



Risto Sievänen



Hannu Hirvelä



Hannu Ilvesniemi

Risto Sievänen, Timo Kareinen, Hannu Hirvelä ja
Hannu Ilvesniemi

Hakkuumahdollisuusarvioihin perustuvat metsien kasvihuonekaasutaseet

Sievänen, R., Kareinen, T., Hirvelä, H. & Ilvesniemi, H. 2007. Hakkuumahdollisuusarvioihin perustuvat metsien kasvihuonekaasutaseet. *Metsätieteen aikakauskirja* 4/2007: 329–339.

Kioton pöytäkirjan mukaisen metsänhoitotoimenpiteen vaikutusten arviointia varten tehtiin laskelmia metsien kasvihuonekaasujen taseista MELA-ohjelmistolla laadittujen hakkuumahdollisuusarvioiden pohjalta. Hakkuumahdollisuusarviot (3 kpl) kuvaavat puuston pitkän aikavälin käyttömahdollisuuksia erilaisilla hakkuun tasoilla. Artikkelissa kuvataan lyhyesti menetelmä, jolla laskelmat tehtiin sekä esitetään tulokset. Puuston, lahopuun ja maaperän kasvihuonekaasutaseet arvioitiin puustotietojen avulla samoin menetelmin kuin kasvihuonekaasuraportoinnissa. Puusto- ja poistumatietojen perusteella tuotettiin arvio sekä puuston hiilitaseesta että kariketuotoksesta, joka malliin ja mittauksiin perustuvaan orgaanisen aineen hajoamisarvioon yhdistettynä tuotti arvion kuolleen orgaanisen aineen määrän muutoksesta. Hakkuumahdollisuusarvioissa kasvu on pääsääntöisesti poistumaa suurempi, jolloin myös metsät ovat kasvihuonekaasujen nielu tarkastelujaksolla 2005–2034. Nielun suuruus vaihtelee välillä 2,6–45 milj. t CO₂/v eri laskelmissa ja ajankohtina. Arviossa, jossa hakkuut ovat kasvua suuremmat 2005–2014, metsät ovat lähde (suuruudeltaan 15,5 milj. t CO₂/v). Tuloksista ilmenee, että jos hakkuut eivät lisäänty suuresti viimeaikaisesta tasosta, metsät tulevat olemaan kasvihuonekaasujen nielu, jolloin Kioton pöytäkirjan mukainen metsänhoitotoimenpiteen nieluhyöty (noin 3 milj. t CO₂/v) on saatavissa I. sitoumuskaudesta alkaen. Energiapuun käytön vaikutus laskelmien kasvihuonekaasutaseisiin on vähäinen.

Asiasanat: kasvihuonekaasut, Kioton pöytäkirja, metsien hiilitase, hakkuumahdollisuusarviot, energiapuu

Yhteystiedot: Metsäntutkimuslaitos, Vantaan toimintayksikkö, PL 18, 01301 Vantaa. Sähköposti risto.sievenen@metla.fi

Hyväksytty 13.11.2007

I Tausta

YK:n ilmastopimuksen Kioton pöytäkirjan (sopimusteksti löytyy mm. YK:n ilmastopimuksen sihteeristön sivuilta: http://unfccc.int/kyoto_protocol/items/2830.php) määräykset koskevat myös metsien päästöjä ja nieluja: artiklan 3.3 mukaan metsänhävityksen ja uudelleenmetsityksen aiheuttamat päästöt ja nielut lasketaan velvoitteen mukaan täysmääräisesti. Sen lisäksi maat voivat halutessaan valita artiklan 3.4 mukaisia toimia (metsänhoito, maatalousmaan hoito, laidunmaan hoito ja kasvillisuuden palauttaminen), saada niistä nieluhyödyn ja kompensoida artiklan 3.3:n aiheuttaman mahdollisen nettolähteen. Valtioneuvosto päättikin vuoden 2006 lopulla, että Suomi soveltaa metsänhoitotoimenpidettä jo YK:n ilmastopimuksen Kioton pöytäkirjan ensimmäisellä sitoumuskaudella vuosina 2008–2012.

Kioton pöytäkirjan metsänhoidon päätöksen taustaksi tehtiin Metsäntutkimuslaitoksessa laskelmia metsien kasvihuonekaasujen taseista MELA-ohjelmistolla tehtyjen hakkuumahdollisuusarvioiden pohjalta (Sievänen ym. 2006). Tässä artikkelissa esitellään Kioton pöytäkirjan metsiä koskevia kohtia, kuvataan MELA-ohjelmistolla tehdyt hakkuumahdollisuusarviot, sekä kuvataan lyhyesti menetelmät, joiden avulla laskelmat tehtiin puustolle ja maaperälle kivennäis- ja turvemaille. Lopuksi arvioidaan laskelmien virhelähteitä ja energiapuun korjuun vaikutusta.

2 Kioton pöytäkirja ja metsät

Kioton pöytäkirjan 1. sitoumuskaudella 2008–2012 artiklan 3.3 mukaisen metsänhävityksen ja uudelleenmetsittämisen on arvioitu (Tomppo ym. 2006) aiheuttavan runsaan 2 milj. t CO₂-ekv/v (metaanin ja dityppioksidin määrät on muutettu ekvivalenteiksi CO₂-määräksi) päästön, joka on noin 2,5 % Suomen vuoden 2004 kokonaispäästöistä. Tärkeimpinä päästölähteinä ovat turvemaille perustettujen peltojen maaperä ja metsän raivaaminen rakennetuksi maaksi (Tomppo ym. 2006). Vuosina 2008–2012 alueet, joilla on tapahtunut artiklan 3.3 mukaisia toi-

mia, tulevat olemaan pinta-alaltaan yhteensä noin 0,5 milj. ha (Tomppo ym. 2006).

Kioton pöytäkirjaa sovellettaessa metsäksi katsotaan minimipinta-alaa suurempi alue, jossa puuston latvuspeittävyys on suurempi kuin raja-arvo. Hakkuiden tai muiden syiden vuoksi väliaikaisesti puuton mutta uudelleen puustoiseksi muuttuva alue luetaan myös metsäksi. Lisäksi on vaatimuksena, että metsän puiden on elinaikanaan kyettävä saavuttamaan minimipituus. Maat voivat valita nämä tunnuksat tietyissä rajoissa. Suomessa latvuspeittävyysrajaksi on valittu 10 %, minimikooksi 0,5 ha ja minimipituudeksi 5 m, jotka ovat samat kuin FAO:n metsävara-arvioinnissa käytetyt (Forest resources... 2000).

Artikla 3.4 antaa mahdollisuuden kompensoida artiklan 3.3 soveltamisen aiheuttama päästörasite ja saada hyötyä nielusta, joka Suomen metsien tapauksessa oli 26,2 milj. t CO₂/v vuonna 2004 (Metsätilastollinen vuosikirja 2006). Suomen tapauksessa artiklan 3.4 mukaisista nielutoimenpiteistä tulee kysymykseen vain metsänhoito, joka on määritelty laveasti toimiksi, joilla metsiä käytetään ja niiden kehitystä ohjataan inhimillisten tarpeiden mukaan (Report of the conference... 2002). Määritelmä kattaa talousmetsät ja ilmeisesti myös suojelualueet. Artiklan 3.4 alueiden voidaan viimeisimpien valtakunnan metsien inventointitulosten perusteella arvioida sisältävän kangasmetsiä 16,1 milj. ha, ojittettuja turvemaita 4,6 milj. ha ja ojittamattomia 1,6 milj. ha, yhteensä 22,3 milj. ha. Suomi ei voi hyötyä metsänielustaan täysimääräisesti, vaan sopimukseen on maittain määritelty metsänhoidon nieluhyödyille ensimmäiselle sopimuskaudelle maksimi eli katto, joka on Suomelle 0,59 milj. t CO₂/v (Report of the conference... 2002). Kattoluvut on määritelty sopimusneuvotteluissa oletuksella, että vain 15 % metsien nielusta kuuluisi Kioton pöytäkirjan hyvityksen piiriin (vuoden 1989 jälkeen tapahtunein toimenpitein saavutettu) ja loput ovat ”ilmaista”, sisältäen mm. ilmastomuutoksen kasvua lisäävän vaikutuksen (Report of the conference... 2006). Suomen kattoluku määräytyi vuoden 2001 kasvihuonekaasuarvioiden (Finland’s third... 2001) perusteella.

Suomen artiklan 3.4 perusteella saama hyöty on maksimissaan artiklan 3.3 päästövaikutuksen kompensointi plus nielukatto eli yhteensä noin 3 milj. t CO₂/v, joka vastaa noin 3,5 %:a vuoden 2004 ko-

konaispäästöistä. Ne ylittivät vuoden 1990 tason noin 10 milj. tonnilla CO₂/v, johon verrattuna metsien nieluhyöty 3 milj. t CO₂/v on merkittävä. Kun metsät on otettu artiklan 3.4 metsänhoidon piiriin Kioton pöytäkirjan 1. sitoumuskaudella, ne säilyvät siellä myös jatkositoumuskausilla. Mikäli metsät ovat joskus lähde, päästöt otetaan täysimääräisinä huomioon päästölaskennassa.

3 Hakkuumahdollisuusarviot

Laskelmien pohjana olivat MELA-ohjelmistolla tehdyt metsä- ja kitumaiden hakkuumahdollisuusarviot (Nuutinen ja Hirvelä 2006) vuosille 2005–2035, jotka koskevat puuston määrää, rakennetta sekä hakkuiden määrää vuosina 2005–2035. Niiden lähtötietoina käytettiin vuosina 2004–2005 mitatuista valtakunnan metsien 10. inventoinnin (VMI10) koeala ja puutiedoista muodostettua laskelma-aineistoa.

Puuntuotannossa olevien metsä- ja kitumaiden hakkuumahdollisuuksia kuvattiin kolmen hakkuulaskelman avulla (taulukko 1). Hakkuulaskelmassa I metsänkäsittelysuositusten mukaan hakattavissa oleva ja hakkuukypsäksi tuleva puusto määritettiin maksimoimalla nettotulojen nykyarvoa viiden prosentin korkokannalla ilman toiminnan kestävyysvaatimuksia. Laskelmassa hakattiin kaikki metsänkäsittelysuositusten mukaan hakattavissa olevat kohteet, jotka eivät täyttäneet kasvattamisen ehdoksi asetettua kannattavuusvaatimusta. Suurimman kestävän hakkuukertymän arvioissa (hakkuulaskelmassa II) otettiin huomioon myös taloudellinen ja puuntuotannon kestävyys. Laskelma perustui nettotulojen nykyarvon maksimointiin neljän prosentin korkokan-

nalla. Toteutuneiden hakkuiden ja niitä vastaavassa metsien kehitysarviossa (hakkuulaskelmassa III) esitettiin, miten metsävarat kehittyvät hakkuiden pysyessä viime vuosien keskimääräisellä tasolla. Laskelma perustui nettotulojen nykyarvon maksimointiin neljän prosentin korkokannalla ja kertymätasona käytettiin vuosien 2001–2005 keskimäärin toteutuneita puutavaralajeittaisia hakkuukertymiä. Hakkuulaskelmat ja hakkuumahdollisuusarviot tarkemmin, ks. Nuutinen ja Hirvelä (2006).

4 Menetelmä

4.1 Yleistä

Kasvihuonekaasutaseet arvioitiin puustotietojen perusteella samoin menetelmin kuin kasvihuonekaasuraportoinnissa (Greenhouse gas emissions in Finland... 2006). Kivennäismaiden maaperän osalta menetelmä on sama, jota on sovellettu Suomessa (Liski ym. 2006) ja Norjassa (de Wit ym. 2006) hiilitasearvioissa. Turvemaiden osalta on hyödynnetty tutkimusohjelman ”Turpeen ja turvemaiden käytön kasvihuonevaikutukset Suomessa” (Boreal Environment Research vol. 12, no. 2) tuloksia. Laskentamenetelmiä ja parametriarvoja on tuotettu Metlan tutkimusohjelmassa ”Suomen metsien hiilivarat, niiden muutokset ja sosioekonomiset kytkennät” (www.metla.fi/ohjelma/hms/).

Metsien hiilivarat koostuvat puuston ja kasvien biomassan sekä kuolleen orgaanisen aineen hiilestä. Puustossa hiiltä on noin 820 Tg (Liski ym. 2006), kivennäismaiden maaperässä 921 Tg (Ilvesniemi ym. 2002) ja soiden turpeessa 5600 Tg (Minkkinen 1999). Soiden turpeesta tosin suurin osa on avosoilla, jotka eivät olleet laskelmissa mukana. Kuollut orgaaninen aine on puiden ja kasvien tuottamaa kuollutta, vielä hajoamatonta ainesta. Mikäli puuston määrän muutos, kariketuos (= kuolleen orgaanisen aineen tuotos) ja orgaanisen aineen hajoamisen nopeus tunnetaan, pystytään näistä tiedoista laskemaan metsien hiilivarastojen muutokset.

Metsien vuotuinen kasvihuonekaasutase laskettiin hiilitaseen (hiilidioksidin vaihto) ja muiden kasvihuonekaasujen (metaani ja dityppioksidi) summana. Puuston hiilitase laskettiin kasvun ja poistuman ero-

Taulukko 1. Hakkuukertymät hakkuulaskelmissa I–III kolmena vuosikymmenenä (Nuutinen ja Hirvelä 2006).

	Hakkuukertymä kymmenvuotiskausittain, milj. m ³ /v		
	Laskelma I	Laskelma II	Laskelma III
2005–2014	86,7	66,4	56,5
2015–2024	60,9	70,8	56,5
2025–2034	69,3	70,9	56,5

Taulukko 2. Laskelmissa käytetyt pinta-alat. Kangas- ja turvemaiden metsien pinta-alat ovat MELA-hakkuumahdollisuusarvioiden mukaiset, jotka vastaavat valtakunnan metsien inventoinnin tuloksia (Korhonen ym. 2006).

Alue	Pinta-ala, milj. ha
Kangasmaat	16,1
Turvemaat, ojitettu	4,8
Turvemaat, ojitamaton	2,0

tuksena. Kuolleen orgaanisen aineen hiilitase puolestaan laskettiin puusto- ja poistumatiedoista tuotetun kariketuotoksen sekä mallitetun (kivennäismailla) ja emissiokertoimeen pohjautuvan (turvemailla) orgaanisen aineen hajoamisarvion perusteella. Metaanin ja dityppioksidin tase otettiin vain keskimääräisesti huomioon julkaistujen tulosten perusteella (Minkkinen 2007, Minkkinen ym. 2007b).

Nyt esitettävissä laskelmissa mallit ja parametrit (kariketuotuskertoimet, emissiokertoimet) olivat samat kuin Suomen kasvihuonekaasuraportoinnissa (Greenhouse gas emissions in Finland... 2006). Laskelmissa käytetyt pinta-alat olivat MELA-hakkuumahdollisuusarvioiden mukaiset (taulukko 2).

4.2 Puusto

MELA-hakkuumahdollisuusarvioista saatiin puulajeittaiset runkotilavuudet vuosille 2005, 2015, 2025 ja 2035. Puuston vuotuiset tilavuusarviot V_p saatiin lineaarisella interpolaatiolla. Puuston hiilen varastomuutos dC_{Puusto} laskettiin kahden vuotuisen tilavuuden erotuksen avulla:

$$dC_{\text{Puusto}} = q \sum_p c_p (V_{p,k} - V_{p,k-1}) \quad (1)$$

jossa c_p on puulajeittainen (p = mänty, kuusi, koivu ja muut lehtipuut) muuntokerroin runkotilavuudesta koko puun biomassa (Lehtonen ym. 2004), $V_{p,k}$ ja $V_{p,k-1}$ ovat vuosien k ja $k-1$ tilavuudet, ja q on biomassan hiilipitoisuus, joka oli 50 % ($q=0,5$) kaikissa ositteissa.

4.3 Lahopuu, karike ja maan orgaaninen aine

4.3.1 Kangasmaat, kariketuotos

Metsävarojen ja poistumatietojen perusteella estimoitiin vuotuinen kariketuotos (elävän biomassan kariketuotos, hakkuukarike ja luonnonpoistuma), jota käytettiin Yasso-mallin (Liski ym. 2005, Liski ym. 2006) syöttötietona kuten kasvihuonekaasuraportoinnissa (Greenhouse gas emissions in Finland... 2006). Yasso-mallin avulla laskettiin kangasmailla maaperän orgaanisen hiilen määrä vuotuisen kariketuotoksen avulla. Kariketuotosta arvioitaessa laskettiin runkotilavuudesta ensin biomassakomponenttien määrä ja sitten arvioitiin kuinka suuri osa biomassakomponenteista kuolee vuosittain käyttäen ns. kariketuotuskertoimia. Laskelmat tehtiin erikseen Pohjois- (kolme pohjoisinta metsäkeskusta) ja Etelä-Suomelle (muut metsäkeskukset), koska eräät Yasso-mallin ja kariketuotoksen parametrit eroavat toisistaan niiden välillä.

Elävästä puustosta tulevan vuotuisen karikkeen hiilimäärä K_E saatiin hakkuumahdollisuusarvioiden puulajeittaisten tilavuuksien V_p avulla

$$K_E = q \sum_p (\sum_i r_i c_{p,i}) V_p \quad (2)$$

jossa $c_{p,i}$ ovat puulajeittaiset muuntokertoimet runkotilavuudesta puun osien biomassoihin (i = lehdet/neulaset, elävät oksat, kuolleet oksat, runko, kuori, kanto, isot juuret, hienokuuret) ja r_i vastaavat kariketuotuskertoimet.

Hakkuukarikkeen hiilimäärä K_H laskettiin hakkuumahdollisuusarvioiden puulajeittaisten hakkuukertymien $V_{HK,p}$ avulla:

$$K_H = q \sum_p (\sum_{i \neq \text{runko}} c_{p,i}) (1 + u_p) V_{HK,p} + q \sum_p c_{p,\text{runko}} u_p V_{HK,p} \quad (3)$$

jossa u_p on puulajeittainen hukkapuuprosentti. Koko luonnonpoistuma on kariketta, jonka hiilimäärä on

$$K_L = q \sum_p c_p V_{Lp} \quad (4)$$

jossa V_{Lp} on puulajeittainen luonnonpoistuman määrä.

Luonnonpoistuman määränä vuodelle 2000 käy-tettiin Valtakunnan metsien inventoinnin 3000 pysy-vällä koealalla vuosina 1985–1995 tehtyihin seuran-tamittauksiin perustuvaa arviota männylle (1,2 milj. m³/v), kuuselle (0,4 milj. m³/v) ja lehtipuulle (1,1 milj. m³/v), yhteensä 2,7 milj. m³/v (Antti Ihalai-nen 2006, julkaisematon aineisto). Muiden vuosien luonnonpoistuma arvioitiin eri hakkuulaskelmissa suhteuttaen edellä mainitut luonnonpoistumaluvut kyseisen vuoden puustotilavuuteen. Luonnonpois-tuma jaettiin kivennäis- ja turvemaille kasvavan puuston tilavuuksien suhteessa.

Myös aluskasvit tuottavat kariketta, joka vaikuttaa hiilitaseeseen (Liski ym. 2006). Tässä laskelmassa sitä ei otettu kangasmailla huomioon, vaan oletettiin aluskasvien tuottaman karikevaraston olevan tasa-painotilassa (hajoaminen on yhtä suuri kuin tuotos), jolloin sillä ei ole vaikutusta kokonaistaseeseen.

4.3.2 Kangasmaat; lahoppuun, karikkeen ja maan orgaanisen aineen tase

Vuotuinen kariketuotos $K = K_E + K_H + K_L$ on syöte hajoamisen arviointiin, jolloin kangasmaiden orgaa-nisen hiilivaraston muutos voidaan kariketuotoksen ja maan orgaanisen aineen varaston koon, O , avulla esittää yhtälöllä

$$dC_{\text{Kangas}} = Y(O, K) \quad (5)$$

jossa Y tarkoittaa Yasso-mallia (Liski ym. 2005). Laskelmassa päivitettiin myös maan orgaanisen ai-neen varaston koko. Todellisuudessa Yasso-mallin syöte koostui useista komponenteista, joiden suh-teelliset määrät vaihtelivat kasvityyppien mukaan. Syötteen kuvaaminen yhden muuttujan avulla on esitystekninen yksinkertaistus.

Yasso-mallin estimoimaan maan hiilivaraston muutoksen suuruuteen vaikuttaa kariketuotoksen lisäksi maan orgaanisen aineen varaston koko, jol-loin tarkastelujakson alkuvaraston suuruudella on huomattava vaikutus jakson varastomuutoksiin. Kasvihuonekaasuraportoinissa tehtiin mallin alus-tus jaksolle 1990–2004 ajamalla Yassoa vuodesta 1823 vuoteen 1922 käyttäen asiantuntija-arvioon perustuvaa kariketuotosta ja vuosina 1923–1990 Valtakunnan metsien inventoinnin aineistoihin pe-

rustuvaa kariketuotosta (Greenhouse gas emissions in Finland... 2006). Vuodet 1990–2004 laskenta oli kasvihuonekaasuraportoinnin mukainen ja tässä tut-kimuksessa laskelmia jatkettiin kasvihuonekaasura-portointintoinnin vuoden 2004 tilanteesta eteenpäin MELA-hakkuumahdollisuusarvioiden pohjalta.

4.3.3 Turvemaa; lahoppuun, karikkeen ja maan orgaanisen aineen tase

Metsäisillä turvemaille turpeen hajoamista ei tällä hetkellä pystytä arvioimaan mallien avulla, vaan se estimoitiin mittauksiin perustuvia pinta-alape-rustaisia hiilen päästökertoimia käyttäen. Turpeen hajoamisen päästökertoimet koskevat vain ojitettuja soita. Sen vuoksi ojittamattomien, metsäisen soiden (taulukko 2) maaperän hiilivaraston muutosta ei sisällytetty laskelmiin.

Maanalainen kariketuotos (puiden ja aluskasvien juurikarike) otettiin huomioon turpeen hiilivarastoa lisäävänä tekijänä. Maanpäällisen kariketuotoksen oletettiin hajoavan ojitetuilla turvemaille kuten kangasmailla. Sen vuoksi turvemaiden laskenta ta-pahtui kahdessa osassa, erikseen maanpäällisessä ja maanalaisessa ositteessa. Puiden vuotuinen kari-keetuotos laskettiin kuten yllä on kuvattu. Se jaettiin maanpäälliseen osaan (lehdet/neulaset, oksat, runko, kuori ja kanto) K_{PA} ja maanalaiseen osaan (isot juu-ret ja hienajuuret) K_{PB} . Aluskasvien kariketuotos voi kokonaisuutena olla turvemaille merkittävä ja se arvioitiin Laihon ym. (2003) tulosten perusteella, jotka koskevat ojitettuja turvemaita. Näissä laskel-missa käytettiin keskimääräisenä aikana ojituksesta 25 vuotta. Myös aluskasvien kariketuotos jaettiin maanpäälliseen K_{AA} ja maanalaiseen K_{AB} osaan.

Maanpäällisen kariketuotoksen aiheuttama varas-tomuutos laskettiin kuten kangasmaille ja se voidaan esittää yhtälöllä

$$dC_{\text{SuoA}} = Y(O_{\text{Suo}}, K_{PA} + K_{AA}) \quad (6)$$

jossa O_{Suo} on maanpäällistä karikesyötettä vastaava orgaanisen aineen varasto metsäisillä turvemaille.

Maanalaisen ositteen hiilivaraston l. turpeen muu-tokseen vaikuttaa turpeen hajoaminen ja maanalai-nen kariketuotos. Turpeen hajoamisen CO₂-päästöjä on mitattu erilaisille suotyypeille (Minkkinen ym.

2007a). Kariketuotoksen ja turpeen hajoamisnopeuden avulla voidaan arvioida ojitettujen, metsäisten soiden turpeen vuotuinen varastomuutos:

$$dC_{\text{Turve}} = K_{PB} + K_{AB} - \sum_s A_s e_s \quad (7)$$

jossa A_s ja e_s ovat pinta-alat ja päästökertoimet suotyypeittäin s . Laskennassa eroteltiin viisi erilaista suotyyppiä, joiden yhteenlaskettu pinta-ala oli 4,8 milj. ha. Suotyyppien pinta-alajakauma ja päästökertoimet on kuvattu kasvihuonekaasuraportissa *Greenhouse gas emissions in Finland...* (2006).

4.4 Tase

Kun hiilitaseeseen yhdistettiin metaanin ja dityppioksidin vaikutus, saatiin metsien vuotuinen kasvihuonekaasutase. Luonnontilaiset suot ovat merkittäviä metaanin ja rehevät, ojitetut suot dityppioksidin lähteitä. Kangasmaiden metaanin ja dityppioksidin päästöjä ei tarkasteltu. Niiden tiedetään olevan vähäiset turvemaiden päästöihin verrattuna. Metaanin ja dityppioksidin päästöarviot otettiin äskettäin valmistuneista tutkimuksista (Minkinen 2007, Minkinen ym. 2007b), joiden mukaan dityppioksidemissio on 3,1 milj. t CO₂-ekv ja metaaniemissio on 1,1 milj. t CO₂-ekv, eli yhteensä 4,2 milj. t CO₂-ekv. Tulokset koskevat vain ojitettuja soita, joten ojittamattomille metsäisille soille ei tehty metaanin eikä dityppioksidin arviota.

Metsien vuotuinen kasvihuonekaasutase (milj. t CO₂-ekv) on siis hiilitasekomponenttien summa vähennettynä metaani- ja dityppioksidipäästöillä (4,2 milj. t CO₂-ekv):

$$\text{KHKtase} = dC_{\text{Puusto}} + dC_{\text{Kangas}} + dC_{\text{Suoa}} + dC_{\text{Turve}} - 4,2 \quad (8)$$

4.5 Taseiden epävarmuudet

Kasvihuonekaasutaseiden laadinnassa käytettiin samoja menetelmiä kuin vuoden 2006 kasvihuonekaasuraportoinnissa, joten myös tässä esitettyjen tulosten epävarmuudet perustuvat kasvihuonekaasuraportoinnin arvioihin. Hakkuumahdollisuusarvioihin liittyviä epävarmuuksia ei erikseen arvioitu.

Raportissa *Greenhouse gas emissions in Finland...* (2006) on arvioitu, että puuston ja maaperän vuotuisen tasearvioiden keskihajonnat ovat 7,8 milj. t CO₂ ja 4,8 milj. t CO₂ (tässä puuston taseen hajonta-arviossa on käytetty kauden 1990–2004 keskimääräistä puuston nielua 25,3 milj. t CO₂). Kun puuston ja maaperän keskihajonnat yhdistettiin, metsien kasvihuonekaasutasearvion keskihajonta oli 9,2 milj. t CO₂.

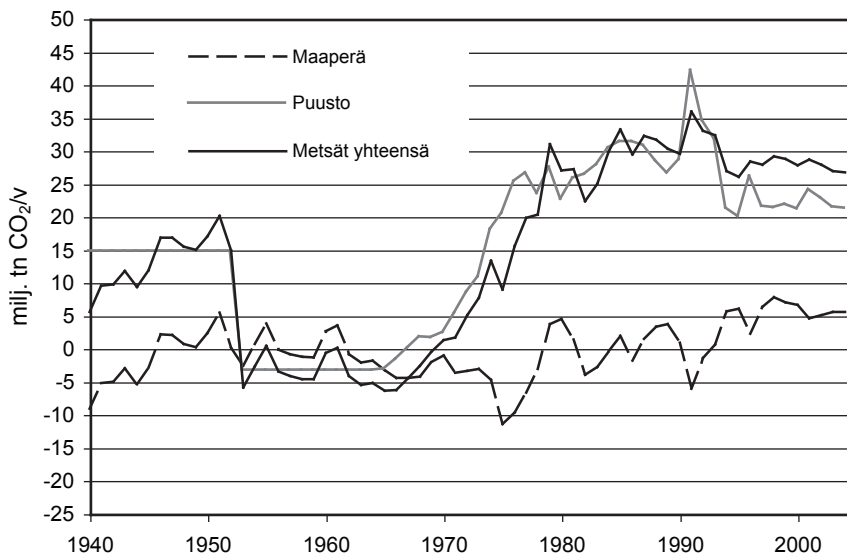
Epävarmuusindikaattorina käytettiin 95 %:n luottamusväliä (arvio $\pm 2 \times$ keskihajonta) kaikille laskelmille ja kaikilla ajanhetkillä. Luottamusväli on puustolle $\pm 15,6$ milj. t CO₂ sekä metsien kasvihuonekaasutaseelle $\pm 18,4$ milj. t CO₂.

5 Tuloksia

5.1 Varastomuutokset ennen MELA-hakkuumahdollisuusarvioita

MELA-hakkuumahdollisuusarvioihin perustuvat laskelmat jatkavat kasvihuonekaasuraportoinnin tasetta vuodesta 2005. Kasvihuonekaasuraportoinnin perusteella metsien hiilitase kaudella 1940–2004 seurailee puuston tasetta (kuva 1). Puuston hiilinielu on vakio vuosien 1940–1952 ja 1953–1963 välillä, jolloin ei ollut uusia inventointituloksia saatavilla. Vuodesta 1964 (VMI5) alkaen inventoinnit tarkentuivat ja mittauksia alettiin tehdä yhtenä vuonna muutaman metsälautakunnan/-keskuksen alueella, joten vuosittain alkoi tulla uutta tietoa, mikä näkyy puuston hiilinielukäyrän vuosittaisena vaihteluna. Kun vuoden 1960 ympärillä poistuma oli kasvua suurempi, metsät olivat hiilen lähde. Niin myös 1960-luvun lopulta jatkunut puuston tilavuuden kasvu näkyy hiilitaseen muuttumisessa selväksi nieluksi (vrt. Liski ym. 2006).

Heilahtelut taseissa johtuvat hakkuumäärien vaihteluista. Äkilliset nykäykset ylöspäin puuston taseessa johtuvat pääosin vähäisistä hakkuista. Pieni hakkuumäärä tuottaa vähän hakkuukariketta ja tällöin maan tase pienenee. Lyhyellä aikavälillä (muutama vuosi) puusto ja maaperä kompensoivat näin toisiaan. Kymmenien vuosien aikajaksossa maaperän tase seurailee puustoa; esim. maaperän taseen trendinomainen lisääntyminen 1970-luvun loppuvuosista noin vuoteen



Kuva 1. Kasviuonekaasuraportoinnin (Greenhouse gas emissions in Finland... 2006) mukaisesti laskettu metsien vuotuinen hiilitase 1940–2004.

2000. Tämä on ymmärrettävissä siten, että puuston tilavuuden kasvaessa kuolleen orgaanisen aineen tuotos (karikesadanta, luonnonpoistuma) yleensä kasvaa ja kuolleen orgaanisen aineen varastot kasvavat myös. Päinvastaisessa tapauksessa kuolleen aineen syöte vähenee ja siten myös varastot vähenevät. Maaperän taseen muutoksiin liittyy viiveitä, koska osa orgaanisesta aineesta hajoaa hitaasti.

5.2 Kasviuonekaasutaseet MELA-hakkuumahdollisuusarvioiden mukaan

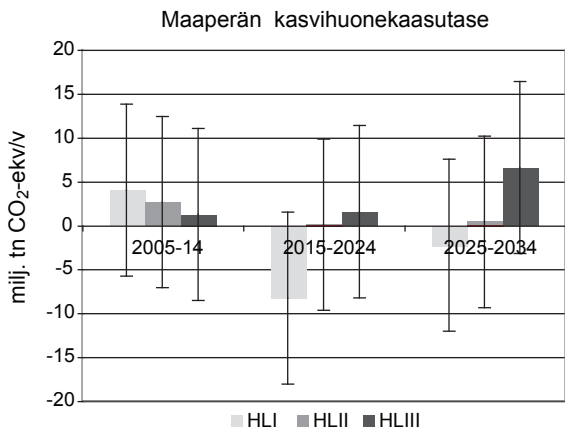
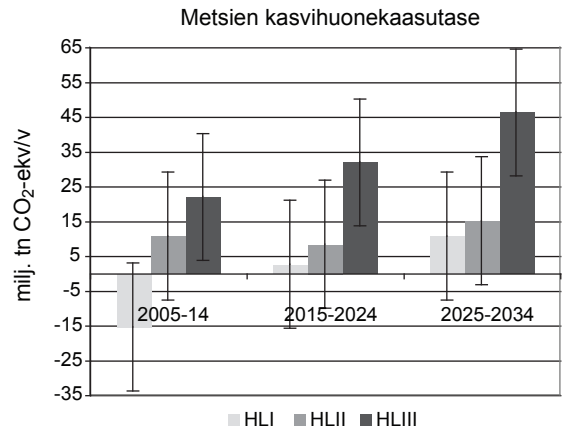
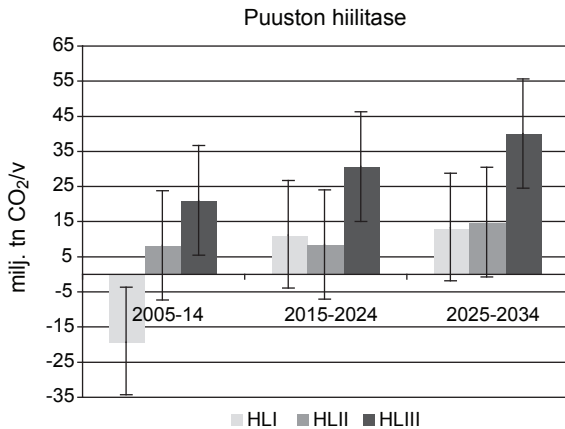
Hakkuumahdollisuusarvioissa kasvu on yleensä poistumaa suurempi ja sen vuoksi myös metsät ovat kokonaisuutena nielu (kuva 2). Laskelmassa I puuston tilavuus vähenee 2005–2014 (Nuutinen ja Hirvelä 2006), joten puusto on hiilen lähde aiheuttaen sen, että maaperä on lähde seuraavilla kymmenvuotiskausilla 2015–2034. Tämä johtuu siitä, että kauden 2005–2014 voimakkaissa hakkuissa syntyi paljon hakkuutähdettä, joka hajoaa vielä seuraavilla kymmenvuotiskausilla. Laskelmissa II ja III puuston määrä kasvaa koko tarkastelujakson ja tällöin myös maaperä on nielu.

Kasviuonekaasuraportoinnin vuoden 2004 puuston tase on 21,2 milj. t CO₂ ja metsien tase 26,2 milj.

t CO₂ (Metsätilastollinen vuosikirja 2006 ja kuva 1). Raportoinnissa ei tarkasteltu metaania eikä dityppioksidia. Laskelman III kauden 2005–2014 tase ilman metaanin ja dityppioksidin vaikutuksia (27,1 milj. t CO₂/v) on varsin lähellä raportoitua metsän tasetta.

5.3 Energiapuun korjuun vaikutus

Energiapuun korjuu saattaa tulevaisuudessa vaikuttaa merkittävästi metsien hiilitaseisiin. Edellä esitetyissä laskelmissa kaikki kuollut orgaaninen aine (karike ja hakkuutähteet) siirtyy syötteenä maaperän varastoon ja hajoaa siellä. Energiapuun korjuussa osa puiden kannoista, juurista ja latvuksesta viedään pois, jolloin syöte maaperän varastoon vähenee. Sen vaikutuksia metsien kasviuonekaasutaseisiin havainnollistettiin toistamalla hakkuulaskelman III arvioihin perustuvat kasviuonekaasulaskennat siten, että karikesyötteestä vähennettiin energiapuun korjuun osuus. Energiapuun käytön oletettiin lisääntyvän nykytasosta vajaasta 4 milj. m³/v tasaisesti oletettuun teknisesti käyttökelpoiseen maksimiarvoonsa 15 milj. m³/v vuoteen 2030 mennessä (Kara 2004). Energiapuun jakautuminen eri lajeihin



Kuva 2. Metsä ja kitumaiden puuston hiilitase, maaperän ja metsien kasvihuonekaasutase (+ = nielu, – = lähde) eri hakkuumahdollisuusarvioilla (taulukko 1) kymmenvuotiskausittain. Metsien ja maaperän kasvihuonekaasutaseet sisältävät metsäisten turvemaiden metaanin ja dityppioksidin päästöarviot (Minkkinen 2007, Minkkinen ym. 2007b), 4,2 milj. t CO₂-ekv. Pystyviivat ovat kasvihuonekaasuraportoinnin 95 %:n luottamusvälit, puusto: ± 15,6 milj. t CO₂, maaperän kasvihuonekaasutase: ± 9,8 milj. t CO₂, metsien kasvihuonekaasutase: ± 18,4 milj. t CO₂.

(kanto, oksat ym.) otettiin raportista Metsäenergian tuotannon... (2006). Energiapuun tilavuudet muutettiin biomassaksi olettamalla sille tiheys 500 kg kuiva-ainetta/m³. Tiheys on arvioitu ehkä todellista suuremmaksi (vrt. Hakkila 1975), joten ainakaan tältä osin laskelma ei aliarvioi energiapuun korjuun vaikutusta.

Laskelman mukaan (taulukko 3) vuotuinen ero nettonieluissa on maksimissaan vuonna 2030, jolloin ero on 3,1 milj. t CO₂/v. Kioton pöytäkirjan 1. sitoumuskaudella ero on 2,1 milj. t CO₂/v. Muissa laskelmissa (I ja II) energiapuun korjuun vaikutus on hyvin samankaltainen. Näin arvioituna on varsin todennäköistä, että hakkuutähteinä (kannot, oksat, neulaset) käyttöön otettava bioenergia ei uhkaa metsien asemaa hiilen nettonieluna (laskelmat II ja III, laskelma I vuoden noin 2015 jälkeen).

Taulukko 3. Arviot metsien kasvihuonetaseista ilman energiapuun korjuuta ja olettamalla energiapuun korjuun lisääntyvän nykyisestä (alle 4 milj. m³/v) korjuumäärästä tasaisesti vuoden 2030 korjuumäärään (15 milj. m³/v).

	Kasvihuonekaasutase milj. t CO ₂ -ekv (+ = nielu, – = lähde)				
	Kioto ^{a)}	Laskelma			
		2010	2015	2020	2030
III	20,7	21,5	28,5	29,5	44,6
III, energiapuu korjataan	18,6	19,3	26,0	26,8	41,5

^{a)} Kauden 2008–2012 keskiarvo

6 Tulosten tarkastelua

Laskelmista ilmenee, että jos metsien hakkuut eivät lisääny suuresti viimeaikaisesta tasosta, metsät tulevat olemaan kasviuonekaasujen nielu. Tämä mahdollistaa sen, että Kioton pöytäkirjan artiklan 3.4 nieluhyöty (noin 3 milj. t CO₂/v) on saatavissa 1. sitomuskaudesta alkaen (laskelmat II ja III). Hakkuulaskelman III (toteutuneiden hakkuiden taso) tapauksessa nieluhyöty saadaan myös virhemarginaalit huomioiden. Hakkuulaskelmassa I metsät ovat lähde kaudella 2005–2014, eikä myöskään kaudella 2015–2024 artiklan 3.4 hyötyä saavutettaisi täysin tämän laskelman mukaan. Mikäli hakkuut toteutuvat tulevaisuudessa hakkuumahdollisuusarvioiden II ja III suuntaisina, Kioton protokollan 1. sitomuskauden metsänhoidon nieluhyvitys voitaisiin saavuttaa ilman mitään erityistoimia nielujen lisäämiseksi kaudella 2008–2012. Kaipainen ym. (2004) ovat arvioineet, että pidentämällä kiertoaikaa 90 vuodesta 110 vuoteen nieluhyvitys (0,59 milj. t CO₂/v) saavutettaisiin 0,3–0,5 milj. ha metsäpinta-alalla. Kaipainen ym. (2004) eivät tarkastelleet artiklan 3.3 rasitteen kompensatiota. Tulos osoittaa, että artiklan 3.4 vaatimukset metsien potentiaaliseen hiilensidontakykyyn nähden ovat pienet.

Energiapuun korjuun vaikutus on melko vähäinen metsien kasviuonekaasutaseeseen. Tulos saattaa tuntua yllättävältä verrattaessa vuoden 2030 energiapuun korjuumäärää (15 milj. m³/v) hakkuulaskelman I kauden 2005–2014 hakkuisiin, jotka ovat n. 20 milj. m³/v suuremmat kuin laskelmassa II (taulukko 1) ja jotka kääntävät metsien kasviuonekaasutaseen selvästi nielusta huomattavaksi lähteeksi (kuva 2). Selitys vaikutuseroihin on se, että hakkuut vähentävät puuston tasetta, joka on kasviuonekaasutaseen ylivoimaisesti suurin tekijä. Energiapuun korjuu ei vaikuta elävään puustoon vaan ainoastaan maaperän varaston syötteeseen. Lisäksi karikke hajoaa joka tapauksessa: kymmenen vuoden jälkeen kuolleesta orgaanisesta aineesta on jäljellä vajaat 25 %, siis myös energiapuun korjuun vaikutuksesta maaperän varastoon.

Energiapuun korjuun vaikutuksia arvioitaessa ei otettu huomioon sen vaikutuksia metsien kasvuun tai karikkeen hajoamiseen. Kokopuukorjuun jälkeisiä kasvutappioita on raportoitu viime aikoina (esim. Jacobson ym. 2000). Mikäli karikkeen ha-

jotus tapahtuukin hitaammin kuin nyt on oletettu, sen vaikutus näkyikin voimakkaampana maaperän hiilivarastossa kuin laskelmassa. Tämän perusteella laskelma energiapuun korjuun vaikutuksesta mieluemmin ali- kuin yliarvioi todellisia vaikutuksia.

Valtakunnan metsien inventoinnin arvio metsä- ja kitumaiden puuston kasvulle on 97,1 milj. m³/v kaudelle 1999–2005 (Korhonen ym. 2006). MELA-arvioissa kasvu oli suurimmillaan 90,2 milj. m³/v kaudella 2005–2015, eli runsas 6,9 milj. m³/v havaittua pienempi. Hiilenä tämä vastaa noin 8,8 milj. t CO₂/v. Tämän perusteella laskelmien alkupäässä arvioidut nielut saattavat olla aliarvioita.

Soiden dityppioksidin ja metaanin päästöt otettiin julkaistuista tuloksista (Minkkinen 2007, Minkkinen ym. 2007b) ja ne olivat vakiot kaikissa laskelmissa. Puuston määrä ja ojitustilanne vaikuttavat mm. metaanin päästöihin. Aluskasvien kariketuotos ojitetuilla turvemaidella riippuu ojituksesta kuluneesta ajasta (Laiho ym. 2003). Laskelmissa käytettiin vakioaikaa 25 v ojituksesta. Metsien käsittelyjen vaikutukset eivät siis heijastu soiden kasviuonekaasutaseisiin tältä osin. Lisäksi hakkuut laskelmissa oletettiin tapahtuvaksi ojitetuilla soilla ja edelleen oletettiin metsäisten ojitamattomien soiden (n. 0,85 milj. ha) olevan tasapainossa (ei lähde eikä nielu). Laskelmia tehdessä arvioitiin, että tehdyt yksinkertaistukset eivät muuta tulosten suuruusluokkia. Turpeen kasviuonekaasutaseeseen komponenttien (dC_{Suoa} , dC_{Turve} , metaani, dityppioksidi) arviointiin sisältyy vielä suuria epävarmuuksia (joita ei ole pystytty tarkasti arvioimaan), joten turvemaiden osalta laskelmia on pidettävä suuntaa antavana.

Metsäisten, ojitamattomien turvemaiden maaperää ei tarkasteltu laskelmissa. Turvenäytteistä analysoituna luonnontilaisten soiden pitkän aikavälin hiilikertymä on 18,5 g C/m² vuodessa (Turunen ym. 2002). Mikäli puustoisten, ojitamattomien soiden turpeen hiilen kertymä olisi saman suuruinen, merkitsisi se 2,0 milj. hehtaarilla (taulukko 2) 1,4 milj. t CO₂ vuotuista nielua. Toisaalta, viimeaikaisten vuomittausten mukaan (Saarnio ym. 2007), luonnontilaiset suot voivat olla olosuhteista riippuen joko lähteitä tai nieluja. Näin ollen virhe, joka puustoisten, ojitamattomien soiden maaperän jättämisestä pois laskelmista aiheutuu, lienee maksimissaan 1,4 milj. t CO₂ /v.

Laskelmien epävarmuusarviona käytettiin kasviuonekaasurapotoinnin vastaavia arvioita, joten

varsinaisesti laskelmiin ja sen oletuksiin liittyviä epävarmuuksia ei arvioitu. Kasvihuonekaasuraportoinnin epävarmuusarviossa on mukana myös karikkeen hajotuksen mallin epävarmuudet, jotka ovat huomattavat (Peltoniemi ym. 2006). Epävarmuuksissa ei ole arvioitu ilmaston vaikutuksia: ilmaston on oletettu pysyvän samanlaisena koko tarkastelujakson. Ilmasto-olosuhteet vaikuttavat mm. puiden kasvuun ja orgaanisen aineen hajoamiseen. Toisaalta hakkuumahdollisuusarviot ovat olemassa olevan tiedon, sovellettujen mallien ja tehtyjen oletusten perusteella laskettuja arvioita metsien käyttömahdollisuuksista. Ne eivät ole puun tarjonnan tai todennäköisesti toteutuvan tulevaisuuden ennusteita. Arviot eivät myöskään ole toteutettavaksi tarkoitettuja hakkuusuunnitteita (Nuutinen ja Hirvelä 2006). Hakkuumahdollisuusarvioita voidaan käyttää puuston määrien ja metsien käyttömahdollisuuksien havainnollistamiseen. Sama rajoitus pätee siis myös tässä esitettyihin kasvihuonekaasulaskelmiin; ne kertovat kasvihuonekaasutaseista erilaisilla puuston määrän ja puun käytön tasoilla. Siinä tapauksessa, että haluttaisiin tehdä ennusteita, joiden todennäköisyyttä ja epävarmuutta arvioitaisiin, olisi tarkasteluun otettava yhdellä kertaa kaikki epävarmuustekijät: raakapuumarkkinat, ilmasto, mallien ja laskentaparametrien epävarmuudet.

Kiitokset

Kiitämme Timo Penttilää turvemaihin liittyvistä neuvoista sekä käsikirjoituksen tarkastajia Kari Minkkistä ja Taru Palosuota runsaista hyvistä ja huomioitetuista parannusehdotuksista.

Kirjallisuus

- de Wik, H., Palosuo, T., Hylen, G. & Liski, J. 2006. A carbon budget of forest biomass and soils in southeast Norway calculated using a widely applicable method. *Forest Ecology and Management* 225(1–3): 15–26.
- Finland's third national communication under the United Nations framework convention on climate change. 2001. Kuusisto, E & Hämeikoski, K. (toim.). Karisto,

Hämeenlinna, ISBN 952-11-1015-5, ISBN 952-11-1016-3. Saatavissa: <http://unfccc.int/resource/docs/natc/finnc3.pdf>.

- Forest resources of Europe, CIS, North America, Australia, Japan and New Zealand. 2000. UN-ECE/FAO contribution to the Global Forest Resources Assessment 2000. United Nations, New York–Geneva.
- Greenhouse gas emissions in Finland 1990–2004. 2006. National inventory report to the UNFCCC, 15 April 2006. [Verkkodokumentti]. Tilastokeskus. Saatavissa: http://www.stat.fi/tup/khkinv/nir_unfccc_2006.pdf. [Viitattu 16.4.2007].
- Hakkila, P. 1975. Kanto- ja juuripuun kuoriprosentti, puuaineen tiheys ja asetoniutteiden määrä. *Folia Forestalia* 224. 14 s.
- Iivesniemi, H., Forsius, M., Finér, L., Holmberg, M., Kareinen, T., Lepistö, A., Piirainen, S., Pumpanen, J., Rankinen, K., Starr, M., Tamminen, P., Ukonmaanaho, L. & Vanhala, P. 2002. Carbon and nitrogen storages and fluxes in Finnish forest ecosystems. Julkaisussa: Käyhkö, J. & Talve, L. (toim.). Understanding the global system. The Finnish perspective. The Finnish Global Change Research Programme FIGARE. ISBN 951-29-2407-2. s. 69–82.
- Jacobson, S., Kukkola, M., Mälkönen, E. & Tveite, B. 2000. Impact of whole-tree harvesting and compensatory fertilization on growth of coniferous thinning stands. *Forest Ecology and Management* 129: 41–51.
- Kaipainen, T., Liski, J., Pussinen, A. & Karjalainen, T. 2004. Managing carbon sinks by changing rotation length in European forests. *Environmental Science & Policy* 7(3): 205–219.
- Kara, M. (toim.). 2004. Energia Suomessa. Tekniikka, talous ja ympäristövaikutukset. Edita Publishing Oy, Helsinki. 368 s.
- Korhonen, K.T., Heikkinen, J., Henttonen, H., Ihalainen, A., Pitkänen, J. & Tuomainen, T. 2006. Suomen metsävarat 2004–2005. *Metsätieteen aikakauskirja* 1B/2006: 183–221.
- Laiho, R., Vasander, H., Penttilä, T. & Laine, J. 2003. Dynamics of plant-mediated organic matter and nutrient cycling following water-level drawdown in boreal peatlands. *Global Biogeochemical Cycles* 17(2), 1053. doi:10.1029/2002GB002015.
- Liski, J., Palosuo, T., Peltoniemi, M. & Sievänen, R. 2005. Carbon and decomposition model Yasso for forest soils. *Ecological Modelling* 189(1–2): 168–182.

- , 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.
- Metsäenergian tuotannon, korjuun ja käytön kustannustehokkuus sekä tukijärjestelmien vaikuttavuus päästökaupan olosuhteissa. 2006. Maa- ja metsätalousministeriön tilaama selvitys. Pöyry Forest Industry Consulting Oy.
- Minkkinen, K. 1999. Effect of forestry drainage on the carbon balance and radiative forcing of peatlands in Finland. Väitöskirja. Helsingin yliopisto, metsäekologian laitos. 42 s. ISBN 952-91-1547-4.
- 2007. Käsikirjoitus dityyppioksisipäästöistä.
- , Laine, J., Shurpali, N., Mäkiranta, P., Alm, J. & Penttilä, T. 2007a. Heterotrophic soil respiration in forestry-drained peatlands. *Boreal Environment Research* 12: 115–126.
- , Penttilä, T. & Laine, J. 2007b. Tree stand volume as a scalar for methane fluxes in forestry-drained peatlands in Finland. *Boreal Environment Research* 12: 127–132.
- Nuutinen, T. & Hirvelä, H. 2006. Hakkuumahdollisuudet Suomessa valtakunnan metsien 10. Inventoinnin perusteella. *Metsätieteen aikakauskirja* 1B/2006: 223–237.
- Peltoniemi, M., Palosuo, T., Monni, S. & Mäkipää, R. 2006. Factors affecting the uncertainty of sinks and stocks of carbon in Finnish forests soils and vegetation. *Forest Ecology and Management* 232(1–3): 75–85.
- Report of the conference of the parties on its seventh session, held at Marrakesh from 29 October to 10 November 2001. 2002. Part two: Action taken by the conference of the parties, decision 11/CP.7 Land use, land-use change and forestry. United Nations Framework Convention on Climate Change, FCCC/CP/2001/13/Add.1.
- Report of the conference of the parties serving as the meeting of the parties to the Kyoto Protocol on its first session, held at Montreal from 28 November to 10 December 2005. 2006. Part two: Action taken by the conference of the parties serving as the meeting of the parties to the Kyoto Protocol, decision 16/CMP.1 Land use, land-use change and forestry. United Nations Framework Convention on Climate Change, FCCC/KP/CMP/2005/8/Add.3.
- Saarnio, S., Morero, M., Shurpali, N.J., Tuittila, E-S, Mäkilä, M. & Alm, J. 2007. Annual CO₂ and CH₄ fluxes of pristine boreal mires a background for the lifecycle analyses of peat energy. *Boreal Environment Research* 12: 101–113.
- Selvitys Suomen metsiä koskevasta nieluarvioista. 2004. Maa- ja metsätalousministeriön tilaama muistio. Metsäntutkimuslaitos, 10.11.2004. [Verkkodokumentti]. Maa- ja metsätalousministeriö. Saatavissa: http://www.mmm.fi/luonnonvarat_vesivarat_maanmittaus/luonnonvarapolitiikka/ilmastopolitiikka/. [Viitattu 16.4.2007].
- Sievänen, R., Kareinen, T., Hirvelä, H. & Ilvesniemi, H. 2006. Kioton pöytäkirjan artiklan 3.4 metsänhoitoimenpiteen määrällinen vaikutus – päivitys vuoden 2004 raportista. Asiantuntijaselvitys maa- ja metsätalousministeriölle, Metsäntutkimuslaitos, 31.10.2006. [Verkkodokumentti]. Maa- ja metsätalousministeriö. Saatavissa: <http://www.mmm.fi/fi/index/etusivu/ymparisto/ilmastopolitiikka/ilmastopolitiikka.html>. [Viitattu 16.4.2007].
- Tomppo, E., Tuomainen, T., Alm, J., Ilvesniemi, H., Kareinen, T., Laine, J., Penttilä, T. & Sievänen, R. 2006. Arvio Kioton pöytäkirjan artiklan 3.3 mukaisten toimenpiteiden (metsittäminen, uudelleen metsittäminen ja metsien hävittäminen) määrällisistä vaikutuksista Suomelle vuosina 2008–2012. Asiantuntijaselvitys maa- ja metsätalousministeriölle, Metsäntutkimuslaitos, 26.10. 2006. [Verkkodokumentti]. Maa- ja metsätalousministeriö. Saatavissa: <http://www.mmm.fi/fi/index/etusivu/ymparisto/ilmastopolitiikka/ilmastopolitiikka.html>. [Viitattu 16.4.2007].
- Turunen, J., Tomppo, E., Tolonen, K. & Reinikainen, A. 2002. Estimating carbon accumulation rates of undrained mires in Finland – application to boreal and subarctic regions. *The Holocene* 12(1): 79–90.

27 viitettä