviäminen. Muihin metsänhoitotöihin verrattuna hakkuutähteiden korjuun vaikutus oli vähäinen. Metsistä poistui hiiltä hakkuutähteiden korjuun seurauksena 34 Gg CO₂. Maaperän hiilivarastosta hiiltä oli hävinnyt 20 vuotta hakkuutähteiden korjuun jälkeen 4,8 Gg CO₂ (Kuva 16).



Kuva 16. Hakkuutähteiden korjuun vaikutus kasvihuonekaasutaseeseen Etelä-Pohjanmaan metsäkeskusalueella (Gg CO₂/v).

5.3.4 Lannoitus

Puuston parantuneeseen kasvuun sitoutuneen hiilen nielu oli lähes 25-kertainen verrattuna lannoituksesta syntyneeseen päästöön (Gg CO₂-ekv./v) (Kuva 17). Lannoitettu pinta-ala oli alle kolmasosa maanmuokkauksen pinta-alasta (Taulukko 6), mutta lannoituksen aikaansaama kasviuonekaasunielu oli yli puolet maanmuokkauksen nielusta. Lannoituksella oli suhteellisesti mitattuna merkittävin vaikutus kasviuonekaasutaseeseen.



Kuva 17. Lannoituksen vaikutus kasviuonekaasutaseeseen Etelä-Pohjanmaan metsäkeskusalueella (Gg CO₂-ekv./v).

6 Tulosten tarkastelu

6.1 Etelä-Pohjanmaan metsien kasvihuonekaasutase

Jokaisella metsäkeskusalueella Suomessa on erilainen puusto ja maaperä. Etelä-Pohjanmaan metsäkeskus erottuu muista Etelä-Suomen metsäkeskusalueista männyn suurella osuudella puuston kokonaistilavuudesta sekä suurella ojitettujen soiden määrällä. Kasvihuonekaasutaseeseen ojitettujen soiden määrä vaikutti merkittävästi, koska niiden maaperä oli suuri kasvihuonekaasulähde. Toisaalta ojituksella on luotu turvemaille merkittävä puuston hiilivarasto. Etelä-Pohjanmaan metsäkeskusalueella turvemaan puusto sitoi 5-kertaisesti hiiltä maaperän päästöön nähden (Kuva 12). Ojitetut suot olivat kokonaisvaikutukseltaan (puusto ja maaperä, $Gg\ CO_2\text{-ekv./v}$) selkeä kasvihuonekaasukaasujen nielu. Soiden ojituksilla on kuitenkin monia muita ympäristövaikutuksia, joten on yksipuolista tarkastella ojitettuja soita pelkästään kasvihuonekaasutaseen kannalta. Hiilen nettohuuhtouman ottaminen mukaan kasvihuonekaasutaseeseen lisäsi merkittävästi ojitettujen soiden maaperän päästöjä, koska huuhtouma oli yli puolet maaperän kasvihuonekaasujen kokonaispäästöstä. Huuhtouman mukaan ottamisella ei kuitenkaan kokonaistaseeseen ole suurta merkitystä, koska puuston nielu ylitti päästöt silti moninkertaisesti. Tässä työssä päädyttiin samankaltaisiin tuloksiin ojitettujen soiden kasvihuonekaasutaseesta kuin Pohjois-Pohjanmaalla (Minkkinen & Ojanen 2011). CO_2 -päästöjen osuus ojitettujen soiden kokonaistaseesta olivat kuitenkin pienemmät kuin Pohjois-Pohjanmaalla. Ero johtui todennäköisesti siitä, että suhteessa ojitettujen soiden kokonaispinta-alaan Etelä-Pohjanmaalla oli enemmän karuja ojitusalueita kuin Pohjois-Pohjanmaalla.

Puuston hiilen vuotuisella muutoksella (kasvu-poistuma, $Gg\ CO_2/v$) havaittiin olevan eroja Etelä-Pohjanmaan metsäkeskusalueen sekä Seinäjoen kaupunkiseudun välillä (Taulukko 4, Kuva 6 & 7). Kun Etelä-Pohjanmaan metsäkeskusalueella puuston hiilitase oli selkeästi negatiivinen, eli hiiltä sitova, oli Seinäjoen kaupunkiseudulla yhden kunnan (Kurikka) tase positiivinen. Kurikassa puuston poistuma ylitti puuston kasvun. Kuitenkin koko kaupunkiseudun puuston hiilen muutos oli selkeästi negatiivinen. Puuston hyödyntäminen oli Seinäjoen kaupunkiseudulla intensiivisempää kuin metsäkeskusalueella keskimäärin (Etelä-Pohjanmaan metsäkeskus 2007, Metla 2010). Pieniä alueita, kuten yksittäisiä kuntia tarkastellessa suuret hakkuut voivat tilapäisesti aiheuttaa kasvua suuremman poistuman. Hakkuut jakautuvat sekä tilan että ajan suhteen epätasaisesti, lähinnä riippuen puun hinnasta sekä metsänhoidollisista järjestelyistä (esim. ojitetun suon kaikkien palstojen samanaikainen hakkuu ja kunnostusojitus). Puuston keskikasvu oli koko metsäkeskuksen

alueella suurempi (4,7 m³/ha/v) kuin Seinäjoen kaupunkiseudulla (3,9 m³/ha/v). Erot puuston kasvussa olivat myös vaikuttaneet metsäkeskusalueen puuston parempaan kasvihuonekaasutaseeseen.

Sekä puuston että ojitettujen soiden päästöistä Etelä-Pohjanmaan metsäkeskuksen alueella ja Seinäjoen kaupunkiseudulla oli nähtävissä vahva ihmisen vaikutus. Soiden ojitukset tuottivat päästöjä maaperästä, mutta myös erittäin suuren puuston lisäyksen joka näkyi merkittävänä hiilinieluna. Lisäksi suot olivat metsäkeskuksen alueella jo pitkälle kehittyneitä. Yli puolet ojitetuista soista olivat turvekankaita, mikä vähensi maaperän metaanipäästöjä. Seinäjoen kaupunkiseudulla ojitetut suot eivät olleet yhtä pitkälle kehittyneitä.

Tässä työssä metsien kasvihuonekaasutaselaskelmiin sisällytettiin mahdollisimman tarkasti kasvihuonekaasujen nielut ja lähteet. Ojitetuilla soilla huuhtoutunut hiili (DOC) aiheutti maaperästä merkittävän päästön CO₂:n, N₂O:n ja CH₄:n lisäksi. Kivennäismaan maaperässä metaanin hajoamisesta syntynyt CO₂-päästö pienensi maaperän nielua. Kokonaistaseeseen niillä ei ollut suurta merkitystä puuston nielun vuoksi. Mahdollisimman monen tekijän huomioonottaminen kuitenkin pienensi nielua. Puuston merkitys kasvihuonekaasutaseeseen korostui, kun kivennäismaan maaperän nielut pienenevät ja ojitettujen soiden maaperän lähteet kasvoivat. Kansallisessa kasvihuonekaasuraportoinnissa otettiin metsien kasvihuonekaasutaseeseen huomioon vain CO₂-päästöt (Statistics Finland 2010). CH₄:lla ja N₂O:lla on kuitenkin vaikutusta kasvihuonekaasutaseeseen, koska ne ovat voimakkaita kasvihuonekaasuja. Metaanipäästöjen laskennassa ojitetuilta soilta otettiin huomioon myös ojien vaikutus. Ojilla oli metaanipäästöjä lisäävä vaikutus.

6.2 Metsänhoitotöiden vaikutus kasvihuonekaasutaseeseen

Metsänhoitotöiden vaikutuksia kasvihuonekaasutaseeseen oli huomattavan vaikea arvioida luotettavasti, sillä esimerkiksi maaperän aineenkierron mekanismeja ei täysin tunneta eikä niitä pystytä kovin luotettavasti ennustamaan. Metsänhoitotöiden vaikutus kasvihuonekaasutaseeseen jäi melko pieneksi koko metsätalousmaalla, koska vain pienessä osassa tehtiin metsänhoitotöitä. Siellä missä metsänhoitotöitä tehtiin, puuston lisääntyneeseen kasvuun sitoutunut hiili kompensoi maanmuokkauksen ja lannoituksen kasvihuonekaasupäästöt moninkertaisesti. Arvioiden päästöistä

pitäisikin olla huomattavan virheellisiä, että maanmuokkauksesta ja lannoituksesta aiheutuisi kasvihuonekaasupäästöjä. Maanmuokkaus aiheutti maaperän hiilivaraston vähenemistä, joka kompensoitui puuston kasvulla. Lannoituksesta syntynyt päästö korvautui puuston parantuneen kasvun aiheuttamalla nielulla. Hakkuutähteen korjuu sitä vastoin aiheutti kasvihuonekaasupäästöjä sekä kasvutappion että maaperän hiilen häviämisen kautta.

Maanmuokkauksen päästöjen laskemisessa käytettiin Piiraisen ym. (2009) tutkimustietoa, jonka mukaan äestys vähentää maaperän hiilivarastoa 8 %. Koska mätästys oli selvästi käytetyin maanmuokkausmenetelmä, herää kysymys, paljonko äestysten vaikutukset eroavat mätästyksen vaikutuksista. Mätästyksessä yhtä kohtaa käsitellään voimakkaammin ja olosuhteet muuttuvat enemmän kuin äestyksessä. Äestyksessä taas paljastetaan paljon pintaa ja altistetaan suuri osa uudistusalasta muutokselle. Maaperästä häviävän hiilen määrän pitäisi kuitenkin olla lähes kaksinkertainen, jotta maanmuokkauksen vaikutus muuttuisi nielusta lähteeksi. Laikutuksen päästöt ovat todennäköisesti äestystä pienemmät, koska maan paljastuminen on vähäisempää. Laikutuksella ei vähäisen suoritusmäärän vuoksi ole kuitenkaan merkittävää vaikutusta kasvihuonekaasutaseeseen Etelä-Pohjanmaan metsäkeskuksen alueella.

Hakkuutähteen korjuusta syntyi pieni kasvihuonekaasupäästö. Maaperästä hävisi hiiltä hakkuutähteen korjuun jälkeen, koska karikkeen tuotos maahan väheni. Lisäksi hiiltä hävisi puustosta kasvutappioiden seurauksena. Hakkuutähteen korjuusta syntyi siis pelkkiä päästöjä. Hakkuutähteen korjuuta pidetään kuitenkin hyvänä vaihtoehtona esimerkiksi kivihiilen poltolle, koska varsinkin hakkuutähte hajoaisi nopeasti metsässäkin. Hakkuutähteen käyttö siis aiheuttaa vähemmän päästöjä kuin kivihiilen tai hitaasti hajoavien kantojen käyttö. Korvaamalla kivihiihtä hakkuutähteellä voitaisiin vähentää poltosta tulevia laskennallisia kasvihuonekaasupäästöjä noin 50–60 %. Kantoja käyttämällä vähennys olisi vain 20 % (Liski ym. 2011).

Lannoituksesta syntyi typpioksiduulipäästöjä, jotka ovat suoraan verrannollisia käytetyn typen määrään (IPCC 2003). Lannoituksen aikaansaama kasvun lisäys sitoi hiilidioksidia yli 20-kertaisen määrän verrattuna typpioksiduulipäästöön (Gg CO₂-ekv.). Puuston parantunut kasvu hyödyttää parantuneen tuotoksen lisäksi kasvihuonekaasutasetta.

Metsänhoitotöiden kasvihuonevaikutusten arvioinnissa oli vielä suuria epävarmuustekijöitä, koska muutoksia on vaikea ja työläs tutkia luotettavasti. Tärkeintä tuloksissa oli kuitenkin havaittu suhde päästön ja lisääntyneen kasvun aiheuttaman nielun välillä. Metsänhoitotöistä aiheutuvien

kasvihuonekaasupäästöjen pitäisi olla yli kaksinkertaisia nykyiseen laskelmaan verrattuna, jotta päästöt olisivat suuremmat kuin lisääntyneeseen kasvuun sitoutuneen hiilen massa.

6.3 Laskennan epävarmuustekijät

Kasvihuonekaasutaselaskennassa jouduttiin turvautumaan yleisiin päästökertoimiin, jotka alueellisessa tarkastelussa eivät vastaa todellista tilannetta. Kivennäismaan maaperän hiilitaseen selvittämiseen maahiilimalli Yasso (Yasso07 2011) antaa mahdollisuuden käyttää alueellisia arvoja esimerkiksi lämpötilasta. Maaperän osalta ainoat alueelliset erot verrattuna muuhun Etelä-Suomeen, jonka simulaatiotuloksia tässä työssä käytettiin (Lehtonen ym. 2011), tulivat kankaiden ja soiden pinta-alojen sekä kasvupaikkojen eroista.

Tässä työssä huomattiin kahden eri lähteen käytön aiheuttavan mahdollisesti virhettä tuloksiin. Etelä-Pohjanmaan metsäkeskuksen (2007) aluesuunnitelmätiedot olivat riippuvaisia arvioijasta, ja siksi luotettavimpana lähteenä pidettiin VMI-tietoja. Niitä käytettiin lukuun ottamatta kunnittaisia puustotietoja sekä kunnittaisten ojitustilanteiden suhteita. Puuston kasvihuonekaasutaseita verrattaessa Seinäjoen kaupunkiseudun tuloksissa saattoi olla arviointitavoista johtuvaa virhettä enemmän kuin Etelä-Pohjanmaan metsäkeskuksen alueella.

Metsänhoitotöiden vaikutuksissa oli todennäköisesti suuri epävarmuus, koska niiden vaikutuksia kasvihuonekaasutaseeseen on tutkittu vain hyvin vähän. Maanmuokkauksen osalta tietoa maaperän hiilivaraston vähenemisestä oli saatavilla vain äestyksestä. Mätästyksen vaikutus arvioitiin yhteneväksi äestyksen kanssa, mikä voi aiheuttaa aliarvion maaperän hiilivaraston vähenemiselle. Epävarmuus hiilivaraston suuruudesta aiheuttaa epävarmuutta maanmuokkauksen ja hakkuutähteiden korjuun maaperävaikutuksien arvioinnille. Metsänhoitotöiden kokonaiskasvihuonekaasutasetta, jossa otetaan huomioon myös parantuneeseen kasvuun sitoutunut hiili, ei ole metsien osalta ennen käsitelty.

Kokonaiskasvihuonekaasutaseen määrittäminen maanmuokkauksen, lannoituksen ja hakkuutähteiden korjuun osalta vaatisi myös muiden vaikutusten huomioimista, kuten lannoitteen valmistuksesta syntyvät päästöt. Toisaalta myös hakkuiden aiheuttama päästö vähenisi, jos otettaisiin huomioon puun käyttökohde. Kaikesta puun käytöstä (esim. rakentaminen) hiiltä ei

vapaudu ilmakehään välittömästi hakkuun jälkeen. Tämän työn laskelmilla pystyttiin selvittämään hakkuiden ja metsänhoitotöiden vaikutukset metsän kasvihuonekaasutaseeseen, mutta ei kokonaisvaikutusta alueen kasvihuonekaasutaseeseen.

7 Johtopäätökset

Tässä työssä pyrittiin kansallisesta kasvihuonekaasuraportoinnista ja monista alueellisista raporteista poiketen selvittämään kaikki kasvihuonekaasujen taseet talousmetsistä, jotta saataisiin mahdollisimman totuudenmukainen kuva kasvihuonekaasutaseesta sekä siihen vaikuttavista tekijöistä. Tarkoituksena oli myös selvittää, kuinka luotettaviin tuloksiin päästään selvittäessä alueellisia taseita (metsäkeskus, kaupunkiseutu).

Kasvupaikkojen ravinteisuus ojitetuilla soilla vaikutti kasvihuonekaasutaseeseen. Myös hakkuilla oli merkittävä vaikutus taseeseen. Suurten hakkuumäärien vuoksi Seinäjoen kaupunkiseudun kasvihuonekaasutase oli suhteessa Etelä-Pohjanmaan metsäkeskusalueeseen vähemmän negatiivinen, eli puustoon sitoutui vähemmän hiiltä. Etelä-Pohjanmaan ojitettujen soiden maaperästä aiheutui merkittäviä päästöjä, mutta samalla puuston hiilivarasto on kasvanut moninkertaiseksi verrattuna päästöihin.

Metsänhoitotöillä huomattiin olevan melko vähäinen vaikutus kasvihuonekaasutaseeseen. Kun tarkastellaan vain metsässä tapahtuvia ilmiöitä, metsänhoitotöiden vaikutus kasvihuonekaasutaseeseen hakkuutähteen korjuuta lukuun ottamatta oli päästöjä vähentävä. Metsänhoitotöiden kasvihuonekaasutaseen arviointiin liittyy suuria epävarmuustekijöitä, koska metsänhoitotöiden vaikutuksesta metsämaahan ei ole tarpeeksi tietoa.

Kirjallisuus

- Bionova Engineering. 2009. Pohjois-Pohjanmaan kasvihuonekaasutase. Pohjois-Pohjanmaan liitto. 70 s. Saatavissa: http://www.bionova.fi/files/ppliitto_kasvihuonekaasutase.pdf
- Campbell, N.A., Reece, J.B. & Mitchell, L.G. 1999. Biology. 5 ed. Menlo Park: Benjamin Cummins. 1175 s.
- Etelä-Pohjanmaan metsäkeskus. 2007. ASY Etelä-Pohjanmaa 2004–2007. Aluesuunnitelmien yhdistelmätiedot.
- Etelä-Pohjanmaan metsäkeskus. 2008. Hakkuut ja puuvarojen käyttö 2008. Etelä- ja Keski-Pohjanmaan alueellinen metsäohjelma 2006–2010. [www-dokumentti]
http://www.metsakeskus.fi/NR/rdonlyres/96974DF5-8D4C-43E1-962E-80B98B0FC88B/10504/EP_hakkuut_ja_puuvarojen_kaytto.pdf (Luettu 11.11.2011).
- Etelä-Pohjanmaan metsäkeskus. 2010. [www-sivusto]
<http://www.metsakeskus.fi/web/fin/metsakeskukset/Etela-Pohjanmaa> (Luettu 27.10.2011).
- Goldin, A. & Lavkulich, L.M. 1990. Effects of historical land clearing on organic matter and nitrogen levels in soils of the Fraser lowland of British Columbia. Canadian Journal of Soil Science 70: 583–592.
- Hakala, H. & Välimäki, J. 2003. Ympäristön tila ja suojele Suomessa. Suomen ympäristökeskus. Gaudeamus. 446 s.
- Hanski, I., Lindström, J., Niemelä, J., Pietiläinen, H. & Ranta, E. 1998. Ekologia. WSOY. 580 s.
- Havas, P. & Kubin, E. 1983. Structure, growth and organic matter content in the vegetation cover of an old spruce forest in northern Finland. Annales Botanici Fennici 20: 115–149.
- Helmisaari, H-S., Hanssen, K., Jacobson, S., Kukkola, M., Luiro, J., Saarsalmi, A., Tamminen, P. & Tveite, B. 2011. Logging residue removal after thinning in Nordic boreal forests: Long-term impact on tree growth. Forest Ecology and Management 261: 1919–1927.

Huotari, J., Ojala, A., Peltomaa, E., Nordbo, A., Launiainen, S., Pumpanen, J., Rasilo, T., Hari, P. & Vesala, T. 2011. Long-term direct CO₂ flux measurements over a boreal lake: Five years of eddy covariance data. *Geophysical Research Letters* 38: 1–5.

Ilvesniemi, H. 2010. Metsien hiilinielut ja -lähteet kansainvälisissä ilmastopimoksissa. [www-dokumentti] http://www.metsavastaa.net/im_kansainvaliset-velvoitteet. (Luettu 08.09.2011).

Indufor & Simosol Oy. 2011. Lahden kaupungin metsien hiilitaseen selvittäminen. Paikallisilla teoilla ilmastonmuutoksen hillintään. 34 s. Saatavissa:

http://www.immuhanke.fi/images/stories/Tutkimukset/lahtiraportti_2011-02-8.pdf

IPCC 2003. Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. 632 s.

IPCC 2007. Climate change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 996 s.

Jandl, R., Lindner, M., Vesterdal, L., Bauwens, B., Baritz, R., Hagedorn, F., Johnson, D.W., Minkinen, K. & Byrne, K. 2007. How strongly can forest management influence soil carbon sequestration? *Geoderma* 137: 253–268.

Johnson, D.W. 1992. Effects of forest management on soil carbon storage. *Water, Air, and Soil Pollution* 64: 83–120.

Jonsson, A., Algesten, G., Bergström, A.K., Bishop, K., Sobek, S., Tranvik, L.J. & Jansson, M. 2007. Integrating aquatic carbon fluxes in a boreal catchment carbon budget. *Journal of Hydrology* 334(1–2): 141–150.

Karjalainen, T. & Kellomäki, S. 1996. Greenhouse gas inventory for land use changes and forestry in Finland based on international guidelines. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Climate* 1: 51–71.

Kasvihuonekaasujen laskenta ja raportointi. 2011. Metsäntutkimuslaitos. [www-sivusto] <http://www.metla.fi/ghg/index-su.htm> (Luettu 19.10.2011).

- Kaunisto, S., Kukkola, M., Aarnio, J. & Saarsalmi, A. 2002. Metsän lannoitus ja ravinnehäiriöt. Teoksessa: Hyvämäki, T. (toim.). Tapion taskukirja. 24. uud. painos. Metsälehti, Helsinki. 196–203.
- Kellomäki, S. (toim.). 1996. Metsät. Teoksessa: Kuusisto, E., Kauppi, L. & Heikinheimo, P. Ilmastonmuutos ja Suomi. Yliopistopaino. 71–106.
- Koski, A. 2008. Maankäytön kasvihuonevaikutukset Seinäjoella. Opinnäytetyö. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. 38 s.
- Kukkola, M. & Nöjd, P. 2000. Kangasmetsien lannoitusten tuottama kasvunlisäys Suomessa 1950–1998. Metsätieteen aikakauskirja 4/2000: 603–612.
- Kukkola, M. & Moilanen, M. 2005. Metsänlannoitus. Teoksessa: Hynynen, J., Valkonen, S. & Rantala, S. (toim.). Tuottava metsänkasvatus. Metsäkustannus, Helsinki. 65–67.
- Laine, J. & Vasander, H. 2008. Suotyypit ja niiden tunnistaminen. 2. p. Metsäkustannus, Helsinki. 110 s.
- Lakanen, L. 2011. Luonnon kasvihuonekaasulähteiden ja -nielujen laskenta maakunnallisella tasolla. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Teknillinen tiedekunta, ympäristötekniikan koulutusohjelma. 87 s.
- Lapuan kaupunki. 2010. Seinäjoen seudulle laaditaan ilmastostrategia. [www-dokumentti] http://www.lapua.fi/files/Tiedostot/100930_Tiedote_Seinajoen_seudun_ilmastostrategia.pdf (Luettu 07.09.2011).
- Lehtonen, A., Mäkipää, R., Heikkinen, J., Sievänen, R. & Liski, J. 2004. Biomass expansion factors (BEFs) for Scots pine, Norway spruce and birch according to stand age for boreal forests. *Forest Ecology and Management* 188: 211–224.
- Lehtonen, A., Puolakka, P., Ihalainen, A., Heikkinen, J. & Korhonen, K.T. 2011. Metsähallituksen hallinnoimien metsien hiilitaseet. *Metlan työraportteja* 199. 24 s.

- Lindblad, J., Äijälä, O. & Koistinen, A. 2010. Energiapuun mittaus. [www-dokumentti]
[http://www.metla.fi/metinfo/tietopaketti/mittaus/aineistoja/energiapuun_mittausopas EMT hyvaksytty_27092010.pdf](http://www.metla.fi/metinfo/tietopaketti/mittaus/aineistoja/energiapuun_mittausopas_EMT_hyvakskyty_27092010.pdf) (Luettu 15.11.2011).
- 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. *Annals of Forest Science* 63: 687–697.
- Liski, J., Repo, A., Känkänen, R., Vanhala, P., Seppälä, J., Antikainen, R., Grönroos, J., Karvosenoja, N., Lähtinen, K., Leskinen, P., Paunu V-V. & Tuovinen, J-P. 2011. SY5/2011 Metsäbiomassan energiakäytön ilmastovaikutukset Suomessa. *The Finnish Environment* 5/2011. 43 s.
- Lohilahti, H., Hokkanen, T.J., Aho, J., Kolström, T. & Mustonen, A. (toim.) 2009. Ilmastonmuutos Pohjois-Karjalan mahdollisuutena. Ilmastonmuutoksen Pohjois-Karjala – projekti. Pohjois-Karjalan maakuntaliitto. 63 s.
- Luonnonhoidon laadunarviointi. 2010. Latvusmassan korjuukohteiden osuus yksityismetsien avohakkuualoista, % pinta-alasta. [www-dokumentti]
http://www.metsavastaa.net/files/metsavastaa/Luontolaatu_mk-sten%20tulokset_2010/EP_korjuun_laajuus_2006_2010_.pdf (Luettu 11.11.2011).
- Mannerkoski, H. & Mälkönen, E. 2000. Soil preparation for forest regeneration. Teoksessa: Mälkönen, E., Babich, N.A., Krutov, V.I. & Markova, I.A. (toim.) Forest regeneration in the Northern parts of Europe. Proceedings of the Finnish-Russian forest regeneration seminar in Vuokatti, Finland, Sept. 28th – Oct. 2nd, 1998. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 790: 147–157.
- Martikainen, P. 2003. Metsämaan mikrobisto. Teoksessa: Mälkönen, E. (toim.). *Metsämaa ja sen hoito*. Metsäntutkimuslaitos, Metsälehti kustannus. 101–114.
- Metla. 2007. Metla Hanke 3324. Hiilen varastot ja virrat kangas- ja turvemaidilla. [www-dokumentti]
<http://www.metla.fi/hanke/3324/hiilen-maara.htm> (Luettu 08.02.2012).

- Metla. 2009a. Metsävarat metsäkeskuksittain – VMI10:n ja VMI9:n tuloksia. Metinfo tilastopalvelu, Metsäntutkimuslaitos. [www-sivusto] <http://www.metla.fi/metinfo/vmi/vmi-taulukot.htm> (Luettu 18.11.2011).
- Metla. 2009b. VMI10. Liitetaulukko 5. Kasvupaikat ojittamattomilla ja ojitetuilla metsä-, kitu- ja joutomaan soilla. Metsäntutkimuslaitos.
- Metla. 2010. Metsätilastolliset vuosikirjat 2001–2010. [www-sivusto] <http://www.metla.fi/julkaisut/metsatilastollinenvsk/tilastovsk-sisalto.htm> (Luettu 22.12.2011).
- Metla. 2011. Metinfo tilastopalvelu, Metsäntutkimuslaitos.
- Minkkinen, K. & Laine, J. 2006. Vegetation heterogeneity and ditches create spatial variability in methane fluxes from peatlands drained for forestry. *Plant Soil* 285: 289–304.
- Minkkinen, K., Laine, J., Shurpali, N., Mäkiranta, P., Alm, J. & Penttilä, T. 2007a. Heterotrophic soil respiration in forestry-drained peatlands. *Boreal Environment Research* 12: 115–126.
- Minkkinen, K., Laine, J. & Penttilä, T. 2007b. Kasvihuonekaasupäästöt metsäojitetuilta soilta ja niihin vaikuttavat ympäristötekijät. Teoksessa: MMM11. 2007. Turpeen ja turvemaiden käytön kasvihuonevaikutukset Suomessa. Tutkimusohjelman loppuraportti. Maa- ja metsätalousministeriö 11/2007: 22–26.
- Minkkinen, K. & Ojanen, P. 2011 Pohjois-Pohjanmaan turvemaiden kasvihuonekaasutaseet. 55 s.
- MMM11. 2007. Turpeen ja turvemaiden käytön kasvihuonevaikutukset Suomessa. Tutkimusohjelman loppuraportti. Maa- ja metsätalousministeriö 11/2007. 68 s.
- Muukkonen, P. 2006. Forest inventory-based large-scale forest biomass and carbon budget assessment: new enhanced methods and use of remote sensing for verification. *Dissertationes forestales* 30. 49 s.
- Mälkönen, E. 1974. Annual primary production and nutrient cycle in some Scots pine stands. *Communications Instituti Forestalis Fenniae* 84: 1–87.

Mälkönen, E. 1982. Kangasmetsien lannoitus. Operaatio metsälannoitus 20 vuotta. – Entä tästä eteenpäin. 7–15.

Mälkönen, E. 2003. Maan kunnostaminen metsän uudistamiseksi. Teoksessa: Mälkönen, E. (toim.). Metsämaa ja sen hoito. Metsäntutkimuslaitos, Metsälehti kustannus. 159–174.

Ojala, A., López Bellido, J., Tulonen, T., Kankaala, P. & Huotari J. 2011. Carbon gas fluxes from a brown-water and a clear-water lake in the boreal zone during a summer with extreme rain events. *Limnology & Oceanography* 56(1): 61–76.

Ojanen, P., Minkkinen, K., Alm, J. & Penttilä, T. 2010. Soil-atmosphere CO₂, CH₄ and N₂O fluxes in boreal forestry-drained peatlands. *Forest Ecology and Management* 260: 411–421.

Ojanen, P. ym. 2011. käsikirjoitus.

Palosuo, T., Wihersaari, M. & Sievänen, R. 2001a. Energiapuu ja kasvihuonekaasut. Teoksessa: Nurmi, J. & Kokko, A. (toim.). Biomassan tehostetun talteenoton seurannaisvaikutukset metsässä. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 816: 24–30.

Palosuo, T., Wihersaari, M. & Liski, J. 2001b. Net greenhouse gas emissions due to energy use of forest residues - Impact of soil carbon balance. *Woody Biomass as an Energy Source - Challenges in Europe*. EFI Proceedings No 39, 2001. European Forest Institute, Joensuu. 115–122.

Piirainen, S., Niemelä, J., Finér, L., Mannerkoski, H. & Starr, M. 2009. Maan hiili- ja typpivarastojen muutokset maanmuokkauksen jälkeen. *Pro Terra* 41: 42–42.

Päivänen, J. 2007. Suot ja suometsät – järkevän käytön perusteet. *Metsäkustannus*. 368 s.

Salonen, K. 1999. Metsän lannoitus. *Metsäteknologia muuttuvassa metsätaloudessa*. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 720: 98–103.

Savolainen, I. (toim.). 1996. Suomen kasvihuonekaasujen päästöt ja nielut. Teoksessa: Kuusisto, E., Kauppi, L. & Heikinheimo, P. *Ilmastonmuutos ja Suomi*. Helsinki: Yliopistopaino. 179–196.

Seinäjoen kaupunkiseutu. 2011. [www-sivusto] <http://www.komiainfo.fi> (Luettu 19.10.2011).

Smolander, A. 2003. Metsämaan orgaaninen aine. Teoksessa: Mälkönen, E. (toim.). Metsämaa ja sen hoito. Metsäntutkimuslaitos, Metsälehti kustannus. 81–90.

Statistics Finland. 2010. Greenhouse Gas Emissions in Finland 1990-2008. National Inventory Report under the UNFCCC and the Kyoto Protocol. 470 s. Saatavissa:
http://tilastokeskus.fi/tup/khkinv/fin_nir_20100525.pdf

Suomen metsäkeskus. 2012. Metsäkeskus ja alueet. [www-sivusto]
<http://www.metsakeskus.fi/metsakeskus-ja-alueet> (Luettu 12.01.2012).

Valtakunnan metsien inventointi (VMI). 2011. Metsäntutkimuslaitos. [www-sivusto]
www.metla.fi/ohjelma/vmi/info.htm (Luettu 19.10.2011).

VMI10. 2008. Maastotyön ohjeet 2008 Koko Suomi. Metsäntutkimuslaitos, Helsinki. 169 s.

Yasso07. 2011. Yasso07 soil carbon model. Suomen ympäristökeskus. [www-sivusto]
<http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=21613&lan=en> (Luettu 28.10.2011).

YLE. 2011. Durban vaikuttaa Suomen metsäpolitiikkaan [www-dokumentti]
http://yle.fi/uutiset/luonto_ja_ymparisto/2011/12/durban_vaikuttaa_suomen_metsapolitiikkaan_3095980.html (Luettu 07.02.2012).

Liitteet

Liite 1. Seinäjoen kaupunkiseudun kuntien ojitetujen soiden pinta-alat ojitustilanteittain (ha).

Kunta	Ojikko	Muuttuma	Turvekangas	Yht.
Alavus	3226	14679	6982	24887
Ilmajoki	2967	4713	4234	11914
Jalasjärvi	2239	11813	9083	23134
Kauhava	7141	20722	7153	35016
Kuortane	1283	7801	5017	14102
Kurikka	4145	12625	7283	24053
Lapua	2945	13937	4688	21570
Seinäjoki	6116	24386	13020	43522
Yht.	30063	110675	57459	198198

Liite 2. Seinäjoen kaupunkiseudun kuntien kivennäismaan, ojittamattomien soiden ja kokonaismetsätalousmaan pinta-alat, ojittettujen soiden pinta-alat turvekangastyypeittäin (ha) sekä soiden osuus metsätalousmaasta (%).

Kunta	Ojitettu			MtKg		PtKg		Vatkg	Jätkg	Ojittamaton suo	Metsä-, kitu- ja	Soiden osuus %
	Kangas	Suo	Rhtkg	MtKg I	II	PtKg I	II				joutomaa yhteensä	
Alavus	36500	24887	2035	1530	1687	2657	3809	7218	1236	4715	61387	48
Ilmajoki	24228	11914	1225	1547	1439	2000	1468	2024	361	1850	36142	38
Jalasjärvi	33504	23134	1587	1815	1312	2862	3510	6062	998	4988	56638	50
Kauhava	52500	35016	3155	2822	3963	5431	3982	6781	1075	7807	87516	49
Kuortane	21496	14102	1239	1097	1094	1569	2266	3974	580	2283	35598	46
Kurikka	41872	24053	2575	2646	2263	3652	2600	4833	955	4529	65925	43
Lapua	27175	21570	1657	1881	1993	3064	2801	4627	883	4664	48745	54
Seinäjoki	56977	43522	4036	3602	3524	5248	5891	9527	1650	10044	100499	53
Yht.	294252	198198	17509	16940	17275	26483	26327	45046	7738	40880	492450	49

Liite 3. Seinäjoen kaupunkiseudun puustotiedot kunnittain.

Kunta	Puusto mänty t m³	Puusto kuusi t m³	Puusto lehtipuu t m³	Puusto yht. t m³	Kasvu mänty t m³/v	Kasvu kuusi t m³/v	Kasvu lehtipuu t m³/v	Puuston kasvu yht. t m³/v
Alavus	3770	460	546	4776	187	14	13	215
Ilmajoki	1979	898	401	3279	112	33	9	154
Jalasjärvi	3462	780	625	4868	179	26	12	217
Kauhava	4991	1171	843	7006	258	33	20	310
Kuortane	1985	495	249	2730	116	15	5	136
Kurikka	3097	1600	700	5397	192	58	14	264
Lapua	2533	967	531	4032	147	31	14	192
Seinäjoki	3253	1682	1189	6124	267	76	28	372
Yht.	25073	8054	5085	38212	1458	285	115	1859

Kunta	Poistuma mänty t m³/v	Poistuma kuusi t m³/v	Poistuma lehtipuu t m³/v	Puuston poistuma yht. t m³/v
Alavus	127	34	29	190
Ilmajoki	56	53	21	131
Jalasjärvi	101	53	29	183
Kauhava	154	68	49	271
Kuortane	69	36	13	118
Kurikka	112	110	44	266
Lapua	67	46	26	140
Seinäjoki	139	84	58	281
Yht.	824	486	269	1580

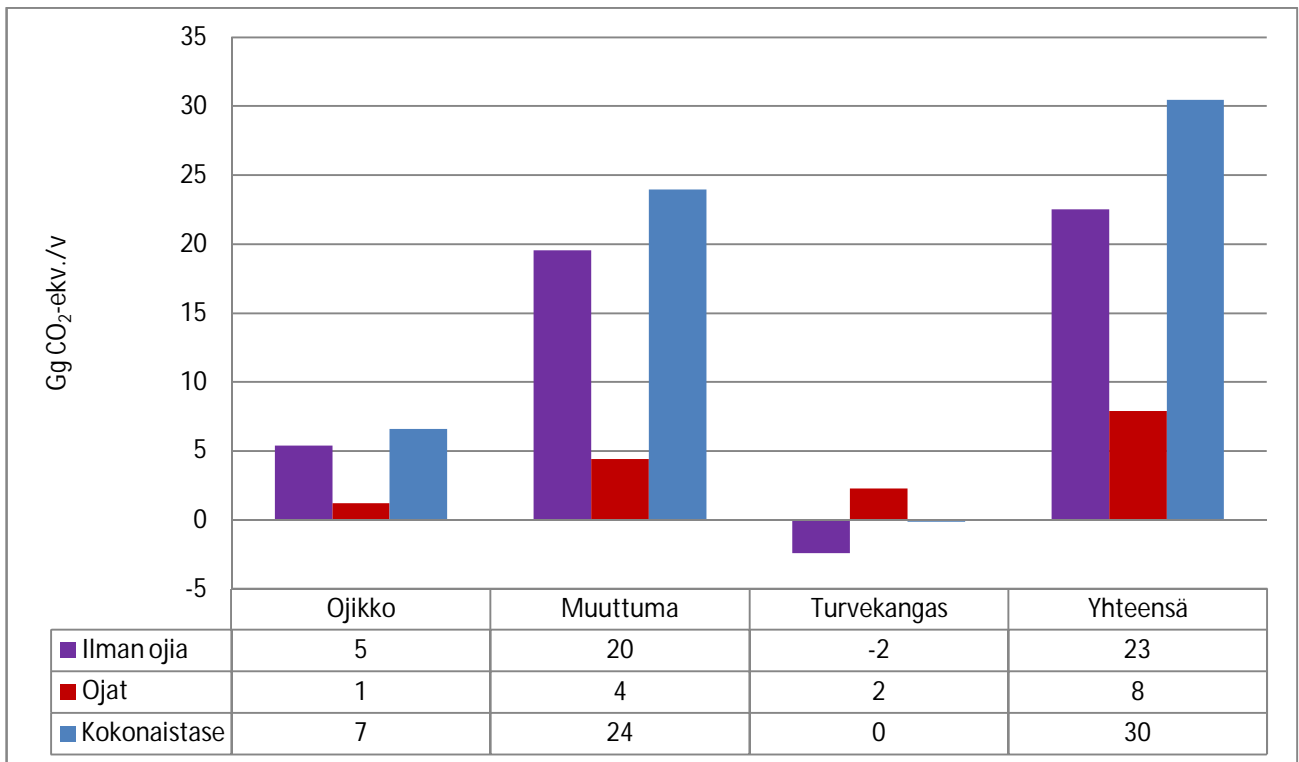
Liite 4. Ojitettujen soiden CO₂-tase turvekangastyypeittäin Seinäjoen kaupunkiseudun kunnissa (Gg CO₂/v).

Kunta	Rhtkg	Mtkg I	Mtkg II	Ptkg I	Ptkg II	Vatkg	Jätkg	Yht.
Alavus	3,91	2,94	3,24	-1,83	-2,63	-4,98	-0,85	0
Ilmajoki	2,35	2,97	2,76	-1,38	-1,01	-1,40	-0,25	4
Jalasjärvi	3,05	3,48	2,52	-1,97	-2,42	-4,18	-0,69	0
Kauhava	6,06	5,42	7,61	-3,75	-2,75	-4,68	-0,74	7
Kuortane	2,38	2,11	2,10	-1,08	-1,56	-2,74	-0,40	1
Kurikka	4,94	5,08	4,34	-2,52	-1,79	-3,33	-0,66	6
Lapua	3,18	3,61	3,83	-2,11	-1,93	-3,19	-0,61	3
Seinäjoki	7,75	6,92	6,77	-3,62	-4,06	-6,57	-1,14	6
Yht.	34	33	33	-18	-18	-31	-5	26

Liite 5. Ojitettujen soiden N₂O-päästöt turvekangastyypeittäin Seinäjoen kaupunkiseudun kunnissa (Gg CO₂-ekv./v).

Kunta	Rhtkg	Mtkg I	Mtkg II	Ptkg I	Ptkg II	Vatkg	Jätkg	Yht.
Alavus	1,12	0,53	0,84	0,22	0,81	0,62	0	4
Ilmajoki	0,68	0,53	0,72	0,17	0,31	0,17	0	3
Jalasjärvi	0,87	0,63	0,65	0,24	0,74	0,52	0	4
Kauhava	1,74	0,98	1,97	0,45	0,84	0,59	0	7
Kuortane	0,68	0,38	0,54	0,13	0,48	0,34	0	3
Kurikka	1,42	0,91	1,13	0,30	0,55	0,42	0	5
Lapua	0,91	0,65	0,99	0,26	0,59	0,40	0	4
Seinäjoki	2,23	1,25	1,75	0,44	1,25	0,82	0	8
Yht.	10	6	9	2	6	4	0	36

Liite 6. Ojitettujen soiden CH₄-tase ilman ojien vaikutusta, ojien vaikutus sekä kokonaistase Seinäjoen kaupunkiseudulla (Gg CO₂-ekv./v).



Liite 7. Ojitettujen soiden pinta-alat ja CH₄-tase ojitustilanteittain Etelä-Pohjanmaan metsäkeskuksen alueella.

Etelä-Pohjanmaan				
metsäkeskus	Ojikko	Muuttuma	Turvekangas	Yhteensä
Pinta-ala ha	18500	209300	303400	531200
Pinta-ala m ²	185000000	2093000000	3034000000	5312000000
g CH ₄ /v	214600000	2427880000	-849520000	1792960000
kg CH ₄ /v	214600	2427880	-849520	1792960
Gg CH ₄ /v	0,21	2,43	-0,85	1,79
Gg CH ₄ CO ₂ -ekv./v				
ilman ojia	5	61	-21	45
Gg CH ₄ CO ₂ -ekv./v +				
ojat	6	71	-7	70

Liite 8. Ojitettujen soiden pinta-alat sekä CO₂-, N₂O- ja ojien CH₄-tase sekä hiilen huuhtouma (DOC) turvekangastyypeittäin Etelä-Pohjanmaan metsäkeskuksen alueella.

Turvekangas tyyppi	Pinta- ala (ha)	Gg CO ₂ /v	Gg N ₂ O/v	Gg N ₂ O CO ₂ - ekv./v	Ojien CH ₄ Gg/v	Gg CH ₄ CO ₂ - ekv./v	DOC Gg CO ₂ /v
Rhtkg	45500	87,36	0,08	25,08	0,17	4,27	155,93
Mtkg I	58400	112,13	0,07	20,19	0,03	0,73	155,93
Mtkg II	61600	118,27	0,10	30,66	0,23	5,78	155,93
Ptkg I	107100	-73,90	0,03	8,94	0,05	1,34	155,93
Ptkg II	84300	-58,17	0,06	17,84	0,32	7,90	155,93
Vatkg	155000	-106,95	0,04	13,40	0,19	4,84	155,93
Jätkg	19200	-13,25	0,00	0	0,02	0,60	155,93
Yhteensä	531100	65,50	0,39	116,10	1,02	25,46	155,93

Liite 9. Etelä-Pohjanmaan metsäkeskusalueen puustotiedot sekä puustoon sitoutunut hiili ja vuotuinen hiilen muutos.

Puusto-osite	Puusto milj. m ³	Puuston biomassa Mg	Puuston hiili Mg	Puuston hiili CO ₂ Mg	Puuston	Puuston
					hiili CO ₂ Gg	hiili CO ₂ Tg
Mänty kivennäismaa	52	32107551	16053776	58917356	58917	58,92
Kuusi kivennäismaa	20	14388192	7194096	26402332	26402	26,40
Lehtipuut kivennäismaa	13	10344675	5172338	18982479	18982	18,98
Mänty suo	35	22297266	11148633	40915483	40915	40,92
Kuusi suo	8	6336701	3168351	11627846	11628	11,63
Lehtipuut suo	13	10757933	5378967	19740807	19741	19,74
Yht. kivennäismaa	84	56840418	28420209	104302167	104302	104,30
Yht. suo	56	39391900	19695950	72284137	72284	72,28
Yht.	140	96232318	48116159	176586304	176586	176,59

Puusto-osite	Keskikasvu m ³ /ha/v	Kasvu m ³ /v	Muutos			Muutos CO ₂ Mg	Muutos CO ₂ Gg	Muutos CO ₂ Tg (sitoutuu)
			(Kasvu- Poistuma)	Muutos biomassa Mg	Muutos C Mg			
Mänty kivennäismaa	2,90	2324930	1359806	847159	423580	1554537	1555	-1,55
Kuusi kivennäismaa	0,90	721530	295581	216366	108183	397031	397	-0,40
Lehtipuut kivennäismaa	1,00	801700	235566	194342	97171	356617	357	-0,36
Mänty suo	2,90	1987080	1162204	742648	371324	1362760	1363	-1,36
Kuusi suo	0,90	616680	252629	199829	99915	366687	367	-0,37
Lehtipuut suo	1,00	685200	201334	166906	83453	306273	306	-0,31
Yht. kivennäismaa		3848160	1890953	1257866	628933	2308185	2308	-2,31
Yht. suo		3288960	1616167	1109384	554692	2035719	2036	-2,04
Yht.		7137120	3507120	2367250	1183625	4343904	4344	-4,34