

Ilmastopaneeli

METSIEN KÄYTÖN JA METSÄBIOENERGIAN
ILMASTOVAIKUTUKSET

Suomen ilmastopaneeli

Raportti 2/2013

KIM PINGOUD, ILKKA SAVOLAINEN, JYRI SEPPÄLÄ, MARKKU KANNINEN, ANTTI
KILPELÄINEN

METSIEN KÄYTÖN JA METSÄBIOENERGIAN ILMASTOVAIKUTUKSET

KIM PINGOUD¹, ILKKA SAVOLAINEN¹, JYRI SEPPÄLÄ², MARKKU KANNINEN³, ANTTI
KILPELÄINEN²

1 Teknologian tutkimuskeskus VTT
2 Suomen ympäristökeskus
3 Helsingin yliopisto, metsätieteiden laitos

Päivitetty 1.3.2013 sivuja 3, 18 ja 20.

LYHENNELMÄ

Uusiutuvan energian käyttöä pyritään lisäämään maailmassa mm. osana ilmastonmuutoksen hillitsemistoimia ja energiaomavaraisuuden parantamista. Näissä suunnitelmissa bioenergia olisi maailmassa yksi merkittävimmistä uusiutuvan energian lähteistä. Suomen kotimainen bioenergian tuotanto perustuu pääosin metsäbiomassaan, jota saadaan suoraan metsätaloudesta ja toisaalta metsäteollisuuden sivuvirroista. Myös Suomessa ollaan lisäämässä voimakkaasti bioenergian hyödyntämistä. Lisäksi metsäteollisuus, joka on Suomen merkittävimpiä teollisuudenaloja, perustuu metsäraaka-aineen hyödyntämiseen.

Nykyisessä ilmastoneuvottelujen ja ilmastopolitiikan aihepiirissä on monia avoimia kysymyksiä, joista useat koskevat bioenergian ja ekosysteemin hiilivarastojen käyttöä. Aihepiirissä käydään myös tieteellistä keskustelua, jossa arvostellaan nykyisiä käsittelytapoja. Keskustelun valossa on mahdollista, että bioenergian ja biomassan käyttöä koskevia laskentasääntöjä muutetaan kansainvälisissä sopimuksissa, EU:n direktiiveissä tai EU:n muussa sääntelyssä nykyisistä kansallisista hiilitaseista kohti toimenpiteiden päästövaikutuksen huomioonottamista.

Tässä raportissa tarkastellaan tieteellisen kirjallisuuden valossa metsäbiomassan hyödyntämisen ilmastovaikutuksia, ilmastonmuutoksen hillinnän aikajänteitä ja metsäbioenergian hyödyntämistä Suomen näkökulmasta.

Kun sovelletaan nykyisiä Kioton (-2012) ja Kioton jatkokauden (2013-2020) biomassaa koskevia päästöjen raportointisääntöjä, joissa biomassan käytön vaikutukset kirjautuvat maankäytön muutoksen ja metsätalouden sektorille. Ensimmäisestä velvoitekaudesta poiketen metsäkadosta eli metsäpinta-alan vähenemisestä aiheutuu jatkokaudella lisärasite, joka on luokkaa 3-4 Tg CO₂ vuodessa. Toisaalta Suomi voi saada metsänhoidollisista toimista laskennallista päästöhyvitystä enimmillään 2,5 Tg CO₂ vuodessa, kun se ensimmäisellä velvoitekaudella oli 0,6 Tg CO₂ vuodessa. Sen saaminen edellyttää, että vuosittainen nielu on yli 23 Tg CO₂ puutuotteet mukaan lukien. Tämä voitaneen nykynäkymien valossa helposti saavuttaa. Ellei EU:n kanssa päästä sopimukseen mahdollisista kompensatioista metsäsektorista näyttäisi tulevan 1-2 Mt CO₂ vuotuinen lisärasite toisella velvoitekaudella, kun siitä aiemmin saatiin 0,6 Tg CO₂ vuotuinen päästöhyvitys. Ennusteiden mukaan lisärasite kasvaa toisen velvoitekauden loppua kohti johtuen metsäkadon laskentatavasta. Sikäli tilanne on kuitenkin edullinen Suomen metsäteollisuuden ja muiden biomassan hyödyntämistoimien kannalta, että metsäbiomassaa voidaan laajasti raaka-aineena ja energian lähteenä ilman että tästä aiheutuisi lisää laskennallista päästövaikutusta.

Myös muita bioenergian ja biomassan käytön laskentatapoja koskien suunniteltuja päästönrajoitustoimia voidaan pitää perusteltuina erityisesti silloin, kun ne ottavat huomioon biomassan käytön vaikutuksen tulevaan ilmakehän hiilidioksidimäärään.

Tämän vuoksi olisi Suomessa perusteltua varautua myös tällaisiin bioenergian ja biomassan käyttöä koskeviin laskentasääntövaihtoehtoihin, etenkin kun metsien pitkäkiertoinen biomassa on keskeinen osa Suomen teollisuuden ja energiantuotannon resurssipohjaa. Jos laskentasääntöjä muutetaan, on vaarana, että monet pitkäikäiset investoinnit jäävät vajaalle käytölle. Tutkimusta tulisi suunnata myös tähän aihepiiriin asioiden ymmärryksen lisäämiseksi ja voimavarojen optimaaliseksi kohdentamiseksi.

ALKUSANAT

Suomen teollisuustuotanto ja myös energiantuotanto perustuvat suurelta osalta metsien hyödyntämiseen. Metsäenergian käytön lisäämiseen perustuu myös merkittävältä osalta kasvihuonekaasujen päästöjen vähentäminen Suomen energiajärjestelmässä.

Ilmastopaneeli päätti loppukeväästä 2012 käynnistää energiajärjestelmän päästönvähennystoimia koskevan selvityshankkeen, johon osallistuvat ympäristöministeriön tekemillä rahoituspäätöksillä Teknologian tutkimuskeskus (VTT), Aalto-yliopisto, Suomen ympäristökeskus (SYKE), Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus (MTT) sekä Helsingin yliopiston (HY) opettajankoulutuslaitos ja metsätieteiden laitos. Työn tavoitteena on tarkastella aihepiirejä, jotka ovat haasteita ilmasto- ja energiastrategian laadinnassa ja joiden hallintaa tulisi kehittää.

Hankkeen koordinaattorina toimi tutkimusprofessori Ilkka Savolainen (VTT), lisäksi hanketyöryhmään osallistuivat ilmastopaneelin jäsenet Miimu Airaksinen (VTT), Hannele Cantell (HY), Markku Kanninen (HY), Pirjo Peltonen-Sainio (MTT), Jyri Seppälä (SYKE) ja Sanna Syri (Aalto). Lisäksi työhön osallistui useita muita henkilöitä edellä mainituista organisaatioista.

Hankkeesta laadittiin kolme osaraporttia keskeisiksi valituilta alueilta ja yhteenvetoraportti. Metsäenergian hyödyntämisen lisäämisen kasvihuonevaikutus katsottiin yhdeksi lisäselvitystä vaativista aiheista. Aihepiiristä on julkaistu viime aikoina lukuisia uusia tuloksia tieteellisissä aikakauslehdissä. Työn kuluessa koko ilmastopaneelille oli varattu mahdollisuus kommentoida raporttia ja tuloksia.

Espoossa 25.1.2013

Ilkka Savolainen
Tutkimusprofessori
Ilmastopaneelin energiajärjestelmän päästönvähennyksiä koskevan
selvityksen koordinaattori

SISÄLLYSLUETTELO

	sivu
Johdanto	6
Metsien käytön vaikutukset ilmastonmuutokseen yleensä	7
<i>Kvantitatiivisia hiilitaseen tarkastelumenetelmiä</i>	
<i>Bioenergian syrjäyttämä energia suhteessa biomassan hiilinieluun</i>	
<i>Dynaamiset ja staattiset tarkastelut</i>	
<i>Muiden geofysikaalisten tekijöiden huomioonotto</i>	
Ilmastonmuutoksen hillinnän aikajänteet ja päästönlaskentasäännöt	12
<i>Hillinnän dynamiikka ja tavoitteet</i>	
<i>Päästöjen laskennan säännöt</i>	
Metsäenergia Suomessa	15
<i>Metsäenergia osana puunkäyttöä</i>	
<i>Metsäenergian lisäämisen kasvihuonevaikutukset</i>	
<i>Metsien käytön vaikutukset arviointi valtakunnan tasolla</i>	
<i>Metsien käytön laskennallinen ilmastovaikutus päästösopimusten mukaan</i>	
Pohdintaa tarkastelusta	18
Johtopäätöksiä	20
Viitteitä	20

JOHDANTO

Bioenergia on maailman mitassa merkittävin uusiutuvan energian lähde. Uusiutuvan energian osuus maailman primaarienergiasta oli vuonna 2008 noin 13 %, josta bioenergiaa oli valtaosa, noin 10 % eli 50 EJ. Bioenergiasta noin 87 % on puuperäistä, 10 % maatalousperäistä ja 3 % jätteistä (IPCC 2011, s. 217). Bioenergian sisältämästä primäärienergiasta 80 % on perinteistä biomassan käyttöä kehittyvissä maissa, yleensä heikolla 10-20% hyötysuhteella.

Uusiutuvan energian käyttöä pyritään lisäämään maailmassa mm. osana ilmastomuutoksen hillitsemistoimia ja energiaomavaraisuuden parantamista. Näissä suunnitelmissa bioenergia säilyisi maailmassa yhtenä merkittävimmistä uusiutuvan energian lähteenä.

Suomen kotimainen bioenergian tuotanto perustuu pääosin metsäbiomassaan, jota saadaan suoraan metsätaloudesta ja toisaalta metsäteollisuuden sivuvirroista. Myös Suomessa ollaan lisäämässä voimakkaasti bioenergian hyödyntämistä ja lisäksi metsäteollisuus, joka on Suomen merkittävimpiä teollisuudenaloja, perustuu metsäraaka-aineen hyödyntämiseen.

Bioenergia kytkeytyy hiilen kiertoon terrestristen ekosysteemien ja ilmakehän välillä. Myös meret kytkeytyvät tällaisessa kierrossa ilmakehään. Metsien hävitys monissa trooppisissa maissa siirtää ekosysteemien sisältämää hiilivarastoa ilmakehään. Merkittävin häiriö hiilen kiertoon aiheutuu kuitenkin fossiilisten polttoaineiden käytöstä, jossa geologisten kerrostumien sisältämää hiiltä siirtyy ilmakehään. Fossiilisten polttoaineiden käyttö on merkittävin syy ilmaston muuttumiseen.

Ilmakehään tapahtuvan hiilidioksidipäästön efektiivinen elinaika ilmakehässä on selvästi yli sata vuotta. Jos tarkastellaan ilmakehään tapahtuvaa päästöpulssia, hiilidioksidi sekoittuu joissakin vuosissa koko ilmakehään, osa pulssista sitoutuu terrestristen ekosysteemien hiilivarastoihin ja osa pintamereen, josta hiiltä siirtyy vähitellen myös syvemmillä oleviin kerrostumiin. Sadan vuoden kuluttua päästöstä on vielä luokkaa 40 % ilmakehässä.

Hiilidioksidin hitaan poistumisen takia ilmastomuutoksen hillintää tarkastellaan yleensä ajasta riippuvasti. Kun pyritään rajoittamaan lämpötilan nousu 2-3 °C tasolle toimenpiteiden ilmastovaikutuksia tarkastellaan tavallisesti sadan vuoden aikajänteellä. Metsän kasvukierron pituus pohjoisissa olosuhteissa on samaa luokkaa. Kun siis arvioidaan metsäenergiaa ja hiilen varastoimista metsäekosysteemiin, ollaan aidosti dynaamisissa, ajasta riippuvissa tarkasteluissa.

Kaikki maat joutuvat raportoimaan ilmastopimukselle kasvihuonekaasujen päästönsä. Tämä raportointi käsittää myös olemassa olevat nielut, eli negatiiviset päästöt, joissa hiilen sidonta ylittää hiilen vapautumisen. Raportoinnissa maiden tulee noudattaa IPCC:n laatimia päästöjenlaskentaohjeita. Ilmastopimuksen alainen Kioton pöytäkirja ja tuleva Kioton jatkon pöytäkirja sisältävät ehtoja ja rajoituksia, jotka koskevat juuri nielujen soveltamista.

Metsien käyttöä pidetään usein ilmaston kannalta neutraalina silloin, kun huolehditaan metsien uudistumisesta ja niiden kestävästä hoidosta. Viime vuosina on kuitenkin julkaistu lukuisia tieteellisiä artikkeleita, joissa eritoten metsäbioenergian hyödyntämisen ilmastoneutraalisuus on kyseenalaistettu.

Päästörajoituspöytäkirjojen biomassaa, nieluja ja hiilivarastoja koskeva osuus on muuttunut Kioton pöytäkirjasta sopimisen jälkeen. Myös EU on pohtimassa biomassan käytön päästöjen huomioonottamistapoja päästökaupassa ja toisaalta nestemäisten biopolttoaineiden kestävyyskriteereissä. On siis mahdollista, että nykyinen biomassan käsittely päästöjen arvioinnissa tulee muuttumaan.

Tässä raportissa tarkastellaan tieteellisen kirjallisuuden valossa metsäbiomassan hyödyntämisen ilmastovaikutuksia, ilmastomuutoksen hillinnän aikajänteitä ja metsäbioenergian hyödyntämistä Suomen näkökulmasta.

METSIEN KÄYTÖN VAIKUTUKSET ILMASTONMUUTOKSEEN YLEENSÄ

Metsien käyttöä on totuttu pitämään hiilineutraalina silloin, kun on huolehdittu metsien uudistumisesta ja niiden kestävästä hoidosta. Tällöin ajatellaan, että jos metsikön hiilitase ei peräkkäisten kiertoaikojen yli laskettuna muutu, ei sitä ilmastolaskelmissa tarvitse ottaa huomioon. Asiaa perustellaan myös sillä, että alue- tai maatasolla katsottuna metsät olisivat hiilineutraaleja, jos poistuma ei ylitä kasvua.

Uusiutuvia energiamuotoja pyritään globaalisti edistämään laajoilla ohjelmilla, joiden motivaationa on niin ilmastomuutoksen hillintä kuin riippuvuuden vähentäminen fossiilista polttoaineresursseista. Näissä ohjelmissa bioenergialla on keskeinen osuus. Laajojen ohjelmien seurauksena tieteellisessä keskustelussa on noussut esille bioenergian aiheuttama ekosysteemien hiilimäärän väheneminen ja kritiikki ilmastoneutraaliutta vastaan (esim. Fargione ym. 2008). Toisaalta on myös puolustettu bioenergiaa silloin, kun sen käyttö on kestävä, sekä korostettu mm. metsäbiomassan käytön laadullista eroa suhteessa fossiilisiin raaka-ainelähteisiin (Lippke ym. 2011).

IPCC:n (2011) uusiutuvia energiamuotoja käsittelevä erikoisraportti arvioi bioenergian tarjonnaksi 25-300 EJ vuonna 2050 esitettyjen skenaarioiden perusteella. Skenaarioiden mediaani on 150 EJ, mikä merkitsisi nykyisen tarjonnan kolminkertaistumista. Mediaaniarviossa bioenergian ennustetaan vuonna 2050 edelleen olevan tärkein uusiutuvista energialähteistä. Teknisen potentiaalin IPCC:n raportti (ibid.) arvioi vielä paljon suuremmaksi, 500 EJ:ksi.

Yhdeksi ongelmaksi bioenergian lisäämisessä on kirjallisuudessa tunnistettu maankäytön muutos (Land-Use Change eli LUC), jossa trooppisia metsiä raivataan biomassaviljelmiksi. Välittömät päästöt näistä muutoksista voivat olla monisatakertaisia suhteessa niihin päästönvähennyksiin, joita saavutetaan korvaamalla fossiilisia polttoaineita viljelmistä jalostetuilla biopolttoaineilla (Fargione ym. Science 2008). Tämä voi johtaa vuosisatojen pituisiin hiilen ”takaisinmaksuaikoihin” (Gibbs ym. 2008). Yhtenä pahimpana esimerkkinä ovat trooppisiin suosademetsiin raivatut palmuöljyviljelmät, joissa päästöt aiheutuvat sekä metsäkadosta että kuivattujen suopohjien turvekerroksen vuosikymmeniä jatkuvasta hajoamisesta (Hooijer ym. 2006). Jos maailman metsien roolia ilmastomuutoksen torjunnassa tarkastellaan globaalien kustannustehokkuuden kannalta, on trooppisen metsäkadon pysäyttäminen eräs tehokkaimpia torjuntakeinoja – erityisesti hiilirikkaissa metsissä (sademetsät, trooppiset suot, mangrovet jne.), joissa metsän hävitys aiheuttaa suuren päästön pinta-alayksiköä kohti (Kanninen ym. 2007).

Peltobiomassaviljelmillä käytetyistä lannoitteista syntyvät dityppioksidipäästöt (N₂O) on myös merkittävä haitta. Epävarmuudet niiden arvioinnissa ovat suuria erityisesti koskien päästöjä maaperästä, mutta niiden lämmittävä vaikutus voi olla jopa suurempi kuin syrjäytetyllä fossiilisella energialla (Soimakallio ym. 2009).

Lisäksi on keskustelussa nostettu esiin epäsuorat markkinavaikutukset. Bioenergiaohjelmista aiheutuva biomassan lisääntyminen ja kilpailu ruoantuotannon kanssa maatalousmaasta voi johtaa myös epäsuoriin maankäyttövaikutuksiin (iLUC): maan hinnan nousuun ja lisääntyneeseen trooppisten metsien raivaamiseen viljely- tai laidunmaaksi vaikkei itse bioenergiaviljelmiä perustettaisiinkaan luonnonmetsiin tai muille hiilirikkaille maa-alueille (Searchinger ym. 2008; Melillo ym. 2009). Toisaalta bioenergian lisätarjonta vaikuttaa polttoainemarkkinoihin yleisesti siten, ettei ennakoitua fossiilisten polttoaineiden korvautumista tapahdukaan täydessä mitassa vaan korvautuvuus voi jäädä merkittävästi alhaisemmaksi

(Rajagopal ym. 2011, Hochman ym. 2010, Chen & Khanna 2012, de Gorter & Drabik 2011, Thompson ym. 2011, York 2012).

Viime vuonna julkaistun tutkimuksen (Pan ym., 2011) mukaan maailman metsien nieluvaikutus oli vuosina 1997-2007 keskimäärin $1,1 \pm 0,8$ Pg C vuodessa. Trooppisen metsäkadon aiheuttama päästö oli samana aikana keskimäärin $2,9 \pm 0,5$ Pg C vuodessa, mutta samaan aikaan tapahtuva uudelleenmetsittyminen ja metsien lisäkasvu kompensoivat päästöä, jolloin tropiikin metsäkadon nettopäästökseksi arviointiin $1,3 \pm 0,7$ Pg C vuodessa.

Toinen esiin noussut kysymys on metsien hiilivarastojen dynamiikka. Jos olemassa olevien metsien hyödyntäminen energia- ja raaka-aineiden lähteenä kasvaa, tällä on todennäköisesti suora vaikutus metsien nettomääräiseen hiilen määrään suhteessa perusuraan, mikä pätee erityisesti boreaalisisissa hidaskasvaisissa metsissä (Schulze ym. 2012, Böttcher ym. 2012, Repo ym. 2011, 2012, Melin ym. 2010, McKechnie ym. 2011, Pingoud ym. 2012, Zanchi ym. 2011, Holtsmark, 2012a,b,c Hudiburg ym. 2011, Malmsheimer ym. 2011). Metsäbioenergiaa ei voi olettaa hiilineutraaliksi vaan sillä on vaikutus niin ilmakehän kasvihuonekaasutaseeseen kuin sen lämpenemiseen. Metsän hiilivajeen huomioimisen tärkeyttä bioenergiapäästöjen laskennassa painotti mm. paljon julkisuutta USA:ssa saanut Manomet-raportti (2010). Kvantitatiivisia arvioita bioenergiaohjelmien aiheuttamasta hiilivajeesta on esitetty EU-alueelta kokonaisuudessaan (Böttcher ym. 2012) sekä Suomesta perustuen metsähakepotentiaalhin hyödyntämiseen (Kilpeläinen ym. 2012, Liski ym. 2011). Yhdysvaltain ympäristönsuojeluvirasto EPA (United States Environmental Protection Agency) on esittänyt biogeenisille hiilipäästöille jopa samaa laskentasääntöä kuin fossiilisille päästöille. Bioenergian laskentasäännöistä on käyty keskustelua mm. Science-lehdessä (Searchinger ym. 2011, Pingoud ym. 2011). EPA:n tarjoamasta laskentasäännöstä nousi USA:ssa debatti, joka johti mm. kahden tutkijajoukon täysin vastakkaisiin vetoomuksiin kongressille (Sedjo 2011).

Bioenergiaan kriittisesti suhtautuvat tutkijat huomauttavat vetoomuksessaan (Sedjo *ibid.*), ettei bioenergiaa saisi suoraan olettaa päästöneutraaliksi. Bioenergia ei välittömästi estä hiilidioksidipäästöjä savupiipuista vaan päästöt tuotettua energiayksikköä kohti voivat jopa kasvaa. Biomassan lähde pitäisi ottaa huomioon päästökerrointa arvioitaessa. "Hyvänä" biomassana mainitaan kasviperäiset jätteet, jotka muutenkin hajoaisivat nopeasti ilmakehään, ja biomassassa joutomaille perustetuista nopeakasvuista energiaviljelmistä, "huonona" taas metsäkadosta tai luonnonmetsiin raivatuista biomassaplantaaseilta tuleva biomassa.

Omassa vetoomuksessaan bioenergiaan myönteisesti suhtautuvat tutkijat varoittavat EPA:n laskentasäännön antavan kielteisen signaalin kaikelle bioenergian kehittämiselle ja se voisi jopa kannustaa siirtymistä biopolttoaineista takaisin fossiilisiin polttoaineisiin (Sedjo *ibid.*). Lisäksi tutkijat huomauttavat aivan oikein, että sääntö on ristiriidassa EPA:n itsensä käyttämien inventointimenetelmien kanssa, joissa biomassan tasetta ei raportoida energiasektorilla. Tutkijat, joilla on myös takanaan metsänomistajien ja metsäteollisuuden tuki, painottavat biomassan hiilikierron laadullista erilaisuutta suhteessa fossiilisiin hiilipäästöihin. Biogeenisen hiilen kierto on täysin suljettu. Siinä hiili sitoutuu ilmakehästä takaisin biomassaan, kun taas fossiilisista varastoista hiili virtaa vain yhteen suuntaan ja lisää kierrossa olevan hiilen määrää. Biomassan etuna on lisäksi, että sen käyttö energiana ja materiaaleina syrjäyttää fossiilisia hiilipäästöjä. Se ei ole pelkästään hiilineutraalia vaan sillä saavutetaan ajan mittaan kasvava päästövähennys suhteessa fossiilisten käyttöön perustuvaan vertailutasoon, jossa geologisia pysyviä hiilivarastoja puretaan ilmakehään. Tosin metsäbiomassan hiilitase voi vaihdella paljonkin vuositasolla mm. luonnollisten häiriöiden kuten metsäpalojen tai myrsky- ja hyönteistuhojen seurauksena, mutta tätä ei voida koskaan kokonaan estää. Kestävä metsänhoito on ainoa keino huolehtia hyödynnettävän metsäbiomassan uusiutumisen. Debatin seurauksena EPA:n säännön vahvistamista on lykätty kolmella vuodella (Federal Register 2011).

Yhteenvetona voidaan todeta, että vastakkaisten näkökulmien pääasiallinen ero on suhtautumisessa biomassavarastojen dynamiikkaan. Bioenergiaan perusmyönteisesti suhtautuva koulukunta ei pidä merkittävänä lyhytaikaisia, tilapäisiä vaihteluita biogeenisen hiilen taseessa ja vetoaa biomassan käytön ja bioenergian pitkän aikavälin hyötyihin ilmastonmuutoksen hillinnässä. Kriittisen koulukunnan huoli painottuu akuuttiin ilmastopolitiikkaan ja päästökahtymisen nopeaan hillitsemiseen sekä näin syntyvään ristiriitaan biomassan korjuun voimakkaan lisäämisen kanssa. Esimerkiksi perinteisen metsätalouden tai luonnonmetsien korvaaminen nopeakiertoisilla ja tuottavammilla biomassaviljelmillä johtaa biomassaan sitoutuneen hiilen pysyvästi alhaisempaan varastoon. Vaikka fossiilisia polttoaineita voitaisiin aikayksikköä kohti korvata enemmän, on ilmakehään kuitenkin tuotettu aluksi enemmän hiiltä.

Mikäli metsille halutaan keskeinen rooli ilmastonmuutoksen torjunnassa myös jatkossa, on syytä muistaa, että ”torjunta edellyttää sopeutumista”, toisin sanoen ilmastonmuutoksen vaikutuksesta metsien kyky sitoa hiiltä saattaa pitkällä aikavälillä vaarantua esimerkiksi lisääntyneiden laajojen hyönteistuhojen (Kurz ym. 2008) ja metsäpalojen (van der Werf ym. 2010) vuoksi. Toisaalta myös metsien hävityksen jatkuessa (noin 10 milj. ha vuodessa), maailman metsien hiilivarasto ja potentiaalinen nieluvaikutus pienenevät vähitellen.

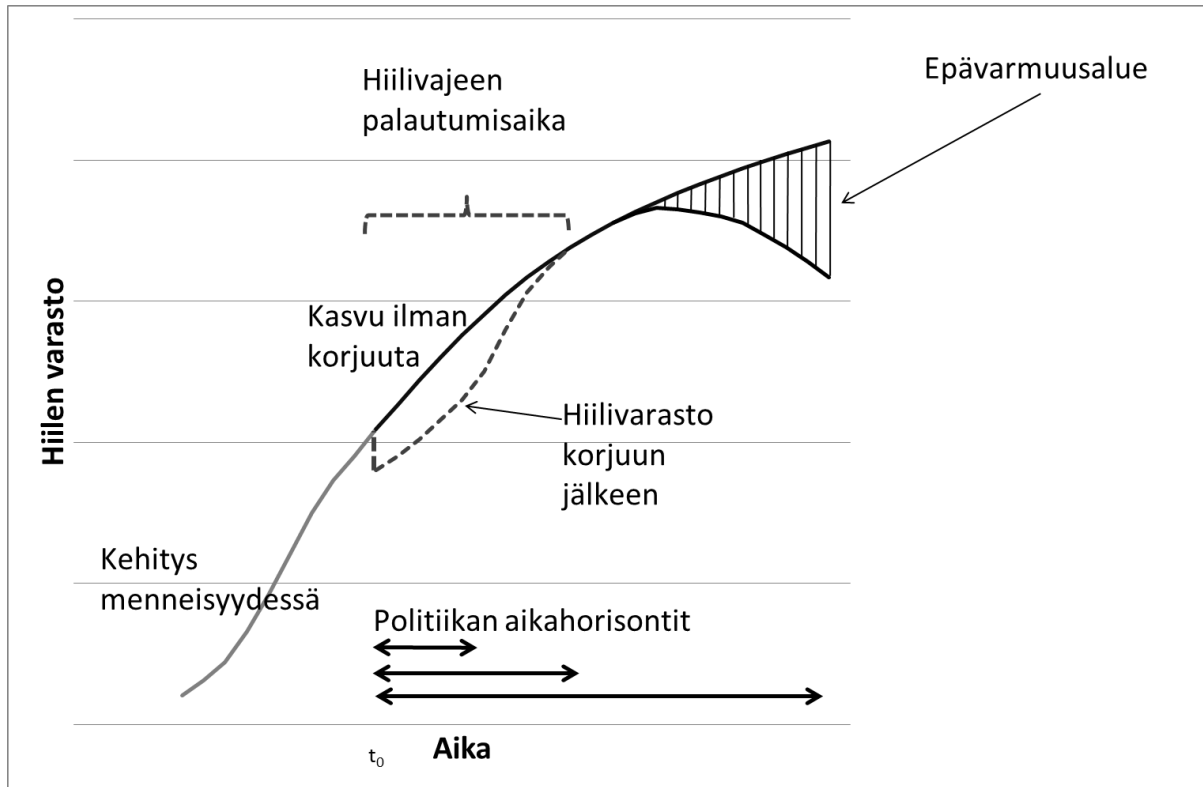
Kvantitatiivisia hiilitaseen tarkastelumenetelmiä

Jotta todellisia metsäenergian (ja metsien materiaalikäytön) ilmastovaikutuksia voitaisiin vertailla, on käytettävä kvantitatiivisia arviointimenetelmiä ja ilmastoindikaattoreita. Olennaista on samalla tarkastella vaikutuksia eri aikajäniteillä. Mittarina voidaan käyttää joko pelkkää hiilitasetta (Schlamadinger ja Marland 1996; Marland ja Schlamadinger 1997) tai sitten tarkastella todellisia ilmastovaikutuksia, joita voidaan kuvata esimerkiksi kumulatiivisella lämmitysvaikutuksella (säteilypakoteella) (ks. esim. Kirkinen ym. 2008, Cherubini ym. 2011 ja Pingoud ym. 2012). Ilmastonmuutoksen hillinnän kannalta on olennaista, mitä tehtävillä hillintätoimilla esimerkiksi bioenergialla voidaan saavuttaa suhteessa perustilanteeseen, eli päästö- tai ilmastovaikutuksia on tarkasteltava suhteessa dynaamiseen vertailutasoon ja ajassa eteenpäin nykytilasta lähtien. Vertailutason valinta ei kuitenkaan aina ole täysin selkeää.

Päästö- ja ilmastovaikutuksia voidaan kvantifioida niin metsikkötasolla kuin alue- tai valtakunnan tasolla, mutta johtopäätökset eivät laadullisesti juuri eroa toisistaan. Metsänhoidollisten toimien voidaan aina ajatella tapahtuvan metsikkötasolla, mutta toisaalta hyödynnettävissä olevan biomassan ja metsänhoidon mahdollisuudet tässä suhteessa määrittävät aluetason tiedon perusteella. Kun päätöksiä tarkastellaan ilmastonmuutoksen hillinnän tai päästöjen kannalta on merkitystä vain sillä, mitä toimia tehdään nykyhetkestä eteenpäin esimerkiksi biomassan korjuun ja käytön suhteen. Jos tarkastellaan esimerkiksi ainespuun hakkuita perusurana, voidaan kysyä mitä vaikutusta on, jos hakkuutähteet kerätään energiapuuksi tai vaihtoehtoisesti jätetään metsään lahoamaan. Valtakunnan tasolla voidaan taas verrata erilaisia metsien käyttöskenaarioita BAU (business as usual) -skenaarioon. Toisaalta sovittaessa tulevaisuudessa ilmastoneuvotteluissa taakanjaosta olisi kuitenkin otettava huomioon ne menneisyydessä tehdyt toimet, jotka edistävät metsien nykyistä ja tulevaa kasvua.

Metsien hiilivelka on dynaaminen ilmiö (kuva 1), jossa tietyn biomassaosion korjuu aiheuttaa tilapäisen dynaamisen hiilivajeen suhteessa vertailutilanteeseen, jossa sitä ei korjata. Hiilitaseen kehittymistä boreaalisessa metsässä on arvioitu simulointimallilaskelmilla (esim. Kilpeläinen ym. 2011, Asikainen ym. 2012). Ekosysteemin nettohiilivaihto koostuu puiden kasvusta (maan päällä ja maan alla) ja karikkeen ja humuksen hajoamisesta. Ensimmäisen n. 20 vuoden aikana päätehakkuihin jälkeen uudistettu metsäekosysteemi toimii hiilidioksidin nettolähteenä. Uudistetun alueen hakkuutähteiden, oksien, kantojen ja humuksen hajoamisen seurauksena vapautuu enemmän hiilidioksidia kuin sitä sitoutuu uuteen kasvustoon. Puun energiakäyttöä tarkasteltaessa biomassan hiili vapautuu ilmakehään välittömästi, kun taas metsään jäävän biomassan hajoamisnopeus on luonnollisesti tätä hitaampi. Tämän seurauksena voidaan ajatella, että metsäenergian käyttöön otosta syntyy tarkasteluhetken alkupäähän

ilmakehää lämmittävä vaikutus, joka saadaan kompensoitua metsän kasvulla vasta viiveellä. Metsäbioenergian ilmastovaikutuslaskelmiin päästään tarkastelemalla metsien kehitystä siten, että toisessa vaihtoehdossa korjataan metsäbioenergiaa ja toisessa ei. Ilmastovaikutus on siis energiakäytön ja hakkuutähteiden metsässä lahoamisen välinen erotus (Kilpeläinen ym. 2012).



Kuva 1 Periaatteellinen kuva hiilen määrästä metsäekosysteemissä, kun biomassaa ei korjata tai korjataan. Hiilen määrä palautuu alkuperäiselle uralle kasvukierron mittaan. Korjuun vaikutus on luonnontilaista kehitystä vastaavan ja korjuun huomioon ottavan käyrän erotus (tai erotuksen integraalin vaikutus ilmakehän pitoisuuteen ja säteilypakotteeseen). Poliitiikan aikahorisontit voivat olla erilaisia suhteessa hiilen määrän palautumisaikaan (Helin ym. 2012)

Hakkuutähteiden ja kantojen korjuu voi vaikuttaa metsämaan ravinnetasoon heikentäen metsän kasvua tulevaisuudessa (esim. Peltola ym. 2011, Helmisaari ym. 2009). Toisaalta erityisesti kuusten kantojen poistamisella vältytään puutaudeilta, mikä parantaa metsäalan puun määrän tuottavuutta. Metsäenergian käytön ilmastovaikutuksia voidaan parantaa tehostamalla metsän kasvua metsänhoitotoimenpiteillä, kuten harvennuksilla tai lannoituksella ja lisäämällä metsäbioenergian tuotantoa metsän kasvatusvaiheessa, jolloin puun kasvun nopeutuminen ehtii kompensoida lämmittävän vaikutuksen nopeammin. Tätä taustaa vasten pohjoisen metsät pidemmän kiertoaikansa takia ovat kuitenkin huomommassa asemassa kuin etelässä kasvavat metsät.

Bioenergian syrjäyttämä energia suhteessa biomassan hiilinieluun

Jos bioenergian tai biomassan käyttöketjun ilmastovaikutusta halutaan arvioida suhteessa vaihtoehtoihin, tulee vertailun kohteeksi ottaa funktionaalisesti ekvivalentit fossiilisen energian käyttöketjut. Biomassan käytön voidaan arvioida korvaavan tai syrjäyttävän fossiilisia päästöjä (Schlamadinger ja Marland, *ibid.*). Hiilivelan voidaan katsoa olevan maksettu, kun biomassalla syrjäytetty fossiilisen hiilen kumulatiivinen päästö on dynaamista hiilivelkaa suurempi (takaisinmaksuaika-ajattelu). Olennaista takaisinmaksuajan kannalta on paitsi hiilivelan dynamiikka, se 1) kuinka tehokkaasti

käytettävällä biomassalla voidaan syrjäyttää fossiilisia hiilipäästöjä, ja 2) kuinka paljon ja miten pitkäksi aikaa osa biomassasta sitoutuu tuotteisiin. Lyhyellä tähtäyksellä puun käytön ja erityisesti sen polton vähentämisellä saavutetaan ilmastohyötyjä. Pitkällä tähtäyksellä puun käytön vähentäminen heikentää metsäalueen hiilitaseen kehittymistä kun kasvu loppuu ja kuolleen, lahoavan biomassan osuus kasvaa. Lisäksi erilaisten metsätuhojen riski saattaa kasvaa vanhoissa metsiköissä ja erityisesti vielä ilmaston muuttumisen seurauksena. Metsätuhojen myötä mahdollisuudet tehokkaasti hyödyntää biomassaa fossiilisten hiilipäästöjen syrjäyttämässä heikkenevät.

Metsäekosysteemin biomassaa voidaan siis käyttää periaatteessa kahdella tavalla ilmastomuutoksen hillintään. Biomassaa voidaan käyttää korvaamaan fossiilisia polttoaineita, jolloin vältetään fossiilisten polttoaineiden suhteellisen suurien kasvihuonekaasujen päästöjä. Toinen tapa on kasvattaa biomassan varastoja metsäekosysteemissä tai metsätuotteissa, jolloin ilmakehästä poistettua hiiltä varastoituu näihin. Näitä keinoja voidaan käyttää rinnakkain, mutta ne useimmissa tapauksissa syövät toistensa potentiaalia.

Syrjäytettyä fossiilista hiilipäästöä suhteessa hyödynnetyn puubiomassan sisältämään biogeeniseen hiileen voidaan kuvata laaduttomalla verrannollisuuskertoimella (Displacement Factor DF) (Schlamadinger ja Marland, *ibid.*). Mitä suurempi on DF, sitä lyhyempi on takaisinmaksuaika. Korkealle jalostetut bioenergiatuotteet kuten biopoltonesteet ovat tässä suhteessa jonkin verran heikompia kuin vähän jalostetut kiinteät puupolttaineet. Puun alhaisemmasta energiasisällöstä johtuen sama määrä energiaa tuotetaan fossiililla polttoaineilla hiukan pienemmillä kasvihuonekaasupäästöillä. Siksi kerroin DF on yleensä aina pienempi kuin 1. Se, miten paljon fossiilista energiaa tai tuotteita lisääntyvä biomassan tai bioenergian tarjonta todellisuudessa syrjäyttää, on kuitenkin vaikea arvioida edellä mainittujen markkinavaikutusten takia.

Suurin osa metsäteollisuuden tuotteista päättyy elinkaarensa lopussa hiilidioksidina ilmakehään. Hakkuissa korjattu ainespuu varastoituu osin puutuotteisiin näiden elinkaaren ajaksi ja vasta tämän jälkeen tuotteiden sisältämä hiili vapautuu ilmakehään, joko palamisen tai lahoamisen seurauksena. Lisäksi puutuotteet voivat korvata fossiili-intensiivisempiä tuotteita, jolloin niillä on samanlainen fossiilisia hiilipäästöjä syrjäyttävä vaikutus kuin puupolttaineilla. Erityisesti pitkäikäiset puutuotteet ovat näin ilmastomielessä puupolttaineita parempia, koska ne sekä syrjäyttävät fossiilisia päästöjä että toimivat tilapäisinä hiilivarastoina. Pitkäikäiset tuotteetkin voidaan elinkaarensa lopuksi kierrättää energiaksi, mutta silloinkin ilmaston kannalta parempi vaihtoehto on niiden elinkaaren pidentäminen kierrättämällä.

Dynaamiset ja staattiset tarkastelut

Realistisempaa kuin tarkastella pelkkää hiilivelkaa suhteessa vertailutasoon on arvioida sen lämmittävää vaikutusta esimerkiksi kumulatiivisen säteilypakotteen avulla. Yksi säteilypakotetta soveltava menetelmä on suhteuttaa metsän tilapäisen hiilivajeen lämmitysvaikutus samansuuruisen fossiilisen CO₂-pulssin lämmitysvaikutukseen käyttämällä ns. GWP-kertoimia (Cherubini ym. 2011). (Fossiilisen pulssin dynamiikka ilmakehässä voidaan ajatella olevan erilainen, koska se ei pala enää takaisin fossiilisiin varastoihin.) GWP-kerrointen avulla voidaan esimerkiksi johtaa tehollisia päästökertoimia metsäbioenergialle, jos ilmastomuutoksen hillinnän aikajänne on kiinnitetty (esimerkiksi 100 vuotta). Niitä voitaisiin käyttää esimerkiksi tulevaisuuteen suuntautuvissa elinkaaritarkasteluissa, mutta ei inventaareissa, jotka kuvaavat päästöjä ja hiilivaraston kehitystä. Toteutuneen päästökehityksen kirjaavissa inventaarioissa niitä ei ole tarve käyttää. Guest ym. (2012) osoittavat laskelmissaan, että pelkän ainespuun käytön GWP-kertoimet ovat vieläkin suuremmat – eli ilmastolle epäedullisemmat – kuin GWP-kertoimet käytettäessä sekä ainespuu että hakkuutähteet. GWP-kertoimet voidaan myös yleistää kuvaamaan biomassalla syrjäytettäviä fossiilisia päästöjä sekä puutuotteisiin sidottua tilapäistä hiilivarastoa (Pingoud ym. 2012). Säteilypakotepohjaisilla indikaattoreilla hiilivajeen takaisinmaksuaika on vielä pitempi kuin tarkasteltaessa pelkkää hiilitasetta.

Aivan vastakkainen lähestymistapa on tarkastella ilmastohyötyjä hyvin pitkällä (tai äärettömällä) aikavälillä, jossa tasapainotilataarkastelulla (steady-state analysis) vertaillaan erilaisten normaalimetsien tuottamia ilmastohyötyjä (esim. Pingoud ym. 2010). Normaalimetsässä kaikki ikäluokat ovat tasaisesti edustettuina ja hakkuupoistuma pysyy vuodesta toiseen samana. Vertailut normaalimetsät eroavat toisistaan kiertoaikojen ja vuosittain suoritettavien metsänhoitotoimien suhteen. Metsän vakiona pysyvä puuntarjonta ja sen jakautuminen tukki-, kuitu-, ja energiaosioihin määrittelee, millaisissa ilmastomuutoksen hillinnän kannalta eriarvoisissa kohteissa puuta on mahdollista hyödyntää. Ilmastohyödyt muodostuvat toisaalta biomassaan sidotun hiilen tasapainovarastosta (metsä + metsätuotteet) sekä vuosittain korvattujen fossiilisten hiilidioksidipäästöjen määrästä. Metsänhoidossa ja puunkäytössä voitaisiin pyrkiä sellaiseen tasapainotilaan, jossa vuosittaiset ilmastohyödyt maksimoituvat. Kyseiseen staattiseen lähestymistapaan voi kuitenkin suhtautua kriittisesti, koska metsien hiilivarastojen aikavakiot ovat niin pitkiä suhteessa ilmastomuutoksen hillinnän akuuttiin aikatauluun.

Muiden geofysikaalisten tekijöiden huomioonotto

Ilmastovaikutusten arviointi muuttuu vielä mutkikkaammaksi ja epävarmemmaksi, kun tarkasteluun otetaan mukaan muiden geofysikaalisten tekijöiden, kuten pinta-albedon, haihdunnan, pilvienmuodostuksen tai metsissä ja bioenergian käytöstä syntyvien aerosolien ja pienhiukkasten dynaaminen vaikutus (Spracklen ym. 2012). Näitä vaikutuksia voidaan periaatteessa integroida GWP-kertoimiin (Bright ym. 2012). Lumisina vuodenaikoina tasaisilla metsättömillä aloilla on paljon voimakkaampi heijastava vaikutus, erityisesti keväisin. Balan ym. (2011) globaalilla ilmastomallilla tekemien laskelmien mukaan albedon ilmastoa viilentävä vaikutus riittäisi kompensoimaan pohjoisilla alueilla jopa metsäkadon aiheuttaman hiilidioksidilisän ilmakehässä sekä muut geofysikaaliset tekijät. Tropiikissa tilanne on päinvastainen ja metsittämisellä on laskelmien perusteella selvä ilmastoa viilentävä vaikutus. Albedo-tekijällä voi olla vaikutusta metsänhoitotoimien lämmitysvaikutuksiin: päätehakkuuala voi viilentää ilmastoa paikallisesti pitkään boreaalisissa pitkäkiertoisissa metsissä. Hakkuutähteiden korjuu saattaa tehdä avohakkuualan vielä heijastavammaksi ja ilmastoa viilentävämmäksi.

Biomassan poltto aiheuttaa orgaanisen hiilen (organic carbon, OC) ja mustan hiilen (black carbon, BC) päästöjä. Päästöt ovat suurimmillaan avotulen ja pienten tulisijojen ollessa kyseessä. Orgaanisen hiilen päästöillä on viilentävä vaikutus ja mustalla hiilellä on suhteellisen voimakkaasti lämmittävä (Shindell ym. 2012, Bond ym. 2011). Sekä päästöt että vaikutukset tunnetaan kuitenkin melko epätarkasti. Mustan hiilen lämmittävä vaikutus perustuu siihen, että hiukkaset imevät auringon säteilyä sekä ollessaan ilmassa että lisäksi kun ne laskeutuvat lumelle. Maailman mittakaavassa orgaanisen hiilen ja mustan hiilen vaikutus kumoavat suureksi osaksi toisensa, mutta Suomen päästöjen ollessa kyseessä lämmittävä vaikutus on paljon viilentävää suurempi (Kupiainen 2010). Suomen tapauksessa vuosittainen nettolämmitysvaikutus pienpoltosta vastaisi luokkaa miljoonaa hiilidioksidiekvivalenttitonnia (Lindroos ym. 2012b), arvio on kuitenkin varsin epätarkka.

Eri tekijöiden kokonaisvaikutus on epävarma, mutta sen selvittäminen olisi tärkeää, jotta biomassan käytön ilmastovaikutukset voitaisiin arvioida luotettavasti.

ILMASTOMUUTOKSEN HILLINNÄN AIKAJÄNTEET JA PÄÄSTÖNLASKENTASÄÄNNÖT

Hillinnän dynamiikka ja tavoitteet

YK:n ilmastosopimuksen tavoitteet on kirjoitettu sopimuksen artiklassa 2:

1. tavoitteena on vakauttaa ilmakehän kasvihuonekaasujen pitoisuuksien nousu vaarattomalle tasolle, joksi esimerkiksi Kööpenhaminan sitoumuksen perusteella voidaan tulkita kahden asteen lämpötilan nousua vastaava taso, ja

2. toisaalta tavoitteena on rajoittaa muutosnopeus sellaiseksi että ekosysteemien sopeutuminen, ravinnontuotanto ja taloudellinen toiminta eivät vaarannu.

Näistä kahdesta jonkin verran erilaisesta tavoitteesta tulee haasteita politiikkatoimien valintaan. Tavoitteeseen 1 pyritään lähinnä rajoittamalla niiden kasvihuonekaasujen päästöjä, jotka pysyvät ilmakehässä kauan, kuten hiilidioksidi (CO₂) ja dityppioksidi (N₂O). Sekä hiilidioksidin että dityppioksidin elinaika ilmakehässä on luokkaa sata vuotta. Tavoitteeseen 2 on järkevää pyrkiä rajoittamalla sellaisia päästöjä, joiden elinaika ilmakehässä on lyhyt, jolloin päästöjen pieneneminen alentaa melko nopeasti näiden aineiden pitoisuutta ilmakehässä ja hidastaa säteilypakotteen kasvua. Tällaisia lyhytikäisiä päästöjä ovat mm. metaani (CH₄) ja musta hiili (black carbon, BC). Metaanin elinaika ilmakehässä on noin kymmenen vuotta ja mustan hiilen luokkaa viikko.

Viime vuosina tavoite 1 on ollut keskeisimmin esillä ilmastopolitiikassa. Ilmakehän pitoisuuksien kasvun pysäyttäminen kahden asteen tasolle (esimerkiksi ns. RCP2.6-skenaario, van Vuuren ym. 2011) merkitsisi maailman päästöjen alenemista 90 % sadan vuoden aikana ja kehittyneissä maissa jopa 50 vuodessa. Päästörajoituspolitiikan aikahorisontti, jota tarkastellaan, on siis luokkaa 50 – 100 vuotta.

Ilmakehän pitoisuuksien kasvunopeus on suurimmillaan lähivuosisikymmeninä ennen kuin tavoitteeseen 1 tähtäävät pitkäaikaiset toimet ehtivät vaikuttaa. Tämän vuoksi tavoitteeseen 2 pyrkivät toimenpideohjelmat tulisi suunnitella vastaamaan tätä lyhyempää suunnitteluhorisonttia luokkaa 20-30 vuotta. Tavoitteiden 1 ja 2 sekä vastaavien aikahorisonttien keskinäinen painotus on pitkälle poliittinen valinta. Tavoitetta 2 vastaava ohjelma on mm. Climate and Clean Air Partnership (CCAP), johon Suomi liittyi kesällä 2012.

Päästöjä koskevia toimia voidaan arvioida mm siltä kannalta, miten toimet vaikuttavat tavoitteiden 1 ja 2 saavuttamiseen.

Päästöjen laskennan säännöt

Ilmastosopimuksen (UNFCCC) valtiokohtaisen päästöraportoinnin (National Inventory Report, NIR) piirissä ovat periaatteessa kaikki muut paitsi luonnontilaiset alueet. Raportoinnissa tulee noudattaa ilmastosopimuksen päätöksen mukaan IPCC:n laatimia raportointiohjeita. Inventaariot kirjaavat toteutuneen päästökertyksen jälkikäteen. Metsäbioenergian tapauksessa tämä merkitsee, että sen mahdollisesti aiheuttama hiilivelka tulee täysimääräisesti otetuksi huomioon kansallisissa päästöinventaarioissa LULUCF-sektorilla (Land Use, Land-Use Change and Forestry). Bioenergian mahdollisesti aiheuttamat fossiilisten hiilidioksidipäästöjen vähennykset kirjautuvat vuorostaan kansallisissa inventaarioissa energiasektorin alle. Vaikka Ilmastosopimuksen mukainen raportointi periaatteessa onkin globaalisti kattava, välttyy biomassaa tuova valtio hiilivajeen raportoinnista, joka tapahtuu biomassaa korjaavassa valtiossa. Ilmastosopimuksen mukainen päästöraportointi ei aiheuta mitään sitovia velvoitteita päästöjen vähentämiseksi.

Kioton pöytäkirjan ensimmäiseen ja toiseen velvoitekauteen sitoutuneitten/sitoutua aikoneitten valtioiden päästöt kattavat vain pienen osan globaaleista kasvihuonekaasupäästöistä. Pöytäkirja velvoittaa sitoviin päästönvähennyksiin. Kioton pöytäkirjassa LULUCF-sektorin päästönlaskenta ei ole ollut täysin kattavaa. Ensimmäisellä velvoitekaudella (2008-2012) on laskettu täysimääräisenä mukaan ainoastaan metsäkadosta aiheutuvat päästöt sekä vuoden 1990 jälkeen tapahtuneet metsänistutukset (artikla 3.3). Pöytäkirjaan sitoutuneet valtiot ovat halutessaan voineet hyödyntää päästörajoitusveloitteensa täyttämässä artiklassa 3.4 lueteltuja LULUCF-sektorin toimintoja, joihin ovat kuuluneet mm. metsähoidolliset toimet.

Tulevalla toisella velvoitekaudella (2013-2020) LULUCF-sektorin päästölaskenta tiukkenee. Valtiot ovat veloitettuja ottamaan artiklan 3.4 mukaiset toimet mukaan laskentaan, mikäli ne ovat olleet mukana ensimmäisellä velvoitekaudella. Lisäksi metsänhoidollisten toimien mukaan lukeminen on kaikille Annex I -maille pakollista tulevalla velvoitekaudella (FCCC 2012, s. 14, paragraph 7). Artiklan 3.4 mukaiselle hiilidioksidin nielulle on päästölaskennassa asetettu hyödyntämisen kattoarvo, 3,5% perusvuoden 1990 kokonaispäästöistä ilman LULUCF-sektoria, mitä enempää ei päästövelvoitteiden täyttämässä nielua voi hyödyntää. Toisaalta, jos artiklan 3.4 mukaiset toimet ovatkin muuttuneet päästölähteeksi, ei päästölle ole enää mitään kattoarvoa. Uutena asiana sovelletaan toisella velvoitekaudella metsänhoidolle artiklassa 3.4 vertailutasomenetelmää. Vertailutaso vastaa eräänlaista perusuraa, joka saavutetaan kun mukana ovat vuoden 2009 loppuun mennessä päätetyt ja täytäntöön pannut politiikkatoimet. Ainoastaan vertailutason ylittävät päästönvähennykset helpottavat päästövelvoitteen saavuttamista. Vastaavasti, jos päädytään vertailutason alle, aiheutuu tästä lisävelvoitteita. Lisäksi toisella velvoitekaudella ei metsäkadosta tulleita päästöjä (artikla 3.3) ei voi enää kompensoida metsänhoidollisista toimista (artikla 3.4) syntyneellä nielulla.

Puutuotteisiin sitoutunut biogeeninen hiili on nyt tullut pakollisena mukaan sekä artiklan 3.3 (metsittäminen ja uudelleenmetsittäminen) että artiklan 3.4 (metsänhoidolliset toimet) päästö/nielulaskentaan. Laskennassa sovelletaan tuotantoperiaatetta (Production Approach), mutta koskien ainoastaan puolijalosteita: sahatavara, puulevyt sekä paperituotteet, joiden raaka-aine on kasvatettu ja jotka on valmistettu raportoivassa maassa, lasketaan mukaan riippumatta siitä kulutetaanko ne kotimaassa vai vientimarkkinoilla. Metsäkadosta tullutta puuta (artikla 3.3) ei hyväksytä mukaan laskentaan. Lisäksi on eroteltava puutuotteet, joiden raaka-aine tulee vuoden 1990 jälkeen istutetuista metsistä (artikla 3.3)(Suomen tapauksessa ainoastaan harvennuksista tulevaa puuta, koska kiertoajat niin pitkiä) ja muista metsänhoidollisten toimien kohteina olevista metsistä (artikla 3.4). Artiklan 3.4 mukaiset puutuotteet lisätään samaan vertailutasomenetelmän mukaiseen laskelmaan metsien kanssa. Biomassan tuonti velvoitealueen ulkopuolelta bioenergiakäyttöön johtaa nykyisessä tilanteessa hiilivuotoon, koska se lasketaan edelleen hiilineutraaliksi.

Oleennaista velvoitteiden kannalta on, mikä Durbanin-kokouksessa hyväksyttiin vertailutasoksi. Jos vain kansallinen 3,5 % nielu suhteessa perusvuoden päästöihin ylitetään, ei Kioton pöytäkirjan velvoitteilla ole mitään ohjaavaa vaikutusta metsien käyttöön, koska kattoarvon yli menevää nielun määrää ei voida laskea hyväksi päästönrajoitusvelvoitteen täyttämässä.

Jos kriisitietoisuus ilmastonmuutoksen vakavuudesta lisääntyy tulevaisuudessa, on ilmeistä, että Kansainvälisen Ilmastopöytäkirjan päästönrajoitusvelvoitteet lähenevät entistä enemmän todellisten päästöjen raportointia ja että enemmän maaryhmiä liittyy sitoviin velvoitteisiin. EU:n ilmastopolitiikka on myös tiukkenemassa, mutta se ei välttämättä tule noudattamaan Ilmastopöytäkirjan mukaista päästöjenlaskentaa. Uusiutuvien energiamuotojen direktiivi (RES) antaa nykyisin kriteerit biopoltonesteiden päästötaseelle, mutta se ei vielä toistaiseksi koske kiinteitä biopoltoaineita. Ne tulevat ilmeisestikin myöhemmin direktiivin piiriin. Kriteerit vaikuttavat kansallisten, uusiutuvien energiamuotoille asetettujen tavoitteiden täyttymiseen. Mikäli biopoltoaineet eivät täytä RES-direktiivin mukaisia elinkaari-perusteisia uusiutuvuus-kriteereitä, niille lasketaan päästökaupassa (ETS) päästökerroin samoin perustein kuin fossiilisille polttoaineille. Tämä ei sovi yhteen nykyisen päästöinventaarikäytännön kanssa, missä biomassan käytöstä aiheutuneet päästöt raportoidaan LULUCF-sektorilla ja voisi näin johtaa päästöjen kaksoislaskentaan Kioton ilmastopöytäkirjan toisella velvoitekaudella. Metsän uudistamista ei kuitenkaan nykyisten laskentasääntöjen perusteella lasketa sellaiseksi maankäytön muutokseksi, joka vaarantaisi uusiutuvuuden tai toisi nollasta poikkeavan päästökertoimen puupoltoaineille.

Kioton pöytäkirjan mukaiset päästönrajoitusvelvoitteet voisivat metsien osalta tulla paljon tiukemmiksi, jos nieluille asetettua kattolukua nostetaan tai se poistetaan kokonaan myöhemmin velvoitekausiin (2020-). Tällöin nielujen kasvattaminen kilpailisi aina fossiilisten kasvihuonepäästöjen rajoittamisen

kanssa yhtenä keinona täyttää ilmastovelvoitteet. Silloin riskinä voisi olla, että suurten nielupotentiaalien omaavien valtioiden kansallisia velvoitteita kasvatettaisiin, jottei kansallisia velvoitteita fossiilisten hiilipäästöjen vähennysten sijasta voisi korvata pelkillä nieluilla. On varauduttava siihen, että metsänielujen ja bioenergian laskentasaännöt voivat muuttua sellaiseen suuntaan, joka ei vastaa suomalaisia nykyisin vallitsevia käsityksiä kestävästä metsätaloudesta.

Kasvihuonekaasupäästöihin keskittyvä ilmastopolitiikka tulee mitä ilmeisimmin jatkumaan. Muiden geofysikaalisten, ilmastoon hyvinkin merkittävästi vaikuttavien tekijöiden havainnointi sisältää niin suuria epävarmuuksia, että niiden ottaminen velvoitteiden piiriin näyttää epätodennäköiseltä lähitulevaisuudessa.

METSÄENERGIA SUOMESSA

Metsäenergia osana puunkäyttöä

Vuonna 2010 kotimaisen raakapuun käyttö metsäteollisuudessa oli 53,14 milj.m³ (pyöreänä puuna mitattuna), josta tukkipuuta oli 22,65 milj.m³(43 %) ja kuitupuuta 30,49 milj. m³ (57 %). Tuontipuun osuus puun kokonaiskäytöstä oli 14 % (9,31 milj.m³), josta tukkipuuta 1,17 milj. m³. Vuosina 2001-2010 puun kokonaiskäyttö on ollut keskimäärin vuodessa 69 milj.m³, josta kotimaisen puun osuus on ollut 79 %. (Ylitalo 2012).

Tällä hetkellä noin puolet teollisuuden tarvitsemasta tukkipuusta päätyy sahojen purujen kautta energiakäyttöön. Kuitupuusta käytetään myös puolet energiana johtuen mustalipeän poltosta. Vuonna 2010 metsäteollisuudessa käytettiin jäteliemiä 135,3 PJ ja muita puupohjaisia polttoaineita 29,8 PJ. Samana vuonna metsäteollisuuden käyttämä sähkömäärä oli 80,6 PJ (22,4 TWh), josta se tuotti noin puolet itse. Metsäteollisuuden energiakäyttö oli 207 PJ vuonna 2011, jolloin energialähteenä käytettiin puupolttoaineita 78 %, maakaasua 13%, turvetta 5%, öljyä 3 % ja muita 1% . (Metsäteollisuus 2012).

Metsäteollisuuden lisäksi puuta käytetään suoraan energiakäyttöön, puun pienpolttoon ja voimalaitoskäyttöön (metsähake). Vuonna 2010 tämä käyttö oli 69,8 PJ, josta metsähakkeen käyttö oli noin 46,3 PJ (6,2 milj. m³) (Metsäteollisuus 2012). Matti Vanhasen II hallituksen linjauksen mukaisesti hakkeen käyttöä pyritään lisäämään 13,5 milj.m³ vuodessa (100,8 PJ). Tämän ns. risupaketin lisäys on ajateltu saatavan kannoista ja hakkuutähteistä, jolloin puun energiankäyttö ei pääsisi häiritsemään metsäteollisuuden tarvitseman puun hankintaa. Yhteiskunta tukee tämän takia energiapuunaineksen korjuuta. Pelkona on, että kasvavan puuenergiakäytön seurauksena raaka-aineeksi sopiva puu ohjautuisi muutoin energiakäyttöön.

Puun energiakäytön lisäämisen on ajateltu korvaavan turvetta sekä fossiilisia tuontipolttoaineita, öljyä, kaasua ja kivihiiltä. Tämän kehityksen perusedellytys on, että yhteiskunnan kokonaisenergian kasvu pysähtyy. Suomen ilmasto- ja energialinjauksissa kokonaisenergian käytön kasvun on arvioitu loppuvan 2020-luvun alussa. Lämmitysenergiatarpeen ennustetaan vähenevän, mutta sähkönkulutus jatkaisi kasvua. Viimeaikaiset tiedot tosin kertovat, että Suomen sähkönkulutus on säilynyt pienempänä kuin huippuvuonna 2007, ja sen kehityksen näkymät ovat epäselvät. Todettakoon, että metsäenergian käyttömahdollisuudet liittyvät selvimmin lämmitysenergian tuotantoon, jossa se voi korvata öljyä, kaasua, kivihiiltä ja turvetta.

Se, mitä puu tulee korvaamaan lähitulevaisuudessa, riippuu ennen kaikkea energian kokonaiskulutuskehityksestä, olemassa olevasta teknologiasta (mm. polttokattilat), eri energiatuotantoteknologioiden kehityksestä, eri polttoaineiden hinnankehityksestä ja julkisesta ohjauksesta. Viimeksi mainittu liittyy muun muassa siihen millaisen aseman kotimaiset polttoaineet

saavat julkisen valtion energiapolitiikassa ja kuinka turpeen hinta kehittyy suhteessa metsäenergiaan. Metsähake ja turve muodostavat yhdessä kotimaisen perusenergian ytimen. Bioenergiakattiloissa on tätä nykyä tyypillisesti turvetta kymmeniä prosentteja. Lopullinen kasvihuonekaasuvaikutus riippuu pitkälti siitä, missä suhteessa metsäenergia korvaa turvetta ja fossiilisia polttoaineita energiatuotannossa. Turpeen energiakäytön kasvihuonekaasupäästöt vastaavat kivihiiltä.

Metsäenergian lisäämisen kasvihuonevaikutukset

Metsäenergian lisääminen vaikuttaa metsäekosysteemien hiilitaseen dynamiikkaan, albedovaikutuksiin, aerosolipäästöihin ja muihin lyhytikäisiin päästöihin, joita syntyy itse polttotapahtumassa. Kaikilla näillä on ilmastovaikutuksensa. Tässä yhteydessä pureudutaan hiilen kiertoon liittyviin ilmastovaikutuksiin, koska se on ollut tähän asti metsäenergian ilmastovaikutusten arvioinnin perustana. On kuitenkin syytä todeta, että metsäenergian tuotannon mustan hiilen päästöt Suomessa on lähitulevaisuudessa asia, jolla voi olla merkitystä etenkin pienpolton ilmastovaikutuksiin lyhyellä aikajänteellä.

Pääosa metsäenergian lisäämisestä Suomessa perustuu hakkuutähteiden ja kantojen käytön kasvuun. Hakkuujätteet ja kannot hajoavat hakkuualueilla luonnostaan. Kannot hajoavat oksia hitaammin. Esimerkiksi Etelä-Suomessa läpimitaltaan 30 cm kuusen kannon biomassan on arvioitu puoliutuvan noin 35 vuodessa kun oksilla (2 cm) se kestää 6-7 vuotta (Repo ym. 2010, Tuomi ym. 2011). Koska metsänhoidossa edetään päätehakkuualueesta toiseen, hakkuualueiden hakkuutähteet ja kannot muodostavat kokonaisuudessa melkoisen hiilivaraston niiden luontaisesta hajoamisesta huolimatta. Jos nämä aikaisemmin metsiin jätetyt hiilivarastot otetaan energiakäyttöön, pienennetään metsämaan hiilivarastoa kokonaisuudessaan ennenaikaisesti. Liski ym. (2011) ja Repo ym. (2011) ovat osoittaneet, että risupaketin kautta saatu todellinen ilmastohyöty maaperän hiilitaseen heikkenemisen seurauksena on fossiilisiin polttoaineisiin nähden hyvin pieni lyhyellä aikajänteellä, jos metsän muun käyttö pystyy entisellä tasolla. Samalla ajattelutavalla Lindroos ym. (2012) ovat myös arvioineet, että risupaketin ilmastohyöty 100 vuoden aikajänteellä olisi noin 60 prosenttia oletetusta fossiilisten aineiden korvautuvuushyödystä. Laskelmissa ei ole otettu huomioon hakkuujätteiden ja kantojen käytön mahdollisia metsämaan ravinnetaseeseen tai kasvitauteihin liittyviä muutospäätökohtia (ks. sivu 6).

Edellä esitetty hakkuujätteiden ja kantojen ilmastovaikutus pätee tilanteessa, jossa metsien muun käytön on ajateltu jatkuvan entiseen tapaan ja metsien nettohiilinielun sallitaan muotoutua ko. käyttöä vastaavaksi. Se, että metsäenergian lisäys tehtäisiin kantojen ja hakkuujätteiden sijasta kohdistamalla energiapuun käyttö elävään puuhun, pienentää valtakunnan puunkasvua ja näkyy metsäekosysteemin nettonielun vähentymisenä valtakunnallisessa kasvihuonekaasuinventaariossa. Vastaavasti kantojen lisääntyvä käyttö näkyy myös kasvihuonekaasuinventaarion metsäekosysteemin nettohiilinielun vähentymisenä. Yksittäinen uusi toimi kuten metsäbioenergian lisääminen on muutos, jonka todelliset ilmastovaikutukset saadaan tarkastelemalla suhteessa perusuraan, jossa tätä toimea ei ole mukana. Tämä pätee riippumatta siitä, onko Suomen metsien nielu nouseva vai laskeva perusuralla.

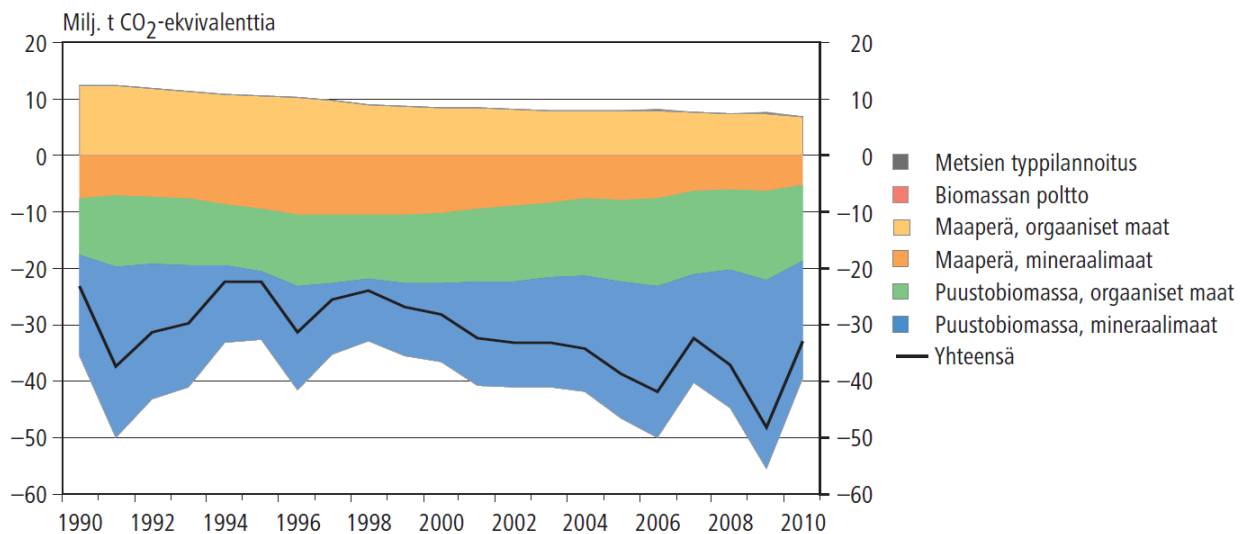
Edellä esitetty metsäenergian lisäyksen ilmastovaikutustulkinta saadaan tarkastelemalla esimerkiksi kahden samanlaisen metsikön, jossa toisessa hyödynnetään biomassaa ja toisessa ei, välisiä ilmastovaikutuksia. Tällaiset tarkastelut paljastavat hiilenkierron dynamiikkaan liittyvät tekijät ja ovat arvokkaita ohjatessa metsän käyttöä ja hoitoa ilmastoystävällisempään suuntaan. Näissä tarkasteluissa metsäenergian lisäyksen päästö- tai ilmastovaikutukset riippuvat ennen kaikkea tarkasteltavasta aikajänteestä, käytetyistä polttoainelajeista, korjuualueen metsän uudistumisnopeudesta sekä laskennassa käytetyistä menetelmistä.

Aivan toinen kysymys on, miten Suomi pystyy täyttämään omat jo sovitut ilmastovelvoitteensa. Tässä on luonnollisesti vapausasteita: voidaan lisätä bioenergian käyttöä vaikka se hieman metsänielua

pienentäisi, jos se on kokonaistaloudellisesti järkevää. Se, että jollain metsään kohdistuvalla toimella on päästöjä lisääviä vaikutuksia, ei sinänsä estä ilmastovelvoitteiden täyttämistä.

Metsien käytön ilmastovaikutuksen arviointi valtakunnan tasolla

Suomen puuston ja metsämaan hiilitasetta seurataan tapahtuneiden päästöjen ja nielujen osalta Suomen kasvihuonekaasuinventaariossa Ilmastopaneelille (UNFCCC). Siinä tarkastellaan puumassan hajoamisen ja hiilidioksidin sitomisen nettovaikutusta sekä muiden kasvihuonekaasujen kuten metaanin päästöjä maaperästä. Puuston hiilitase lasketaan siten että puustonkasvusta on vähennetty kokonaispoistuma ja siten saatu tase on muunnettu hiilidioksidiksi. Lisäksi laskennassa otetaan huomioon maaperään, kuolleeseen puuhun ja karikkeeseen sekä puutuotteisiin sitoutuneen hiilen tase.



Kuva 2 Metsien kasvihuonekaasupäästöt (positiiviset arvot) ja nielut (negatiiviset arvot) Suomessa vuosina 1990-2010. Puuston biomassa (vihreä ja sininen), kuollut orgaaninen aine (lahopuu ja karike) ja maan orgaaninen aine mineraalimailla (ruskea) ovat hiilinieluja eli poistavat ilmakehästä hiilidioksidia, kun taas ojitettujen turvemaiden maaperä on hiilidioksidin lähde (keltainen). Puuston biomassan kasvusta on vähennetty puustobiomassan poistuma, joka sisältää käytetyn (hakatun) puun, hakkuutähteen ja luonnonpoistuman. Yhteensä metsien nettonielu oli noin 32,8 miljoonaa tonnia CO₂ ekv. vuonna 2010 (Tilastokeskus 2012, sivu 35). Kioton jatkokaudella miniminielutaso olisi 20,5 Tg CO₂ /a sisältäen puutuotteet. Kuvassa metsien typpilannoituksen ja biomassan metsissä tapahtuvan polton päästöt ovat hyvin pienet

Mukana ovat myös lannoituksen, metsäpalojen ja kulutuksen päästöt. Metsien nettonielu on vaihdellut vuodesta 1990 lähtien vuositasolla 18 – 41 Tg CO₂ välillä (kuva 2). Nielun suuruuteen vaikuttaa ennen kaikkea otettu puun määrä ja metsien ikärakenne. Eri ikäisillä metsillä kasvunopeus ja kariketuotanto eroavat toisistaan merkittävästi. Metsien lisääntynyt kasvu aina 1970-luvulta asti johtuu männyn suosimisesta metsien uudistamisessa ja soiden ojituksesta. Kuusen kasvu on lisääntynyt suhteellisesti hitaammin verrattuna mäntyyn viimeisen kahden vuosikymmenen aikana. Lisäksi Suomen teollisuuden kotimaisen puun käyttö on säilynyt kasvua vähäisempänä, koska teollisuuden puutarpeesta on osittain pystytty korvaamaan tuontipuun avulla.

Metsien käytön laskennallinen ilmastovaikutus päästösopimusten mukaan

Kioton pöytäkirjan ensimmäisellä velvoitekaudella laskennallisia päästöjä syntyi metsäkadosta (artikla 3.3), esimerkiksi 3,7 Tg CO₂ vuonna 2010, mutta tämä voitiin kokonaan kompensoida

metsänhoidollisista toimista syntyneellä nielulla. Kompensaation jälkeen Suomi sai ensimmäisellä velvoitekaudella metsänhoitotoimien vuoksi lisätä päästöyksiköitä (poistoyksiköitä) sallittuun päästömääräänsä korkeintaan 0,6 Mt CO₂ ekv vuosittain, mikä siis merkitsi helpotusta velvoitteiden täyttämiseen.

Kioton pöytäkirjan toisella velvoitekaudella (2013-2020) em. kompensointilaskenta poistuu ja Suomi joutuu raportoimaan päästölaskennassa metsäkadon päästöt (artikla 3.3) täysimääräisinä. Euroopan komission kanssa käydään kuitenkin neuvotteluita näiden laskennallisten päästöjen kompensoinnista. Päästölaskenta muuttuu myös artiklan 3.4 osalta. Durbanin ilmastokokouksessa päätettiin, että Suomen tulee säilyttää vuositasolla 19,3 Tg CO₂ eq metsänhoidollisten toimien hiilinielu (vertailutaso). Tällä hetkellä metsien hiilinielu on sitä selvästi suurempi. Kun tähän lisätään vielä uusiin velvoitteisiin sisällytettyjen puutuotteiden nielun vertailutaso, on Suomen artiklan 3.4 mukaiseksi vertailutasoksi sovittu 20,5 Tg CO₂ eq vuodessa kerrottuna velvoitekauden pituudella (FCCC 2012, s. 19).

Velvoitekauden laskennassa vertailutason arvo tulee kuitenkin näillä näkymin olemaan suurempi teknisten korjauslaskelmien jälkeen, koska puutuotteiden vertailutaso oli alustavasti laskettu ilman puutuotteiden vientiä. Vielä suurempia epävarmuuksia liittyy maaperälaskentaan: muun muassa ojitettujen turvemaiden laskentaa uudistetaan todennäköisesti toisen kauden alussa. Nieluhyvityksen maksimiarvo, 3,5% vuoden 1990 päästöistä (pois lukien LULUCF-sektori), vastaa artiklan 3.4 perusteella Suomelle 2,5 Tg CO₂ vuosittaista nieluhyvitystä, mikä mitä todennäköisimmin saavutetaan Kioton pöytäkirjan toisella velvoitekaudella. Koska metsäkadosta aiheutuu artiklan 3.3 uuden laskennan jälkeen lisäpäästö, LULUCF-sektorista voi kokonaisuudessaan aiheutua Suomelle luokkaa 1-2 Mt CO₂ eq vuodessa oleva lisärasite suhteessa ensimmäiseen velvoitekauteen. Ennusteiden mukaan lisärasite kasvaa toisen velvoitekauden loppua kohti johtuen metsäkadon laskentatavasta.

Toisaalta, kunhan metsänhoidollisista toimista syntyvä nielu säilyy suurempana kuin nieluhyvityksen maksimiarvo, ei nielun kasvattamisesta saada lisähelpotusta ilmastovelvoitteiden täyttämiseksi. Tämä merkitsee paradoksaalisesti sitä, ettei kansainvälinen ilmastopolitiikka aiheuta myöskään potentiaalisia ohjausvaikutuksia metsäpolitiikalle. Metsiä voidaan hyödyntää kuten muilla perusteilla parhaaksi katsotaan, jos niiden käyttö ei vähennä laskennallista nielua.

Euroopan Unionissa kaavillaan biomassan käytön kestävyyskriteereiden huomioonottoa päästökaupassa (EU 2010). Jos biomassaa ei täyttäisi kestävyyskriteeriä, sen aiheuttama päästö rinnastettaisiin fossiiliseen päästöön. Jos näin tehdään, on vaarana kaksoislaskenta Kioton pöytäkirjassa sovellettavan laskennan kanssa, koska biomassan vaikutus hiilitaseeseen on periaatteessa otettu huomioon LULUCF-sektorin päästötaseessa. Ainoastaan tuottaessa biomassaa maista, jotka eivät ole velvoitteiden piirissä, päästökertoimen käyttö voisi olla perusteltua.

POHDINTAA TARKASTELUSTA

Bioenergian käytön lisääminen kasvattaa todellisuudessa usein päästöjä lyhyellä aikavälillä biomassavarastojen uudistumisen hitauden seurauksena. Merkittävä metsäenergian kasvattaminen yhdessä metsäkadon kanssa merkitsevät lisääntyviä ilmakehän hiilidioksidipäästöjä, mikä olisi otettava huomioon esimerkiksi globaaleissa päästönvähennysskenaarioissa; Tällöin tietyn vähennysskenaarioiden toteuttamiseksi fossiilisia hiilidioksidipäästöjä pitää vähentää aiemmin oletettua enemmän. Raportointisäännöt Kioton pöytäkirjaan velvoitteiden täyttämiseksi ovat tässä puutteelliset, koska suuri osa biomassaa tuottavista valtioista on velvoitteiden ulkopuolella ja velvoitteiden piirissä olevat valtiotkin ottavat huomioon velvoitteissa nielut vain osittain.

Useiden viime vuosina julkaistujen tieteellisten artikkeleiden mukaan yleisesti käytetty oletus biomassan käytön päästöttömyydestä on approksimaatio silloinkin kun se ei aiheuta suoranaista muutosta maakäytössä esimerkiksi metsäkatoa. Approksimaatio pätee melko hyvin lyhytkiertoisien biomassan tapauksessa (ellei lannoitteiden päästöjä ei huomioida), mutta pitkäkiertoisien biomassan tapauksessa tilanne on monimutkaisempi ja riippuu tarkastelujaksosta. Mitä pitempi tarkastelujakso (politiikan aikahorisontti), sitä pienempi on biomassan korjuun aiheuttaman hiilivelan vaikutus suhteessa fossiilisiin energialähteisiin; kuitenkin päästövähennysten kiireellisyyden takia myös lyhyemmän aikavälin vaikutukset otettava huomioon.

Toisaalta asiaa voidaan tarkastella resurssien kannalta: biomassassa on keskeinen uusiutuva resurssi, olemassa olevien talousmetsien jättäminen vaille käyttöä tekisi huomattavan vajeen uusiutuvien materiaalien ja energian resurssipohjaan, vaikka samalla ilmakehästä siirtyisi hiiltä pois varastoon ekosysteemiin. Tässä on lisäksi varauduttava metsätuhoon kasvamiseen vanhoissa metsissä ja erityisesti vielä ilmaston muuttumisen seurauksena.

Keskeinen kysymys on, miten päästönlaskentasäännöt kannustaisivat metsien käyttöä ”oikeaan” suuntaan. Oikea suunta riippuu kuitenkin myös siitä, miten painotetaan toisaalta pitkän ajan ilmastonmuutoksen hillinnän tavoitteita (2 °C -tavoite) ja toisaalta lyhyen ajan tavoitteita (lämpötilan nousunopeuden hillintä).

Koko Suomen metsäalueen hiilitaseen ylläpitoon perustuva ilmastovaikutusten laskentatapa antaa erilaisen tulokannan kuin jos metsien käytön ilmastovaikutuksia tarkastellaan toimenpiteen tasolla, esimerkiksi kahden samanlaisen metsikön, jossa toisessa hyödynnetään biomassaa ja toisessa ei. Ensin mainitussa lähestymistavassa on olennaista se, että metsien hyötykäyttö ei vaaranna sovittua nettohiilinielutasoa. Koko Suomen metsäalaa koskevan tarkastelun voidaan katsoa koostuvan lukuisista toimista, joista osa sisältää päätöksiä puun korjuusta ja osa päätöksiä korjaamatta jättämisestä, eli hiilivarastona säilyttämisestä, mikä voi johtua taloudellisista syistä (esimerkkeinä metsäteollisuuden tuotantokapasiteetin pieneneminen ja kotimaisen puunkysynnän aleneminen).

Toimenpiteen tasolla metsikkötarkastelujen kautta saatujen tulosten perusteella saadaan käsitys metsien hiilenkierron dynamiikkaan vaikuttavista tekijöistä. Näiden tarkastelujen tulosten perusteella voidaan sanoa, että kaikki puun käytön lisäys nykykäyttötasoon tavalla, jossa puun hiili vapautuu nopeasti ilmakehään, lisää todellisuudessa ilmakehän hiilidioksidipäästöjä ja vaikuttaa ilmastoon lämmittävästi muutamasta vuodesta sataan vuoteen puun kiertoajasta riippuen. Lyhyellä tähtäyksellä puun käytön ja erityisesti sen polton vähentämisellä saavutetaan ilmastohyötyjä, mutta ei laskennallisia hyötyjä nykyisten sopimusvelvoitteiden täyttämiseksi. Pitkällä tähtäyksellä puun käytön lopettaminen heikentää metsäalueen hiilitaseen kehittymistä kun kasvu loppuu ja kuolleen, lahoavan biomassan osuus kasvaa. Metsien käytön vähentämisen ilmastohyötyjä vähentää myös se, että vähentynyt käyttö merkitsee vähentyneitä mahdollisuuksia korvata suurempia päästöjä aiheuttavia polttoaineita ja materiaaleja.

Johtopäätöksenä voisi olla metsien hyötykäytön edistäminen, mutta tiedostaen sen, että nykyisen nieluvaikutuksen heikentäminen tai sen käyttämättä jättäminen edellyttää vastaavasti fossiilisten hiilipäästöjen entistäkin nopeampaa hillitsemistä.

Kehitysmaissa metsäkadon pysäyttäminen on keskeinen keino vaikuttaa nopeasti ilmakehän pitoisuuksiin ja lämpenemiseen. Tämä on tavoitteena YK:n REDD+ -ohjelmassa (Lyhennys tulee sanoista ”Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation”).

Energiajärjestelmän päästöjen rajoittamiseksi pelkkä bioenergian ja muun uusiutuvan energian edistäminen eivät riitä, vaan tarvitaan kokonaispolitiikkaa, jossa ohjataan puun käyttö sinne missä sillä saavutetaan paras hyöty runsaasti päästöjä aiheuttavien materiaalien ja polttoaineiden korvaajana.

Kokonaispolitiikkaan kuuluu myös, että edistetään energian säästöä ja rajoitetaan fossiilisten polttoaineiden käyttöä esimerkiksi päästökaupalla. Muuten osa bioenergian lisäämisen vaikutuksesta ”vuotaa” esimerkiksi energian käytön kasvuun. Eteenpäin suuntautuvilla toimenpiteiden dynaamisilla tarkasteluilla voidaan arvioida, miten metsäbiomassan käyttöä tulisi kohdistaa huomioon ottaen sekä ilmastovaikutukset että taloudellinen hyöty.

JOHTOPÄÄTÖKSIÄ

Metsäekosysteemien biomassaa voidaan käyttää periaatteessa kahdella tavalla ilmastomuutoksen hillintään. Biomassaa voidaan käyttää korvaamaan fossiilisia polttoaineita metsäenergialla ja päästöintensiivisiä materiaaleja puutuotteilla. Näin vältetään fossiilisten polttoaineiden suhteellisen suuria kasvihuonekaasujen päästöjä. Toinen tapa on kasvattaa biomassan varastoja metsäekosysteemeissä tai puutuotteissa, jolloin ilmakehästä poistettua hiiltä varastoituu näihin. Näitä keinoja voidaan käyttää rinnakkain, mutta useimmissa tapauksissa ne syövät toistensa potentiaalia. Kun sovelletaan nykyisiä Kioton ja Kioton jatkokauden biomassaa koskevia päästöjen raportointisääntöjä, Suomi voi käyttää metsäbiomassaa laajasti raaka-aineena ja energian lähteenä ilman että se lisää laskennallista päästövaikutusta. Metsäpinta-alan pieneneminen aiheuttaa toisella velvoitekaudella laskennallisen päästön (arviolta 3-4 Tg CO₂) vuodessa (artikla 3.3), jota ei enää voida kompensoida metsänhoidollisista toimista aiheutuneella nielulla kuten ensimmäisellä kaudella,. Toisaalta jos metsänhoidollisista toimista syntyvä nielu on yli 23 Tg CO₂ vuodessa puutuotteet mukaan lukien, saadaan laskennallinen maksimihyvitys 2,5 Tg CO₂ vuodessa artiklan 3.4 perusteella, kun se aiemmin oli 0,6 Tg CO₂ vuodessa. Ellei Suomi saa kompensatiota metsäpinta-alan pienenemiselle, nieluvelvoitteesta syntyy Suomelle lisärasite. Toisaalta Kioton pöytäkirjan toisella velvoitekaudella syntyy kannuste ylläpitää metsänielua ainoastaan niin paljon että saavutetaan laskennallinen maksimihyvitys. Tämä voitaneen nykykymien valossa helposti saavuttaa. Tilanne on edullinen Suomen metsäteollisuuden ja muiden biomassan hyödyntämistoimien kannalta, koska nielujen lisääminen ei kilpaile metsien käytön kanssa kunhan vain maksimihyvitys on saatu..

Kuitenkin nykyisessä ilmastoneuvottelujen ja ilmastopolitiikan aihepiirissä on monia avoimia kysymyksiä, joista useat koskevat bioenergian ja ekosysteemin hiilivarastojen käyttöä. Aihepiirissä käydään myös tieteellistä keskustelua, jossa arvostellaan nykyisiä käsittelytapoja. Keskustelun valossa on mahdollista, että bioenergian ja biomassan käyttöä koskevia laskentasääntöjä muutetaan kansainvälisissä sopimuksissa, EU:n direktiiveissä tai EU:n muussa sääntelyssä nykyisistä kansallisista hiilitaseista kohti toimenpiteiden päästövaikutuksen huomioonottamista. On esimerkiksi mahdollista, että EU:ssa poikettaisiin inventaarilaskennan periaatteista siten, että EU:n sisäisessä päästökaupassa biomassan käytölle energiantuotannossa tulisikin nollasta poikkeava päästökerroin.

Tämän vuoksi olisi Suomessa perusteltua varautua myös tällaisiin bioenergian ja biomassan käyttöä koskeviin laskentasääntövaihtoehtoihin, etenkin kun metsien pitkäkiertoinen biomassaa on keskeinen osa Suomen teollisuuden ja energiantuotannon resurssipohjaa. Muuten on vaarana, että monet pitkäikäiset investoinnit jäävät vajaalle käytölle. Tutkimusta tulisi suunnata myös tähän aihepiiriin asioiden ymmärryksen lisäämiseksi ja voimavarojen optimaaliseksi kohdentamiseksi.

VIITTEITÄ

Asikainen, A., Ilvesniemi, H., Sievänen, R., Vapaavuori, E. & Muhonen, T. (toim.). 2012. Bioenergia, ilmastomuutos ja Suomen metsät. Metlan työraportteja 240. 211 s.
<http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2012/mwp240.htm>.

Bala., G., Caldeira, K., Wickett, M., Phillips, T. J., Lobell, D. B., Delire, C. and Mirin, A. 2007. Combined climate and carbon-cycle effects of large-scale deforestation. PNAS 104(16): 6550–6555.

Bright, R.M., Cherubini, F., Strømman, A.H. 2012: Climate impacts of bioenergy: Inclusion of carbon cycle and albedo dynamics in life cycle impact assessment. Environmental Impact Assessment Review. Volume 37, November 2012, Pages 2–11.

Böttcher, H., Verkerk, P.J., Gusti, M., Havlík, P., Grassi, G. 2012. Projection of the future EU forest CO₂ sink as affected by recent bioenergy policies using two advanced forest management models. Global Change Biology Bioenergy (in press).

Chen, X., Khanna, M. 2012. The Market-Mediated Effects of Low Carbon Fuel Policies. AgBioForum 15(1): 1-17.

Cherubini, F., Peters, G.P., Berntsen, T., Strømman, A.H., Hertwich, E. 2011. CO₂ emissions from biomass combustion for bioenergy: atmospheric decay and contribution to global warming. GCB Bioenergy. DOI: 10.1111/j.1757-1707.2011.01102.x.

EU 2010. Report from the Commissions to the Council and the European Parliament on sustainability requirements for the use of solid and gaseous biomass sources in electricity, heating and cooling. COM(2010) XXX final. SEC(2010) 65 SEC(2010) 66.

Fargione J , Hill J , Tilman D, Polasky S, Hawthorne P (2008) Land clearing and the biofuel carbon debt. Science 319(5867):1235-1238.

FCCC 2012. FCCC/KP/CMP/2011/10/Add.1. Report of the Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to the Kyoto Protocol on its seventh session, held in Durban from 28 November to 11 December 2011. Addendum. Part Two: Action taken by the Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to the Kyoto Protocol at its seventh session.

Federal Register 2011: ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. 40 CFR Parts 51, 52, 70, and 71 [EPA-HQ-OAR-2011-0083; FRL-9431-6] RIN 2060-AQ79. Deferral for CO₂ Emissions From Bioenergy and Other Biogenic Sources Under the Prevention of Significant Deterioration (PSD) and Title V Programs. Federal Register / Vol. 76, No. 139 / Wednesday, July 20, 2011 / Rules and Regulations.

Gibbs HK , Johnston M , Foley JA , Holloway T , Monfreda C , Ramankutty N, Zaks D (2008) Carbon payback times for crop-based biofuel expansion in the tropics: the effects of changing yield and technology. Environmental Research Letters 3(3). DOI:10.1088/1748-9326/3/3/034001.

de Gorter, H., Drabik, D. 2011. Components of carbon leakage in the fuel market due to biofuel policies. Biofuels 2(2): 119-121.

Guest, G., Cherubini, F., Strømman, A.H. 2012, The role of forest residues in the accounting for the global warming potential of bioenergy. GCB Bioenergy, doi: 10.1111/gcbb.12014

Helmisaari, H.S., Kukkola, M., Luiro, J., Saarsalmi, A., Smolander, A. ja Tamminen, P. 2009. Hakkuutähteiden korjuu – muuttuuko työn saatavuus? Metsätieteen aikakauskirja 1/2009.

Helin, T., Sokka, L., Soimakallio, S., Pingoud, K., Pajula, T. 2012. Approaches for inclusion of forest carbon cycle in life cycle assessment – A review. GCB Bioenergy (in press).

Hertel TW, Golub AA, Jones AD, O'Hare M, Plevin RJ, and Kammen D M (2010) Effects of US maize ethanol on global land use and greenhouse gas emissions: estimating market mediated responses. *BioScience* 60(3):223-231.

Hochman, G., D. Rajagopal and D. Zilberman (2010). "The effect of biofuels on crude oil markets." *AgBioForum* 13(2): 112-118.

Holtsmark, B. 2012a. The outcome is in the assumptions: analyzing the effects on atmospheric CO₂ levels of increased use of bioenergy from forest biomass. *GCB Bioenergy* (in press).

Holtsmark, B. 2012b. Boreal forest management and its effect on atmospheric CO₂. *Ecological modelling* (accepted).

Holtsmark, B. 2012c. Harvesting in boreal forests and the biofuel carbon debt. *Climatic Change* 112, 415–428.

Hooijer, A. Silvius, M. Wösten, H. and Page, S. 2006. PEAT-CO₂, Assessment of CO₂ emissions from drained peatlands in SE Asia. Delft Hydraulics report Q3943 (2006).

Hudiburg, T., Law, B.E., Turner, D.P., Campbell, J., Donato, D., Duane, M. 2009. Carbon dynamics of Oregon and Northern California forests and potential land-based carbon storage. *Ecological Applications* 19, 163–180.

IPCC 2011. Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, K. Seyboth, P. Matschoss, S. Kadner, T. Zwickel, P. Eickemeier, G. Hansen, S. Schlömer, C. von Stechow (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Kanninen, M., Murdiyarso, D., Seymour, F., Angelsen, A., Wunder, S., German, L., 2007. Do trees grow on money?: the implications of deforestation research for policies to promote REDD. Center for International Forestry Research (CIFOR), Bogor, Indonesia. 69 p.

Kilpeläinen, A., Alam, A., Strandman, H., Kellomäki S. 2011. Life cycle assessment tool for estimating net CO₂ exchange of forest production. *Global Change Biology Bioenergy*, 3(6), 461-471.

Kilpeläinen, A., Kellomäki, S., Strandman, H. 2012. Net atmospheric impacts of forest bioenergy production and utilization in Finnish boreal conditions. *Global Change Biology Bioenergy* 4(6): 811-817.

Kirkinen, J., Palosuo, T., Holmgren, K., Savolainen, I.: Greenhouse impact due to the use of combustible fuels – Life cycle viewpoint and Relative Radiative Forcing Commitment. *Environmental Management* (2008) 42:458-469.

Kupiainen, K. 2010. Emissions of carbonaceous particles, country report Finland. Arctic Council Task Force 9.9.2010, EEA, Copenhagen.

Kurz, W.A., Dymond, C.C., Stinson, G., Rampley, G.J., Neilson, E.T., Carroll, A.L., Ebata, T., Safranyik, L., 2008. Mountain pine beetle and forest carbon feedback to climate change. *Nature* 452, 987-990.

Lindroos, T.J., Ekholm, T., Savolainen, I. Common metrics – Lämpenemiseen vaikuttavien päästöjen suhteellinen painotus ilmastopolitiikassa 2012b. VTT Technology 57.

Lindroos, T.J., Monni, S., Honkatukia, J., Soimakallio, S., Savolainen, I. 2012. Arvioita uusiutuvan energian lisäämisen vaikutuksista Suomen kasvihuonekaasupäästöihin ja kansantalouteen. VTT Technology 11.

Bruce Lippke, Elaine Oneil, Rob Harrison, Kenneth Skog, Leif Gustavsson⁵ & Roger Sathre, 2011: Life cycle impacts of forest management and wood utilization on carbon mitigation: knowns and unknowns. Carbon Management 2(3), 303–333.

Liski, J., Repo, A., Känkänen, R., Vanhala, P., Seppälä, J., Antikainen, R., Grönroos, J., Karvosenoja, N., Lähtinen, K., Leskinen, P., Paunu V-V. and Tuovinen, J-P. 2011. SY5/2011 Metsäbiomassan energiakäytön ilmastovaikutukset Suomessa. The Finnish Environment 5/2011, 43 p.

Malmsheimer, R.W., Bowyer, J.L., Fried, J.S., Gee, E., Izlar, R.L., Miner, R.A., Munn, I.A., Oneil, E. Stewart, W.C. 2011. Managing Forests because Carbon Matters: Integrating Energy, Products, and Land Management Policy. Journal of forestry, 109, S7–S51.

Manomet (2010) Massachusetts biomass sustainability and carbon policy study: Report to the Commonwealth of Massachusetts Department of Energy Resources. Natural Capital Initiative Report NCI-2010-03. 182 p.

[http://www.manomet.org/sites/manomet.org/files/Manomet Biomass Report Full LoRez.pdf](http://www.manomet.org/sites/manomet.org/files/Manomet_Biomass_Report_Full_LoRez.pdf).

Marland G, Schlamadinger B (1997) Forests for carbon sequestration or fossil fuel substitution? A sensitivity analysis. Biomass and Bioenergy 13(6): 389-397.

McKechnie J, Colombo S, Chen J, Mabee W, MacLean HL (2011) Forest bioenergy or forest carbon? assessing trade-offs in greenhouse gas mitigation with wood-based fuels. Environmental Science & Technology, 45, 789–795.

Melillo JM, Reilly JM, Kicklighter DW, Gurgel AC, Cronin TW, Paltsev S, Felzer BS, Wang X, Sokolov AP, Schlosser CA (2009) Indirect Emissions from Biofuels: How Important?. Science 326(5958):1397-1399.

Melin, Y., Petersson, H., Egnell, G. 2010. Assessing carbon balance trade-offs between bioenergy and carbon sequestration of stumps at varying time scales and harvest intensities. Forest Ecology and Management, 260, 536–542.

Metsäteollisuus 2012. Tilastot. <http://www.metsateollisuus.fi/Sivut/default.aspx>.

Pan, Y., Birdsey, R.A., Fang, J., Houghton, R., Kauppi, P.E., Kurz, W.A., Phillips, O.L., Shvidenko, A., Lewis, S.L., Canadell, J.G., Ciais, P., Jackson, R.B., Pacala, S., McGuire, A.D., Piao, S., Rautiainen, A., Sitch, S., Hayes, D., 2011. A Large and Persistent Carbon Sink in the World's Forests. Science 333, 988-993.

Peltola, S., Kilpeläinen, H., Asikainen, A. 2011. Recovery rates of logging residue harvesting in Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karsten) dominated stands. Biomass & Bioenergy 35: 1545-1551.

Pingoud, Kim; Cowie, Annette; Bird, Neil; Gustavsson, Leif; Rüter, Sebastian; Sathre, Roger; Soimakallio, Sampo; Türk, Andreas; Woess-Gallasch, Susanne; 2010. Bioenergy: Counting on Incentives. Letter to Science. Science Vol. 327, 5 March 2010: 1199-1200.
<http://www.sciencemag.org/cgi/reprint/327/5970/1199-b.pdf>

Pingoud, K.; Ekholm, T.; Savolainen, I. 2012. Global warming potential factors and warming payback time as climate indicators of forest biomass use. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 17: 369–386. Springer. doi-link: 10.1007/s11027-011-9331-9 Pingoud K, Pohjola J, Valsta L (2010) Assessing the integrated climatic impacts of forestry and wood products. *Silva Fennica* 44(1):155-175.

Rajagopal D, Hochman G, Zilberman D (2011) Indirect fuel use change (IFUC) and the lifecycle environmental impact of biofuel policies. *Energy Policy* 39(1):228-233.

Repo A, Tuomi M, Liski J. 2011. Indirect carbon dioxide emissions from producing bioenergy from forest harvest residues. *Global Change Biology Bioenergy* 3, 107–115.

Repo, A., Känkänen, R., Tuovinen, J.-P., Antikainen, R., Tuomi, M., Vanhala, P., Liski, J. 2012. Forest bioenergy climate impact can be improved by allocating forest residue removal. *GCB Bioenergy* 4, 202–212.

Schulze E-D, Körner C, Law BE, Haberl H, Luysaert S 2012. Large-scale bioenergy from additional harvest of forest biomass is neither sustainable nor greenhouse gas neutral. *Global Change Biology Bioenergy*, doi: 10.1111/j.1757-1707.2012.01169.x. Available at: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1757-1707.2012.01169>

Sedjo RA (2011) Carbon neutrality and bioenergy. A zero-sum game? *Resources for the Future*. RFF DP 11-15. 9 p + Appx.

Schlamadinger, B and, Marland, G (1996) The role of forest and bioenergy strategies in the global carbon cycle. *Biomass and Bioenergy* 10(5/6):275-300.

Searchinger, T. Heimlich, R., Houghton, R. A., Dong, F., Elobeid, A., Fabiosa, J., Tokgoz, S., Hayes, D., Yu, T.-H. 2008. Use of U.S. Croplands for Biofuels Increases Greenhouse Gases Through Emissions from Land-Use Change. *Science* 319(5867), 1238–1240.

Searchinger, TD, Hamburg SP, Melillo J, Chameides W, Havlik P, Kammen DM., Likens GE, Lubowski RN, Obersteiner M, Oppenheimer M, Robertson GP, Schlesinger WH, Tilman GD (2009) Fixing a critical climate accounting error. *Science* 326: 527–28.

Soimakallio, S., Mäkinen, T., Ekholm, T., Pahkala, K., Mikkola, H., Paappanen, T. 2009. Greenhouse gas balances of transportation biofuels, electricity and heat generation in Finland – Dealing with the uncertainties. *Energy Policy* 37(1), 80–90.

Spracklen, D.V., Bonn, B., Carslaw, K.S. 2008. Boreal forests, aerosols and the impacts on clouds and climate. *Phil. Trans. R. Soc. A* 366:4613–4626. doi:10.1098/rsta.2008.0201

Thompson, W., J. Whistance and S. Meyer (2011). "Effects of US biofuel policies on US and world petroleum product markets with consequences for greenhouse gas emissions." *Energy Policy* 39(9): 5509-5518.

Tilastokeskus 2012. Suomen kasvihuonekaasupäästöt 1990 – 2010. Katsauksia 2012/1. 57s+liitt.

van der Werf, G.R., Randerson, J.T., Giglio, L., Collatz, G.J., Mu, M., Kasibhatla, P.S., Morton, D.C., DeFries, R.S., Jin, Y., van Leeuwen, T.T., 2010. Global fire emissions and the contribution of deforestation, savanna, forest, agricultural, and peat fires (1997–2009). *Atmospheric Chemistry and Physics* 10, 16153-16230.

Tuomi, M., Laiho, R., Repo, A., & Liski, J. 2011. Wood decomposition model for boreal forests. *Ecological Modelling* 222 (3): 709-718.

van Vuuren, D., Edmonds, J., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, A., Hibbard, K., Hurtt, G.C., Kram, T., Krey, V., Lamarque, J.F., Masui, T., Meinshausen, M., Nakicenovic, N., Smith, S.J., Rose, S.K. (2011). The representative concentration pathways: an overview *Climatic Change* 109:5–31, DOI 10.1007/s10584-011-0148-z

van der Werf, G.R., Randerson, J.T., Giglio, L., Collatz, G.J., Mu, M., Kasibhatla, P.S., Morton, D.C., DeFries, R.S., Jin, Y., van Leeuwen, T.T., 2010. Global fire emissions and the contribution of deforestation, savanna, forest, agricultural, and peat fires (1997–2009). *Atmospheric Chemistry and Physics* 10, 16153-16230.

Ylitalo, E (toim.) 2012. *Metsätilastollinen vuosikirja 2011*. Metla.

York, R. 2012. Do alternative energy sources displace fossil fuels? *Nature Climate Change*. Letters published online 18 March 2012.

Zanchi, G., Pena, N., Bird, N. 2012. Is woody bioenergy carbon neutral? A comparative assessment of emissions from consumption of woody bioenergy and fossil fuel. *GCB Bioenergy* 4, 761–772.