

Raisa Mäkipää ja Erkki Tomppo

## Suomen metsät ovat hiilinielu – vaikka Kioton ilmastopöytäkirjan mukana muulta näyttää

### Teollisuusmaat sopivat Kiotosa kasvihuonekaasupäästöjen vähentämistavoitteista

Ihmistoiminnan aiheuttamat muutokset ilmakehässä voivat johtaa laajoihin ilmastonmuutoksiin, joilla on vaikeasti ennakoitavia seurauksia elinympäristöön ja elämän edellytyksiin. Hallitustenvälinen ilmastonmuutospaneli IPCC on todennut ihmisen toiminnan vaikutuksen jo näkyvän ilmastohavainnoissa (Watson ym. 1996). Elinympäristömme muutoksista ilmaston muuttuminen on vaikutuksiltaan globaali, ja sen torjuminen onnistuu vain kansainvälisillä toimilla, jotka edellyttävät useiden maiden sitoutumista yhteisiin tavoitteisiin. Ilmastonmuutosta voidaan tehokkaasti hidastaa vain kasvihuonekaasujen päästöjä vähentämällä (Watson ym. 1996). Päästöjen vähentämisen ohella ilmastonmuutosta voidaan hidastaa

- suojelemalla olemassaolevia hiilivarastoja (rajoittamalla metsien hävittämistä)
- lisäämällä hiilivarastoja (metsittämällä ja kasvattamalla olemassaoleviin metsiin sitoutuneen hiilen määrää sekä puutuotteiden hiilivarastoja) sekä
- korvaamalla fossiilisiin raaka-aineisiin perustuvaa tuotantoa kestävästi tuotetulla uusiutuvalla biomassalla.

Kansainvälinen puitesopimus ilmastonmuutoksen torjumiseksi hyväksyttiin YK:n ympäristö- ja kehi-

tyskonferenssissa 1992, ja sen on tähän mennessä ratifioinut yhteensä 174 maata. Ilmastopöytäkirjan osapuolikokouksessa Kiotosa päästiin joulukuussa 1997 konkreettiseen ja sitovaan sopimukseen kasvihuonekaasujen päästöjen vähentämisestä (UNFCCC 1998). Suomi on ratifioinut Ilmastopöytäkirjan yhdessä muiden EU-maiden kanssa 29. huhtikuuta 1998. Sopimuksessa teollisuusmaat lupasivat vähentää hiilidioksidin ja muiden kasvihuonekaasujen päästöjä keskimäärin 5 prosenttia vuoden 1990 tasosta ensimmäisen sopivuskauten aikana (2008–2012 mennessä). EU:n kasvihuonekaasujen vähennystavoitteeksi sovittiin 8 prosenttia, ja EU-maiden taakanjaossa Suomen tavoitteeksi on asetettu päästöjen palauttaminen vuoden 1990 tasolle. Fossiilisten polttoaineiden ja turpeen käytöstä aiheutuneet hiilidioksidipäästöt olivat Suomessa vuonna 1990 yhteensä 58 500 Gg (= 16 000 Gg hiiltä). Lisäksi muiden kasvihuonekaasujen päästöt vastasivat 13 800 Gg hiilidioksidipäästöjen ilmastovaikutusta. Vuoden 1990 jälkeen maamme päästöt ovat edelleen kasvaneet.

Kioton sopimuksen mukaan ilmastonmuutosta hidastaviksi toimiksi lasketaan päästöjen vähentämisen ohella hiilen nielu eli hiilidioksidin sitominen ilmakehästä kasvillisuuteen tai maaperään. Sopimuksessa on rajoitettu tarkastelemaan hiilen nieluja, jotka seuraavat ihmisen aikaansaamista maankäytön muutoksista ja metsätaloudesta rajoittuen kuitenkin toimiin *afforestation*, *reforestation* ja *de-*

**Taulukko 1.** Kioton sopimuksessa ei määritelty sopimustekstissä käytettyjä termejä. Termeille on olemassa useita määritelmiä, joista sekä IPCC:n (IPCC 1996, Watson ym. 1996) että FAO:n (FAO 1990) määritelmät ovat vakiintuneita ja laajasti käytettyjä. Sopimuksessa käytetyistä termeistä *reforestation* ei ole hiilinielulaskennan kannalta sisällöllisesti yksiselitteinen. Vaikka Kioton kokouksen aikana viitattiin IPCC:n määritelmiin, käyttänevät jotkut maat *reforestation*-käsitteelle FAO:n määritelmän mukaista tulkintaa ennen sopimuksen tarkentamista.

**Afforestation** tarkoittaa metsän aikaansaamista sellaiselle alueelle, jolla ei aikaisemmin ole ollut metsää.

IPCC "forest stands established artificially on lands that have not supported forests for more than 50 years"

FAO "Artificial establishment by planting or seeding of forest on an area of agricultural or other (non-forest) land".

**Reforestation** voidaan ymmärtää synonyymiksi termeille *regeneration*, *restocking* ja *renewing*. Kuitenkin IPCC:n määritelmän mukaan termi koskee vain ei-metsämaan metsittämistä.

IPCC "Planting of forests on lands which have, historically, previously contained forests but which have been converted to some other use" ja

"forest stands established artificially on lands that have supported forests within the last 50 years"

FAO "Artificial or natural re-establishment of forest on previously forest or other wooded land. Artificial reforestation may be planting or seeding".

**Deforestation** tarkoittaa metsämaan muuttamista muuhun maankäyttöön

FAO "Deforestation refers to change of land use with depletion of tree crown cover to less than 10 percent"

IPCC "The causes of deforestation range from clearing of forest land for agriculture, mineral extraction, and hydro-reservoirs to degradation of forests for fuel wood."

*forestation: "The net changes in greenhouse gas emissions from sources and removals by sinks resulting from direct human-induced land-use change and forestry activities, limited to afforestation, reforestation and deforestation since 1990, measured as verifiable changes in carbon stocks in each commitment period, shall be used to meet the commitments ..."* (UNFCCC 1998). Tämä hiilen nieluja koskeva kohta on aiheuttanut runsaasti keskustelua lukuisien tulkintavaihtoehtojen ja erityisesti määrittelemättömien käsitteiden vuoksi. Käsitteistä erityisesti *reforestation* on osoittautunut ongelmalliseksi, koska sille on kaksi erisisältöistä vakiintunutta määritelmää (taulukko 1).

Päästöjen vähentämiseen tähtäävän ilmastositomuksen solmimisesta on edeltänyt laaja kansainvälinen tutkimustoiminta. Ilmastonmuutokseen liittyvää tutkimusta on tehty vilkaasti koko 1990-luvun ajan, ja esimerkiksi IPCC on vuodesta 1990 lähtien julkaisut kahden vuoden välein arvioita ilmastonäkyvyydestä ja koosteita alan tutkimuksista. Päästöjen ja ilmakehän muuttuvan koostumuksen vaikutusta ilmastoon on ennustettu ja muuttuvan ilmaston vai-

kutuksia on tutkittu mm. suomalaisessa SILMU-tutkimusohjelmassa (Kuusisto ym. 1996). Ilmakehän koostumusta muuttavien kaasujen päästöistä fossiilisista polttoaineista vapautuva hiilidioksidimäärä tunnetaan varsin tarkasti, mutta muiden kasvihuonekaasujen osalta arviot vielä tarkentuvat. Havaittu ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden kasvu ei vastaa fossiilisista polttoaineista vapautuneen hiilen määrää, vaan osa vapautuneesta hiilestä on siirtynyt meriin tai sitoutunut maaekosysteemeihin. Fossiilisista polttoaineista vapautuu maapallolla vuosittain noin 5,5 Pg hiiltä ja trooppisten metsien häviämisestä 1,6 Pg, eli ihmistoiminnan aiheuttamat päästöt ovat yhteensä noin 7,1 Pg vuodessa (Schimel 1995). Vapautuneesta hiilestä noin 3,2 Pg päätyy ilmakehään, 2,0 Pg siirtyy meriin ja saman verran sitoutuu maaekosysteemien hiilinieluihin. Maapallon metsien hiilivaraston on arvioitu olevan yhteensä 1 200 Pg, josta boreaalisten metsien osuus on 560 Pg (90 Pg kasvillisuudessa ja 470 Pg maaperässä ja turvevaroissa) (Dixon ym. 1994). Boreaalisten metsien on arvioitu olevan maaekosysteemien merkittävimpiä hiilinieluja, joten niiden hiilivaraston suo-

jeleminen ja hiilinielun vahvistaminen vaikuttavat huomattavasti globaaliin ilmastoon. Boreaalisten metsien hiilinielun on arvioitu olevan 0,4–0,6 Pg vuodessa (Dixon ym. 1994), ja lisäksi typpilaskeuman oletetaan kasvattavan hiilinielua 0,6 Pg ja kohonneen hiilidioksidipitoisuuden 1,0 Pg vuodessa (Schimel 1995). Näin ollen boreaalisten metsien hiilinielu on samaa suuruusluokkaa kuin trooppisten metsien häviämisestä vuosittain vapautuva hiilimäärä.

### Suomen metsien hiilinielu

Suomen boreaalisiin metsiin sitoutunut hiilimäärä on yhteensä noin 6,46 Pg (= 6 460 000 Gg), josta kivennäismaiden maaperässä noin 1,04 Pg ja turvemaidella noin 4,8 Pg (Kauppi ym. 1997). Suomessa metsä- ja kitumaiden puuvaranto oli VMI7:n (1977–84) mukaan 1 660 milj. m<sup>3</sup> ja lisääntyi VMI8:n ja sen päivityksen (eli VMI8+) mittausten ajankohtaan (1989–94) mennessä 1 937 milj. m<sup>3</sup>:iin (Tomppo ja Henttonen 1996). Näin ollen Suomen metsien puustoon sitoutunut hiilimäärä oli 1990-luvun alussa noin 0,68 Pg. Puuston vuotuinen keski-kasvu mittausta edeltäneellä viisivuotijaksolla kasvoi 68,4:stä 75,4:ään milj. m<sup>3</sup>:iin (Tomppo ja Henttonen 1996). Kasvun ei arvioida kuitenkaan jatkossa lisääntyvän ilman metsätalouden lisäpanostuksia yhtä nopeasti kuin 1980-luvulla ja hakkuiden ja kokonaispoistuman odotetaan jatkuvan ainakin lähivuosina nykyisen vilkkaina. Kasvun ja kokonaispoistuman ero pysynee kuitenkin vähintään 10 milj. m<sup>3</sup>:n suuruisena. Jos metsien puuntuotantoon panostetaan nykyistä enemmän ja jos hakkuut ja kokonaispoistuma laskevat nykytasosta esimerkiksi menneen 10-vuotiskauden keskitasolle (kokonaispoistuma n. 56 milj. m<sup>3</sup>:iin vuodessa), saattaa puuvaranto lisääntyä jopa 25 milj. m<sup>3</sup> vuodessa. Siten *metsämaan puuvarannon kasvun* voidaan olettaa olevan välillä 10–25 milj. m<sup>3</sup> vuodessa ja kasvun *aikaansaama hiilinielu* noin 3 500–8 800 Gg vuodessa. Vuoden 1990 hiilidioksidipäästöjen hiilimäärään (16 000 Gg) verrattuna Suomen puuvarannon kasvun aiheuttama hiilinielu on huomattava.

Kasvillisuuteen sitoutunut hiilimäärä on varsin pieni verrattuna metsämaahan ja erityisesti soiden turvevaroihin sitoutuneeseen hiilimäärään. Metsä-

maan hiilimäärän arvioidaan olevan lähes kymmentkertainen puustoon sitoutuneen hiilen määrään verrattuna. Näin ollen turpeen ja metsämaan aiheuttama hiilinielu tai -lähde voi olla huomattava verrattuna puuvarojen kasvun myötä saavutettuun hiilinieluun. Kivennäismaiden hiilinielun on arvioitu olevan välillä –1 100 Gg ja +540 Gg (Liski 1997) ja turvemaiden noin 4 100 Gg vuodessa (Laine ym. 1996). Maan hiilivarojen ja erityisesti hiilinielujen arvioiminen on kuitenkin huomattavasti vaikeampaa ja käytettävissä olevien aineistojen perusteella epäluotettavampaa kuin puustoon sitoutuneen hiilimäärän arviointi. Kuitenkin metsätalouden toimenpiteillä, kuten hakkuilla ja niiden ajoituksella, metsäpalojen torjunnalla sekä suo-ojituksilla, voidaan aktiivisesti vaikuttaa maaperän hiilivarastoon, joten tätä hiilinielua ei voida jättää huolellisessa hiilitase-tarkasteluissa huomiotta.

### Kioton sopimuksessa mainitut hiilinielut lasketaan pinta-alamuutosten perusteella

Kioton päätöspöytäkirjan mukaan ihmisen toiminnan vaikutus metsien hiilinieluun ja -lähteisiin arvioidaan vuosien 1991–2012 metsämaan pinta-alamuutosten ja niihin muutoksiin vuosina 2008–2012 välittömästi liittyvän puustoon sitoutuvan tai puustosta vapautuvan hiilen perusteella. Kioton sopimuksen mukaisten hiilinielujen arvioimiseksi tarkastelimme Suomen metsämaan toteutuneita pinta-alamuutoksia vuosina 1990–96 sekä arvioituja muutoksia vuoteen 2012 saakka. Suomessa metsämaan pinta-alan kokonaisuutokset ovat varsin pieniä. Suomen metsämaan pinta-ala oli VMI8+:n (1989–1994) mukaan 20,03 milj. ha ja VMI7:ssä (1977–84) 20,07 milj. ha.

### Peltojen metsitys hiilen nieluna

Suomessa on viime vuosina metsitetty peltoja likimain 10 000 ha vuodessa, ja vuosina 1991–1996 yhteensä 67 200 ha (Metsätilastollinen... 1997). Vuosina 1997–2012 peltoja metsitetään Maa- ja metsätalousministeriön arvion mukaan yhteensä 85 000 ha. Suomen viljelyssä oleva peltopinta-ala oli vuonna 1995 2,27 milj. ha (Suomen tilastolli-

**Taulukko 2.** Suomen *afforestation*-, *reforestation*- ja *deforestation*-kokonaispinta-alat (ha) 1991–2012 IPCC:n (1996) ja FAO:n (1990) määritelmien mukaan tarkasteltuna.

	Afforestation	Reforestation	Deforestation
IPCC	152 200*		330 000
FAO	152 200	3 500 000	330 000

\* afforestation ja reforestation yhteensä

**Taulukko 3.** Kioton sopimuksen mukaiset metsityksen ja metsien häviämisen hiilinielut ja lähteet Suomessa vuosien 2008–2012 keskiarvona IPCC ja FAO määritelmien termien mukaan tarkasteltuna (Gg C eli  $10^9$  g hiiltä).

	Afforestation	Reforestation	Deforestation	Netto
IPCC	123*		480	357 (lähde)
FAO	123	2300	480	1943 (nielu)

\* afforestation ja reforestation yhteensä

nen... 1995). Peltojen metsittäminen em. laajuudessa vähentäisi tarkastelujaksolla 1991–2012 maamme peltopinta-alaa noin 7 %. Turvetuotantoalueita metsitetään ehkä noin 2 500 hehtaaria vuodessa, mutta luotettavaa arviota vuoden 1990 jälkeen toteutuneesta ja edelleen vuoteen 2012 suunnitellusta turvetuotantoalueiden metsityksestä ei ole käytettävissä. Näin ollen tarkastelemme tässä vain peltojen metsityksen vaikutuksia metsän hiilinieluun kaudelle 2008–2012 (taulukko 2).

Metsitetyillä pelloilla puuston (runkopuun) keskimääräisen kasvun arvioidaan olevan ensimmäisten 20 vuoden aikana noin  $2,4 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  ja koko kiertoaikana noin  $5,0 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ . Runkopuun tiheys on kuusella  $380 \text{ kg m}^{-3}$ , männyllä  $420 \text{ kg m}^{-3}$  ja koivulla  $480 \text{ kg m}^{-3}$  (Hakkila 1979). Nuorissa metsissä latvuksen (oksat ja neulaset) biomassa on 20–55 % ja juurten biomassa 35–60 % runkopuun biomassasta riippuen puulajista ja kasvuolosuhteista (Kauppi ym. 1995, Mälkönen 1974, Mälkönen 1977, Ovington 1962). Kaikkien biomassaositteiden hiilipitoisuus on noin 50 % kuiva-aineesta (Nurmi 1997). Metsitet-

tyjen peltojen puubiomassaan (runko, oksat, neulaset ja juuret) sitoutuu ensimmäisten 20 vuoden aikana hiiltä keskimäärin noin  $0,9 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ v}^{-1}$ , ja koko kiertoaajan kuluessa keskimäärin noin  $1,75 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ v}^{-1}$  ( $\text{Mg} = 10^6 \text{ g} = \text{tn}$ ). Vuosina 1991–2012 metsitettyjen peltojen puustoon sitoutuu hiiltä yhteensä noin  $1 750 \text{ Gg}$ . Vuoden 1990 jälkeen metsitettyjen peltojen puubiomassaan (runko, oksat, neulaset ja juuret) sitoutuu vuosina 2008–2012 hiiltä keskimäärin  $123 \text{ Gg}$  vuodessa ( $\text{Gg} = 10^9 \text{ g}$ ) (taulukko 3). Suomessa peltoja metsittämällä aikaansaataava hiilinielu on pieni verrattuna vuosittaisiin hiilidioksidipäästöihin (vuonna 1990  $16 000 \text{ Gg}$  hiiltä).

### Maankäytön muutoksista hiilen lähde

Metsämaan muuttaminen viljelysmaaksi tai rakennetuksi maaksi on Kioton sopimuksen mukaista metsän hävittämistä (*deforestation*). Metsämaata ei ilmeisesti raivata sopimuskauden aikana pelloksi, joten tässä tarkastellaan vain rakennustoiminnan

vaikutusta metsäpinta-alaan. VMI8+:n mukaan rakennustoiminta on pienentänyt metsätalousmaan alaa 200 000 ha mittauksia edeltäneellä 10-vuotiskaudella eli 20 000 vuodessa. Jos oletetaan, että rakentaminen on kohdistunut metsämaalle siinä suhteessa kuin sitä on metsätalouden maasta koko maassa, voidaan päätellä, että rakennustoiminta pienentää metsämaata n. 15 000 hehtaaria vuodessa (taulukko 2). Jos oletetaan rakennustoiminnan jatkuvan yhtä vilkkaana kuin VMI8+:n mittauksia edeltävällä 10-vuotiskaudella, metsämaan pinta-ala vähenee 15 000 ha vuodessa vuosina 2008–2012. Metsämaalla puuston keskitilavuus on  $92 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , ja puuston koko biomassan (runko, oksat, neulaset, juuret) keskimääräinen hiilimäärä on noin  $32 \text{ Mg ha}^{-1}$ . Näin ollen *metsämaan vähenemisen myötä arvioidaan vuosina 2008–2012 vapautuvan hiiltä 480 Gg vuodessa* (taulukko 3).

### Metsänuudistaminen on kyseenalainen hiilen nielu

Kioton sopimuksessa mainittu *reforestation* sisältyy IPCC:n määritelmiä noudattaen edellä esitettyyn peltojen metsitykseen. Kuitenkin FAO:n (FAO 1990) käyttämän määritelmän mukaan termillä tarkoitetaan metsän uudistamista, joten FAO:n määritelmää soveltaen voidaan myös uudistushakkuiden jälkeinen metsän uudistaminen tulkita sopimuksen mukaiseksi hiilinieluksi. Uudistushakkuissa korjattavaa puustoa ei kuitenkaan sopimuksen mukaan lasketa hiilen lähteeksi vaan Kiotossa päätettiin jättää korjuut (*harvesting*) tarkastelun ulkopuolelle.

Suomessa uudistushakkuita on 1970–1989 tehty vuosittain 91 000–210 000 ha, ja vuosina 1990–96 keskimäärin 160 000 ha. Jos uudistushakkuiden määrä säilyy 1990-luvun alun tasolla, uudistetaan metsiä vuosien 1991–2012 välisenä aikana yhteensä 3,5 milj. ha (taulukko 1). VMI8:n mukaan ikäluokan 1–20 metsien vuotuinen keskikasvu oli  $2,0 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ . Uudistusaloille ennustetaan puuston kasvun myötä sitoutuvan siten hiiltä  $0,76 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ v}^{-1}$  uudistamista seuraavien ensimmäisten 20 vuoden aikana ja keskimäärin noin  $1,34 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ v}^{-1}$  koko kiertäjän kuluessa. *Vuoden 1990 jälkeen uudistettujen metsien puustoon (runko, oksat, neulaset ja juuret) sitoutuu vuosina 2008–2012 hiiltä keskimäärin*

*2 300 Gg vuodessa* ( $Gg = 10^9 \text{ g}$ ). Kuitenkin uudistushakkuuta seuraavien ensimmäisten 20 vuoden aikana metsämaaperästä vapautuu hiiltä enemmän kuin kasvavaan puustoon sitoutuu, joten nuoret metsät eivät ole hiilen nielu (Mäkipää ym. 1998). Lisäksi hakkuissa korjattavan puuston sisältämä hiilimäärä on moninkertainen verrattuna kehittyvän nuoren metsän sitomaan hiilimäärään. Vuosina 1985–90 hakattiin puuta keskimäärin 48,7 milj. ja vuosina 1991–96 49,4 milj. kuutiometriä vuodessa. Keskimääräinen metsistä poistuva hiilimäärä 1991–96 oli noin 10 700 Gg vuodessa. Tästä noin kolmannes käytetään välittömästi energianlähteenä, jolloin hiilidioksidi vapautuu ilmakehään, ja kaksi kolmannesta varastoituu väliaikaisesti erilaisiin tuotteisiin.

### Hiilinielulaskentatapojen tarkastelua

Kioton päätöspöytäkirjan mukaan ihmisen toiminnan vaikutus metsien hiilinieluun ja -lähteisiin arvioidaan vuosien 1991–2012 metsämaan pinta-alamuutosten ja niihin muutoksiin vuosina 2008–2012 välittömästi liittyvän puustoon sitoutuvan tai puustosta vapautuvan hiilen avulla. Arviointitapa ei ota huomioon olemassa olevalla metsämaalla tapahtuvia keskimääräisen hehtaarikohtaisen puuvarannon ja siihen sitoutununeen hiilen määrän muutoksia. Borealisissa metsissä voi kuitenkin keskimääräisessä varannossa tapahtua suuria muutoksia, jotka ovat paljon merkityksellisempiä kuin metsämaan pinta-alamuutoksiin liittyvät puuston hiilivaraston muutokset. Tästä mm. Pohjoismaiden metsien kehitys 1950-luvun jälkeen on hyvä esimerkki. Teollistuneiden maiden osalta edes tietopohja ei tuottaisi ylitse-pääsemättömiä ongelmia puuvarannon muutoksiin perustuvalla hiiliaselaskennalla.

Kioton päätöspöytäkirjan mukaisessa laskentatavassa myös hakkuissa korjattava puu jää kokonaan tarkastelun ulkopuolelle. Jotta voitaisiin arvioida puuvarojen ja puun käytön hiilinielua ja ilmasto-vaikutuksia, tulisi laskenta ulottaa myös puusta valmistettuihin tuotteisiin ja niiden elinkaariin (Karjalainen ja Kellomäki 1996, Pingoud ym. 1996, Pusinen ym. 1998). Metsämaahan ja turvevaroihin sitoutuneen hiilen määrä on erittäin suuri, joten maan hiilivarannon muutoksilla on huomattava ilmasto-

vaikutus. Metsätalouden ja muun ihmisen toiminnan vaikutukset maaperään sitoutuneen hiilen määrään tulisi kuitenkin tuntea nykyistä paremmin ja varannon seurantaraportteja tulisi kehittää, jotta maan hiilivarannon muutokset voitaisiin luotettavasti arvioida. Tämä vaatii huomattavaa kansainvälistä tutkimuspanosta.

Kioton sopimuksen mukainen laskentatapa ei tuota kannustinta lisätä hiilen nielua tai hiilivarantoa olemassaolevalla metsämaan pinta-alalla esimerkiksi metsien kasvua tai puuvarantoa lisäämällä. Teollistuneiden ja erityisesti metsätalouteen panostavien maiden osalta tuskin on olemassa todellista vaaraa, että keskimääräinen puuvaranto alenisi. Kuitenkin joillekin kehitysmaille (sopimuksen mahdollisesti laajetessa) tai siirtymätaloudessa oleville maille saattaa syntyä epätarkoituksenmukainen taloudellinen kannustin välttää laskennallisia päästöjä sellaisilla toimenpiteillä, jotka ainoastaan siirtävät todelliset päästöt laskennan ulkopuolelle. Tämän seurauksena nettopäästöt voivat todellisuudessa kasvaa, vaikka laskennalliset nettopäästöt alenisivat. Tämä voi tapahtua, jos puuta käytetään energiantuotannossa siten, että metsiin sitoutunut hiilimäärä alenee ilman, että metsämaan pinta-ala vähenee (Kioton sopimuksen mukaan puun poltosta aiheutuneita päästöjä ei lasketa mukaan hiilidioksidipäästöihin).

### Johtopäätökset

Jos Kioton sopimuksen termeille käytetään IPCC:n mukaisia tulkintoja, Suomen metsämaan pinta-alamuutokset muodostavat hiilen lähteen, joka on vuosina 2008–2012 suuruudeltaan 357 Gg vuodessa (taulukko 3). Jos metsitys metsänuudistamisen yhteydessä katsotaan sisältyvän termiin *reforestation* (FAO 1990), Kioton sopimuksen mukainen nettohiilinielu jaksolla 2008–2012 on noin 1 943 Gg vuodessa. Kioton ilmastokokouksen päätöspöytäkirjan mukaisen hiilinielujen tarkastelun ulkopuolelle jää metsien puuvarannon kasvun aiheuttama hiilinielu. Suomen metsämaan pinta-alamuutokset ja niihin liittyvät hiilinielut ovat pienehköjä verrattuna esimerkiksi metsien tämänhetkiseen ja ilmeisesti myös jakson 2008–2012 puuvarannon kasvun aiheuttamaan hiilinieluun (3 500–8 800 Gg vuodessa). Suo-

messä metsien hiilinielu on kansainvälisesti tarkastellen suuri verrattuna hiilidioksidipäästöihin. Kioton sopimusasiakirjan laskentatapa jättää kuitenkin boreaalisten metsien tärkeimmät hiilinielut laskennan ulkopuolelle, joten tällaisenaan Kioton sopimuksella ei liene laajoja vaikutuksia maamme metsätalouteen. Toisaalta myös Suomessa harjoitetun kestävänsä metsätalouden ja kasvavan puuvarannon myötä saavutetut suotuisat ilmastovaikutukset jäävät Kioton sopimuksen mukaisessa laskennassa huomiotta.

### Kirjallisuus

- Dixon, R.K., Brown, S., Houghton, R.A., Solomon, A.M., Trexler, M.C. & Wisniewski, J. 1994. Carbon pools and flux of global forest ecosystems. *Science* 263: 185–190.
- FAO. 1990. The forest resources of the temperate zones. The UN-ECE/FAO 1990, Forest resource assessment. Volume 1. United Nations Publications.
- Hakkila, P. 1979. Wood density and dry weight tables for pine, spruce and birch stems in Finland. *Communications Instituti Forestalis Fenniae* 96(3). 59 s.
- IPCC. 1996. Intergovernmental Panel for Climate Change. Revised 1996 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories, Vol. 1. Reporting instructions.
- Karjalainen, T. & Kellomäki, S. 1996. Greenhouse gas inventory for land use changes and forestry in Finland based on international guidelines. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Climate* 1: 51–71.
- Kauppi, P.E., Tomppo, E. & Ferm, A. 1995. C and N storage in living trees within Finland since 1950s. *Plant and Soil* 168–169: 633–638.
- Kuusisto, E., Kauppi, L. & Heikinheimo, P. 1996. Ilmastonmuutos ja Suomi. *Yliopistopaino, Helsinki*. 265 s.
- Laine, J., Minkkinen, K., Tolonen, K., Turunen, J., Martikainen, P., Nykänen, H., Sinisalo, J. & Savolainen, I. 1996. Greenhouse impact of Finnish peatlands 1900–2100. *Julkaisussa: Laiho, R., Laine, J. & Vasander, H. (toim.). Northern peatlands in global climatic change, vol 1/96. Academy of Finland, Helsinki.* s. 230–235.
- Liski, J. 1997. Carbon storage of forest soils in Finland. *Väitöskirja, Helsingin yliopiston metsäekologian laitoksen julkaisuja* 16. 46 s.
- Metsätalastollinen vuosikirja 1997. *Metsäntutkimuslaitos*.
- Mäkipää, R., Karjalainen, T., Pussinen, A. & Kellomäki,

- S. 1998. Effects of climate change and nitrogen deposition on the carbon sequestration of a forest ecosystem in the boreal zone. Käsikirjoitus.
- Mälkönen, E. 1974. Annual primary production and nutrient cycle in some Scots pine stands. *Communications Instituti Forestalis Fenniae* 84(5). 87 s.
- 1977. Annual primary production and nutrient cycle in a birch stand. *Communications Instituti Forestalis Fenniae* 91(5). 35 s.
- Nurmi, J. 1997. Heating values of mature trees. *Acta Forestalia Fennica* 256. 28 s.
- Ovington, J.D. 1962. Quantitative ecology and the woodland ecosystem concept. *Advances in Ecological Research* 1: 103–192.
- Pingoud, K., Savolainen, H. & Seppälä, H. 1996. Greenhouse impact of the Finnish forest sector including forest products and waste management. *Ambio* 25: 318–326.
- Pussinen, A., Karjalainen, T., Kellomäki, S. & Mäkipää, R. 1998. Potential contribution of the forest sector to carbon sequestration in Finland. *Biomass and Bioenergy* 13: 377–387.
- Schimel, D.S. 1995. Terrestrial ecosystems and the carbon cycle. *Global Change Biology* 1: 77–91.
- Suomen tilastollinen vuosikirja 1995. Tilastokeskus.
- Tomppo, E. & Henttonen, H. 1996. Suomen metsävarat 1989–1994 ja niiden muutokset vuodesta 1951 lähtien. *Metsätilastotiedote* 354: 1–18.
- UNFCCC 1998. United Nations Framework Convention on Climate Change. <http://www.unfccc.de>.
- Watson, R.T., Zinyowera, M.C. & Moss, R.H. 1996. *Climate change 1995, impacts, adaptations and mitigation of climate change: scientific-technical analyses*. Cambridge University Press.

■ Kirjoittajat toimivat Metlan Helsingin tutkimuskeskuksessa. Tomppo vastaa valtakunnan metsien inventoinneista, Mäkipää työskentelee metsäekologian tutkijana.