Metlan työraportteja 199
http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2011/mwp199.htm
ISBN 978-951-40-2297-5 (PDF)
ISSN 1795-150X

Metsähallituksen hallinnoimien metsien hiilitaseet

Aleksi Lehtonen, Paula Puolakka, Antti Ihalainen, Juha Heikkinen ja Kari T. Korhonen

METLA www.metla.fi

Metlan työraportteja / Working Papers of the Finnish Forest Research Institute -sarjassa julkaistaan tutkimusten ennakkotuloksia ja ennakkotulosten luonteisia selvityksiä. Sarjassa voidaan julkaista myös esitelmiä ja kokouskoosteita yms.

Sarjassa ei käytetä tieteellistä tarkastusmenettelyä. Kirjoitukset luokitellaan Metlan julkaisutoiminnassa samaan ryhmään monisteiden kanssa.

Sarjan julkaisut ovat saatavissa pdf-muodossa sarjan Internet-sivuilta.

http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/
ISSN 1795-150X

Toimitus
PL 18
01301 Vantaa
puh. 010 2111
faksi 010 211 2101
sähköposti julkaisutoimitus@metla.fi

Julkaisija
Metsäntutkimuslaitos
PL 18
01301 Vantaa
puh. 010 2111
faksi 010 211 2101
sähköposti info@metla.fi
http://www.metla.fi/

Tekijät
Aleksi Lehtonen, Paula Puolakka, Antti Ihalainen, Juha Heikkinen ja Kari T. Korhonen

Nimeke
Metsähallituksen hallinnoimien metsien hiilitaseet

Vuosi	Sivumäärä	ISBN	ISSN
2011	24	978-951-40-2297-5	1795-150X

Yksikkö / Tutkimusohjelma / Hankkeet
Vantaa / Kasvihuonekaasujen inventointi / 3431, 3401

Hyväksynyt
Tarja Tuomainen, 30.5.2011

Tiivistelmä

Puuston biomassan määrä ja sen muutos arvioitiin Metlassa kehitettyjen biomassamallien avulla. Lahopuun määrän ja lahoasteen määrittäminen perustui VMI-aineistoihin ja aiempaan tutkimukseen eri lahoasteisen puun tiheydestä ja hiilipitoisuudesta. Kangasmaiden maaperän hiilivaraston muutos arvioitiin Suomen ympäristökeskuksen kehittämän Yasso07-maamallin avulla. Yasso07-maaperämalli käyttää syöttötietoinaan vuosittaista säädataa ja VMI-aineistosta johdettua kariketuotosta. Ojitettujen orgaanisten maiden maaperäpäästöt arvioitiin maanalaisen kariketuotoksen ja turpeen hajoamisen päästön erotuksena.

Tulokset laskettiin kolmessa maantieteellisessä alueessa erikseen kangas- ja orgaanisille maille. Alueja-ossa käytetyt luokat olivat Lappi, Oulu ja Etelä-Suomi. Tulosten mukaan puuston biomassan hiilivarasto kasvoi kaikilla laskenta-alueilla sekä metsätalouden että luontopalveluiden mailla viimeisen viisivuotiskauden (2000–2005) aikana noin 6,8 Tg CO_2 vuodessa. Yksittäisten puulajiryhmien biomassavarasto saattoi kuitenkin vähentyä peräkkäisten VMI-mittausten välillä. Valtion metsämaiden maaperä on ollut pääsääntöisesti hiilen nielu lukuun ottamatta metsätalouden maita Pohjois-Suomessa, jotka ovat olleet lähellä tasapainoa (ei nielu, ei lähde) tai jopa pieni hiilen lähde 2000-luvulla. Valtion kangasmaiden maaperänielu vaihteli 0,7–2,5 Tg CO_2 välillä mittausjaksosta riippuen. Ojitettujen orgaanisten maiden maaperäpäästöt vaihtelivat 2–3 Tg CO_2 välillä, kuitenkin pienentyen puuston keskitilavuuden kasvaessa ja maanalaisen karikesyötteen lisääntyessä. Lahopuun tilavuus ja hiilivarasto erosivat merkittävästi metsätalouden ja luontopalveluiden maiden välillä siten, että luontopalveluiden lahopuun hiilivarasto oli suurempi erityisesti pystypuiden osalta. Suurimmat lahopuun hiilivarastot olivat Oulun alueella.

Hankkeen tuloksia voidaan hyödyntää Metsähallituksen toiminnan ohjaamisessa, esim. tulevaisuuden metsänhoitotoimia suunniteltaessa, ja kun määritellään minkälaisia palveluita valtion metsien avulla voidaan jatkossa tuottaa.

Asiasanat
Hiilivarasto, Yasso07 maaperämalli, Metsähallitus, kasvihuonekaasuinventaario, Valtakunnan Metsien Inventointi

Julkaisun verkko-osoite
http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2011/mwp199.htm

Tämä julkaisu korvaa julkaisun

Tämä julkaisu on korvattu julkaisulla

Yhteydenotot
Aleksi Lehtonen, Metsäntutkimuslaitos, Vantaa, PL 18, 01301 Vantaa, s-posti: aleksi.lehtonen@metla.fi

Muita tietoja

Sisällys

1 Johdanto **5**

2 Aineisto **5**

3 Menetelmät **7**

3.1 Maanomistajuuden määritys 7
3.2 Elävän puuston biomassa 7
3.3 Kangasmaat 8
3.4 Ojitetut orgaaniset maat 10
3.5 Lahopuu 11

4 Tulokset **11**

4.1 Puuston hiilivarasto ja sen muutos 11
4.2 Kangasmaiden maaperän muutos 15
4.3 Ojitettujen orgaanisten maiden maaperän hiilivaraston muutos 17
4.4 Kuolleen puun hiilivarasto 17
4.5 Hankkeen laskentamenetelmien erot verrattuna Suomen kasvihuonekaasuinventaarioon 18

5 Päätelmät **19**

Lähdeluettelo **20**

Liite 1. Yasso07 maahiilimallissa sovelletut parametriarvot **22**

Liite 2. Muunnokset ja yksiköt **23**

Liite 3. Puuston hiilivarasto (Tg CO_2) viiden vuoden jaksoille keskimäärin **24**

1 Johdanto

Suomen kasvihuonekaasuinventaarion mukaan metsien hiilinielu sitoo merkittävän osan Suomen kasvihuonekaasupäästöistä. Metsien rooli ilmaston muutoksen hillinnässä on ajankohtainen kysymys. Useat metsäalan toimijat ovat kiinnostuneita maa-alueidensa hiilitaseista, sekä siitä kuinka omalla toiminnallaan voivat vaikuttaa esim. metsien hiilinieluun.

Hankkeen tavoitteena oli arvioida Metsähallituksen hallinnassa olevalla metsä- ja kitumaalla puuston ja maaperän hiilivaraston muutoksia jaksolla 1990–2008. Muutokset laskettiin erikseen elävälle puustolle, lahopuustolle, kangasmaille sekä ojitetuille orgaanisille maille. Ojittamattomien orgaanisten maiden maaperän oletetaan olevan tasapainossa CO_2:n suhteen (ei päästö, eikä nielu) kuten Metlan kasvihuonekaasuinventaariossa.

2 Aineisto

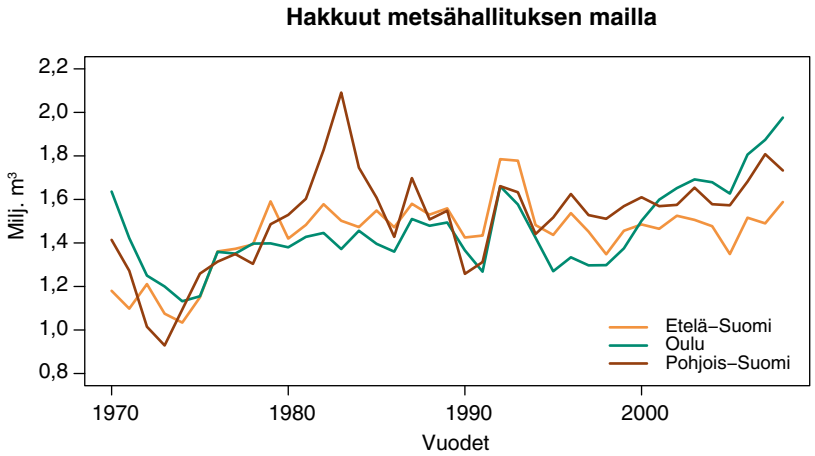
Pääasiallisena tietolähteenä hiilitaseiden laskennassa käytettiin VMI-aineistoja vuodesta 1971 alkaen (taulukko 1). Aineistoista käytettiin tarvittavia kuviotietoja, puustomittauksia, lahopuumittauksia (VMI9 ja VMI10) sekä koealojen sijaintitietoja.

Metsähallituksen maiden toteutuneet hakkuutiedot 1970-2008 on saatu Metsätilastollisista vuosikirjoista (1971-2009).

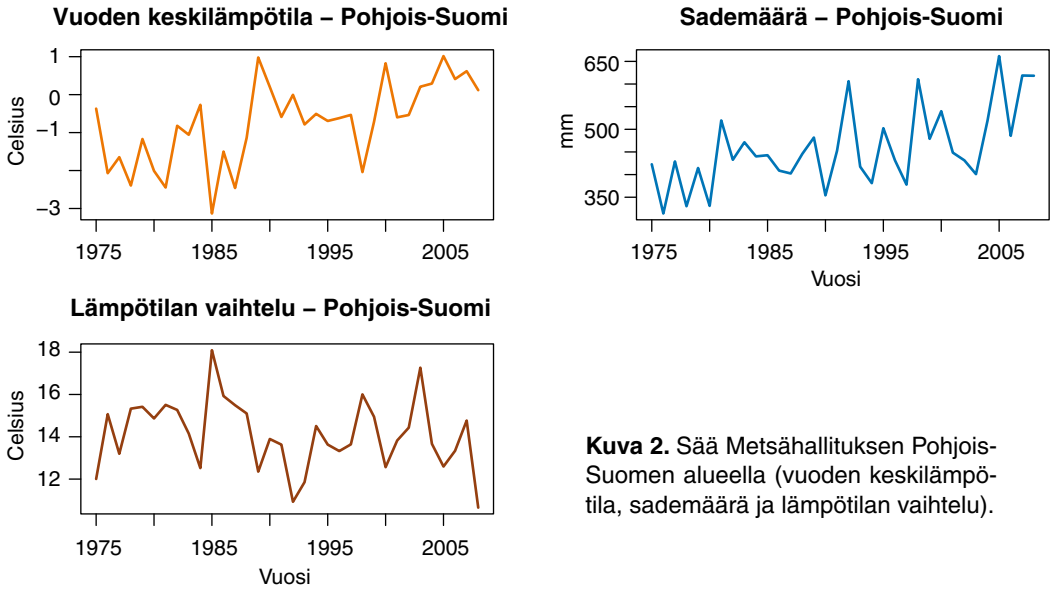
Maaperän hiilitase laskettiin Yasso07-maahiilimallilla. Maaperämallin syöttötietoina käytettiin puuston, hakkuiden (kuva 1), luonnopoistuman ja aluskasvillisuuden kariketuotosta. Energiapuun korjuu jaksolla 1971–2008 oli vähäistä, jolloin kaikkien hakkuutähteiden oletettiin jäävän maaperään. Maaperämalli käytti myös Ilmatieteen laitoksen säädataa (Venäläinen et al., 2005), joka on 10*10 km hilassa ja kattaa koko Suomen. Jokaiselle Metsähallituksen omistukseen kuuluvalle VMI-koealapisteelle määritettiin säädatan hilasta lähin piste. Tämän jälkeen koeala otostodennäköisyydellä painotetut keskiarvosäät laskettiin ositteille. Maamalli tarvitsee toimiakseen keskilämpötilan, sademäärän ja lämpötilan vaihtelun (kylmimmän ja lämpimimmän kuukauden keskilämpötilojen etäisyys jaettuna kahdella). Mallinnuksessa käytetty vuotuinen säädata oli vuosilta 1971–2008 (keskiarvoistettu alueittain Etelä/Oulu ja Lappi) (kuvat 2–4).

Taulukko 1. Valtakunnan Metsien Inventoinnit 6–10 ja toteutusajankohdat.

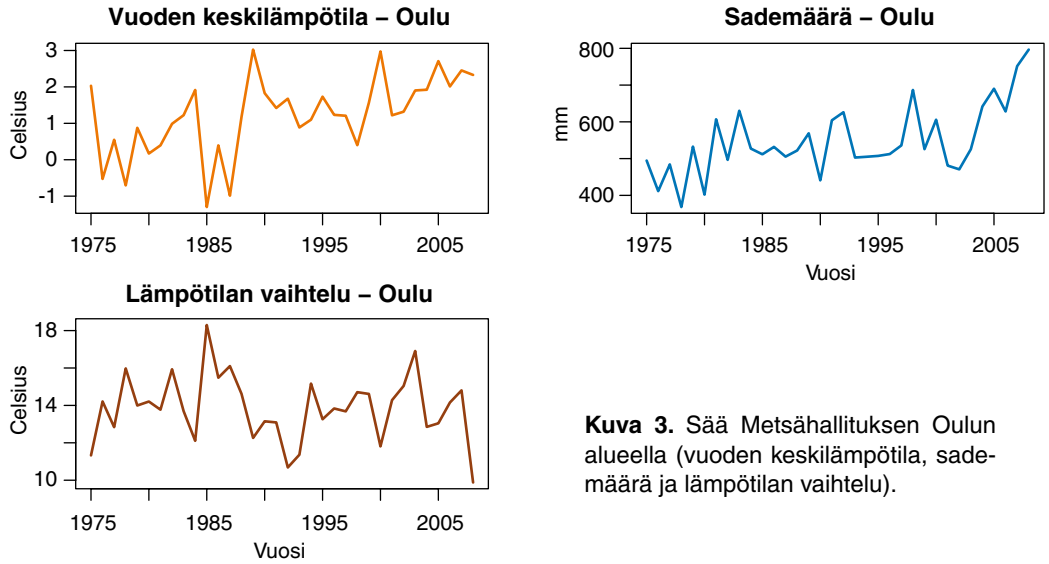
Inventointikerta	Inventointivuodet
VMI6	1971–1976
VMI7	1977–1984
VMI8	1986–1994
VMI9	1996–2003
VMI10	2004–2008



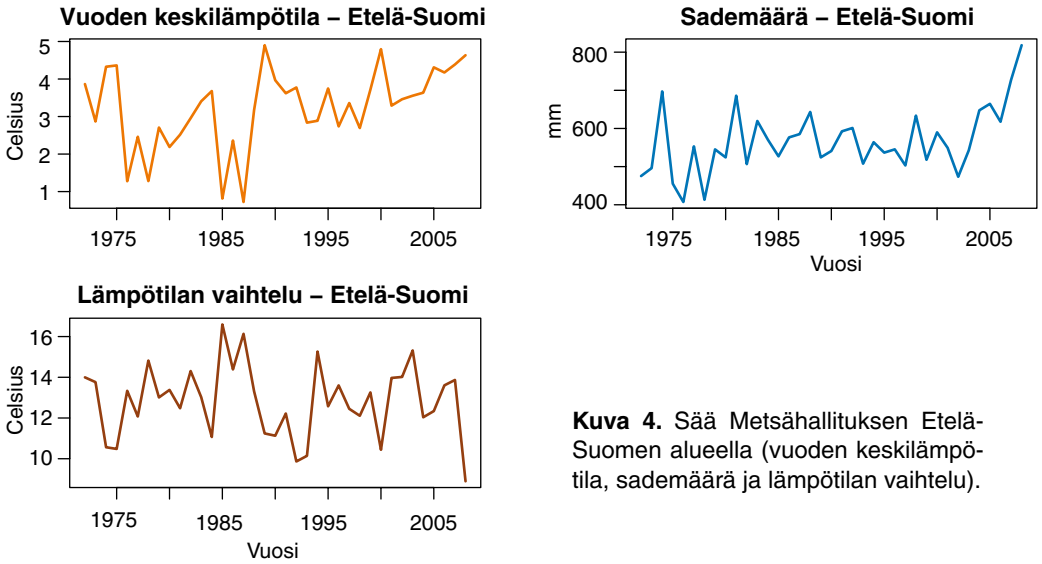
Kuva 1. Hakkuiden aiheuttama runkopuun poistuma Metsähallituksen mailla 1970–2008 (Metsätilastolliset vuosikirjat 1971–2009).



Kuva 2. Sää Metsähallituksen Pohjois-Suomen alueella (vuoden keskilämpötila, sademäärä ja lämpötilan vaihtelu).



Kuva 3. Sää Metsähallituksen Oulun alueella (vuoden keskilämpötila, sademäärä ja lämpötilan vaihtelu).

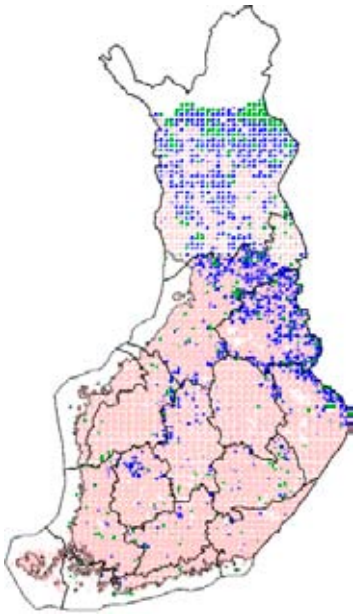


Kuva 4. Sää Metsähallituksen Etelä-Suomen alueella (vuoden keskilämpötila, sademäärä ja lämpötilan vaihtelu).

3 Menetelmät

3.1 Maanomistajuuden määritys

Valtakunnan Metsien Inventointi-aineistoista (VMI6–VMI10) tulostettiin puustokoealojen koordinaatit. Kaikille VMI aineistoille haettiin tieto mahdollisesta Metsähallituksen hallinnasta ja tieto sekä maantieteellisestä ositteesta (Etelä/Oulu/Pohjoinen) että kuulumisesta metsätalous/luontopalvelut –taseeseen. Tieto poimittiin Metsähallituksen nykyhetken paikkatietoaineiston (KihtiGis) mukaan (kuva 5).



Kuva 5. VMI10-koealojen sijoittuminen. Metsähallituksen luontopalveluiden koealat vihreällä ja metsätalouden koealat sinisellä. Ylä-Lapin koeala-aineisto perustuu VMI9 mittaukseen.

3.2 Elävän puuston biomassa

Puuston hiilivaraston muutokset perustuvat vuosittaisten puustobiomassavarastojen arvioihin, jotka on johdettu VMI8, VMI9 ja VMI10 aineistoista (ns. varastonmuutosmenetelmä). Vuosittaisia biomassavarastoestimaatteja käytettiin myös karikesyötteen arviointiin, jota tarvitaan maaperän hiilivaraston muutosten arviointiin. Biomassavarastot estimoitiin kolmessa ositteessa (kankaat, ojitetut suot ja ojittamattomat suot) käyttäen VMI-maastokoealojen puutason mittauksia sekä biomassamalleja (Repola, 2008, Repola, 2009). Käytetyt inventointikerrat olivat VMI8–VMI10.

Biomassavarastot puulajeittain estimoitiin erikseen kolmelle inventointikerralle kankaille, ojitetuille soille ja ojittamattomille soille sekä Metsähallituksen maantieteellisessä (Etelä/Oulu/Pohjoinen) että hallinnollisessa (metsätalous/luontopalvelut) ositteissa.

Jokainen estimaatti kohdistettiin painotetulle mittauspäivämäärien keskiarvolle. Lineaarista trendiä, joka saatiin VMI8:n ja VMI9:n erojen perusteella, käytettiin ekstrapoloinnissa taaksepäin aikaan ennen VMI8:n mittausten keskimääräistä päivää. Ekstrapolaatio vuosille VMI10:n keskimääräisen mittauspäivän jälkeen perustui trendiin, joka muodostettiin VMI9:n ja VMI10:n eroihin perustuen.

3.3 Kangasmaat

Kangasmaiden maaperän hiilivaraston muutos laskettiin kasvihuonekaasujen inventaarion menetelmien mukaisesti (Tilastokeskus, 2011). Laskenta tehtiin uudella Yasso07 maahiilimallilla (Tuomi et al., 2008, Tuomi et al., 2009), joka alustettiin VMI6-aineistosta (Etelä-Suomi mitattu 1971–1974 ja Pohjois-Suomi 1975–1976) lasketuilla keskibiomassa- ja karike-estimaateilla (kuvat 6–9 ja liite 1) (Lehtonen et al., 2004, Muukkonen, 2005).

Simulaatiota varten tarvittiin kolme muuttujaa:

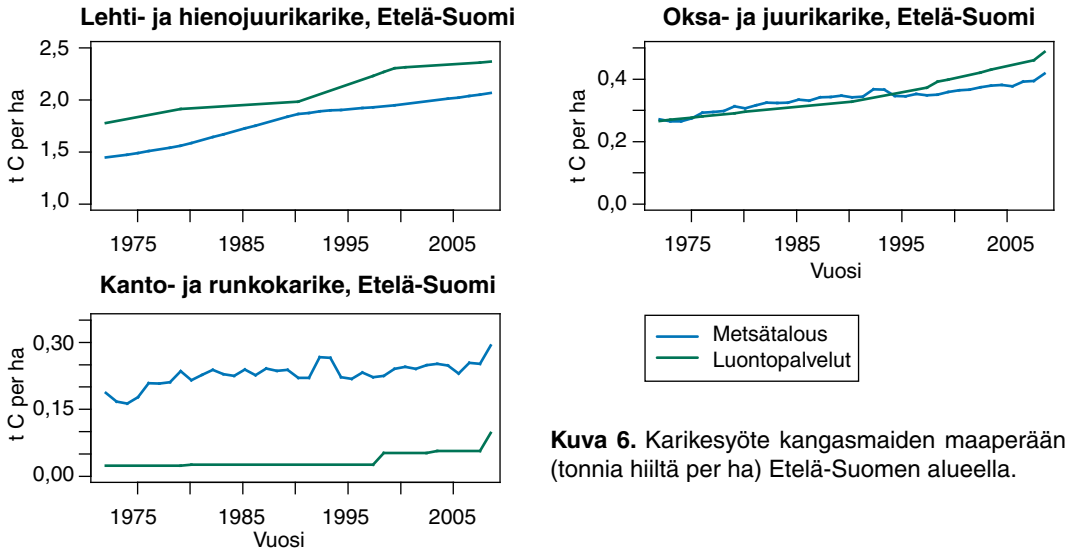
- Karike: Arvioitiin puustosta, aluskasvillisuudesta ja poistumasta saatava karikkeen määrä jaettuna kolmeen karikeluokkaan:
  - ei-puumainen karike (lehdet/neulaset + hienojuuret)
  - hieno puumainen karike (oksat+juuret)
  - karkea puumainen karike (kannot + rungot)
- Sääparametrien arviointi maantieteellisille ositteille
- Lähtöarvojen estimointi perustuen VMI6-aineistoon (1971–1976)

Yasso07-simulaatiot tehtiin erikseen maantieteellisille (Etelä/Oulu/Pohjoinen) ja hallinnollisille (metsätalous/luontopalvelut) ositteille. Laskennan tuloksena saatiin keskimääräinen maaperän ja kuolleen orgaanisen aineksen hiilivaraston muutos jaksolle 1990–2008.

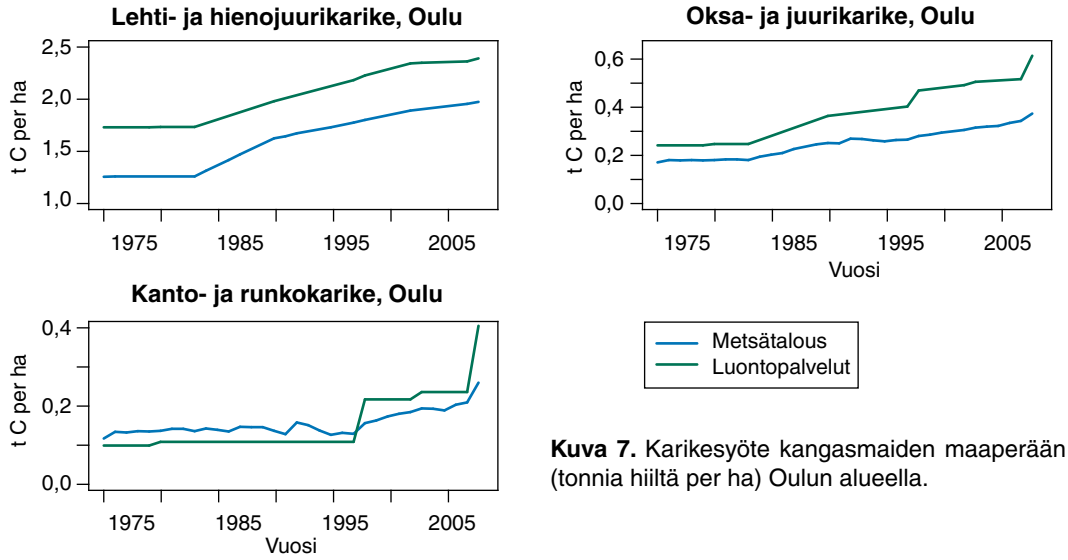
Mallin vuosittainen karikesyöte koostuu elävien puiden ja aluskasvillisuuden karikkeesta, hakkuutähteistä ja keräämättä jääneestä kuolleesta puusta. Elävien puiden karikesyöte estimoitiin elävien puiden biomassaositteiden ja kariketuotannon kerrointen avulla. Hienojuurten biomassa estimoitiin käyttämällä kertoimia, jotka kuvaavat juurten ja lehvästön biomassan suhdetta (Helmisaari et al., 2007).

Karikesyöte arvioitiin VMI6:sta lähtien (kuvat 6-8). Myös hakkuu- ja poistumatilastoja käytettiin karikkeen määrän arviointiin. Hakkuutähteiden ja keräämättä jääneen luonnonpoistuman biomassa estimoitiin biomassan muuntokertoimien (biomass expansion factor, BEF) avulla. Nämä kertoimet estimoitiin biomassayhtälöiden ja VMI-datan perusteella. Kangasmaiden aluskasvillisuuden biomassa arvioitiin 3000 pysyvän koealan avulla (Mäkipää and Heikkinen, 2003). Metlassa kehitettyjen aluskavillisuuden biomassamallien avulla arvioitiin pensaiden, ruohokasvien, heinien ja sammaleiden biomassa erikseen Etelä- ja Pohjois-Suomen kangasmaille (Muukkonen et al., 2006). Aluskasvillisuuden karikesyöte arvioitiin karikkeen kiertonopeuden avulla (Liski et al., 2006).

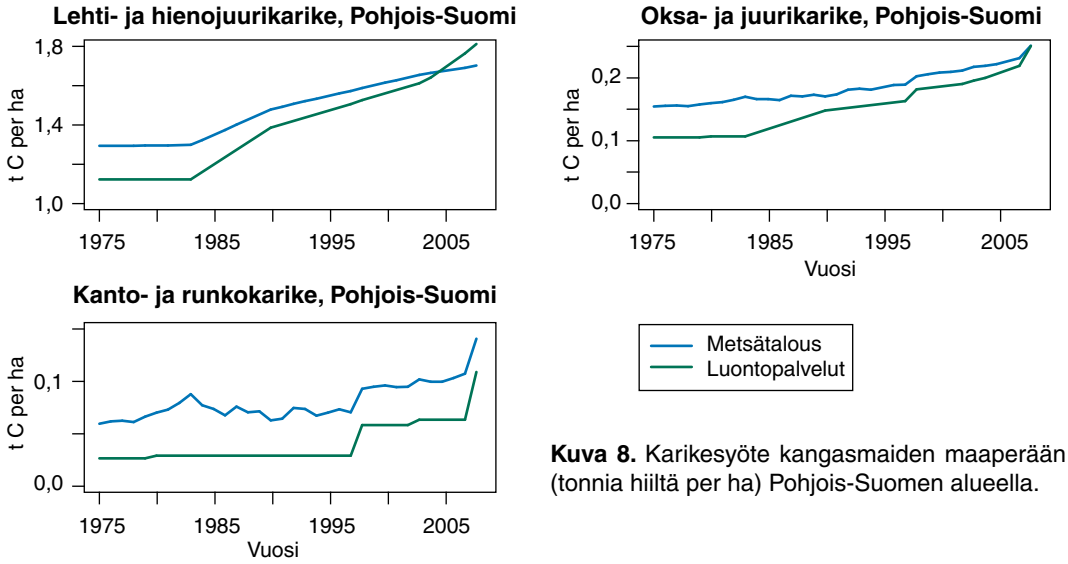
Luonnonpoistuma Metsähallituksen maille arvioitiin mitatun lahopuun määrän avulla. Metsähallituksen maiden hehtaarikohtainen lahopuun määrä ositteittain suhteutettiin koko Suomen hehtaarikohtaiseen lahopuun määrään ja saatiin kerroin, jolla koko Suomen luonnonpoistumasta saatiin Metsähallituksen maiden luonnonpoistuma.



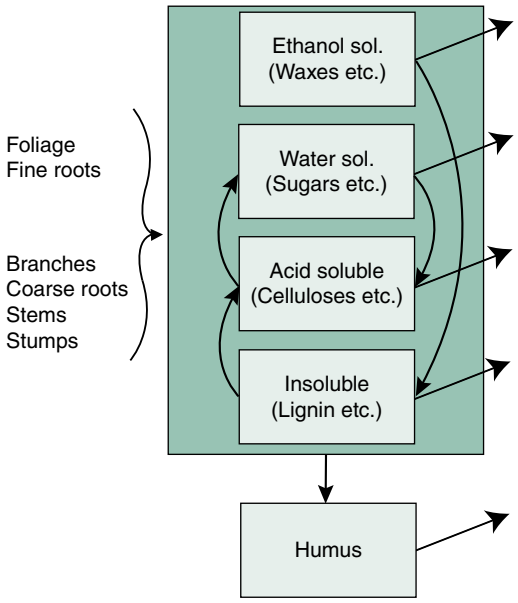
Kuva 6. Karikesyöte kangasmaiden maaperään (tonnia hiiltä per ha) Etelä-Suomen alueella.



Kuva 7. Karikesyöte kangasmaiden maaperään (tonnia hiiltä per ha) Oulun alueella.



Kuva 8. Karikesyöte kangasmaiden maaperään (tonnia hiiltä per ha) Pohjois-Suomen alueella.



Kuva 9. Yasso- maahiilimallin toimintaperiaate. Laatikot kuvaavat maaperän hiiliositteita ja nuolet hiilivirtoja (Tuomi et al., 2008, Tuomi et al., 2009 ja www.ymparisto.fi/syke/yasso/)

3.4 Ojitetut orgaaniset maat

Ojitettujen turvemaiden hiilivaraston muutos laskettiin mallitetun maanalaisen karikesyötteen ja turpeen hajoamisen CO_2-vuon erotuksena (Tilastokeskus, 2011). Laskennan tuloksena saatiin keskimääräinen ojitettujen turvemaiden hiilivaraston muutos jaksolle 1990–2008. Turpeen hajoaminen arvioitiin kertomalla kasvupaikkakohtaiset päästökertoimet (Minkkinen et al., 2007) (taulukko 2) VMI-aineistosta lasketuilla pinta-ala-estimaateilla, josta sitten vähennettiin puuston ja aluskasvillisuuden tuottama maanalainen karikesyöte.

Puustosta saatavan karikkeen määrä perustuu VMI-aineistoihin, biomassamalleihin ja karike-tuotantokertoimiin. Maanalainen karike koostui vuosittaisesta karikkeesta puiden ja pensaiden sekä aluskasvillisuuden juurista, sekä kuolleiden tai kaadettujen puiden juurista (Tilastokeskus, 2011).

Ojittamattomille soille kertyy hiiltä sammaleen kasvun sitoessa ilmakehästä hiilidioksidia. Samanaikaisesti nämä suot päästävät ilmakehään metaania, jonka lämmitysvaikutus kasvihuonekaasuna on moninkertainen verrattuna hiilidioksidiin. Suomen kasvihuonekaasuinventaariolla ei ole riittävän luotettavaa menetelmää, jolla voitaisiin arvioida sekä hiilen kertyminen että metaanin päästöt. Toisaalta voidaan ajatella että edellämainitut prosessit eivät ole suoran ihmistoiminna seurausta kuten ojitettujen soiden maaperäpäästöt.

Taulukko 2. Ojitettujen soiden päästöt kasvupaikoittain (Minkkinen ym. 2007).

Turvekangastyyppi	Päästökerroin (g C /m^2/vuosi)
Rhtkg	425,7
Mtkg	312,1
Ptkg	242,3
Vatkg	218,9
Jätkg	185,2

3.5 Lahopuu

Kuolleen puun hiilivarastot laskettiin perustuen VMI9- ja VMI10-mittauksiin. Laholuokittaiset lahopuun tilavuusmittaukset muutettiin hiileksi perustuen (Mäkinen et al., 2006) artikkelin laholuokittaisiin puuaineen tiheyksiin ja hiilipitoisuuskertoimiin. Tuloksina tuotettiin arvio lahopuun määrästä hiilenä Metsähallituksen hallinnassa olevat metsille, sekä jaksolle 1999–2003 (VMI9) että 2004–2008 (VMI10).

Kuolleen puuston tilavuuden laskentaan käytetty menetelmä on kuvattu julkaisussa (Ihalainen and Mäkelä, 2009). Tilavuuden laskentaa varten estimoitiin koealan yksittäisten pysty- ja maapuiden tilavuudet ja näiden avulla laskettiin alueelliset tunnukset. Pystypuiden tilavuuden arviointiin käytettiin puulajittaisia runkokäyrämalleja (Laasasenaho, 1982), joissa selittäjinä olivat rinnankorkeusläpimitta ja pituus.

Pökkelöillä ja katkenneilla, latvaläpimitaltaan yli 10 cm pystypuilla käytettiin maastossa mitattua pituutta. Kokonaisten ja katkenneiden, latvaläpimitaltaan alle 10 cm pystypuiden pituus laskettiin yksinkertaisella, VMI8-koepuista laaditulla pituusmallilla, jossa selittäjinä olivat puulajiryhmä (mänty, kuusi, koivu, muut lehtipuut), rinnankorkeusläpimitta, kasvupaikan veroluokka ja lämpösumma (Ihalainen and Mäkelä, 2009).

Maapuiden tilavuuden laskemiseen käytettiin katkaistun kartion tilavuuskaavaa. Alueellisia tuloksia varten muutettiin pysty- ja maapuiden tilavuudet ensin hehtaarikohtaisiksi (tilavuus / koealan pinta-ala). Tämän jälkeen alueen kuolleen puuston keskitilavuus laskettiin jakamalla pysty- ja maapuiden edustamien keskitilavuuksien summa alueen lahopuukoealojen lukumäärällä. Kokonaistilavuus saatiin kertomalla keskitilavuus alueen pinta-alaestimaatilla (Ihalainen and Mäkelä, 2009).

Vastaavasti laskettiin kuolleen puuston tilavuudet laskentaositteittain. Laskentaositteita muodostivat alue (Etelä/Oulu/Pohjoinen), Metsähallituksen hallintaosite (metsätalous/luontopalvelut), maaluokka (metsämaa ja kitumaa) ja pääryhmä (kangas ja suo). Vaikka VMI10:ssä kuollut puu mitattiin vain pysyviltä koealoilta, ositteiden pinta-alat laskettiin kaikkien koealojen perusteella (Ihalainen and Mäkelä, 2009).

4 Tulokset

4.1 Puuston hiilivarasto ja sen muutos

Puuston hiliivaraston muutos perustuu VMI8, VMI9 ja VMI10 aineistoihin. Aineistoista laskettiin sekä keskitilavuudet (taulukko 3) että keskibiomassat (taulukko 4) halutuille ositteille. Puuston biomassan hiilivaraston muutos arvioitiin ns. varaston muutos menetelmällä, jossa peräkkäisiä keskibiomassaestimaatteja verrattiin toisiinsa. Tulokset on esitetty 5 vuoden jaksoille (taulukko 5, liite 3 ja kuva 10). Tuloksien laskenta perustuu VMI10 aineistosta arvioituun pinta-alaan (taulukko 6).

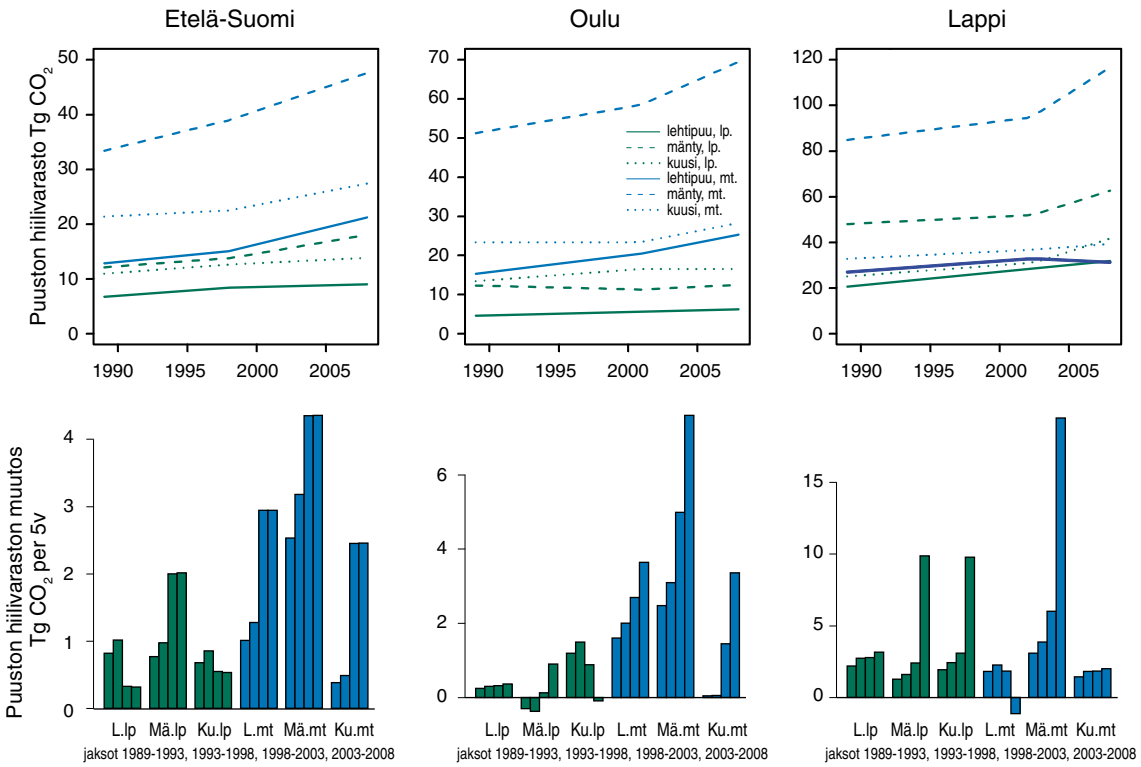
Puuston keskitilavuus on lisääntynyt Etelä-Suomessa puulajeittain noin 10–30 % Metsähallituksen mailla VMI9 ja VMI10 mittausten välillä. Suurin lisäys Etelä-Suomessa on ollut luontopal-

veluiden mäntytilavuudessa. Oulun alueella keskitivauudet lisääntyivät 4–20 %, joista suurimmat lisäykset havaittiin metsätalouden hallinnoimilla metsäalueilla. Lapissa metsätalouden mailla lehtipuiden ja kuusien keskitilavuus väheni kun taas mäntyjen lisääntyi noin 11 %. Lapin luontopalvelujen alueilla puuston keskitilavuus lisääntyi 4–8 % puulajiryhmästä riippuen. Kun eri VMI aineistojen keskitilavuutta verrataan toisiinsa on tärkeää huomioida otannan muutos VMI10 mitttauksessa, jossa vuosittain mitattiin osaotos kattaen koko Suomen, kun aiemmin VMI eteni alueittain. VMI8 mittaukset suoritettiin Etelä-Suomessa vuosina 1986–92 ja Pohjois-Suomessa 1992–1994. VMI9 mittaukset taas kattoivat Etelä-Suomen 1996–2000 ja Pohjois-Suomen 2001–2003. VMI10 mittauksessa Etelä-Suomen alueet mitattiin vuosina 2004–2008, kun taas Pohjois-Suomi mitatiin 2005–2008.

Verrattaessa Lapin alueen keskitilavuuksia VMI9 ja VMI10 aineistojen avulla on myös huomattava se että ajallinen ero mittausten välillä on vain muutamia vuosia.

Metsähallituksen maiden puuston hiilivarasto on ollut jaksolla 1998–2003 noin 289 Tg CO_2 ja jaksolla 2003–2008 noin 326 Tg CO_2. Puustoon on siis kertynyt viiden vuoden aikana noin 34 Tg CO_2, mikä vastaa Suomen puuston vuotuista nielua 2000-luvulla, jolloin Metsähallituksen maiden puuston hiilinielu on noin viidesosa koko Suomen puuston hiilinielusta (Tilastokeskus 2011).

Puuston hiilivarasto ja sen muutos arvioitiin keskibiomassan perusteella (taulukko 4 ja kuva 10). Biomassavarastot asetettiin mittauspäivämäärien perusteella vastaaviin ajankohtiin. Puuston hiilinielu on kasvanut erityisesti VMI9 ja VMI10 mittauksen välillä.



Kuva 10. Puuston hiilivarasto ja sen muutos viiden vuoden aikana Tg CO_2 (miljoonaa tonnia). Puulajiryhmittäin (lehtipuut, mänty ja kuusi), sekä jaettuna luontopalveluiden (vihreä) ja maetsätalouden (sininen) taseeseen.

Taulukko 3. Puuston keskitilavuudet (m^3 per ha) VMI8, VMI9 ja VMI10 mittausten perusteella sekä yksityismailla että Metsähallituksen hallinnassa olevilla metsä- ja kitumailla.

Alue	Hallinta	Puulajiryhmä	VMI8	VMI9	VMI10
Etelä-Suomi	Yksityinen	Mänty	43,32	49,92	55,27
		Kuusi	50,62	50,05	47,13
		Lehtipuut	20,04	23,56	26,72
		Yhteensä	**113,98**	**123,53**	**129,12**
	Metsätalous	Mänty	46,75	53,67	62,79
		Kuusi	20,45	21,38	25,45
		Lehtipuut	11,06	13,69	17,24
		Yhteensä	**78,26**	**88,74**	**105,48**
	Luontopalvelut	Mänty	53,15	59,11	76,2
		Kuusi	34,73	40,25	46,05
		Lehtipuut	19,78	25,81	28,42
		Yhteensä	**107,66**	**125,17**	**150,67**
Oulu	Yksityinen	Mänty	37,13	43,18	47,84
		Kuusi	15,31	14,36	14,75
		Lehtipuut	13,72	16,51	17,47
		Yhteensä	**66,16**	**74,05**	**80,06**
	Metsätalous	Mänty	34,58	43,26	49,68
		Kuusi	11,47	11,33	13,14
		Lehtipuut	7,62	9,65	11,56
		Yhteensä	**53,67**	**64,24**	**74,38**
	Luontopalvelut	Mänty	43,18	45,21	50,39
		Kuusi	38,93	45,19	49,32
		Lehtipuut	12,92	14,33	14,98
		Yhteensä	**95,03**	**104,73**	**114,69**
Pohjois-Suomi	Yksityinen	Mänty	28,56	32,11	33,53
		Kuusi	8,7	10,2	10,88
		Lehtipuut	9,15	10,98	12,06
		Yhteensä	**46,41**	**53,29**	**56,47**
	Metsätalous	Mänty	27,59	32,96	36,73
		Kuusi	7,57	8,16	8,09
		Lehtipuut	6,44	7,41	7,01
		Yhteensä	**41,6**	**48,53**	**51,83**
	Luontopalvelut	Mänty	25,95	29,07	30,44
		Kuusi	9,62	11,42	12,29
		Lehtipuut	8,17	9,79	10,17
		Yhteensä	**43,74**	**50,28**	**52,9**

Taulukko 4. Puuston keskibiomassa (tonnia per ha) VMI8, VMI9 ja VMI10 mittausten perusteella sekä yksityismailla että Metsähallituksen hallinnassa olevilla metsä- ja kitumailla.

Alue	Hallinta	Puulajiryhmä	VMI8	VMI9	VMI10
Etelä-Suomi	Yksityinen	Mänty	23,41	27,84	30,52
		Kuusi	38,76	37,88	35,54
		Lehtipuut	16,42	19,44	21,87
		Yhteensä	**78,59**	**85,16**	**87,93**
	Metsätalous	Mänty	25,61	30,31	35,21
		Kuusi	16,49	17,23	20,02
		Lehtipuut	9,88	11,77	15,12
		Yhteensä	**51,98**	**59,31**	**70,35**
	Luontopalvelut	Mänty	28,61	33,55	41,97
		Kuusi	25,95	30,18	32,94
		Lehtipuut	15,63	20,73	22,38
		Yhteensä	**70,19**	**84,46**	**97,29**
Oulu	Yksityinen	Mänty	23,85	24,75	27,33
		Kuusi	12,86	12,29	12,72
		Lehtipuut	12,05	14,42	14,9
		Yhteensä	**48,76**	**51,46**	**54,95**
	Metsätalous	Mänty	22,57	25,26	28,82
		Kuusi	9,97	10,08	11,68
		Lehtipuut	7	8,72	10,35
		Yhteensä	**39,54**	**44,06**	**50,85**
	Luontopalvelut	Mänty	27,39	25,17	27,86
		Kuusi	32,51	37,11	39,98
		Lehtipuut	10,77	11,74	12,79
		Yhteensä	**70,67**	**74,02**	**80,63**
Pohjois-Suomi	Yksityinen	Mänty	18,7	18,76	19,69
		Kuusi	8,09	9,38	10,01
		Lehtipuut	8,55	10,18	10,82
		Yhteensä	**35,34**	**38,32**	**40,52**
	Metsätalous	Mänty	18,19	19,57	21,86
		Kuusi	7,1	7,82	7,85
		Lehtipuut	5,96	6,87	6,54
		Yhteensä	**31,25**	**34,26**	**36,25**
	Luontopalvelut	Mänty	16,44	17,54	18,4
		Kuusi	8,99	10,59	11,38
		Lehtipuut	7,59	9,38	9,71
		Yhteensä	**33,02**	**37,51**	**39,49**

Taulukko 5. Puuston hiilivarasto Metsähallituksen hallinnassa olevilla metsä- ja kitumailla, Tg CO_2.

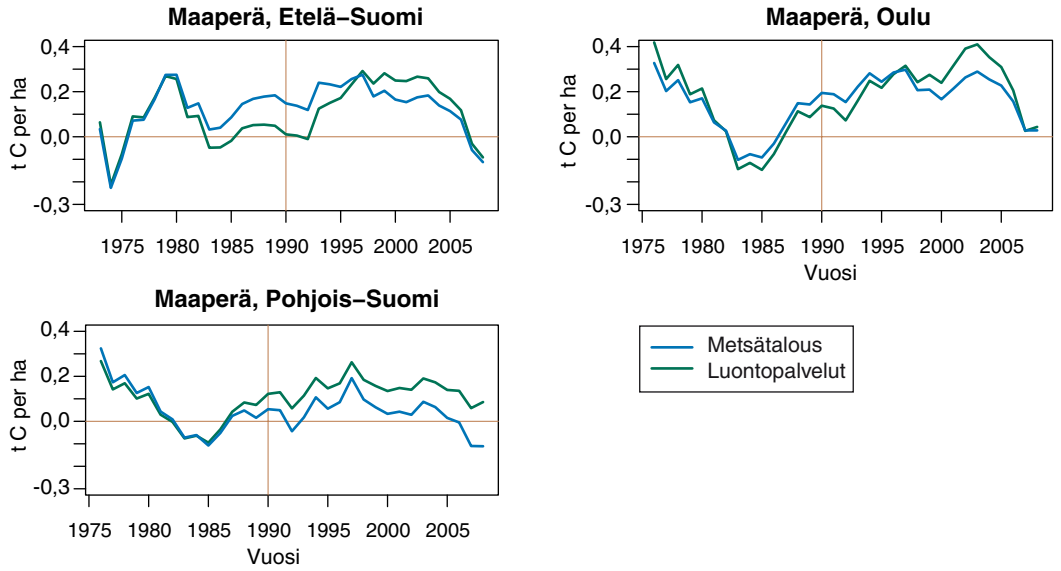
Alue	Hallinta	1989–1993	1993–1998	1998–2003	2003–2008
Etelä-Suomi	Metsätalous	37,92	40,60	44,88	50,19
Etelä-Suomi	Luontopalvelut	16,83	18,37	19,94	21,50
Oulu	Metsätalous	50,12	52,93	56,43	63,82
Oulu	Luontopalvelut	16,83	17,60	18,36	19,02
Pohjois-Suomi	Metsätalous	80,47	84,80	89,31	98,45
Pohjois-Suomi	Luontopalvelut	52,54	56,23	60,07	69,67
Yhteensä		**254,72**	**270,53**	**288,99**	**322,65**

Taulukko 6. Metsä- ja kitumaiden pinta-alat sekä yksityismailla että Metsähallituksen hallinnassa olevilla alueilla (km^2).

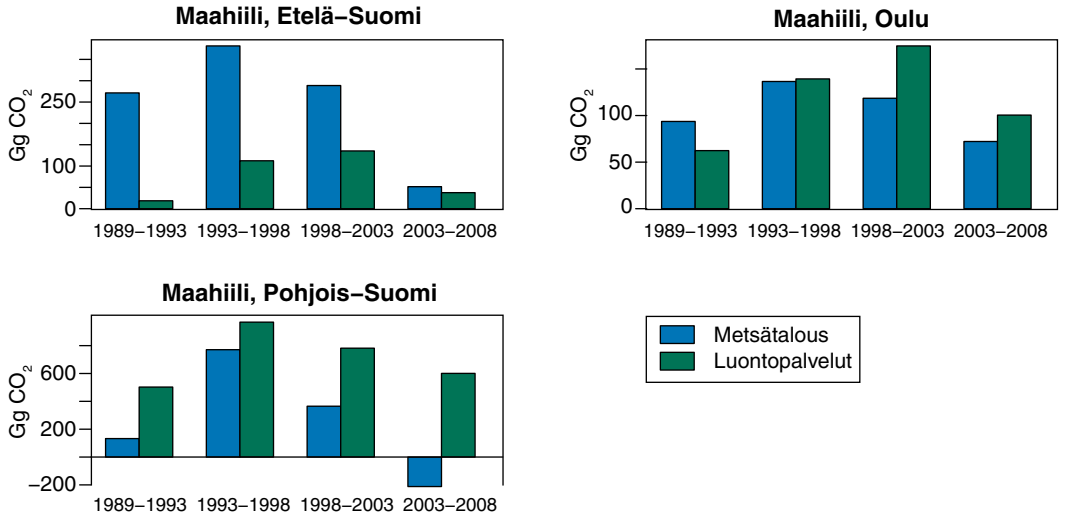
Alue	Hallinta	Kangas	Ojittamaton suo	Ojitettu suo	Yhteensä
Etelä-Suomi	Yksityinen	81516	3430	21063	106009
	Metsätalous	4469	398	2185	7052
	Luontopalvelut	1416	494	285	2196
	Yhteensä	87401	4322	23534	115257
Oulu	Yksityinen	17159	2691	11444	31293
	Metsätalous	7506	1174	3891	12571
	Luontopalvelut	1461	858	97	2415
	Yhteensä	26125	4723	15432	46280
Lappi	Yksityinen	14634	4344	4431	23410
	Metsätalous	19587	4185	3141	26913
	Luontopalvelut	13832	2442	68	16342
	Yhteensä	48053	10971	7640	66664
Yhteensä	Yksityinen	113309	10465	36938	160712
	Metsätalous	31562	5756	9217	46536
	Luontopalvelut	16709	3794	450	20953
	Yhteensä	**161579**	**20016**	**46606**	**228201**

4.2 Kangasmaiden maaperän muutos

Kangasmaiden hiilivaraston muutos arvioitiin Yasso07 maaperämallin avulla. Tulosten mukaan Metsähallituksen hallinnassa olevien maa-alueiden kangasmaat toimivat pääsääntöisesti hiilinieluina (kuva 11). Vuoden 2005 jälkeen maaperäpäästöjä esiintyi yksittäisinä vuosina, johtuen nousseista keskilämpötiloista. Viiden vuoden jaksoissa kangasmaiden maaperän hiilivarasto pysyi nieluna lukuunottamatta Pohjois-Suomen metsätalouden maita jaksolla 2003–2008 (kuva 12). Kokonaisuudessaan Metsähallituksen kangasmaiden hiilinielu vaihteli 0,65 ja 2,5 Tg CO_2 välillä 1990 – 2008 (taulukko 7). Suomen metsin kangasmaiden hiilinielu on vaihdellut jaksolla 1990–2009, 6–10 Tg CO_2 välillä (Tilastokeskus 2011).



Kuva 11. Maaperän hiilivaraston muutos Metsähallituksen maa-alueilla (tonnia hiiltä per ha). Metsätalouden maa-alueet sininen viiva ja luontopalveluiden alueet vihreä viiva. Maahiilinielun ja maaperän päästöarviot ovat epävarmempia ennen vuotta 1990 kuin tämän jälkeen johtuen mallin alustamiseen liittyvästä epävarmuudesta (positiivinen arvo kuvaa hiilen kertymistä).



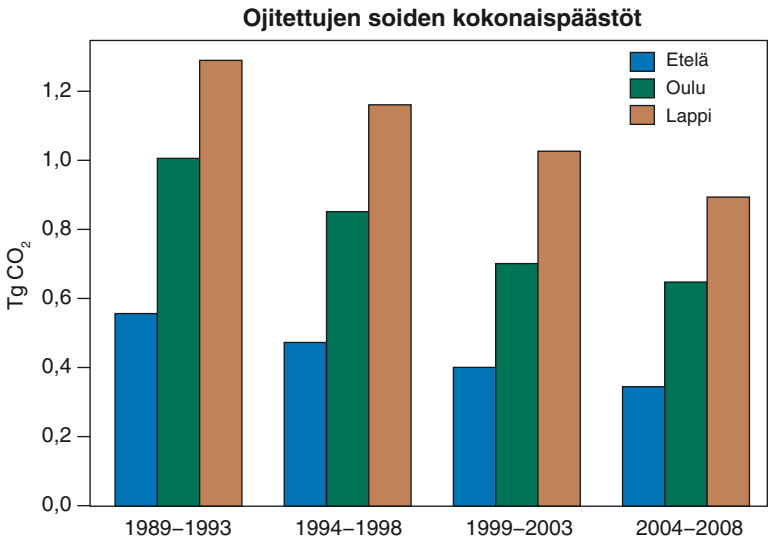
Kuva 12. Maaperän hiilivaraston muutos Metsähallituksen maa-alueilla Gg CO_2 per vuosi. Metsätalouden maa-alueet sininen pylväs ja luontopalveluiden alueet vihreä pylväs.

Taulukko 7. Maaperän hiilivaraston muutos Metsähallituksen maa-alueilla Gg CO_2 per vuosi.

	1989–1993	1993–1998	1998–2003	2003–2008
Etelä-MT	271,46	381,60	288,72	51,59
Etelä-LP	18,61	112,37	135,42	37,61
Oulu-MT	93,66	136,56	118,56	72,15
Oulu-LP	62,36	139,32	174,73	100,48
Pohjois-Suomi-MT	132,61	770,93	365,13	-211,83
Pohjois-Suomi-LP	502,60	968,87	781,84	600,91
Yhteensä	1081,30	2509,65	1864,40	650,91

4.3 Ojitettujen orgaanisten maiden maaperän hiilivaraston muutos

Ojitettujen orgaanisten maaperien päästöt laskettiin vähentämällä turpeen hajoamisen päästöistä maanalainen karikesyöte. Puuston lisääntyessä maanalainen karikesyöte lisääntyi, jolloin maaperän nettopäästö laskee 1990- ja 2000-luvun aikana. Metsähallituksen hallinnassa olevien ojitettujen orgaanisten turvemaiden maaperäpäästö on vaihdellut 3–2 Tg CO_2 välillä (kuva 13 ja taulukko 8), kun koko Suomen vastaava maaperäpäästö on vaihdellut 14–8 Tg CO_2 välillä.



Kuva 13. Ojitettujen soiden kokonaispäästöt Tg CO_2.

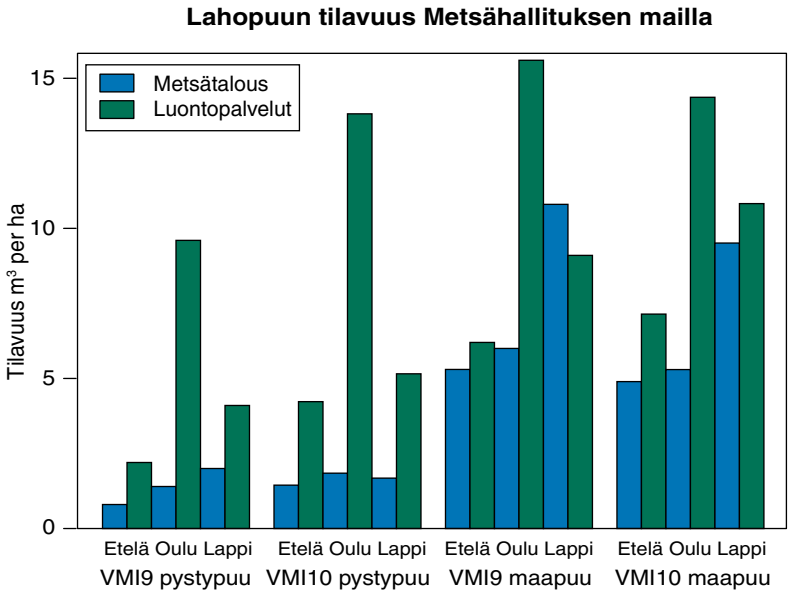
Taulukko 8. Ojitettujen soiden kokonaispäästöt alueittain (Tg CO_2)

	Etelä	Oulu	Pohjois-Suomi
1989–1993	0,56	1,01	1,29
1994–1998	0,47	0,85	1,16
1999–2003	0,40	0,70	1,03
2004–2008	0,35	0,65	0,90

4.4 Kuolleen puun hiilivarasto

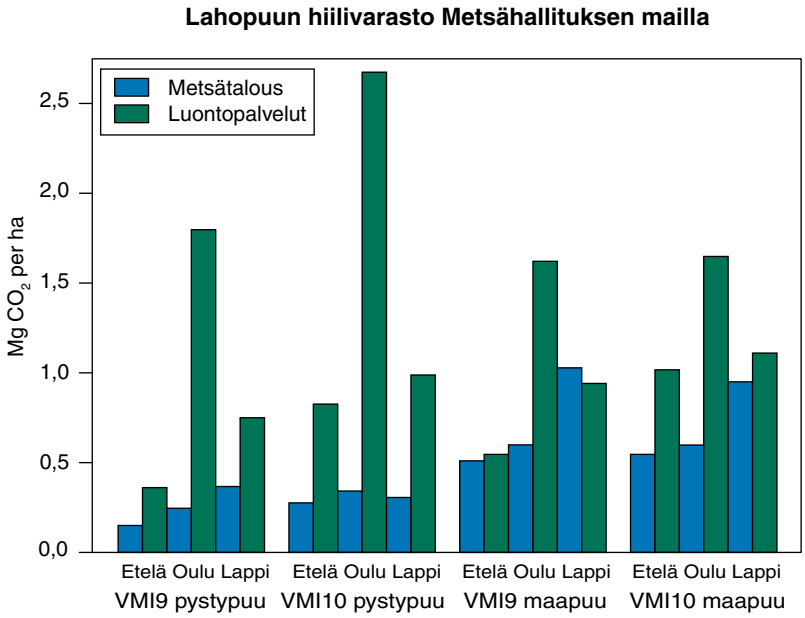
Lahopuun tilavuuden ja hiilivaraston muutos pertustui VMI9 ja VMI10 mittauksiin. Lahopuun tilavuus (sekä pysty- että maapuu) oli suurinta Oulun alueella (kuva 14). Lapissa lahopuun määrät olivat suurempia kuin Etelä-Suomessa. Lahopuumäärät selittyvät sekä tuotoksen että hajoamisen tuloksena, kylmässä ilmastossa orgaaninen hajoaa hitaammin, kun taas tuotos on Etelä-Suomessa suurempaa.

Lahopuiden hiilipitoisuuden erot eivät olleet yhtä suuret pysty- ja maapuiden välillä kuin tilavuudessa (kuva 15). Maapuiden lahopuut ovat pääsääntöisesti pidemmälle lahonneita puita, joiden puuaineen tiheys ja hiilipitoisuus on jo laskenut verrattuna pystypuihin.



Kuva 14. Lahopuun tilavuus m^3 per ha.

Pysty- ja maapuiden väliset hiilivarastoerot eivät olleet niin suuret kuin tilavuuserot (kuva 15). Maapuut ovat pääsääntöisesti pidemmälle lahonneita, joten niiden puuaineen tiheys ja hiilipitoisuus ovat alempia kuin pystylahopuilla.



Kuva 15. Lahopuun hiilivarasto Mg CO_2 per ha.

4.5 Hankkeen laskentamenetelmien erot verrattuna Suomen kasvihuonekaasuinventaarioon

Metsähallituksen metsien hiilitaseet hankkeessa laskettiin puuston hiilivaraston muutos ns. varaston muutos menetelmällä, jossa verrataan peräkkäisten VMI mittausten tuottamaa biomassaestimaattia. Suomen kasvihuonekaasuinventaariossa käytetään tällä hetkellä ns. kasvu–poistuma menetelmää puuston hiilivaraston muutoksen arviointiin. Periaatteessa molemmat menetelmät

tuottavat saman tuloksen tilanteessa, jossa puuston määrä, kasvu ja poistuma tunnetaan tarkasti. Tässä hankkeessa päädyttiin varastonmuutosmenetelmään, koska poistuman osittaminen kangasmaiden ja orgaanisten maiden välillä olisi ollut haastavaa.

Metsähallituksen metsien hiilitaseet -hankkeessa arvioitiin maaperän hiilivaraston muutos Yasso07 maahiilimallilla ja vuosittaisella sääaineistolla. Suomen kasvihuonekaasuinventaariossa käytetään tällä hetkellä sekä Yasso- että Yasso07 maahiilimalleja ja keskimääräistä säätä. Yasso mallia sovelletaan metsille joidenka maankäyttö ei muutu, kun taas Yasso07 maamallia käytetään tällä hetkellä aloilla joissa maankäyttö muuttuu.

5 Päätelmät

Metsähallituksen metsät sitovat ilmakehästä hiilidioksidia ja metsien hiilivarasto on kasvanut merkittävästi 1990–2008. Erityisesti puustoon on kertynyt lisää hiiltä ja keskitilavuus on lisääntynyt merkittävästi VMI9 ja VMI10 mittausten välillä.

Myös kangasmaiden maaperä on ollut pääsääntöisesti hiilen nielu. Ainoastaan Pohjois-Suomessa metsätalouden alueiden maaperä on ollut keskimäärin hiilen lähde viimeisellä viisivuotiskaudella. Samanaikaisesti Pohjois-Suomessa luontopalveluiden alueiden maaperä on toiminut hiilinieluna. Suurin syy tähän eroon on se että puuston aiheuttama karikesyöte on lisääntynyt enemmän luontopalveluiden alueilla verrattuna metsätalouden alueisiin. Orgaanisen aineen hajoaminen on nopeutunut Pohjois-Suomessa johtuen kohonneista lämpötiloista 2000-luvulla. Oulun alueen luontopalveluiden kangasmaissa on myös ollut suurempi hiilen nielu kuin saman alueen metsätalouden mailla. Tämä ero johtuu siitä että kangasmaiden karikesyöte on suurempaa ja on myös lisääntynyt enemmän luontopalveluiden alueella verrattuna metsätalouden maihin. Kangasmaiden hiilivaraston määrä on noin 60–80 tonnia hiiltä per hehtaari, ja tutkimuksissa havaitut muutokset ovat noin 100–400 kg hiiltä hehtaaria ja vuotta kohden. Maaperän hiilivaraston muutosta arvioitaessa on muistettava että kyseessä on suuri varasto ja suhteellisesti pieni muutos joka on haastavaa todentaa toistetuin mittauksin.

Ojitettujen orgaanisten soiden maaperäpäästöt ovat vähentyneet Metsähallituksen mailla 1990–2008. Tämä vähentyminen johtuu lisääntyneen puuston tuomasta maanalaisen karikesyötteen lisääntymisestä. Ojitettujen orgaanisten maiden maaperäpäästöjen laskentamenetelmä on parhaillaan kehityksen alla ja tulevaisuudessa Metlan KHK-inventaarion arvio ojitettujen soiden maaperäpäästöistä voi erota tämänhetkisestä.

Lahopuun keskitilavuudet Metsähallituksen mailla ovat pysyneet likimain samoina VMI9 ja VMI10 mittausten välillä. Suurimmat lahopuumäärät löytyvät Oulun luontopalveluiden alueelta, jonka jälkeen seuraavana on Lapin luontopalveluiden lahopuuvarasto. Metsätalousmailla suurimmat lahopuuvarastot ovat Lapin alueella.

Kasvihuonekaasuinventaarion päästöjen ja nielujen kokonaisepävarmuus (keskihajonta) Suomen metsä- ja kitumaille on noin +/-40 %. Suurimmat epävarmuuslähteet liittyvät kangasmaiden ja orgaanisten ojitetujen maiden nieluihin ja päästöihin – puuston hiilinielu tunnetaan tarkemmin. Kun VMI aineistoa ositetaan ja biomassaestimaattien laskenta tehdään pienemmille yksiköille tällöin

epävarmuus kasvaa. Koska maaperän nielujen ja päästöjen laskenta edellyttää puustobiomassa-arvion käyttöä, myös maaperäestimaattien epävarmuus kasvaa laskentaositteen pienentyessä.

Metsähallitus on suuri metsäalan toimija joka myy puuta vuosittain noin 5–6 milj. m^3. Metsähallituksen maiden puuston biomassavarasto kasvaa, eli metsien puusto on biomassan hiilinielu silloin kun metsiä käsitellään kestävästi hakkuiden ollessa kasvua pienemmät. Maaperän hiilivarasto on kahden prosessin summa, eli karikkeen määrä riippuu kasvillisuudesta ja hajoaminen taas suurelta osin lämpötiloista. Metsänhoitotoimilla voidaan vaikuttaa maaperän hiilivarastoon esim. korjaamalla oksat ja kannot bioenergiakäyttöön. Kun metsien käyttö on intensiivisempää kuin aiemmin ja kaikki biomassa korjataan niin maaperän hiilivarasto hakeutuu uuteen tasapainotilaan ja tämän siirtymäajan aikana maaperä toimii hiilen lähteenä. Toisaalta jos vähäarvoisia jättöpuita jätetään hakkuiden yhteydessä enemmän kuin aiemmin ja näin lisätään karikesyötettä maaperään kasvaa myös maaperän hiilinielu / hiilipäästö pienenee (vrt. Oulun alueen kanto- ja runkokarikesarjaa maaperän hiilinieluihin metsätalouden ja luontopalveluiden välillä).

Puuston hiilivaraston kasvaminen osoittaa että Metsähallituksen maiden hakkuut ovat olleet kasvua alhaisemmat. Kangasmaiden maaperän hiilinielu on pienentynyt 2000-luvulla, syynä tähän on ollut edeltävää jaksoa lämpimämmät vuodet – kangasmaiden hiilivaraston ylläpitäminen lämpötilan noustessa edellyttää että kasvillisuuden karikesyöte lisääntyy. Maaperän hiilinielun ylläpitämiseksi voidaan valita metsänhoitomenetelmiä, jotka lisäävät karikesyötettä ja toisaalta välttää menetelmiä jotka nopeuttavat orgaanisen aineen hajoamista maassa.

Lähdeluettelo

Helmisaari, H., Derome, J., Nojd, P., Kukkola, M., 2007. Fine root biomass in relation to site and stand characteristics in Norway spruce and Scots pine stands. Tree Physiol. 27, 1493–1504.

Ihalainen, A., Mäkelä, H., 2009. Kuolleen puuston määrä Etelä- ja Pohjois-Suomessa 2004–2007. Metsätieteen aikakauskirja 1/2009:35–56.

Laasasenaho, J., 1982. Taper curve and volume functions for pine, spruce and birch. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 108, 1–74.

Lehtonen, A., Sievänen, R., Mäkelä, A., Mäkipää, R., Korhonen, K.T., Hokkanen, T., 2004. Potential litterfall of Scots pine branches in southern Finland. Ecological Modelling 180, 305–315.

Liski, J., Lehtonen, A., Palosuo, T., Peltoniemi, M., 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.

Mäkinen, H., Hynynen, J., Siitonen, J., Sievänen, R., 2006. Predicting the decomposition of Scots pine, Norway spruce and birch stems in Finland. Ecological Applications 16, 1865–1879.

Mäkipää, R., Heikkinen, J., 2003. Large-scale changes in abundance of terricolous bryophytes and macrolichens in Finland. Journal of Vegetation Science 14, 497–508.

Minkkinen, K., Laine, J., Shurpali, N., Mäkiranta, P., Alm, J., Penttilä, T., 2007. Heterotrophic soil respiration in forestry-drained peatlands. Boreal Environment Research 12, 115–126.

Muukkonen, P., 2005. Needle litter production rates of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) derived from the needle-shed dynamics. Trees - Structure and Function 19, 273–279.

Muukkonen, P., Mäkipää, R., Laiho, R., Minkkinen, K., Vasander, H., Finér, L., 2006. Relationship between biomass and percentage cover in understorey vegetation of boreal coniferous forests. Silva Fennica 40, 231–245.

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

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

Tilastokeskus, 2011. Greenhouse gas emissions in Finland 1990–2009, National Inventory Report under the UNFCCC and the Kyoto Protocol. 1–448.

Tuomi, M., Thum, T., Järvinen, H., Fronzek, S., Berg, B., Harmon, M., Trofymow, J.A., Sevanto, S., Liski, J., 2009. Leaf litter decomposition--Estimates of global variability based on Yasso07 model. Ecol. Model. 220, 3362–3371.

Tuomi, M., Vanhala, P., Karhu, K., Fritze, H., Liski, J., 2008. Heterotrophic soil respiration--Comparison of different models describing its temperature dependence. Ecol. Model. 211, 182–190.

Venäläinen, A., Tuomenvirta, H., Pirinen, P., Drebs, A., 2005. A basic Finnish climate data set 1961–2000 – Description and illustrations. 5, 27.

Liite 1. Yasso07 maahiilimallissa sovelletut parametriarvot

Parametri	Arvo	Yksikkö	Merkitys
aA	-0.704	a^{-1}	decomposition rate of A
aW	-5.681	a^{-1}	decomposition rate of W
aE	-0.261	a^{-1}	decomposition rate of E
aN	-0.028	a^{-1}	decomposition rate of N
p1	0.489	.	mass flow from W to A
p2	0.019	.	mass flow from E to A
p3	0.970	.	mass flow from N to A
p4	0.987	.	mass flow from A to W
p5	0.003	.	mass flow from E to W
p6	0.003	.	mass flow from N to W
p7	0.000	.	mass flow from A to E
p8	0.000	.	mass flow from W to E
p9	0.012	.	mass flow from N to E
p10	0.003	.	mass flow from A to N
p11	0.013	.	mass flow from W to N
p12	0.971	.	mass flow from E to N
b1	0.099	C^{-1}	temperature dependence parameter
b2	-0.002	$10^{-3}C^{-2}$	temperature dependence parameter
y	-1.272	m^{-1}	precipitation dependence parameter
pH	-0.001	10^{-3}	mass flow from A, W, E, N to humus
aH	0.004	$10^{-3}\ a^{-1}$	humus decomposition coefficient
roo1	-1.708	cm^{-2}	size dependence parameter
roo2	0.859	cm^{-2}	size dependence parameter
r	-0.307	.	size dependence parameter

Liite 2. Muunnokset ja yksiköt

Mittayksiköiden etuliitteitä:

Mega = 10^6
Giga = 10^9
Tera = 10^{12}
Peta = 10^{15}

Eräitä muunnoksia:

1 Mg megagramma =	tonni
1 Gg gigagramma =	tuhat tonnia
1 Tg teragramma =	miljoona tonnia
1 Pg petagramma =	miljardi tonnia

Hiilimäärä (g C) * (44/12) = hiilidioksidimäärä (g CO_2)

Liite 3. Puuston hiilivarasto (Tg CO_2) viiden vuoden jaksoille keskimäärin

Puulajiryhmä	Hallinta	Alue	1989–1993	1993–1998	1998–2003	2003–2008
Mänty			18,89	20,61	22,73	25,11
Kuusi	Metsätalous		11,75	12,01	12,92	14,26
Koivu		**Etelä**	7,29	7,98	9,22	10,83
Mänty			6,81	7,33	8,20	9,30
Kuusi	Luontopalvelut		6,14	6,61	6,97	7,27
Koivu			3,88	4,43	4,76	4,94
Mänty			28,60	30,29	32,30	36,17
Kuusi	Metsätalous		12,72	12,76	13,03	14,66
Koivu		**Oulu**	8,80	9,89	11,10	12,99
Mänty			6,62	6,42	6,29	6,70
Kuusi	Luontopalvelut		7,65	8,46	9,18	9,24
Koivu			2,56	2,72	2,89	3,08
Mänty			47,09	49,19	51,53	59,68
Kuusi	Metsätalous		18,21	19,19	20,18	21,24
Koivu		**Lappi**	15,17	16,41	17,60	17,53
Mänty			26,53	27,40	28,36	32,29
Kuusi	Luontopalvelut		14,20	15,52	16,91	20,93
Koivu			11,82	13,31	14,80	16,45