

Aleksi Lehtonen

Suomen kasvihuonekaasuinventaarioraportin ja metsien merkitys hiilitaseelle

Miksi metsien kasvihuonekaasuinventaarioraportin tehdään?

Rio de Janeirossa vuonna 1992 allekirjoitetun ilmastopöytäkirjan (UNFCCC) liitteessä 1 luetellut maat suorittavat kasvihuonekaasuinventaarioraportin kansainvälisen ilmastopolitiikan ohjauksessa ja toimittavat vuosittain ilmastopöytäkirjan sihteeristölle kasvihuonekaasusta sekä inventaarioraportin että päästöarviot. Suomi on mukana sekä vuonna 1992 Rio de Janeirossa hyväksytyssä YK:n ilmastopöytäkirjassa että vuonna 1997 hyväksytyssä ilmastopöytäkirjassa. Kiotoon pöytäkirjassa teollisuusmaat sitoutuvat rajoittamaan vuosien 2008–2012 kasvihuonekaasupäästöjään vuoden 1990 päästöjen tasolle.

Kiotoon pöytäkirjan tavoitteiden toteutumista seurataan maaraaporttien avulla. Ilmastopöytäkirjassa mukana olevat maat julkaisevat 3–4 vuoden välein maaraaportin, jonka keskeinen tavoite on seurata Kiotoon pöytäkirjan mukaisten päästötavoitteiden toteutumista ja raportoida sopimusosapuolten toimenpiteistä ilmastomuutoksen lieventämiseksi.

Kiotoon pöytäkirjan säännöt hyväksyttiin vuonna 2001 Ilmastopöytäkirjan osapuolikokouksessa (Marrakesh Accords). Kiotoon pöytäkirja velvoittaa liitteessä 1 lueteltuja maita (joihin Suomi kuuluu) raportimaan päästöt ja nielut (poistuma ilmakehästä), jotka seuraavat metsittämisestä, uudelleen metsittämisestä ja metsän hävittämisestä, eli maankäytön muutoksista (Artikla 3.3). Tämän lisäksi Suomi valitsi vapaaeh-

toisista toimista metsähoidon raportoitavaksi nielu-toimeksi (Artikla 3.4). Käytännössä kaikki Suomen metsät ovat Kiotoon pöytäkirjan metsähoidon alaisia, myös metsäiset suojelualueet. Metsähoidon nielua voidaan käyttää hyväksi, jotta saadaan kompensoitua metsän hävittämisestä aiheutuvat päästöt.

Kiotoon ensimmäinen velvoitekausi on 2008–2012, jonka ajalta maankäytön muutoksen ja metsähoidon päästöt ja nielut raportoidaan. Suomi ja muut Kiotoon sopimuksen osapuolet ovat vaativan tehtävän edessä: sopimus velvoittaa raportimaan vuosittaiset nielut ja päästöt, jotka aiheutuvat maankäytön muutoksista.

Metsäntutkimuslaitos (Metla) laskee Suomen metsien kasvihuonekaasupäästöt ja -nielut. Tilastokeskus toimii Suomessa vastuujärjestämisorganisaationa, joka koostaa eri sektoreiden kasvihuonekaasupäästöt ja -nielut. Ilmastopöytäkirjan sihteeristölle raportoitavat päästölukemat ovat energiateollisuus, teollisuus ja rakentaminen, liikenne, luonnontieteet, maatalous, jätteet, F-kaasut, teollisuusprosessit ja maankäyttö, maankäytön muutos ja metsätalous. Tarkka kuvaus eri sektoreiden kasvihuonekaasulaskennasta löytyy Tilastokeskuksen julkaisemasta Suomen inventaarioraportista, joka on saatavilla unfccc.int-sivustolta.

Metla vastaa maankäyttö, maankäytön muutos ja metsätalous -sektorin kasvihuonekaasulaskennasta, kuitenkin siten, että Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus (MTT) toimittaa päästöarviot maatalousmaille ja ruohikkoalueille. Metlan vastuualueeseen kuuluvat metsät, turvetuotantokentät,

puutuotteet ja maankäytön muutokset. Metla seuraa hiilivarastojen muutosta puuston biomassassa, kuolleessa puussa ja maaperässä. Metsien päästöt ovat joko maaperästä tai kasvillisuudesta vapautuvia kasvihuonekaasuja, kun taas nieluilla tarkoitetaan maaperän tai kasvillisuuden ilmakehästä sitoma hiiltä. Hiilidioksidi (CO_2) onkin maankäyttö, maankäytön muutos ja metsätalous -sektorin tärkein yksittäinen kasvihuonekaasu. Tämän lisäksi raportoidaan esim. turvetuotannosta, biomassan poltosta ja typpilannoituksesta aiheutuvat metaani- (CH_4) ja typpidioksidi (N_2O) päästöt

Kuinka metsien kasvihuonekaasupäästöt ja -nielut lasketaan?

Kasvihuonekaasuinventaarien laskentaperiaatteet ovat kuvattu hallitusten välisen ilmastomuutospaneelin (IPCC) ns. hyvän käytännön ohjeissa. Metsien osalta käytetään tällä hetkellä IPCC:n ohjetta vuodelta 2003. Nämä ohjeet tarjoavat maille mahdollisuuden arvioida kasvihuonekaasujen päästöt ja nielut tilanteessa, jossa ei ole käytettävissä ns. kansallista menetelmää. Kansallisella menetelmällä tarkoitetaan kussakin maassa tieteellisesti perusteltua ja hyväksyttyä tapaa arvioida kasvihuonekaasujen nieluja ja päästöjä. Suomen metsien kasvihuonekaasuinventaario perustuu pääosin kansallisiin menetelmiin, koska meillä on omaa tutkimusta esim. puuston biomassan jakautumisesta, maaperän hiilidynamiikasta ja soiden päästöistä. Suomen kasvihuonekaasuinventaariolaskentaperiaatteet kuitenkin noudattavat IPCC (2003) ohjeita. Yleensä laskentatapa on eri maiden välillä sama, mutta ns. päästökertoimet ovat kansalliset (esim. soiden CO_2 -päästöarviot tai biomassamallit).

Puusto

Puuston biomassan hiilitaseen laskenta perustuu sekä Valtakunnan metsien inventoinnin (VMI) aineistoihin, että poistumatilastoihin. Puuston biomassan kasvu johdetaan yksittäisten puiden läpimitta-, pituus- ja kasvumittauksista. Poistumatilastot perustuvat metsäteollisuuden ilmoituksiin puunkäytöstä, polttopuunkäyttökyselyyn ja arvioon luonnonpoistumasta. Puuston hiilitase lasketaan siten että puuston

kasvusta on vähennetty kokonaispoistuma ja siten saatu nettokasvu on muunnettu hiilidioksidiksi. Laskennassa puuston poistuma käsitellään siis välittömänä päästönä. Todellisuudessa, hakkuissa korjattu puusto varastoituu puutuotteisiin näiden elinkaaren ajaksi ja tämän jälkeen tuotteiden sisältämä hiili vapautuu ilmakehään, joko palamisen tai lahoamisen seurauksena, mutta tällä hetkellä puutuotteiden hiilidioksidinielut ja -päästöt eivät ole mukana ilmastopesimyksessä.

Mineraalimaat

Metsien mineraalimaiden hiilivaraston muutos enustetaan Yasso-maamallilla. Yasso-maamalli laskee maan hiilivaraston muutoksen maahan tulevan karikkeen määrän ja laadun sekä lämpötilan ja sadannan perusteella. Simuloinnin lähtötilanne saadaan mallin tasapainotilanteesta, joka estimoidaan aikaisemman karikkeen määrän arvion avulla. Karikkeen laatu ja määrä perustuvat VMI-aineistoihin, joita on edelleen jalostettu biomassamallien ja kariketuotantokertoimien avulla (vuosittaisen karikesadannan massa arvioidaan biomassan ja kyseisen biomassaositteiden elinajan perusteella). Lähestymistapa, jossa yhdistetään inventointiaineistot, biomassa-, karike- ja maamalli, perustuu aikaisempaan Metlan ja Euroopan Metsäinstituutin tutkimukseen. Syy mallin käyttämiseen maaperän hiilivaraston muutoksen arviointiin on yksinkertainen: Suomella ei ole kattavaa ja toistettua maahiili-inventaariota, jota voitaisiin käyttää muutoksen arviointiin. Suomen tulisi investoida arviolta 4 miljoonaa euroa maaperämittauksiin ja toistaa tämä operaatio 10 vuoden päästä, jotta saataisiin luotettava arvio maaperän hiilivaraston muutoksesta.

Orgaaniset maat

Suomessa on noin 4,5 miljoonaa hehtaaria ojitettuja soita, joiden maaperän hiilitase arvioidaan mittauksiin perustuvien kaasupäästöjen ja mallitetun kariketuotannon erotuksena. Näiden orgaanisten maiden maaperän kaasupäästöjä mittaavat Metla ja eri yliopistot erilaisilta ojitusalueilta. Koska kasvihuonekaasujen raportointi edellyttää nettopäästöjen ra-

portointia, vähennetään mitatuista kaasupäästöistä biomassamalleihin ja kariketuotantokertoimiin perustuva karikevirta maahan. Ongelmalliseksi orgaanisten maiden maaperän hiilitaseen arvioinnin tekee se, että laskennassa yhdistetään kaksi hyvin erilaista lähestymistapaa, eli suorat kaasumittaukset ja mallinnus. Kasvihuonekaasuinventaarion mukaan ojitetut turvekankaat ovat hiilen nettonielu, koska puuston nielu kumoaa maaperän päästöt. Ojittamattomien orgaanisten metsämaiden maaperän hiilitase oletetaan nolllaksi, eli päästöjen ja nielujen arvioidaan olevan yhtä suuret.

Kuolleet puut

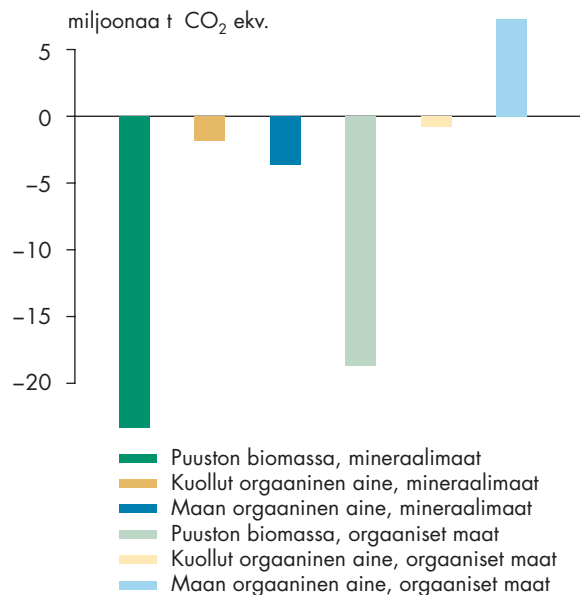
Kuolleiden puiden hiilitaselaskenta perustuu VMI:n pysyviltä koaloilta mitattuun luonnonpoistumaan. Vuosittaisen luonnonpoistuman hajoamisdynamiikka on mallitettu Yasso-maamallilla. Tulevaisuudessa voimme käyttää VMI9:n ja VMI10:n pysyvien koalojen lahopuumittauksia – tällöin saamme suoraan arvion kyseisen hiilivaraston muutoksesta. Uusien VMI-aineistojen avulla laskettua kuolleen puun hiilivaraston muutosestimaattia voidaan käyttää nykyisen laskentamenetelmän tulosten vertaamiseen.

Muut päästöt

Puuston, maaperän ja kuolleiden puiden nielujen ja päästöjen lisäksi raportoidaan hiilidioksidi-, metaani- ja typpidioksidi päästöt metsäpaloista, kulotuksesta ja typpilannoituksesta. Näiden päästöjen osuus metsien nettonielusta on kuitenkin marginaalinen. Lisäksi vapaaehtoisesti raportoidaan puutuotteiden nielu, jonka laskenta perustuu varastonmuutosmenetelmään (varaston muutos on tuotetut miinus lahoavat ja poltetut puutuotteet). Turvetuotantoalueiden päästöt raportoidaan myös maankäyttö, maankäytön muutos ja metsätalous -sektorilla, kun taas turpeen polton päästöt raportoidaan energiasektorilla. Turvetuotantoalueiden päästöistä noin kolmanneksen tuottavat turveumat ja turvetuotantoalueen pinnan päästöt ovat noin kaksi kolmasosaa. Turvetuotantoalueiden päästöjen laskenta perustuu ympäristöhallinnon antamaan turvetuotannon pinta-alaan ja hiilidioksidin, metaanin ja typpidioksidin päästömittauksiin.

Maankäytön muutokset

Maankäytön muutosten aiheuttamat kasvihuonekaasujen nielu- ja päästöt raportoidaan Kioton pöytäkirjan vaatimusten mukaisesti, eli sopimusosapuolet ovat sitoutuneet raportoimaan maankäytön muutosten aiheuttamat päästöt vuodesta 1990 alkaen. Suomessa metsän hävittäminen aiheutuu pääasiassa peltojen raivaamisesta, asuinrakentamisesta, infrastruktuurin rakentamisesta ja turvetuotannosta. Metsäpinta-ala lisääntyy pääasiassa entisillä viljelymailla ja vähäravinteisilla mailla, jotka ovat saavuttaneet metsän määritelmän mukaisen minimimitilan. Ilmastositteeristön raportoinnissa Suomi ei ole aiemmin raportoinut kyseisiä päästöjä ja nieluja. Näiden laskenta perustuu VMI-aineistoon ja oleellista onkin saada luotettavat arviot muuttuneista maa-aloista ja muutoksen vaikutuksesta kasvihuonekaasupäästöihin. Molemmat päästöön vaikuttavat tekijät (muutoksen



Kuva 1. Metsien hiilipäästöt ja nielu Suomessa vuonna 2006. Positiiviset arvot ovat päästöjä ja negatiiviset nieluja. Puuston biomassa, kuollut orgaaninen aine (lahopuu) ja maan orgaaninen aine mineraalimailla ovat hiilinieluja eli poistavat ilmakehästä hiilidioksidia, kun taas ojitetujen turvemaiden maaperä on hiilidioksidin lähde. Yhteensä metsien nettonielu oli noin 41 miljoonaa tonnia CO₂ ekv. vuonna 2006.

pinta-ala ja -päästö) ovat vaikeasti arvioitavia. Tyypillisesti Suomessa metsää hävitetään alle 20 000 ha vuosittain, joka on noin promille metsäalasta. Näin pienen muutoksen luotettava arviointi on vaikeaa otosperusteisella inventaariolla. Myös päästöjen ja nielujen arviointi on ongelmallista, sillä tutkimusta peltojen metsityksen, pellon raivaamisen ja rakentamisen vaikutuksesta maaperän hiilitaseeseen on rajallisesti. Maankäytön muutoksen vaikutus puuston biomassaan voidaan johtaa VMI:n puustomittauksista, mutta maaperälaskennan menetelmä on vielä keskustelun alla. Parhaillaan tutkitaan maaperämalli Yasson käytettävyyttä maatalousmailla.

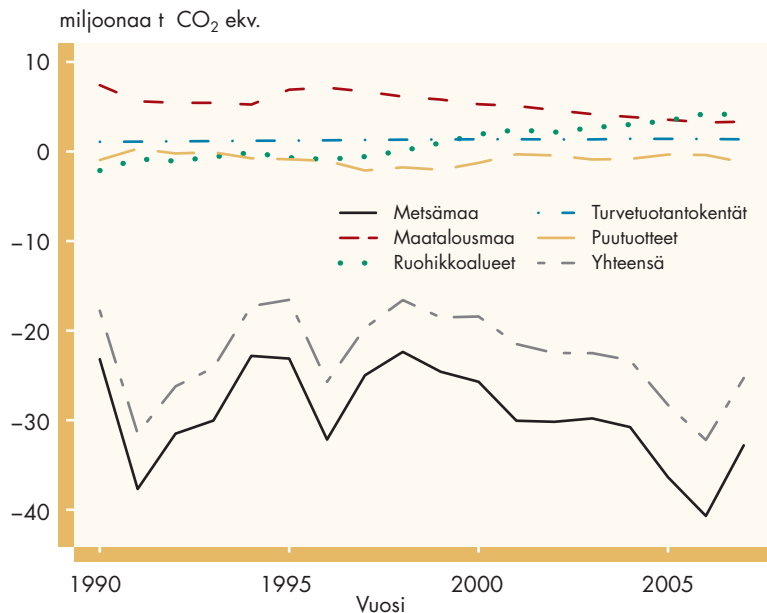
Laskennan epävarmuudet

Laskennan suurimmat epävarmuudet liittyvät orgaanisten maiden päästökertoimiin ja hienojuuri-tuotannon arviointiin, joita tarvitaan metsien maaperän hiilivaraston muutoksen arvioinnissa. Myös maankäytön muutoksen pinta-aloissa ja päästöissä

on suuret epävarmuudet. Parhaillaan tutkitaankin maaperän hiilivaraston muutoksen arviointia mallien avulla, kun metsiä raivataan pelloiksi ja kun peltoja metsitetään.

Suomen metsien hiilitase

Kuvassa 1 esitetään Suomen metsien hiilipäästöt ja nielut vuonna 2006 ja kuvassa 2 maankäyttö, maankäytön muutos ja metsätalous -sektorin päästöt ja nielut Suomessa vuosina 1990–2007. Luvuissa on hiilidioksidin lisäksi myös muiden hiiltä sisältävien kasvihuonekaasujen päästöt (mm. metaani) ja ne on yhteismitallistettu hiilidioksidiksi (CO₂ ekv.). Maankäyttö, maankäytön muutos ja metsätalous -sektorin nettonielu oli vuonna 2006 noin 32 miljoonaa tonnia CO₂ ekv., josta metsien nettonielu oli noin 41 miljoonaa tonnia CO₂ ekv. ja maatalousmaiden ollessa päästölähde. Vuonna 2007 metsien nettonielu oli noin 7 miljoonaa tonnia CO₂ ekv. pienempi kuin vuonna 2006. Tyypillistä maankäyttöä, maan-



Kuva 2. Maankäyttö, maankäytön muutos ja metsätalous -sektorin päästöt ja poistumat Suomessa. Positiiviset arvot ovat päästöjä ja negatiiviset nieluja. Maatalouden päästöt ja nielut seuraavat pinta-alojen kehitystä, kun taas metsämaan nielun suuruus riippuu pääasiassa hakkuiden tasosta.

käytön muutos ja metsätalous sektorin nieluille ja päästöille on suuri vuosien välinen vaihtelu. Kyseisen sektorin nielu on ollut 2000-luvulla keskimäärin suurempi kuin 1990-luvulla, johtuen lisääntyneestä puuston kasvusta. Sektorin suurin yksittäinen CO₂ nielu sijaitsee puuston biomassassa (kun hakkuut ovat suuremmat kuin poistuma; on puusto hiilinielu). Myös mineraalimaamme toimivat hiilen nieluna, kun taas ojitettujen soiden maaperä on merkittävä hiilidioksidin lähde. Puutuotteiden nielu oli vuonna 2007 noin 1,2 miljoonaa tonnia CO₂ ekv., kun taas turvetuotantokenttien päästö oli noin 1,4 miljoonaa tonnia CO₂ ekv. Sekä maatalousmaat että ruohikkolalueet olivat hiilen lähteitä (kuva 2).

Suomen metsät sitovat hiiltä ilmakehästä ja tätä nielua voidaan osittain hyödyntää kun Kioton sopimuksen asettamaa vuoden 1990 päästötavoitetta yritetään saavuttaa. Suomen kasvihuonekaasupäästöt olivat vuonna 2007 noin 10 % yli vuoden 1990 tavoitetason (vuoden 2007 kokonaispäästöt olivat noin 78.5 miljoonaa tonnia CO₂ ekv.).

Neuvotteluissa on sovittu ns. kattoluku, jonka verran metsiemme nielua voidaan käyttää kompensoimaan muiden sektoreiden päästöjä. Suomen kattoluku on 0,59 miljoonaa tonnia CO₂ ekv. vuodessa. Metsien pinta-alan nettomuutos on Suomessa melko pieni, mutta kasvihuonekaasutaseen kannalta oleellisia ovat maankäytön muutoksien aiheuttamat hiilidioksidipäästöt. Metsittämisen vuotuinen nielu on murto-osa metsän hävittämisen päästöstä. Suomessa raivataan metsää pelloksi, rakennetuksi maaksi ja turvetuotantoon 12 000–23 000 ha vuodessa (1990–2006). Metsän hävittämisestä aiheutuu noin 1–4 miljoonan tonnin vuosittaiset CO₂ ekv. päästöt. Vuoden 1990 jälkeen maankäyttö, maankäytön muutos ja metsätalous -sektorin nielu on ollut 17–32 miljoonaa tonnia CO₂ ekv. Jotta Suomi voisi sekä kompensoida metsien hävittämisen päästöt että saada kattoluvun hyvityksen, tulisi hiilinielun olla vuosittain suurempi kuin 4,59 miljoonaa tonnia CO₂ ekv. (ilman metsittämisen nielua ja olettaen 4 milj. tonnin päästöt metsän hävittämisestä). Tällä hetkellä metsänhoidon alainen nielu kattaa helposti tuon metsän hävittämisen päästön ja kattoluvun verran. Eli, toistaiseksi Suomi saa hyvitystä metsiensä hiilinielusta.

Tulevaisuuden näkymät

Puuraaka-aineen kysyntä vaihtelee markkinatilanteen mukaan; maailmantalouden kasvun hidastuessa myös hakkuut vähenevät ja tämä taas nostaa puuston hiilinielua. Suomen metsät ovat sitoneet hiiltä 1970-luvulta lähtien (aikaisemmin on ollut jaksoja jolloin hakkuut olivat suuremmat kuin kasvu ja metsämme olivat täten hiililähde). Toisaalta, jos metsien käsittely olisi hyvin intensiivistä ja perustuisi nettotulojen nykyarvon maksimointiin viiden prosentin korkokannalla olisivat hakkuut suuremmat kuin puuston kasvu ja metsämme olisivat hiilen lähde seuraavan 10 vuoden jakson ajan (ks. Metlan MELA-skenaariot).

Tulevaisuudessa metsiin kohdistuu uusia tarpeita: bioenergian korjuu aiotaan kolminkertaistaa 12 miljoonaan kuutiometriin, Venäjän tuontipuuta korvataan kotimaisella puulla ja uudet biojalostamot tarvitsevat osansa raakapuusta. Seuraavassa talouden noususuhdanteessa raakapuusta on kova kysyntä – toivottavasti ei kuitenkaan niin kova, että metsiemme hiilinielu vaarantuu. Toisaalta, jos kuiduttava teollisuus siirtyy halvan raaka-aineen ja työvoiman perässä pois Suomesta, niin metsien hiilinielu todennäköisesti kasvaa, koska uudet metsäteollisuustuotteet saattavat kuluttaa vähemmän raaka-ainetta kuin edeltäjänsä.

Suomi on laskenut metsiensä varaan myös ilmastopoliittisissa linjauksissaan. Metsänhoidon nielulla voidaan kompensoida metsän hävittämisen päästö, jonka lisäksi voimme lukea hyväksi Suomen kattoluvun mukaisen nielun, eli 0,59 miljoonaa tonnia CO₂ ekv. Vuoden 1990 jälkeen maankäyttö, maankäytön muutos ja metsätalous -sektorin nettonielu on ollut tuo 17–32 miljoonaa tonnia CO₂ ekv. ja metsän hävittämisen päästön arvioidaan olevan 1–4 miljoonaa tonnia CO₂ ekv. Näiden lukujen perusteella näyttää siltä, että saamme metsiemme suomat ilmastopoliittiset hyödyt, jotka ovat saatavissa Kioton ensimmäisellä sopimuskaudella.

Vuoden 2009 lopussa neuvotellaan uudesta ilmastopuutuksesta, joka koskee vuoden 2012 jälkeistä jaksoa. Uuden sopimuksen sisältö on edelleen auki ja neuvottelut ratkaisevat lopputuloksen. On kuitenkin nähtävissä merkkejä siitä, että metsät ovat uudessa sopimuksessa mukana suuremmalla painolla ja että sopimuksen osapuolet haluavat käyttää met-

sien ja maatalouden nielumahdollisuuksia hyväksi päästötavoitteiden saavuttamiseksi. On myös mahdollista, että metsien nielua käsitellään uudessa ilmastopimuksessa siten, että kullekin osapuolelle määritellään nettonielutaso, jonka ylittämisestä hyvitetään ja alittamisesta rankaistaan. Voimme siis olla muutaman vuoden päästä tilanteessa, jossa nykyinen suurehko metsien nettonielu ei itsestään riitä, vaan joudumme miettimään keinoja metsien nettonielun lisäämiseksi ja ylläpitämiseksi.

Suomen metsäpinta-ala on suuri, eikä meillä ole mahdollisuutta lisätä metsiemme pinta-alaa merkittävästi, vaan metsien nettonielua voimme lisätä kasvattamalla puuston keskitilavuutta ja huolehtimalla maaperän hiilivarastosta.

Kirjallisuutta

- Alm, J., Shurpali, N. J., Minkkinen, K., Aro, L., Hytönen, J., Laurila, T. et al. 2007. Emission factors and their uncertainty for the exchange of CO₂, CH₄ and N₂O in Finnish managed peatlands. *Boreal Environment Research* 12: 191–209.
- IPCC. 2003. Good practice guidance for land use, land-use change and forestry. Institute for Global Environmental Studies (IGES), Japan. edition. IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme. 295 s.
- 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.
- Mäkipää, R., Häkkinen, M., Muukkonen, P. & Peltoniemi, M. 2008. The costs of monitoring changes in forest soil carbon stocks. *Boreal Environment Research* 13 (suppl. B)(1–2): 120.
- Tilastokeskus. 2008. Greenhouse gas emissions in Finland 1990–2006. National Inventory Report under the UNFCCC and the Kyoto Protocol 11 April 2008. 1.

Verkkosivustoja

- United Nations Framework Convention on Climate Change
<http://unfccc.int/>
- The Intergovernmental Panel of Climate Change
<http://www.ipcc.ch/>
- Tilastokeskus – Kasvihuonekaasuinventaariorio
<http://www.stat.fi/tup/khkinv/>
- United Nations Climate Change Conference 2009 (COP15)
<http://en.cop15.dk/>

■ MMT Alekski Lehtonen, Metsäntutkimuslaitos, Vantaan yksikkö, PL 18, 01301 Vantaa. Sähköposti aleksi.lehtonen@metla.fi