

1.3 Suomen metsäenergia- ja hiilivarat ja niiden käyttö ilmastonmuutokseen sopeutumisessa

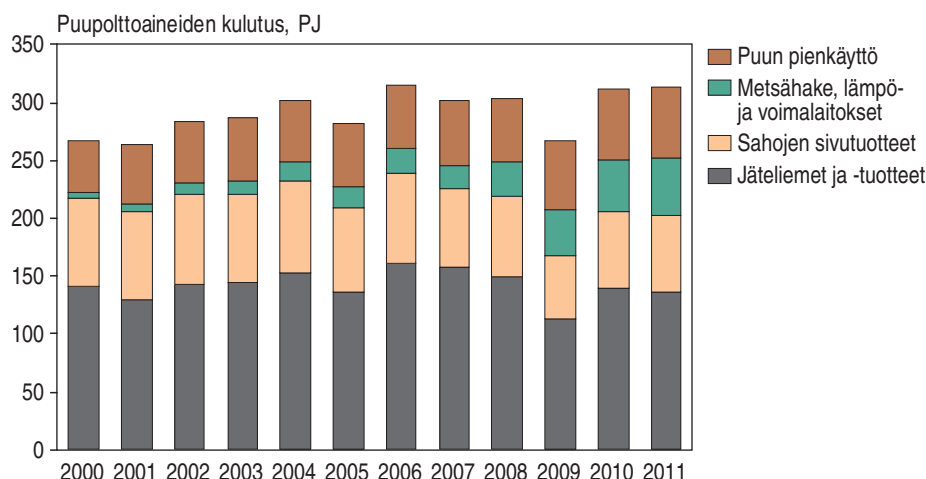
Risto Sievänen, Antti Asikainen, Elina Vapaavuori, Hannu Ilvesniemi

Maapinta-alastamme valtaosa, kolme neljäsosaa, on metsiä, kun maapallon maapinta-alasta vain noin 30 % on metsiä. Olemme erikoisasemassa metsävarojen suhteen: asukasta kohden laskettuna Suomessa on metsäalaa noin 4 hehtaaria ja runkopuuta runsaat 400 m³, kun maapallolla vastaavien lukujen arvioidaan olevan keskimäärin noin 0.6 hehtaaria ja 80 m³. Metsissämme kasvaa puuta jokaiselle suomalaiselle vuosittain 18 m³ ja metsien hiilinielu on keskimäärin 8 tonnia hiilidioksidia per asukas. Vuotuisen kasvun perusteella arvioiden jokainen suomalainen pystyisi hyvinkin kattamaan keskikokoisen omakotitalon lämpöenergiatarpeen.

Suomen metsäpinta-ala, 26 milj. hehtaaria, on kuitenkin vain 0.5 % globaalista metsäpinta-alasta ja nykyinen puuston määrä, 2300 milj. m³, on noin 0.4 % maailman metsävaroista. Metsiemme puuston kasvu on lisääntynyt jatkuvasti 1970-luvulta lähtien ja on nyt 104 milj. m³ vuodessa. Myös puuston määrä on lisääntynyt samalla ajanjaksolla. Metsäpinta-alasta talousmetsiä on 82 % ja loput 18 % on joko täysin suojeltu tai osittaisessa puuntuotannossa. Suojelualueet ovat keskimääräistä vähäkasvuisempia: niillä puuston vuotuinen kasvu on vain noin 3 milj. m³, joten suurin osa kasvusta on talousmetsissä. Vuotuisesta kasvusta on hakattu viime vuosikymmenellä keskimäärin noin 52 milj. m³. Kokonaispoistuma, joka sisältää hakkuiden lisäksi hakkuutähteet, pientalojen polttopuun, kotitarvepuun ja kuolevat puut (luonnonpoistuma) on runsaat 15 milj. m³ suurempi kuin kaupalliset hakkuut. Nykyisten suositusten mukaan suurin kestävä talousmetsien hakkuiden taso, jolla hakkuumahdollisuudet eivät tulevaisuudessa laske, on 70 milj. m³/v. Näin ollen puuston määrässä havaittu kasvu johtuu jatkuvasti kasvua pienemmistä hakkuista viime vuosikymmenien aikana.

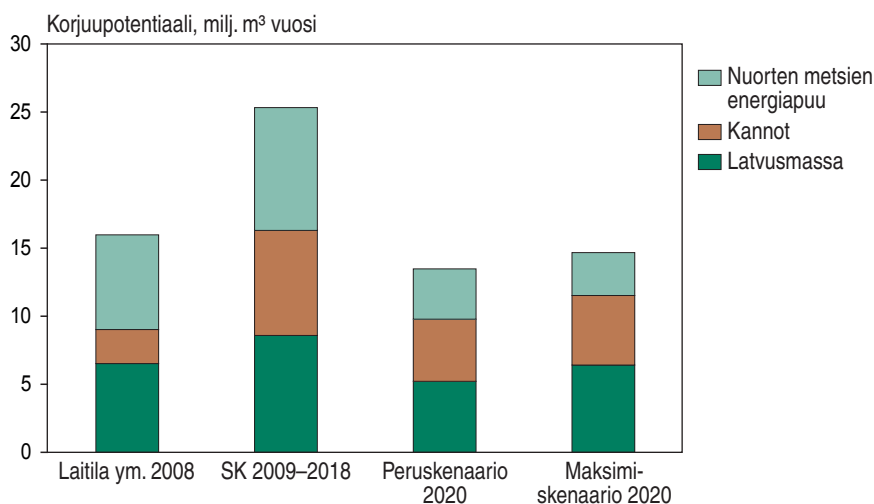
1.3.1 Metsien energiakäyttö ja energiavarat

Suomen energiantuotannossa puuperäisillä polttoaineilla on ollut aina tärkeä rooli. Vielä 1960-luvun alussa Suomi tuotti noin puolet tarvitsemastaan primäärienergiasta puulla. Alimmillaan puun osuus laski 14 prosenttiin 1970-luvulla lähtien nousuun vasta 1990-luvun jälkipuoliskolla. 2000-luvulla puuperäisten polttoaineiden osuus on vakiintunut 20 % tasolle ja on ollut viime vuosina noin 300 PJ (Kuva 1.3.1). Vaikka suoraan energiantuotantoon korjattavan metsähakkeen käyttö on kasvanut jo 7,5 miljoonaan kuutiometriin vuodessa (n. 50 PJ, PJ ≈ 0,28 TWh), puunjalostusteollisuuden sivutuotteiden määrä on vastaavasti laskenut vuosikymmenen puolivälin jälkeen.



Kuva 1.3.1. Puuperäisten polttoaineiden käytön kehitys Suomen energiantuotannossa. Myös puun pienkäyttöön sisältyy noin 10 % metsähaketta (Metsätilastollinen vuosikirja 2011, Ylitalo 2012).

Metsähakkeen käyttöä voidaan edelleen kasvattaa nykytasosta noin kaksinkertaiseksi. Metsähakkeen korjuukelpoisesta potentiaalista on esitetty useita arvioita (Kuva 1.3.2). Tavallisimmin tarkasteluissa on päädytty noin 15 miljoonan kuutiometrin vuositason hankintamääriin, kun ainespuun mitat täyttävään pienpuun energiakäyttöä on rajoitettu tai laskelmat on perustettu toteutuneisiin ainespuun hakkuutasoihin (Kuva 1.3.2) (Laitila ym. 2008). Mikäli taas lähtökohdaksi on otettu metsiemme suurimman kestävä hakuutason mahdollistama potentiaali, päädytään 25 miljoonan kuutiometrin vuotuisiin metsäenergian hakkuumahdollisuuksiin (Kuva 1.3.2) (Salminen 2012). Myös laitosten puustamaksukyky ja kilpailu muiden polttoaineiden kanssa otetaan huomioon, on potentiaali arvioitu alle 15 milj. kuutiometriksi vuositasolla (Kärhä ym. 2009).



Kuva 1.3.2. Metsähakkeen tekninen ja teknis-taloudellinen korjuupotentiaali, milj. m³/vuosi. (Laitila ym. 2008, Salminen 2012, Kärhä ym. 2009).

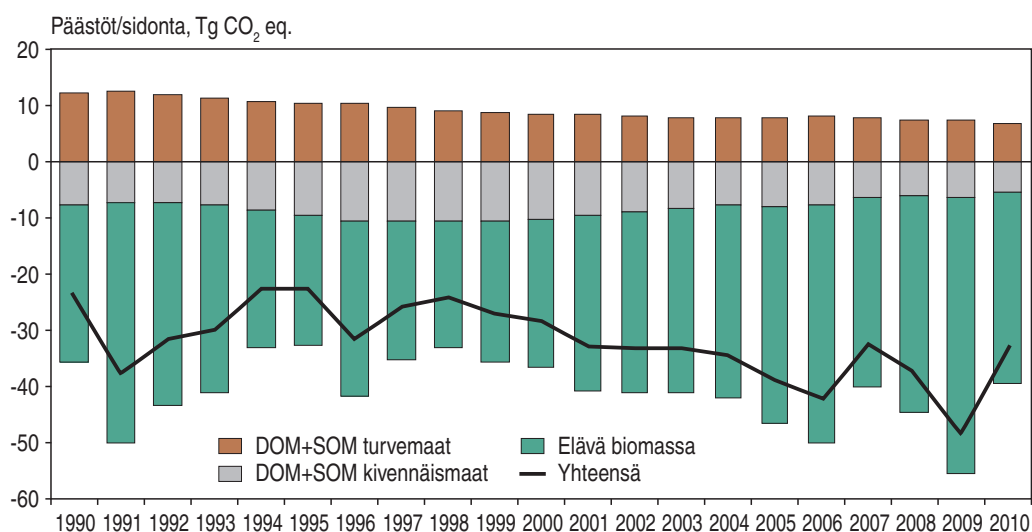
1.3.2 Metsien hiilivarat

Metsien hiilivarat koostuvat puuston ja kasvien biomassan sekä kuolleen orgaanisen aineen hiilestä. Suomen metsissä hiilivarasto puustossa on noin 820 Tg (Liski ym. 2006), kivennäismaiden maaperässä 921 Tg (Ilvesniemi ym. 2003) ja soiden turpeessa 5600 Tg (Minkkinen 1999). Puusto on metsien hiilitaseen määräävä tekijä. Sen kasvussa sitoutuu noin 35 Tg (128 Tg CO₂ ekv.) hiiltä metsiin vuodessa, ja myös maaperän hiilivarat muuttuvat pääasiallisesti puista tulevan karikesyöteen eli kuolleen orgaanisen aineksen ajamana.

Suomen metsät ovat kokonaisuutena Kioton pöytäkirjan piirissä. Siinä tarkastellaan sekä metsien kokonaishiilitasetta että erikseen metsän hävitykseen ja metsitykseen liittyviä kasvihuonekaasutaseita. Suomessa muutetaan metsää muihin käyttömuotoihin mm. pellonraivauksen ja asutuksen laajenemisen kautta runsaat 15000 ha vuosittain. Puuston täydellinen tai osittainen poisto metsänhävityksessä aiheuttaa kasvihuonekaasupäästön. Metsityksen tuottama hiilinielu on pieni verrattuna metsähävityksen päästöön, joten ne yhdessä aiheuttavat päästön, joka on suuruudeltaan 4 miljoonaa hiilidioksiditonnaa vuodessa. Se otetaan täysimääräisesti huomioon Kioton 1. velvoitekaudella 2008–2012. Metsien nielulla voi kompensoida metsien hävitykseen ja metsitykseen liittyvän päästön sekä saa pienen hyvityksen (0,6 milj. t hiilidioksidia) nielusta. Suomella metsien avulla saavutettu nieluhyöty on kompensaation ja hyvityksen summa, yhteensä 4,6 milj. t hiilidioksidia esimerkiksi vuonna 2010.

Vuonna 2013 alkavalle Kioton seuraavalle velvoitekaudelle metsänielun laskentamenetelmäksi sovitettiin vertailutasomenetelmä. Jos metsänielu on vertailutasoa suurempi, maa saa siitä hyvityksen. Jos metsänielu on vertailutasoa pienempi, maa saa siitä päästörasitteen. Suomen vertailutasoksi määritettiin 20 milj. t CO₂ /v. Näin ollen noin 16 milj. m³ metsiemme vuotuisesta noin 100 milj. m³:n kasvusta on varattu nielukäyttöön. Suomen metsänielu oli vuonna 2010 32 milj. t CO₂ (Kuva 1.3.3)

Viimeisen runsaan 20 vuoden aikana puuston hiilivarasto on kasvanut 20–50 miljoonan CO₂ -tonnin vuosivauhdilla (Kuva 1.3.3). Lisäksi kivennäismaiden hiilivaraston arvioidaan kasvaneen ja edelleen orgaanisten turvemaiden pienenneen. Kokonaisuutena metsien ja metsämaiden hiilivaraston arvioidaan kasvaneen jatkuvasti, vaikka metsien käyttö teollisuuden raaka-aineena ja erityisesti suoraan energiana on kasvanut.



Kuva 1.3.3 Hiilen päästöt (positiiviset arvot) ja sidonta (negatiiviset arvot) metsämaalla 1990-2010. DOM=karike ja kuollut puu, SOM=maaperän orgaaninen aines (Greenhouse gas emissions...2012).

1.3.3 Ilmastonmuutos lisää Suomen metsien kasvua ja hiilivarastoa

Lämpenevällä ilmastolla on arvioitu olevan metsien kasvulle suotuisa, kasvua lisäävä vaikutus (Kellomäki ym. 2005). Erityisesti Pohjois-Suomessa metsän kasvun on ennustettu lisääntyvän voimakkaasti. Kellomäki ym. (2008) arvioivat IPCC SRES A2 päästö- ja lämpötilaskenaarioita käyttäen (Ruosteenoja ym. 2005) puuston kasvua ja määrää sekä sen ja maaperän hiilivaraja kivennäismailloilla Suomessa. Tutkimuksen mukaan puuston kasvu lisääntyisi kivennäismailloilla 44 % 1990 luvun puolivälistä kaudelle 2050–2091. Pohjois-Suomessa lisäys olisi 109 % ja Etelä-Suomessa 12 %. Saman tutkimuksen mukaan hakkuumahdollisuudet lisääntyvät samalla ajalla kasvua enemmän, peräti 168 % Pohjois-Suomessa, 56 % Etelä-Suomessa ja 82 % keskimäärin (Kellomäki et al. 2008). Kasvun pienempi lisääntyminen Etelä-Suomen ennusteissa johtuu kahdesta tekijästä. Ensinnäkin pohjoisessa lämpötilan on ennustettu nousevan enemmän kuin etelässä, lyhyt kasvukausi rajoittaa siellä tehokkaasti kasvua ja lämpötilan nousu lisää voimakkaasti kasvukauden pituutta ja siis kasvua ja toiseksi Etelä-Suomessa ennusteiden mukaan kuivuus lisääntyy, mikä vähentää kuusten ja karuilla kasvupaikoilla myös mäntyjen kasvua. Kuusi menestyy erityisesti Etelä-Suomessa aikaisempaa huonommin, jolloin koivu ja mänty valtaavat alaa kuusen kustannuksella. Runkotilavuudella mitattuna kuusen on arvioitu taantuvan 43 %:sta vuonna 1995 12 %:iin kuluvaan vuosisadan lopussa (2070–2099). Koivun osuus lisääntyy vastaavalla ajalla 10 %:sta 20 %:iin ja männyllä 47 %:sta 68 %:iin (Kellomäki et al. 2008).

Puuston sitomat hiilivarat lisääntyvät elävän puuston kokonaiskuutiomäärän kasvaessa. Kellomäki ym. (2008) arvioivat, että vuodesta 1995 vuosisadan loppuun (2070–2099) puustoon varastoitunut hiilimäärä lisääntyy 30 %. Suurempi puuston määrä lisää oletettavasti myös kariketuetosta (Liski ym. 2006), mikä kasvattaa maaperän hiilivarastoa. Toisaalta korkeampi lämpötila lisää orgaanisen aineen hajotusnopeutta pienentäen varaston kokoa (Vanhala ym. 2008). Kellomäen ym. (2008) simuloinneissa kivennäismaiden hiilivarasto kuitenkin lisääntyy läheisessä suhteessa puuston määrään: laskennallinen lisäys maaperän hiilivarastossa oli 26 % vuodesta 1995 kaudelle 2070–2099.

1.3.4 Näkökulmia metsien energiakäyttöön ja ilmastonmuutoksen hillintään

Puuvaroja voidaan käyttää ilmastonmuutoksen hillintään kahdella tavalla: Kasvaessaan metsät sitovat ilmakehän hiilidioksidia puuainekseen sekä pidemmällä aikavälillä myös metsämaahan. Toisaalta puuaine on energiaa sisältävä polttoaine tai erilaisten tuotteiden raaka-aine, jota käyttämällä voidaan korvata fossiilisia polttoaineita tai energiaintensiivisiä raaka-aineita tai esimerkiksi öljypohjaisia tuotteita. Nämä kaksi metsien käyttömuotoa voivat osin kilpailla keskenään. Jos metsien hiilivaraston kasvattamista pyritään maksimoimaan, voidaan puuvarojen energia- ja raaka-ainekäyttöä joutua rajoittamaan ja päinvastoin.

Puuaineen energiasisältö on tavallisesti 18,5–19,5 MJ/kg kuiva-ainetta (Nurmi 1993, 2000). Rauduskoivun kuorella ja mäntyjen kantopuussa energiasisältö on yli 22 MJ/kg. Polttoainekäytössä puuhun on aina sitoutunut vettä jolloin esimerkiksi Suomessa tyypillisessä 40 % saapumiskosteudessa puun tehollinen lämpöarvo on 10–11 MJ/kg. Siten kuutiometri puuta vastaa energiasisällöltään 200 litraa raskasta polttoöljyä.

Metsä ja metsävarat ovat dynaaminen hiilivarasto, johon metsien kasvun seurauksena kertyy ja hakkuiden sekä luonopoistuman kautta poistuu hiltä. Ilmastonmuutoksen hillinnän näkökulmasta

katsottuna metsät ovat siten merkittävä ja tutkimuskohteenakin kiinnostava mahdollisuus vaikuttaa globaaleihin hiilivirtoihin. Metsien hiilensitomiskykyyn sekä varastojen suuruuteen vaikuttavat kasvuolosuhteet, metsien puulaji- ja ikärakenne sekä metsien hoito, käyttö ja erilaiset metsätuhot. Metsien hiilivaraston kuten kasvunkin muutoksia on tarkasteltu puu-, metsikkö-, alue- ja maatasolla (mm. Routa ym. 2011, Kilpeläinen ym. 2012). Intensiivisellä metsänhoidolla ja puulajivalinnoilla voidaan nostaa metsien hiilensidontaa (Routa ym. 2011). Erityisesti metsikkötason tarkasteluissa on viime vuosina otettu käyttöön ”carbon debt” käsite, jonka mukaan kaikki metsistä poistuva puubiomassa vähentää lähtökohtaisesti metsien hiilivarastoa (Mitchell 2012, Wihersaari 2012). Vasta kun metsikkö on saavuttanut hakkuuta edeltävän puuston (tai hiilen) määrän, on hiilivelka maksettu.

Hiilen kierron tarkastelua on laajennettu myös puunhankintaprosesseihin ja edelleen puutuotteiden elinkaareen ja puuhun perustuvaan energiantuotantoon (Lippke ym. 2011). Alue- ja maataso hiilitasetarkasteluissa tarkastelupinta-alaa laajennetaan, jolloin suuren puujoukon tai useiden metsiköiden kasvun ja poistuman hiilitase otetaan huomioon (mm. Kilpeläinen ym. 2012).

Myös metsähakkeen raaka-aineiden jättämistä metsiin hiilivarastoksi on verrattu energiakäytön kasvihuonekaasupäästöihin (Melin ym. 2009, Palviainen ym. 2010, Zetterberg ja Chen 2011). Metsiin jätetyt hakkuutähteet kuitenkin hajoavat vähitellen. Energiakäytön ero varastoksi jättämiseen on valitun laskentamenetelmän mukaan suurin sillä hetkellä, kun poltto tapahtuu. Päästö pienee, kun aika kuluu ja yhä suurempi osa metsään jätetystä biomassasta hajoaa vapauttaen hiiltä ilmakehään (Wihersaari 2012). Laskelmien tuloksiin ja tulkintaan vaikuttavat tarkasteluajanjakson pituuden lisäksi biomassaositteiden hajoamismallit ja biomassalla korvattavan polttoaineen ominaisuudet. Tällaisessa tarkastelussa nopeasti hajoavat biomassaositteet (neulaset, pienet oksat) ovat ilmaston lämpenemisvaikutusten kannalta parasta polttoainetta, sillä niiden suurin osa niiden sisältämästä hiilestä vapautuu ilmakehään muutamssa vuodessa. Polttoaineominaisuuksiltaan ne taas ovat huonoimpia ja lisäksi niihin on sitoutunut paljon ravinteita. Vastaavasti hitaammin hajoava runko- ja kantopuu ovat tällä laskentamenetelmällä ilmaston kannalta huonoja polttoaineita, sillä ne hajoavat neulasia ja oksia hitaammin. Runko- ja kantopuun polttoaineominaisuudet taas ovat hyvät ja myös ravinnepitoisuus on alhainen.

Metsien kyky kerryttää ja ylläpitää puustoa ja hiilivarastoa on rajallinen. Kun metsä saavuttaa maksimaalisen puupääoman, sen kasvu hidastuu ja luonnonpoistuma alkaa kasvaa. Samalla hyönteis- ja sienituhojen sekä myrsky- ja metsäpalojen aiheuttamat riskit kasvavat ja hiilivarasto voidaan osittain menettää (Lippke ym. 2011, Mitchell ym. 2012).

1.3.5 Johtopäätökset

Kun metsiä tarkastellaan ilmastomuutoksen hillinnän näkökulmasta, on tarkoituksenmukainen tarkasteluyksikön koko alue- tai maataso. Pitkän aikavälin seurannat ovat osoittaneet, että Suomen metsistä voidaan otta puuta energiantuotantoon 300 PJ vuosittain teollisuuden sivutuotevirtojen ja suoran energiapuun hankinnan kautta. Samaan aikaan metsien hiilivarasto kasvaa 30–40 Tg CO₂ ekv. vuosivauhtia. Tämän julkaisun skenaarioluvussa on tarkastellaan koko Suomen metsien metsävarojen ja hiilivarastojen kehittymistä metsien käsittelyn eri intensiteeteillä ja myös muuttuvan ilmaston olosuhteissa. Laskelmat osoittavat, että nykyistä merkittävästi suurempi aines- ja energiapuun hankinta on mahdollista erityisesti lämpenevän ilmaston olosuhteissa metsien nettohiilensidontaa vaarantamatta.

Kirjallisuus

- Greenhouse gas emissions in Finland 1990–2010. National inventory report to the UNFCCC and the Kyoto Protocol, 13 April 2012. [Verkkodokumentti]. Statistics Finland Saatavana: http://www.stat.fi/tup/khkinv/unfccc_nir_2012.pdf.
- Ilvesniemi, H.; Forsius, M.; Finér, L.; Holmberg, M.; Kareinen, T.; Lepistö, A.; Piirainen, S.; Pumpanen, J.; Rinkinen, K.; Starr, M.; Tamminen, P.; Ukonmaanaho, L. & Vanhala, P. Käyhkö, J. & Talve, L. (ed.) Carbon and nitrogen storages and fluxes in Finnish forest ecosystems Understanding the global system. The Finnish perspective., Finnish Global Change Programme FIGARE, 2002. 69–82.
- Kellomäki S., Strandman H., Nuutinen T., Peltola H., Korhonen K.T. & Väisänen H. 2005. Adaptation of forest ecosystems, forests and forestry to climate change. FINADAPT Working Paper 4, Finnish Environment Institute Mimeographs 334. Helsinki, 44 s.
- Kellomäki, S.; Peltola, H.; Nuutinen, T.; Korhonen, K. & Strandman, H. Sensitivity of managed boreal forests in Finland to climate change, with implications for adaptive management. *Phil. Trans. R. Soc. B*, 2008, 363: 2341–2351
- Kilpeläinen, A., Kellomäki, S. & Strandman, H. 2012. Net atmospheric impacts of forest bioenergy production and utilization in Finnish boreal conditions. *Bioenergy*. Doi: 10.1111/j.1757-1707.2012.01161.x. 7 s. Saatavana: [http://onlinelibrary.wiley.com/journal/10.1111/\(ISSN\)1757-1707/earlyview](http://onlinelibrary.wiley.com/journal/10.1111/(ISSN)1757-1707/earlyview). [viitattu 24.4.2012]
- Kärhä, K., Elo, J., Lahtinen, P., Räsänen, T. ja Pajuoja, H. 2009. Kiinteiden puupolttoaineiden saatavuus ja käyttö Suomessa 2020. TTS tutkimuksen tiedote. Luonnonvara-ala: Metsä 10/2009 (736): 8 s.
- Lippke, B., Oneil, E., Harrison, R., Skog, K., Gustavsson, L. & Sathre, R. 2011. Life cycle impacts of forest management and wood utilization on carbon mitigation: knowns and unknowns. *Carbon Management* 2(3): 303–333.
- Laitila, J., Asikainen, A. ja Anttila, P. 2008. Energiapuuvarat. Julkaisussa: Kuusinen, M. ja Ilvesniemi, H. (toim.). Energiapuun korjuun ympäristövaikutukset, tutkimusraportti. Tapion ja Metlan julkaisuja. Saatavissa: www.metsavastaa.net/energiapuu/raportti.
- 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. *Ann. For. Sci.* 63: 687–697.
- Melin, Y., Petersson, H. & Nordfjell, T. 2009. Decomposition of stump and root systems of Norway spruce in Sweden : a modeling approach. *Forest Ecology and Management*. 257(5): 1445–1451.
- Metsätilastollinen vuosikirja 2011. Metsäntutkimuslaitos. 472 s.
- 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.
- Mitchell, S. R., Harmon, M. E. & O'Connell, K. E.B. 2012. Carbon debt and carbon sequestration parity in forest bioenergy production. *Bioenergy*. Doi: 10.1111/j.1757-1707.2012.01173.x. 10 s. Saatavana: <http://ncfp.files.wordpress.com/2012/05/carbon-debt-paper.pdf>.
- Palviainen, M., Finér, L., Laiho, R., Shorohova, E., Kapitsa, E. & Vanha-Majamaa, I. 2010. Phosphorus and base cation accumulation and release patterns in decomposing Scots pine, Norway spruce and silver birch stumps. *Forest Ecology and Management* 260: 1478–1489.
- Puun energiakäyttö 2011. Metinfo tilastopalvelu. Metsäntutkimuslaitos. http://www.metla.fi/metinfo/tilasto/puunkaytto/puunkaytto_polttoaineet_t.html
- Routa, J., Kellomäki, S., Kilpeläinen, A., Peltola, H. & Strandman, H. 2011. Effects of forest management on the carbon dioxide emissions of wood energy in integrated production of timber and energy biomass. *Bioenergy* (3):483–497. doi: 10.1111/j.1757-1707.2011.01106.x.
- Ruosteenoja, K., Jylhä, K. & Tuomenvirta, H. 2005. Climate scenarios for FINADAPT studies of climate change adaptation . Finnish Environment Institute Mimeographs 345, FINADAPT working paper 15, Helsinki, Finland; Finnish Environment Institute.
- Salminen, O. 2012. Hakkuumahdollisuudet 2009-2038 VMI tulosten julkistus 19.6.2012. Saatavana: http://www.metla.fi/tiedotteet/2012/pdf/2012-06-19_vmi_julkistus_hakkuumahdollisuudet.pdf.

- Vanhala, P.; Karhu, K.; Tuomi, M.; Björklöf, K.; Fritze, H. & Liski, J. Temperature sensitivity of soil organic matter decomposition in southern and northern areas of the boreal forest zone. *Soil Biology and Biochemistry*, 2008, 40: 1758–1764
- Wihersaari, M. 2012. Biopolttoaineiden hiilineutraalisuudesta uusia arvioita. *Bioenergia* 1: 41–42.
- Ylitalo, E. 2012. Puun energiakäyttö 2011. *Metsätilastotiedote (SVT Maa-, metsä- ja kalatalous)* 16/2012. 7 s.
- Zetterberg, L. & Chen, D. 2011. The time aspect of bioenergy – climate impacts of bioenergy due to differences in carbon uptake rates. Swedish Environmental Research Institute. IVL Reports B 1989. 40 p.