

HELSINGIN YLIOPISTO – UNIVERSITY OF HELSINKI
METSÄEKONOMIAN LAITOS - DEPARTMENT OF FOREST ECONOMICS

TUTKIMUSRAPORTTEJA - REPORTS

39

Puu ilmastonmuutoksen hillitsijänä

LOPPURAPORTTI

Ympäristöklusterin tutkimusohjelman konsortio ”Suomen metsät ja puutuotteet ilmastonmuutoksen torjunnassa – nielut ja substituuotiot sekä niiden taloudellinen ja oikeudellinen ohjaus”

Lauri Valsta
Anssi Ahtikoski
Paula Horne
Kalle Karttunen
Kai Kokko
Eriika Melkas
Jyri Mononen
Kim Pingoud
Johanna Pohjola
Jussi Uusivuori

HELSINKI 2006

Puu ilmastonmuutoksen hillitsijänä

LOPPURAPORTTI

Ympäristöklusterin tutkimusohjelman konsortio ”Suomen metsät ja puutuotteet ilmastonmuutoksen torjunnassa – nielut ja substituuotiot sekä niiden taloudellinen ja oikeudellinen ohjaus”

2006

**Lauri Valsta¹
Anssi Ahtikoski²
Paula Horne²
Kalle Karttunen¹
Kai Kokko³
Eriika Melkas³
Jyri Mononen³
Kim Pingoud²
Johanna Pohjola²
Jussi Uusivuori³**

Helsingin yliopisto, metsäekonomian laitos
University of Helsinki, Department of Forest Economics

P.O. Box 27
FIN-00014 HELSINGIN YLIOPISTO, FINLAND

Telephone: (+358) 09 1911
Telefax: (+358) 09 191 57984

ISSN 1236-6218
ISBN 952-10-3022-4

Yliopistopaino
Helsinki 2006

¹ Helsingin yliopisto, Metsäekonomian laitos

² Metsäntutkimuslaitos

³ Helsingin yliopisto, Kansainvälisen talousoikeuden instituutti

ALKUSANAT

Tähän raporttiin on koottu keskeisiä tuloksia tutkimuskonsortion ”Suomen metsät ja puutuotteet ilmastonmuutoksen torjunnassa – nielut ja substituuotit sekä niiden taloudellinen ja oikeudellinen ohjaus” työstä vuosilta 2003-2005. Hanketta ovat rahoittaneet Ympäristöministeriö, Maa- ja metsätalousministeriö, Helsingin yliopisto, Metsäntutkimuslaitos, Maj ja Tor Nesslingin säätiö sekä Jenny ja Antti Wihurin rahasto.

Konsortion ohjausryhmänä ovat kuuluneet Pirkko Heikinheimo (pj, ympäristöministeriö), Heikki Granholm (maa- ja metsätalousministeriö), Pertti Haaparanta (Helsingin kauppakorkeakoulu), Erkki Hollo (Helsingin yliopisto), Aulikki Kauppila (maa- ja metsätalousministeriö), Markku Lehtonen (Wood Focus oy), Jari Liski (Suomen ympäristökeskus), Reima Sutinen (kauppa- ja teollisuusministeriö), Tommi Tenhola (Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio).

Esitämme tutkimustamme tukeneille parhaat kiitokset.

Helsingissä, helmikuussa 2006,

Lauri Valsta (konsortion johtaja), Anssi Ahtikoski, Paula Horne, Kalle Karttunen, Kai Kokko, Eriika Melkas, Jyri Mononen, Kim Pingoud, Johanna Pohjola, Jussi Uusivuori

SISÄLLYS

ALKUSANAT	II
1 JOHDANTO	1
1.1 RAPORTIN TAUSTA.....	1
1.2 RAPORTIN RAKENNE	2
2 METSÄT HIILINIELUINA	4
2.1 JOHDANTO.....	4
2.2 HIILIVARASTON OPTIMAALINEN KASVATTAMINEN	4
2.3 HIILIVARASTON KASVATTAMINEN TAPION SUOSITUKSIA MUUTTAMALLA.....	6
2.4 KUSTANNUSTEHOKAS HIILENSIDONTA SUHTEESSA METSÄNHOITOSUOSITUKSIIN	8
2.5 ALUSTAVAT SUOSITUKSET JA TULOSTEN ARVIOINTIA	9
Lähteet.....	10
3 PUUTUOTTEET ILMASTOPOLITIIKASSA	11
3.1 PUUTUOTTEIDEN HIILINIELU	11
3.1.1 <i>Vaihtoehtoiset raportointiperiaatteet</i>	12
3.1.2 <i>Puutuotteiden hiilinielujen liittäminen kansallisiin päästövelvoitteisiin</i>	13
3.1.3 <i>Puutuotteiden hiilitaseen laskentamalli</i>	13
3.2 PUU ENERGIAINTENSIIVISTEN MATERIAALIEN JA FOSSIILISTEN POLTTOAINEIDEN KORVAAJANA	13
Lähteet.....	14
4 TAPAUSTARKASTELU: METSIEN JA PUUTUOTTEIDEN YHDISTETTY VAIKUTUS	17
4.1 JOHDANTO.....	17
4.2 MENETELMÄT.....	17
4.2.1 <i>Substituutiokerroin</i>	17
4.2.2 <i>Skenaariot</i>	18
4.3 TULOKSET	20
4.3.1 <i>Substituutiokertoimet</i>	20
4.3.2 <i>Puumtarjonta ja käyttöketjujen hiilitaseet</i>	20
4.3.3 <i>Vaikutukset hakkuutuloihin</i>	26
4.4 TULOSTEN TARKASTELUA	26
4.5 JOHTOPÄÄTÖKSIÄ	27
Lähteet.....	28
5 MARKKINAVAIKUTUKSET	29
6 OHJAUSKEINOT	30
6.1 KESTÄVÄN METSÄTALouden RAHOITUS HIILIPOLITIIKAN OHJAUSKEINONA.....	30
6.1.1 <i>Johdanto</i>	30
6.1.2 <i>Taloudellinen ohjaus ympäristöoikeudessa</i>	31
6.1.3 <i>Vapaaehtoinen sopiminen ympäristöpolitiikan instrumenttina</i>	31
6.1.4 <i>Taloudellinen tuki kestäväälle metsätaloudelle</i>	32
6.1.5 <i>Johtopäätös: KMRL:n mukainen tuki ja hiilinielu</i>	32
Lähteet.....	33
6.2 PÄÄSTÖOIKEUDEN MÄÄRITTELY JA HIILINIELUKAUPAN KEHITTÄMINEN	34
6.2.1 <i>Johdanto</i>	34
6.2.2 <i>Kansainvälisiä esimerkkejä</i>	34
6.2.3 <i>Nykytilanne Suomessa</i>	35
6.2.4 <i>Mahdollisia uusia toteutustapoja</i>	36
6.2.5 <i>Suosituks</i>	37
Lähteet.....	38
6.3 KIERTOAIKA HIILIPOLITIIKAN KOHTEENA.....	39
6.4 NUOREN METSÄN HOITO (BIOENERGIA) HIILIPOLITIIKAN KOHTEENA	40
6.4.1 <i>Johdanto</i>	40
6.4.2 <i>Tutkimuksen aineisto ja menetelmät</i>	41
6.4.3 <i>Tulokset</i>	42
6.5 TULOSTEN TARKASTELU	44

	<i>Lähteet</i>	45
6.6	HIILINIELUJEN JA BIODIVERSITEETIN TURVAAMISEN OHJAUSKEINOJEN YHTEENSOVITTAMINEN	46
6.6.1	<i>Ohjauksen yhteensovittaminen ongelmana ja mahdollisuutena</i>	46
6.6.2	<i>Metsien biodiversiteetin turvaamisen ohjauksesta</i>	46
6.6.3	<i>Eri metsänkäsittelytapojen hiilinielu- ja biodiversiteettivaikutukset</i>	47
6.6.4	<i>Johtopäätökset</i>	50
	<i>Lähteet</i>	51
7	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTAA	52
8	KONSORTION JULKAISUJA	55

1 JOHDANTO

1.1 Raportin tausta

Puulla tuotteena ja metsän keskeisenä osana on merkittävä rooli toisaalta ilmastonmuutoksen torjunnassa ja luonnon monimuotoisuuden turvaamisessa sekä toisaalta yksityis- ja kansantaloudellisena resurssina. Kansainvälisillä sopimuksilla Suomi on sitoutunut ottamaan huomioon ilmastonmuutoksen hallinnan ja luonnon monimuotoisuuden turvaamisen. Maamme kansantaloudelle ja erityisesti maaseudun hyvinvoinnille metsävarojen hyödyntämisellä on huomattava merkitys. Puun käyttö ilmastonmuutoksen torjunnassa ja metsissä elävien lajien monimuotoisuuden säilyttäminen olisikin sovitettava yhteen metsätalouden harjoittamisen ja muun elinkeinoelämän kanssa ekologisesti, taloudellisesti, sosiaalisesti ja kulttuurisesti kestäväällä tavalla. Tällä tavoin ymmärretty ympäristöllisesti tehokas (ekotehokas) metsäpolitiikka vaatii myös hiilinieluja ja biodiversiteettiä koskevan sääntelyn ja ohjauskeinojen yhdenmukaista kehittämistä.

Puun kasvatuksen ja käytön kokonaiskuvassa otetaan huomioon ensiksikin metsien hoito- ja hakkuupäätökset ja niiden vaikutukset hiilen kiertoon metsissä. Toiseksi tarkastelu kattaa puutuotteiden valmistuksen, käytön ja kierrätyksen loppukäytön jälkeen. Kolmanneksi puutuotteiden käyttö on osa materiaali- ja energiatarpeiden tyydyttämistä, jossa on olemassa vaihtoehtoisia materiaaleja ja energialähteitä ja joiden kulutukseen puun käyttö vaikuttaa.

Metsä- ja puusektori Kioton pöytäkirjan mukaisena päästövähennyksien lähteenä ei ole ongelmaton. Lisäyksellisyys (additionality), pysyvyyden (permanence) ja vuodon (leakage) ongelmia voi kaikkia esiintyä. Kyseisillä sektoreilla on projektityyppisten vaikutusten ohella suuri merkitys Suomessa koko kansantalouden kasvihuonekaasutaseen kannalta.

Konsortion tutkimuksissa lisäyksellisyys on määritelty kahdella tavalla: poikkeamana puuntuotantotaloudellisesta optimista sekä poikkeamana metsänhoitosuosituksista. Jälkimmäinen voi tuntua kotimaisesta näkökulmasta perustelluimmalta kriteeriltä. Voi kuitenkin epäillä, että kansainvälisessä katsannossa taloudellinen optimi mielletään yleispätevämmäksi kriteeriksi lisäyksellisuuden perusvaihtoehdon määrittämiseen. Tämän vuoksi osa analyyseistä pohjautuu taloudelliseen optimointiin.

Metsänhoidon muutoksia analysoitaessa pysyvyys tulee automaattisesti ja eksplisiittisesti otettua huomioon, sillä koko tarkastelu perustuu puun ja hiilen määriin yli ajan pitkällä aikahorisontilla. Vuodon käsite ilmenee metsä- ja puusektorin kohdalla raaka-aineen ja tuotteiden markkinatasolla. Jos kotimaisiin puuvirtoihin vaikutetaan ilmastopolitiikalla, on niillä markkinamekanismin kautta vaikutuksia raakapuun tuontiin ja kotimaisen tuotannon määrään.

Ilmastopolitiikan tavoitteiden toteuttamiseksi tarvitaan erilaisia ohjauskeinoja. Ohjauskeinoja on tarkasteltava kokonaisvaltaisesti, sillä yksinomaan metsänomistajan toimien ohjaus ei ratkaise esimerkiksi hiilinielujen kokonaistaseen tasapainoista kehitystä tai metsien biodiversiteetin turvaamista. Metsän kasvatukseen liittyvien toimien ohella on ohjauksessa pyrittävä kiinnittämään huomiota bioenergian ja puutuotteiden myyntiin ja jalostukseen sekä niihin edellytyksiin, joilla esimerkiksi metsämaa otetaan muuhun käyttöön. Mikäli ilmastonmuutosta ehkäisevät ja biodiversiteettiä turvaavat strategiat aiheuttavat muiden toimintojen estymistä, ohjauskeinoissa on varmistettava asianmukainen kompensatio yksityisille haitankärsijöille. Tarkennetussa uusiutuvan energian edistämishjelmassa¹ on lueteltu ja arvioitu olemassa olevia ja tulevia ohjauskeinoja, jotka vaikuttavat välittömästi ja välillisesti bioenergian käyttöön ja energiasubstituution hyödyntämiseen maassamme. Näitä ovat mm. päästökaupparektiivi, energiaverot, tukimuodot energiapuun korjuulle ja haketukselle sekä vihreän sähkön sertifiointi. Ekotehokkuus edellyttää, että hiilinielutoiminnan ohjaaminen sovitetaan yhteen biodiversiteettiä turvaavien ja puuntuotantoa ohjaavien ohjauskeinojen kanssa. Eri toimintojen yhteensovittamisen kannalta on olennaista valita sellaiset ohjausmekanismit, jotka eivät aiheuta ristikkäisiä signaaleja

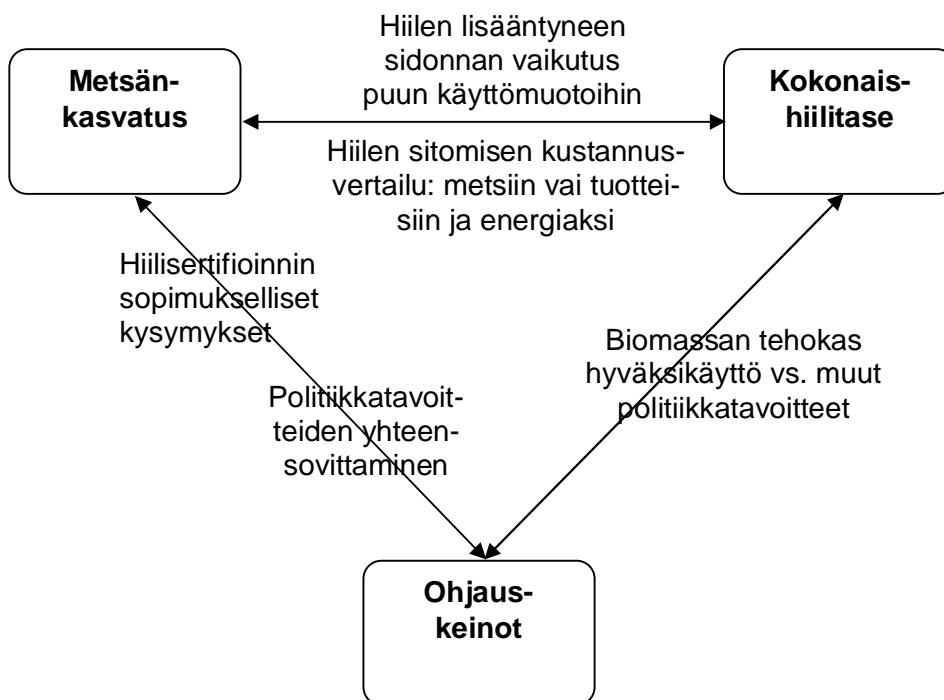
¹ Uusiutuvan energian edistämishjelma 2003-2006. Kauppa- ja teollisuusministeriön työryhmä- ja toimikuntaraportteja 5/2003.

toisten toimintojen tuottamiselle. Esimerkiksi hiilinielutoiminnan ja monimuotoisuuden turvaamisen ohjauskeinoja valittaessa onkin tarpeen tarkastella ekologisten tavoitteiden lisäksi ohjauskeinojen oikeudellisia ja sosio- taloudellisia vaikutuksia.

1.2 Raportin rakenne

Loppuraportti rakentuu varsinaisesti 7 luvusta, joiden yhteydet toisiinsa voidaan ymmärtää oheisen kuvion avulla. Luvussa 2 kuvataan tutkimustuloksia, jotka kytkeytyvät hiilen sidontaan erityisesti metsien kasvatuksen näkökulmasta. Luku 2 sisältää informaatio-ohjausta koskevan suosituksen, joka täydentyy luvun 6 kansainvälistä ilmastopolitiikkaa huomioon ottavalla ja ennakoivalla taloudellisten ja oikeudellisten ohjauskeinojen tarkastelulla.

Metsien kasvatusta hiilinieluna ei voi olla irrallaan puun eri käyttömuodoista ja kokonaishiilitaseesta, niinpä luvun 2 tulokset yhdistyvät luvun 3 puutuotteita koskeviin tutkimustuloksiin erityisesti luvun 4 tapaustarkastelussa. Mikäli hiiltä halutaan sitoa kustannustehokkaasti metsiin ja puun eri käyttömuotoihin (kuitu-, tukki-, energiapuu ym.), hiilensidonnassa on otettava huomioon muun muassa markkina-vaikutukset, jotka eivät kuitenkaan olleet tämän konsortion tutkimuskohteena (luku 5). Hiilen sidonnan ekotehokkuus on puolestaan kytköksissä esimerkiksi metsän biodiversiteettiä turvaaviin vaikutuksiin (luku 6.5).



Ohjauskeinojen painotus vaihtelee hiilen sidontaan valittavan kansallisen strategian perusteella. Mikäli hyödynnetään nykyisiä myös biodiversiteetin turvaamiseen soveltuvia ohjauskeinoja, keskeisenä keinona ovat erilaiset kemera-tuet (luvut 6.1 ja 6.4) ja METSO-ohjaus (luku 6.5). Erityisesti tukiin ja maksuihin liittyvät puukaupan markkinariskit (luku 5 ja 6.3) on kuitenkin pyrittävä ottamaan huomioon ohjauskeinoja valittaessa. Kansainvälisten ilmastonmuutosvelvoitteiden täyttämiseksi on tarpeen myös ennakoida uusia ohjauskeinoja (luku 6.2), joilla voitaisiin parantaa nykyistä paremmin esimerkiksi päästökauppa huomioon ottaen metsiin ja puutuotteisiin sitoutuvaa Suomen kokonaishiilitasetta.

Loppuraportin luvuista muodostuu kolmio. Siinä metsänkasvatus, kokonaishiilitase ja hiilen sidontaan pyrkivät ohjauskeinot muodostavat erilaisia ja eritasoisia sidoksia keskenään. Lukujen keskeisiä johtopäätöksiä ja siten tutkimuskonsortion tuloksia avataan vielä lyhyesti luvussa 7.

2 METSÄT HIILINIELUINA

Johanna Pohjola, Lauri Valsta, Jyri Mononen

2.1 Johdanto

Suomen metsien puuvarantoa voitaisiin biologisesti katsoen nostaa huomattavasti nykytasoltaan. Yksityismetsien keskitilavuus oli valtakunnan metsien kahdeksannen inventoinnin mukaan (1986-94) 104 m³/ha, kun uudistamiskypsien yksityismetsien keskitilavuus oli 184 m³/ha (Hilden ym. 1998). Jälkimmäinenkään luku ei ole biologisesti korkea, koska huomattava osa uudistamiskypsistä metsistä ei ole täystiheitä, minkä voi havaita, kun niiden tilavuuksia vertaa nuorempien kehitysluokkien puuston tilavuuksiin. Voidaan näin ollen arvioida, että periaatteessa Suomen metsien hiilimäärä voisi kaksinkertaistua, mikä määrä vastaisi Suomen päästökiintiön ylityksiä 200 vuoden aikana nykytilanteen mukaan. On kuitenkin syytä huomata, että tällainen puuston tilavuuden kasvattaminen edellyttäisi puunkäytön vähentämistä siirtymäaikana, mistä seuraisi fossiilisten polttoaineiden päästöjen kasvua ja vakavia kansantaloudellisia ongelmia.

Metsien hiilinielun lisääminen tapahtuu valtaosin hakkuita lykkäämällä. Osin hiilinielua voidaan myös lisätä metsänuudistamista tehostamalla, ojittamalla tai lannoittamalla. Hakkuiden lykkääminen aiheuttaa metsänomistajalle taloudellista tappiota, jonka suuruus voidaan laskea diskonttaamalla hakkuutuloja ja vertaamalla nykyarvosummaa perustapaukseen. Mikäli hiilinielun lisäämisestä maksetaan korvauksia, metsänomistajan kannattaa muuttaa metsien käsittelyä. Muutoksen suuruus riippuu korvauksen, puuston tuoton ja korkokannan suhteista.

2.2 Hiilivaraston optimaalinen kasvattaminen

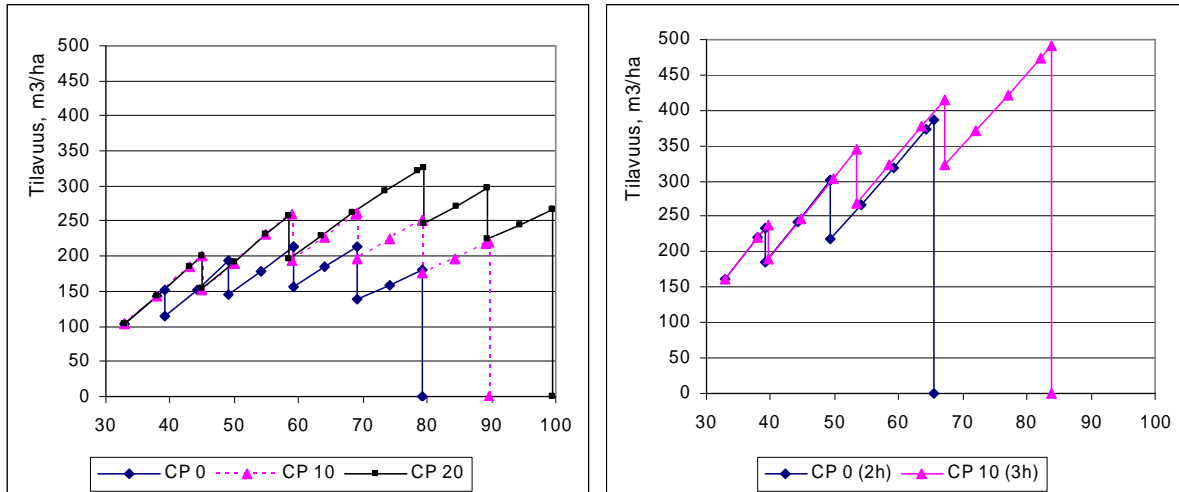
Metsänomistajalle maksettavan hiilinielukorvauksen vaikutusta taloudellisesti kannattavimpaan metsänkäsitelyyn tutkittiin käyttämällä kolmea hiilidioksidin hintaa: 0, 10 ja 20 €/t CO₂. Menetelmä on kuvattu esim. julkaisussa Valsta ym. (2005) ja tulokset raportoidaan yksityiskohtaisemmin julkaisussa Pohjola ja Valsta (2006). Laskelmat suoritettiin 10 männikölle ja 7 kuusikolle Etelä- ja Keski-Suomesta käyttäen SMA-optimointiohjelman (Valsta ja Linkosalo 1996) hiilitaloudella täydennettyä versiota. Puutavaran ja hiilen sidonnan yhteistuotanto paransi metsänhoidon kannattavuutta yli 8 %, kun hiilidioksidin hinta oli 10 €/ha ja korkokanta 3 %. Tämä vastasi männiköissä keskimäärin 93 €/ha ja kuusikoissa 155 €/ha lisäystä nettotulojen nykyarvossa (taulukko 2.1). Puuntuotannon nykyarvo aleni 7 - 10 %. Hiilensidonnan lisäyksestä saadut tulot olivat männiköissä keskimäärin 173 €/ha ja kuusikoissa 344 €/ha. Hiilikorvausta maksettiin vain hiilensidonnan erotuksesta perusvaihtoehtoon nähden eli lisäyksellisestä hiilensidonnasta. Yleispiirteenä voidaan todeta, että hiilensidonta toi lisätuloja suunnilleen kaksinkertaisesti sen, mitä puuntuotannossa menetettiin hakkuita muutettaessa.

Taulukko 2.1. Hiilitalouden vaikutus metsänkasvatuksen kannattavuuteen männiköille ja kuusikoille 10 €/t CO₂ hintatasolla ja 3 % korkokannalla.

Hiilen hinta, €/t CO ₂	Mänty				Kuusi			
	0	10	Muutos, €/ha	Muutos, %	0	10	Muutos, €/ha	Muutos, %
Nykyarvo yht.	1082	1175	93	8.6	1889	2044	155	8.2
Puuntuotannon nykyarvo	1082	1002	-80	-7.4	1889	1700	-189	-10.0
Hiilinykyarvo	0	173	173		0	344	344	

Männikön harvennukset ja päätehakuut muuttuivat siten, että puustopääomatasoa nostettiin harvennuksia myöhentämällä ja toisinaan lieventämällä ja kiertoaika pidennettiin (kuva 2.1). Kiertoaika piteni tarkastelluissa männiköissä 4-13 vuodella kun hiilen hinta oli 10 €/t CO₂ (taulukko 2.2). Samalla

metsikön keskimääräinen hiilivaranto kiertoajan aikana nousi selvästi, 42 hiilidioksiditonilla hehtaaria kohti. Hiilen kaksinkertainen hinta karkeasti kaksinkertaisti muutokset. Hiilikompensaatio johti **kuusikoissa** hieman erilaiseen metsänkäsittelyyn muutokseen kuin männiköissä (kuva 2.1). Vaikutus suuntautui enemmän kiertoajan pidentämiseen ja puustopääomaa ei nostettu paljoakaan harvennusten yhteydessä. Kiertoaika piteni 13-19 vuodella ja kiertoajan keskimääräinen hiilivarasto nousi 89 hiilidioksiditonilla hehtaaria kohti. Kuusikoiden osalta 20 euron hiilimaksun tuottamia tuloksia ei tässä raportoida, sillä puuston tilavuudet kasvoivat kiertoajan loppupuolella tasolle, joka on kasvumallien laadinta-aineiston ulkopuolella.



Kuva 2.1. Hiilidioksidin hinnan vaikutus edullisimpaan metsänkäsittelyyn kiertoajan kuluessa VT-männikössä (CP = Hiilen hinta €/tonni CO₂) ja OMT-kuusikossa.

Taulukko 2.2. Hiilikompensaation vaikutus metsänkäsittelyyn, keskitilavuuteen ja kiertoajan keskimääräiseen hiilivarastoon 10 männikön ja 7 kuusikon keskiarvoina.

	Männiköt			Kuusikot	
Hiilidioksidin hinta, €/t CO ₂	0	10	20	0	10
Kiertoaika, v	79	88	100	64	81
Keskitilavuus, m ³ /ha	116	148	178	147	207
Hiilen määrä, t CO ₂ /ha	150	192	230	219	308

Metsäpolitiikan ja metsävarojen hyödyntämisen kannalta on mielenkiintoista, miten edellä kuvattu muutos vaikuttaisi metsien keskikasvuun ja sitä kautta puuntarjontaan. Vaikka koko puuston kasvu ja puutavaralajien tuotos ei tulekaan markkinoille, on tuotoksen ja puuntarjonnan välillä silti voimakas yhteys. Tehdyn analyysin perusteella voidaan vertailla puuntarjontaa pitkän aikavälin tasapainotilojen välillä, joissa metsänkäsittely on sopeutunut uusiin taloudellisiin olosuhteisiin. Siirtymäkauden kehitystä ei voida tarkastella tämän tutkimuksen tulosten perusteella.

Taulukosta 2.3 havaitaan, että vaikka yhteistuotannon tapauksessa pelkät puuntuotannon nettotulojen nykyarvot laskivat, sekä männiköiden että kuusikoiden pitkän aikavälin puuntarjonta kokonaisuutena on suurempi. Tukkupuun tuotos kasvoi erityisesti kuusikoissa kun taas kuitupuun tuotos alentui. Harvennusten myöhentäminen ja kiertoajan pidentäminen lisäsivät siis sekä tukkipuun tuotosta että sidotun hiilen määrää (taulukko 2.2). Muiden tulosten perusteella vaikuttaisi siltä, että hiilen hinnan edelleen korottaminen ei enää sanottavasti lisäisi puuntuotosta – kiertoajat pitenevät niin paljon, että keskimääräinen tuotos alkaa laskea.

Taulukko 2.3. Puuntuotos eri hiilidioksidin hintatasoilla puutavaralajeittain 10 männikön ja 7 kuusikon keskiarvona.

	Männiköt			Kuusikot	
Hiilidioksidin hinta, €/t CO ₂	0	10	20	0	10
Puuntuotos, m ³ /ha/v					
Tukkipuu	3.6	4.0	4.2	4.4	5.4
Kuitupuu	1.9	1.7	1.5	3.6	3.1
Kokonaistuotos	5.6	5.8	5.8	8.1	8.7

2.3 Hiilivaraston kasvattaminen Tapion suosituksia muuttamalla

Koska Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion metsänhoitosuositukset suuntaavat metsänomistajien ja puunkorjuu-urakoitsijoiden käyttäytymistä, on hyödyllistä tarkastella hiilensidonnan lisäämistä ottaen lähtökohdaksi ao. suositukset. Tapion suosituksien mukaiset perusurat simuloitiin siten, että harvennusten lukumäärä, ajoitus ja voimakkuus noudattivat Tapion harvennussalleja. Kiertoaikojen määrittelyssä päätehakkuun kriteerinä oli suositeltu keskiläpimitta. Laskelmat suoritettiin MOTTI- metsikkösimulaattorilla (ks. luku 6.5.3) 4 VT- ja 4 MT-männikölle sekä 4 MT-kuusikolle ja 3 OMT-kuusikolle Etelä-Suomesta.

Männiköissä **kiertoajan pidentäminen** 10 vuodella lisäsi kiertoajan keskimääräistä hiilivarastoa 24 hiilidioksiditonilla hehtaaria kohti (taulukko 2.4.) eli noin 14 prosentilla. Tonneissa mitattuna MT-männiköihin sitoutui enemmän hiiltä kun taas suhteellinen lisäys oli sama VT- että MT-männiköissä. Kuusikoissa vaikutus oli selvästi suurempi, sillä 10 vuoden pidennys kiertoaikaan lisäsi hiilivarastoa 43 hiilidioksiditonilla hehtaaria kohti. Kiertoaajan pidentäminen edelleen ei enää lisännyt hiilivarastoa samaa vauhtia kummallakaan puulajilla. Metsäpääoman realisoinnin viivästyminen aiheutti merkittäviä taloudellisia kustannuksia kummallakin puulajilla. Taulukossa 2.4 esitetyt lukuarvot on diskontattu kiertoajan alkuun. Tulonmenetykset ovat vielä huomattavasti suuremmat jos ne diskontataan hiilensidonnan alkuun eli hetkeen, jolloin päätehakkuuta aletaan lykätä.

Metsien tiheämpi kasvatus siten että harvennuskäyriä nostettiin 4 m²/ha lisäsi keskimääräistä hiilivarastoa männiköissä 26 t CO₂/ha (15 %) ja kuusikoissa 23 t CO₂/ha (12 %) (taulukko 2.4.). Tarkastelluille männiköille hiilivaraston kasvoi hieman enemmän kuin pidennettäessä kiertoaika 10 vuodella, kun taas kuusikoilla lisäys jäi selvästi pienemmäksi. Positiivisen ilmastovaikutuksen lisäksi tiheämpi kasvatus lisäsi nettotulojen nykyarvoa. Kuusikoissa tulot kasvoivat jonkin verran enemmän kuin männiköissä. Metsiä tihentämällä voidaan kuitenkin sitoa vain tietty määrä hiiltä kustannuksitta, sillä metsien tihentäminen tästä edelleen heikentää puustopääoman suhteellista tuottoa liiallisesti.

Sekä pohjapinta-alan nosto että kiertoaikojen pidentäminen yhdessä tuotti tuntuvimman hiilivaraston lisäyksen. Männiköissä 20 vuoden pidennys kiertoaikaan ja pohjapinta-alan nosto neljällä m²/ha lisäsi kiertoajan keskimääräistä hiilivarastoa 68 t CO₂/ha (40 %) (taulukko 2.4.). Kuusikoissa vastaava metsänkäsitteilyn muutos tuotti 100 t CO₂/ha (65 %) lisäyksen hiilivarastoon. Päätehakkuun viivästyminen johti männiköissä ja OMT-kuusikoissa kannattavuuden heikkenemiseen.

Hiilensidonnan kustannus laskettiin jakamalla metsänomistajan nettotulojen nykyarvojen erotus keskimääräisellä hiilivaraston muutoksella. Hiilensidonnan yksikkökustannuksiin vaikuttaa voimakkaasti metsikön ikä. Muutettaessa metsänhoitoa kesken kiertoajan saadaan erilaiset kustannukset taimikoille, nuorille metsille ja päätehakkuuta lähestyville metsille. Myös laskentaan liittyvä diskonttausjakson pituus vaikuttaa olennaisesti nykyarvoina ilmaistujen kustannusten tasoon. Suositeltava nykyarvolaskennan nollassa hetki on se, jolloin päätös hiilensidonnan lisäyksestä tehdään.

Laskettaessa kustannukset metsikön perustamishetkestä (taulukko 2.4. sarake 4) kustannuksen nykyarvo 3 % korkokannalla oli männiköissä 4 - 10 euroa hiilidioksiditonilta, kun kiertoaika pidennettiin 10 vuodella ja 5.5 - 11 euroa kiertoajan pidennyksen ollessa 20 vuotta. Kuusikoissa kustannus oli 0 - 5

euroa hiilidioksiditonnilta, kun kiertoaikaa pidennettiin 10 vuodella ja 2 - 7 euroa kiertoajan pidennyksen ollessa 20 vuotta. Tällöin hiilensidonta alkaa lisääntyä vasta noin 50-80 vuoden päästä kustannusten laskentahetkestä. Näin laskettuja kustannuksia ei tule verrata esimerkiksi päästövähennysten kustannustasoon.

Jos kustannukset diskontataan metsikön perustamishetken sijaan vain perusvaihtoehdon päätehakkuihin eli hetkeen jolloin hiilensidonta alkaa, niiden lukuarvot tulevat huomattavasti suuremmiksi (taulukko 2.4. sarake 5). Männiköissä kustannukset olivat tällöin lähes kymmenkertaiset ja kuusikoissa yli viisinkertaiset 3 % korkokannalla, eli 33 - 85 euroa ja 2 - 30 euroa hiilidioksiditonnilta kun kiertoaikaa pidennettiin 10 vuodella.

Taulukko 2.4. Hiilensidonnan lisääminen Tapion metsänkäsittelysuosituksia muuttamalla; hiilivarasto ja sen muutokset kiertoajalla keskimäärin, nettotulojen nykyarvo sekä hiilensidonnan yksikkökustannukset 8 männikön ja 7 kuusikon keskiarvoina.

Vaihtoehto	Hiilivarasto kiertoajalla keskimäärin, t CO ₂ /ha	Nykyarvo kiertoajan alussa, €/ha, 3 % korko	Yksikkökustannus kiertoajan alkuun diskontattuna, €/t CO ₂	Yksikkökustannus hiilensidonnan alkuun diskontattuna, €/t CO ₂
Männiköt				
MH-suositus	174.8	1620		
Lisäys suosituksesta:				
Kiertoaika +10v	23.7	-146	6.2	56.2
Kiertoaika +20v	34.7	-273	7.9	71.8
PPA+4	25.5	+87	-3.4	-8.4
K.a.+20v & PPA+4	68.1	-201	3.0	7.3
Kuusikot				
MH-suositus	185	2639		
Lisäys suosituksesta:				
Kiertoaika +10v	43.2	-86	2.0	11.1
Kiertoaika +20v	62.0	-248	4.0	22.3
PPA+4	22.8	+242	-10.6	-23.0
K.a.+20v & PPA+4	99.8	+12	-0.1	-0.3

Riippumatta kustannusten laskentahetkestä hiilensidonta kiertoaikaa pidentämällä oli tässä tarkastelluissa tapauksissa selvästi edullisempaa kuusikoissa kuin männiköissä. Korkeammilla diskonttokoroilla kustannukset useimmiten alenisivat ja matalammilla nousisivat, kun kustannukset lasketaan metsikön perustamishetkestä. Sen sijaan kun kustannukset diskontataan hiilensidonnan alkamishetkeen, kustannukset kasvavat korkokannan noustessa. Täten laskentahetken aiheuttama ero kustannuksissa on sitä suurempi, mitä korkeampaa korkokantaa käytetään.

Hiilivaraston lisääminen kasvattamalla metsiä tiheämpänä ei aiheuta laskelmien mukaan kustannuksia. Tämä win-win tulos (sekä hiilensidonnan lisäys että taloudellisen tuloksen paraneminen) päti tarkastelluille kuusikoille ja VT-männiköille kaikilla korkokannoilla ja MT-männiköille korkokannoilla 2-4 %. Nämä tulokset poikkeavat jonkin verran luvussa 6.5 esitetyistä, joissa ainoastaan VT-männiköissä korkokannalla 3 % ei hiilensidonnan lisäämisestä aiheutunut kustannusta. Ero tuloksissa selittyy mm. erolla kiertoajan pituudessa. Korkeammilla korkokannoilla hyödyt jäivät pienemmiksi ja MT-männiköillä hiilensidonnan lisäyksestä alkoi aiheutua kustannus.

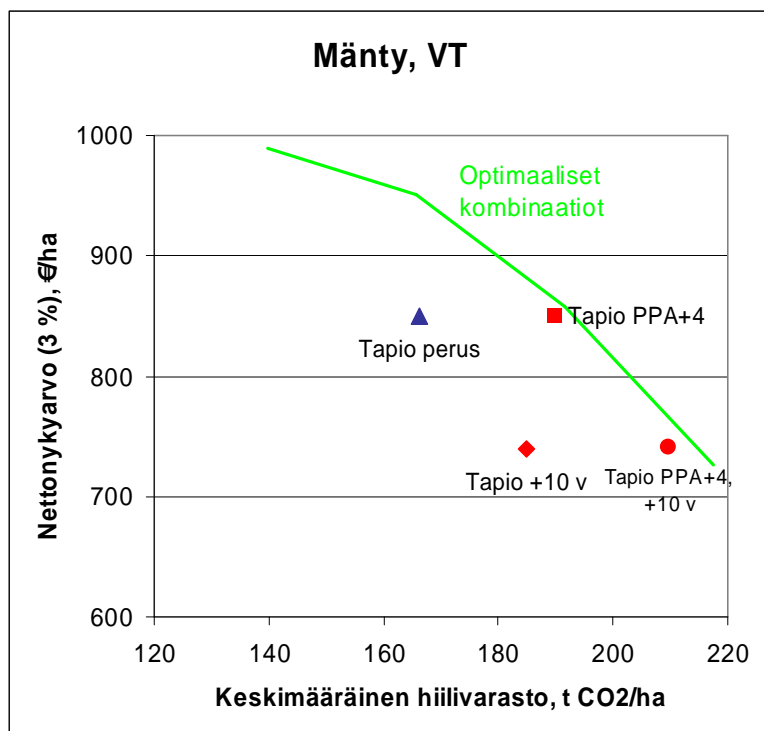
Yhdistelmätapauksessa, jossa sekä pidennetään kiertoaikaa että nostetaan pohjapinta-alaa, keskimääräinen hiilensidonnan yksikkökustannus oli männiköissä 1.5 - 5.4 euroa ja OMT-kuusikoissa 1 - 2 euroa kun laskenta alkaa metsikön perustamisesta ja korkokanta on 3 %. Jos taas kustannus lasketaan hetkestä, jolloin harvennuksia aletaan viivästyä, saadaan männiköissä kustannukseksi 4 - 13 euroa ja OMT-kuusikoissa 3 - 4 euroa. Tarkastelluissa MT-kuusikoissa tämä metsänkäsittelyn muutos sekä

lisäsi hiilensidontaa että paransi taloudellista tulosta laskentahetkestä riippumatta kun korkokanta oli 3 % tai alempi.

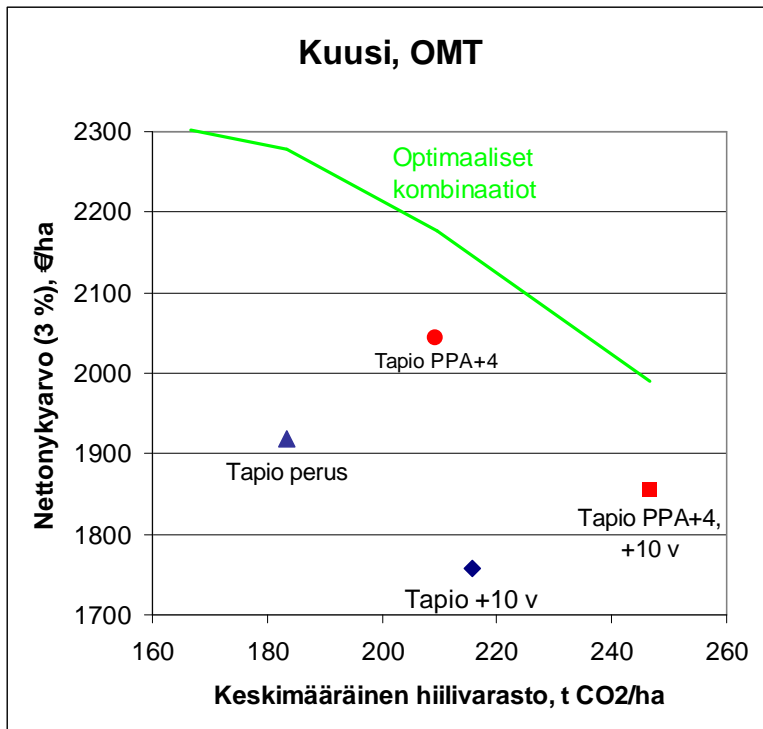
Metsikön iän ja diskonttauksen nolлахetken lisäksi kustannuksiin vaikuttaa hiilensidonnan määrä ja vauhti: mitä enemmän hehtaaria kohden sidotaan hiiltä, sitä suuremmat kustannukset. Tästä seuraa että mitä nopeammin hiilivarastoa halutaan kasvattaa, sen kalliimmaksi se tulee. Hiilensidonnan yksikkökustannus riippuu myös lähtötilanteen kiertoajasta. Tässä tutkimuksessa päätehakkuun kriteerinä oli keskiläpimitta, jolloin kiertoaika perustilanteessa oli männiköissä keskimäärin 75 v ja kuusikoissa 58 v. Jos lähtötilanteen kiertoaika olisi pidempi, yksikkökustannukset olisivat korkeammat kuin tässä esitetyt, kun hiilensidontaa lisätään kiertoaikaa pidentämällä. Tämä johtuu siitä, että hiilivaraston kasvu hidastuu mutta tulonmenetys kasvaa.

2.4 Kustannustehokas hiilensidonta suhteessa metsänhoitosuositukseen

Kuten edellä todettiin, pohjapinta-alan nosto oli kiertoajan pidentämisestä tehokkaampi keino lisätä hiilivarantoa. Kuvat 2.2 ja 2.3 esittävät optimoinnilla saadut kustannustehokkaat ratkaisut (vihreä käyrä) ja kiertoajan pidentämiseen ja/tai pohjapinta-alan nostoon perustuvat metsänhoitosuosituksen muunnokset esimerkkinä männikölle ja -kuusikolle. Männikössä pohjapinta-alan nosto 4 m²/ha johtaa hyvin lähelle parhaita mahdollisia vaihtoehtoja. Kuusikossa pohjapinta-alaa nostettaessa kannattavuus paranee hiilensidonnan samalla lisääntyessä, kuten edelläkin.



Kuva 2.2. Metsänhoitosuositusten muutokset ja taloudellisesti tehokkaat ratkaisut (käyrä) nettotulojen nykyarvon ja kiertoajan keskimääräisen hiilivaraston suhteen VT-männikössä.



Kuva 2.3. Metsänhoitosuosituksen muutokset ja taloudellisesti tehokkaat ratkaisut (käyrä) nettotulojen nykyarvon ja kiertoajan keskimääräisen hiilivaraston suhteen OMT-kuusikossa.

Tapion metsänhoitosuositus tuottaa korkeamman keskimääräisen hiilivaraston kuin metsänkäsittely, joka tuottaa suurimman puutulojen nykyarvon 3 % korkokantaa käyttäen. Metsänhoitosuosituksen verrattain pitkiä kiertoaikoja saatettaisiin siten perustella hiilensidontatavoitteella. Laskelmien mukaan sama hiilimäärä saataisiin kuitenkin sidottua lyhyempää kiertoaikaa ja tiheämpää kasvatusta käyttäen selvästi edullisemmin. Erityisesti kuusen osalta kustannusero on huomattava. Metsänhoitosuosituksen mukaisista, alemmista puunmyyntituloista aiheutuvaksi nykyarvoiseksi hiilensidontakustannukseksi saatiin kuvan 2.3 kuusikossa 12.4 €/t CO₂. Jos vastaava hiilimäärä sidottaisiin kustannustehokkaasti, kustannukseksi saataisiin vain 0.6 €/t CO₂. Kuvan 2.2 männikössä kustannukset alenisivat puolestaan 4.7 eurosta 1.5 euroon hiilidioksidonnia kohti.

2.5 Alustavat suositukset ja tulosten arviointia

Metsien kasvattaminen nykyistä tiheämpinä voisi olla sekä taloudellisesti että ilmaston kannalta nykyistä käytäntöä tai kiertoaikojen pidentämistä mielekkäämpi vaihtoehto molemmilla puulajeilla. Tämä tulos edellyttää, että käytetyt kasvumallit ovat harhattomia suhteessa puuston tiheyden muutokseen ja että puuston tuhoherkkyys ei lisääny suuremman tiheyden vuoksi. Käytännössä puuston tiheyden nosto tapahtuisi ns. harvennuskäyriä nostamalla, jolloin harvennukset viivästyisivät jonkin verran. Parhaimmillaan harvennussmallien muuttaminen voisi siis tarjota mahdollisuuksia parantaa metsien hiilitasetta ilman mitään välittömiä korvauksia tai rahoitusjärjestelyjä metsänomistajille. Koska metsiä on perinteisesti kasvatettu pitkälti tapiolaisten metsänhoitosuositusten mukaan, yleisiä harvennussmalleja muuttamalla voitaisiin luoda yksinkertainen ohjauskeino metsien hiilivarastojen lisäämiseksi. Lisäksi on otettava huomioon, että harvennuksia tehdään jopa metsänhoitosuosituksia voimakkaammin, mikä parantaa lyhyellä aikavälillä harvennusten kannattavuutta korjuukustannusten alentumisen vuoksi, mutta aiheuttaa pidemmällä aikavälillä tappiota metsänomistajalle.

Sen sijaan hiilensidontan lisääminen kiertoaikaa pidentämällä tulisi melko kalliiksi, erityisesti jos hiiltä haluttaisiin sitoa nopeasti. Kiertoaikaa pidentämällä voitaisiin toisaalta kasvattaa hiilivarastoa enemmän kuin metsien tiheyttä nostamalla. Kustannuksia voidaan alentaa nostamalla puuston pohjapinta-alaa kasvatuksen aiemmissa vaiheissa kiertoajan pidentämisen lisäksi. Kuusikoissa hiilensidonta

tulisi männiköitä edullisemmaksi. Kiertoaikaa hiilipolitiikan kohteena tarkastellaan ohjauskeinon näkökulmasta luvussa 6.3.

Tässä tarkastelluilla hiilensidontaa lisäävillä metsänkäsittelyn muutoksilla oli useimmissa tapauksissa positiivinen vaikutus myös pitkän aikavälin puun vuosittaiseen tuotokseen ja siten tarjontaan. Tukkipuun tarjonta kasvoi erityisesti kuusikoissa kun taas kuitupuun tarjonta aleni molemmilla puulajeilla kaikissa hiilensidontaa lisäävissä vaihtoehtoissa. Puuntarjontavaikutukset ovat keskeisiä tarkasteltaessa erilaisten metsänhoitostrategioiden ilmastovaikutusta koko puun elinkaaren aikana, kuten luvussa 4 tehdään.

Esitetyt tulokset perustuvat metsikkötason tasapainotarkasteluun. Se tuottaa tietoa metsänkäsittelyvaihtoehtojen ja puulajien edullisuudesta hiilensidontaan lisäämisessä, pitkän aikavälin hiilensidontapotentiaalista, vaikutuksista pitkän aikavälin puuntarjontaan sekä metsikkötason kustannuksista. Kyseinen tasapainotarkastelu on myös välttämätöntä perustietoa, ennen kuin tutkitaan toimenpiteitä aktuaaliseen metsikkörakenteeseen pohjautuen

Mahdollisia politiikkatoimia suunniteltaessa tarvitaan kuitenkin lisäksi siirtymäkauden sekä todelliseen metsikkörakenteeseen perustuvaa metsäaluetason tarkastelua. Tällöin saataisiin tietoa hiilensidontaan vuosivauhdista ja nieluvaikutuksen ajoittumisesta. Tietoa tarvitaan myös siirtymäkauden puuntarjontavaikutuksista, sillä pääte- ja harvennushakkuiden viivästyminen alentaa väliaikaisesti puun tarjontaa aiheuttaen siten kustannuksia metsäteollisuudelle. Sekä nielun että puun tarjonnan muutokset ajan suhteen riippuvat metsien ikäluokkajakaumasta ja markkinareaktioista. Lisäksi kustannukset saataisiin arvioitua metsäalue- tai valtakunnantasolla ja kustannustaso olisi paremmin vertailtavissa esim. päästövähennysten kustannuksiin.

Käynnissä olevassa metsänhoitosuosituksen uudistamisessa suuntaus vaikuttaisi olevan suosituskiertoaikojen lievä alentaminen, mikä ei sinänsä tukisi hiilivarannon kasvattamisen tavoitetta, mutta lienee perusteltu puuntuotantotalouden kannalta. Harvennusmallien nosto tasaisissa ja nuorella iällä tiheissä metsissä olisi tehokas ja edullinen ohjauskeino. Esillä ollut tiettyjen puulaji- ja kasvupaikkatapauksien harvennusmallien alakäyrän lasku ei tukisi hiilivarannon kasvattamista.

Valtakunnan metsät vaihtelevat paitsi kasvupaikkojen olosuhteiden mukaan myös hoitohistoriasta ja puuston iästä riippuen. Vaikka onkin mahdollista testata tässä tutkimuksessa tehdyllä tavalla eri ikäluokkia edustavia lähtötilanteita, Tapion suosituksiin perustuvat lähtöoletukset eivät edusta todellisten metsien kirjoa eikä välttämättä niille tapahtuvia toimenpiteitä.

Lähteet

- Hildén, M., Tahvonen, O., Valsta, L., Ostamo, E., Niininen, I., Leppänen, J. ja Herkiä, L. 1998. Natura 2000 -verkoston vaikutusten arviointi. Suomen ympäristö 201.
- Pohjola, J. ja Valsta, L. 2006. Impacts of carbon credits on Scots pine and Norway spruce stand management in Finland. Submitted manuscript. 19 p.
- Valsta, L. ja Linkosalo, T. 1996. Stand Management Assistant (SMA): Työväline metsikön käsittelyohjeiden määrittämiseen. In: Hynynen, J. ja Ojansuu, R. (toim.). Puuston kehityksen ennustaminen - MELA ja vaihtoehtoja. Tutkimusseminaari Vantaalla 5.11.1996. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 612:85-106.
- Valsta, L., Pohjola, J., Mononen, J., Pingoud, K. (2005): Suomen metsät ja puutuotteet ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden hallinnassa. Teoksessa Vapaavuori, E. 2005 (ed.) Ilmasto muuttuu – muuttavatko metsät. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 944, ss.114-123.

3 PUUTUOTTEET ILMASTOPOLITIIKASSA

Kim Pingoud

Puutuotteiden vaikutus ilmakehän hiilitaseeseen on kahtalainen: 1) ne ovat hiilen varastoja ja varastojen kasvaessa ne toimivat hiilen nieluina; 2) puulla voidaan vähentää päästöjä välillisesti käyttämällä sitä fossiilisten polttoaineiden ja energiaintensiivisten materiaalien korvaajana. Puutuotteiden hiilinieluja ei lasketa mukaan Kioton pöytäkirjan päästövelvoitteisiin eikä niitä raportoida vielä edes YK:n Ilmastopöytäkirjan mukaisissa kansallisissa päästöinventaarioraportissa. Fossiiliset hiilipäästöt – ja siten myös puutuotteiden välilliset ilmastovaikutukset – ovat sen sijaan mukana jo Kioton päästövelvoitteissa.

Puutuotteiden hiilinielua ja muita hiilitasevaikutuksia ei tule tarkastella irrallaan metsien hiilitaseesta. Tuotenielu voi periaatteessa olla yhteydessä kestävämpään metsänhoitoon tai metsien hävitykseen. Jotta tuotenielu olisivat kestäväällä pohjalla, pitää esimerkiksi päätehakkuuta seurata metsien uudistaminen. Puutuotteiden voidaan silloin katsoa vain jatkavan metsiin sidotun hiilen varastointia eivätkä olevan aiheuttamassa metsäkatoa.

3.1 Puutuotteiden hiilinielu

Useimpien arvioiden mukaan käytössä olevien puutuotteiden globaali hiilivarasto on nykyisin kasvussa. Arviot varaston kasvusta vaihtelevat välillä 30–140 miljoonaa hiilitonnia vuodessa ja perustuvat mallilaskelmille, jossa puuperäisille tuotteille on oletettu tietyt keskimääräiset eliniät (ks. esim. UNFCCC 2003, Pingoud 2003, Pingoud et al. 2003). Vaikka varasto globaalisti kasvaisikin, löytyy maita joissa puutuotteiden kulutus on pitkään laskenut ja varastokin todennäköisesti pienenee.

Jos mukaan luettaisiin myös kaatopaikoille kertyvät puuperäiset jätteet olisi globaali kasvu paljon suurempi, vaikka esimerkiksi Euroopan Unionissa biomassan sijoittaminen kaatopaikoille on vähentynyt jätedirektiivin myötä. Osa puujätteistä hajoaa kaatopaikoilla aiheuttaen kasvihuonevaikutusta lisääviä metaanipäästöjä, mutta ilmeisesti huomattava osa jätteistä muodostaa anaerobisissa olosuhteissa varsin pysyvän ja kasvavan hiilivaraston. Jättilastoinnin puutteiden takia mitään luotettavia arvioita puuperäisten kaatopaikkajätteiden globaalista hiilinielusta ei ole toistaiseksi esitetty.

Suomessa on tehty inventaario rakennuspuutuotteiden hiilivarastoista vuosina 1980, 1990, 1995 ja 2000 (Pingoud et al. 2003 s. 31, Pingoud ja Perälä 2000). Rakennuskannan hiilivaraston arvioitiin kasvaneen tuona aikana 8,4 miljoonasta tonnista 11,7 miljoonaan tonniin. Keskimääräinen vuotuinen varastonkasvu vaihteli 0,13 ja 0,19 miljoonan tonnin välillä edellä mainituilla 10 ja 5 vuoden aikaväleillä. Kokonaishiilivaraston, joka sisältää myös vesi- ja maarakenteet, arvioitiin vuonna 2000 olleen 17,4 miljoonaa tonnia. Ilmeistä on, että tämä muodostaa valtaosan käytössä olevien puuperäisten tuotteiden varastosta Suomessa.

Ilmastopöytäkirjan mukaisissa kansallisissa päästöinventaarioraportissa käytetään IPCC:n ohjeistoja (IPCC 1996, 2000 ja 2003). Puutuotteet ovat periaatteessa osa *Maankäytön muutos ja metsätalous* (=Land-Use Change & Forestry) -sektorin raportointia. Puutuotteiden hiilitaseen raportoimiseksi ei kuitenkaan ole voitu laatia yksikäsitteisiä ohjeita, koska sovellettavasta *raportointiperiaatteesta* ei ole päästy yksimielisyyteen. Globaalitasolla jokainen raportointiperiaate antaa saman hiilitaseen, mutta kukin periaate kohdentaa puutuotteiden hiilinielun eri tavoin maiden kesken. Tämän takia raportointiperiaatteesta on syntynyt ilmastopoliittinen kiistakysymys, jota on puitu jo lähes kymmenen vuoden ajan IPCC:n ja Ilmastopöytäkirjan piirissä. Kaikkien maiden pitäisi noudattaa samaa periaatetta, jotta puutuotteiden hiilitase laskettaisiin globaalisti oikein: ettei samaa nielua tai päästöä laskettaisi kahteen kertaan tai jätettäisiin kokonaan huomioimatta.

Nykyisin voimassa olevissa IPCC:n Good Practice Guidance (IPCC 2003) -ohjeiston liitteessä esitetään hiilitaseen arviointimenetelmä ja laskentakaavat kolmelle eri kilpailevalle raportointiperiaatteelle (Pingoud ja Skog 2003). Eräät maat (Australia, Britannia, Kanada ja USA) ilmoittavat kuitenkin jo nyt Ilmastopuutukselle puutuotteiden hiilitaseen jollain em. raportointiperiaatteista. Hiilinielua ei voi kuitenkaan laskea yhteen muihin kansallisiin nieluihin/päästöihin ennen kuin sovellettavasta puutuotteiden raportointiperiaatteesta on saatu aikaan yksimielinen päätös (COP/SBSTA). Uusimpien valmis-teilla olevien, vuoden 2006 ohjeistojen hyväksyminen ei vielä tuo tähän tilanteeseen muutosta.

3.1.1 Vaihtoehtoiset raportointiperiaatteet

Varastonmuutosperiaatteessa maa raportoi omien rajojensa sisällä olevien puutuotteiden hiilivaraston muutokset. Näin myös tuontipuu on raportoinnissa mukana. Käytännön raportoinnin kannalta periaate on selkeä. Se mahdollistaa tarkemmat arviointimenetelmät kuten suorat varastoinventaariot. Ei jouduta tekemään hankalia erotteluja siitä, mikä osa käytössä olevista tuotteista on lähtöisin kotimaisista metsistä ja mikä taas on tuontitavaraa tai että jouduttaisiin arvioimaan vientimarkkinoilla olevien puutuotteiden varastoja. Periaatetta on arvosteltu siitä, että se tarjoaa maalle nielun silloinkin kun puutuotevaraston kasvu perustuu kestävästi kasvatettuun tuontipuuhun.

Virtaperiaatteessa tarkastellaan samoja puutuotevarastoja kuin varastonmuutosperiaatteessa, mutta siinä päästöraportoinnin kohteena ei ole hiilivaraston muutos, vaan hiilen virta puutuotevarastosta ilmakehään. Jotta massatase päätisi, pitää koko puun elinkaari – mukaan luettuna metsät – raportoida samalla periaatteella. Maa, joka on puun ja puutavaran nettotuojana, joutuu raportoimaan hiilipäästönä myös kaiken tuodun puubiomassan hajoamisen. Näin puutuotteista muodostuu maalle päästölähde vaikka sen omien metsien hiilitase olisi tasapainossa. Vastaavasti puun nettoviejä saisi kaikesta viemästään puusta lisänielun kansalliseen hiilitaseeseen. Periaatteen seurauksena kaikesta tuontipuuenergiasta tulisi kansallisella tasolla fossiilisia polttoaineitakin pahempi päästölähde, jolla voisi olla hyvin kielteinen vaikutus uusiutuvien energiamuotojen osuuden lisäämiselle globaalisti. Virtaperiaatteen valitseminen johtaisi myös erikoiseen tilanteeseen Maankäytön muutos ja metsätalous -sektorilla, joka valmisteilla olevissa ohjeistoissa on nimetty AFOLU:ksi (Agriculture, Forestry and Other Land Use): vain puuperäinen biomassa raportoitaisiin virtaperiaatteella, kun kaikkialla muualla biomassan hiilitaseen raportointiin on sovittu käytettävän varastonmuutosperiaatetta. Vieläpä samassa maankäyttöloukassa jouduttaisiin osa biomassasta raportoimaan varastonmuutos-, osa virtaperiaatteella. Jos taas virtaperiaate ulotettaisiin koskemaan kaikkea AFOLU-sektorin raportointia, merkitsisi se mm. että viljantuojamaa joutuisi raportoimaan kaiken kuluttamansa viljan hiilipäästönä, kun taas viljankasvattajamaa saisi siitä vastaavan nielun.

Tuotantoperiaatteessa on ratkaisevaa, missä puu on kasvanut. Puuntuottajamaa raportoi puutuotteiden hiilivaraston muutoksen riippumatta siitä, missä tuotteet ovat käytössä (kotimaassa vai ulkomailla). Esimerkiksi jos puu on kasvatettu Venäjällä, jalostettu puutuotteiksi Suomessa ja viety kolmanteen maahan, olisi näiden puutuotteiden varastonmuutos mukana Venäjän kansallisessa päästöraportoinnissa. Tällainen elinkaarityyppinen periaate johtaa raportoinnissa moniin käytännön ongelmiin, koska puun alkuperämaata voi olla vaikea selvittää valmiista tuotteista. Jopa yksittäisen puutuotteen raaka-aine voi olla lähtöisin useista eri maista (esim. paperit, puulevytuotteet). Erityisesti suorat puutuoteinventoinnit olisivat todella vaikeita toteuttaa, koska puun elinkaaren seuraaminen vientimarkkinoille on käytännössä todella hankalaa. Lisäksi tässä poikettaisiin siitä päästöraportoinnin yleisperiaatteesta, että maat raportoisivat asioista, johon ne voivat itse vaikuttaa eli lähinnä asioista omien rajojensa sisältä. Tuotantoperiaatteesta on myös esitetty muunnos (ns. *simple decay*), jossa tarkastellaan samoin kotimaassa kasvatetun puun elinkaarta, mutta raportoinnin kohteena on hiilen virta puutuotevarastoista ilmakehään ja vastaavasti nettovirta ilmakehästä metsiin. Kansallisella tasolla (eli metsät ja puutuotteet yhteenlaskettuna) *simple decay* antaa täsmälleen saman hiilen nettotaseen kuin tuotantoperiaate eikä sitä kansallisten päästöinventarioiden kannalta voi pitää uutena raportointiperiaatteena.

Puutuotteiden raportointiperiaatteen valintaa ei tulisi tehdä riippumatta muusta AFOLU-sektorin raportoinnista, koska se saattaa johtaa pahoihin, koko raportointijärjestelmää koskeviin epäjohtonmu-

kaisuksiin sekä väärin kannusteisiin siinä tapauksessa että puutuotteet liitettäisiin ilmastovelvoitteisiin. Näitä ongelmia ovat käsitelleet mm. Pingoud et al. (2004), Cowie et al. (2006) sekä Grönqvist et al. (2005).

3.1.2 Puutuotteiden hiilinielujen liittäminen kansallisiin päästövelvoitteisiin

Välttämätön, mutta ei vielä riittävä ehto puutuotteiden liittämiselle kansallisiin päästövelvoitteisiin Kioton jälkeisillä velvoitekausilla on yhteisymmärryksen saavuttaminen puutuotteiden raportointimenetelmästä. Kioton pöytäkirjan velvoitekaudella 2008-2012 ei edes talousmetsien hiilinieluja lasketa kokonaisuudessaan päästövelvoitteisiin, vaikka maat raportoivatkin ne täysimääräisinä ilmastositoumukselle. Voidaan siis ennakoita, että puutuotteiden hiilinielu voitaisiin raportoida jollain yhteisesti hyväksytyllä raportointiperiaatteella ilman että sitä mitenkään liitettäisiin velvoitteisiin. Velvoitteet voisivat myös koskea jotain tiettyä osaa puutuotteista. Tuore ehdotus on yhdistelmä varastonmuutos- ja tuotantoperiaatteesta. Laskentaperiaatteessa olisi mukana ainoastaan se osa kotimaista puutuotteiden varastoa, joka on lähtöisin kotimaisista metsistä (Cowie et al. 2006). Maat ottaisivat tämän osan hiilivarastonmuutokset päästövelvoitteisiinsa.

3.1.3 Puutuotteiden hiilitaseen laskentamalli

Pingoud et al. (2001) sovitti yksinkertaisen dynaamisen mallin, jossa puutuotteiden hajoamisen oletettiin olevan eksponentiaalista, edellä mainittuihin suomalaisiin inventaariotuloksiin. Sisäänvirtaus puutuotteiden varastoon oletettiin olevan sahatavaran ja puulevyjen historiallinen kulutus (= tuotanto + tuonti – vienti) Suomessa. Paras sovitus suomalaisiin inventaarioihin saatiin kun sahatavaran ja puulevyjen keskimääräiseksi eliniäksi valittiin noin 30 vuotta mikä vastaa 22 vuoden puoliintumisaikaa. Lyhyehkö keskimääräinen elinikä johtunee siitä, että saha- ja levytuotteita menee huomattavia määriä lyhytaikaiseen käyttöön. On myös todennäköistä, että suoritettujen inventaariot eivät kata kaikkia puutuotevarastoja Suomessa, jolloin sovituksella saadusta elinikäarviosta tulee liian pieni.

Pingoud on kehittänyt em. dynaamiseen malliin perustuvan laskentamallin FODWOOD, joka on tarkoitettu liittää IPCC:n uusiin ohjeistoihin ja jota maat voisivat käyttää puutuoteraportoinnissaan silloinkin kun mitään maakohtaisia tietoja puutuotevarastoista ei ole käytettävissä. Yksinkertaisimmillaan mallin käyttö perustuu suoraan FAO:n internettietokannoista (FAOSTAT data, 2006) ladattaviin maakohtaisiin puutuotteiden tuotanto-, vienti- ja tuontitilastoihin vuodesta 1961 alkaen, sekä ohjeistoissa annettuihin oletusparametreihin, joita ovat oletukset puutuotteiden puoliintumisaajoista sekä niiden hiilisisällöstä suhteessa tuotekuutiometreihin tai -tonneihin. Mallilla voidaan laskea puutuotteiden hiilitase kaikilla kolmella raportointiperiaatteella, eikä malli ota kantaa siihen, mikä raportointiperiaate olisi valittava. Mallin algoritmi perustuu eksponentiaalisen hajoamisen analyttiseen ratkaisuun ja on esitetty julkaisussa (Pingoud ja Wagner 2006). Mallin aikaisempi, approksimatiiviseen ratkaisuun perustuvan version algoritmi on kuvattu IPCC:n (2003) ohjeiston liitteessä (Pingoud ja Skog 2003). Tämän aikaisemman mallin herkkyyksianalyysi on esitetty artikkelissa Skog et al. (2004).

3.2 Puu energiaintensiivisten materiaalien ja fossiilisten polttoaineiden korvaajana

Hiilinielut ovat ilmastopolitiikan välineitä niin kauan kun biomassavarastoja voidaan kasvattaa. Aikaa myöten nielupotentiaali kuitenkin kyllästyy. Korvaamis- eli substituutiovaikutus on luonteeltaan erilainen, koska se on riippuvainen metsistä (tai pelloilta) hyödynnettävästä biomassavirrasta eikä hiilivarastojen kasvusta. Jokaisella biomassatonnilla, jolla korvataan energiaintensiivisempiä tuotteita tai fossiilisia polttoaineita, voidaan välillisesti estää hiilen pääsy ilmakehään pysyvistä, maankuoren varastoista. Substituutiota voidaan hyödyntää jatkuvasti, kunhan vain huolehditaan siitä, että biomassan korjuu on kestäväällä pohjalla.

Rajoittavina tekijöinä substituutiovaikutuksen hyödyntämisessä ovat mm. biomassan tuotto – paljonko tiettylta pinta-alalta voidaan kestävästi tuottaa biomassaa aikayksikköä kohti – sekä biomassan tuotan-

toon käytettävissä oleva maapinta-ala. Energiasubstituutiota ja bioenergian kasviuonekaasuhyötyjä voidaan pyrkiä optimoimaan monin eri kriteerein (ks esim. IEA Bioenergy Task 38, 2005). Materiaalisubstituution tapauksessa optimointi on vieläkin mutkikkaampaa, koska siinä biomassaa käytetään sekä materiaalina että bioenergiana. Pääsääntöisesti kannattaa bioenergiana hyödyntää materiaalinvalmistuksen sivuainevirrat sekä itse lopputuotteet elinkaarensa päätteeksi (mahdollisten materiaali-kierrätysten jälkeen). Materiaalikorvaamisessa myös tuotettavan puutavaran laatu – ei yksin biomassan määrä – vaikuttaa siihen, miten suuria päästövähennyksiä tuotettua biomassatonna kohti voidaan saavuttaa.

Kun puulla korvataan fossiilisia polttoaineita tai fossiili-intensiivisempiä materiaaleja, saavutetaan *suhteellisia* päästövähennyksiä. Lähes kaikista puupolttoaineiden tai materiaalien käytöstä seuraa fossiilisia hiilipäästöjä, mutta nämä päästöt ovat pienempiä kuin fossiilisilla polttoaineilla tai kilpailevilla fossiili-intensiivisillä materiaaleilla. Substituutiovaikutusten arviointi ei ole aivan suoraviivaista. Jotta suhteellisia päästövähennyksiä voitaisiin kvantifioida, on arvioitava myös korvattavan (saman funktion täyttävän) fossiilisen järjestelmän päästöt, mikä muodostaa perusuran tai business as usual (BAU) -tilanteen. Suhteelliset päästövähennykset saadaan laskemalla järjestelmien päästöjen erotus.

Materiaali- ja energiasubstituution kasviuonevaikutusten arviointiin sovellettavan standardimetodologian lähtökohdat esitettiin artikkelissa Schlamadinger et al. (1997). Käytännössä materiaalisubstituutiota tarkasteluissa käytetty laskentametodologia ei ole vielä vakiintunut ja tapaustarkasteluiden perusoleukset poikkeavat toisistaan. Puun käyttö rakentamisessa muodostaa todennäköisesti määrällisesti suurimman potentiaalisen materiaalisubstituutiolle. Tutkimusryhmiä, joissa on tarkasteltu uusiutuvilla rakennusmateriaaleilla tapahtuvan materiaalikorvaamisen kasviuonekaasutaseita, on mm. Ruotsissa ja Suomessa (Gustavsson et al. 2005a, 2005b, Sathre et al. 2004, Gustavsson ja Sathre 2005, Pingoud ja Perälä 2000), Norjassa (esim. Petersen Raymer 2005), Saksassa (esim. Scharai-Rad ja Welling 2002) ja USA:ssa (CORRIM 2006). Lisähaasteen metodologian kehittämiseksi muodostaa metsien hiilitaseen integroiminen hiilitasetarkasteluihin. Seuraavassa luvussa esitetään tasapainotilojen vertailuun perustuva integroitu tapaustarkastelu. Siinä on kehitetty metodia koko puunkäyttökettujen ilmasto-vaikutusten arviointiin sisältäen metsien ja puutuotteiden hiilivarastot sekä puun käytön substituutiovaikutukset.

Lähteet

- Cowie, A., Pingoud, K., Robertson, K., Schlamadinger, B., and other experts participating in IEA Bioenergy Task 38, 2005. Key terms used in greenhouse gas reporting and accounting for the land use, land use change and forestry sector, 14 p. 11 December 2005. <http://www.joanneum.ac.at/iea-bioenergy-task38/keydefinitions.pdf> . Kyseisestä kannanotosta laajennettu, aikakauslehteen tarkoitettu artikkeli on juuri valmistunut (Cowie, A., Pingoud, K., Schlamadinger, B.), ja se on lähetetty julkaistavaksi *Climate Policy* -lehteen.
- CORRIM 2006: Consortium for research on renewable industrial materials, verkkosivu: <http://www.corrim.org/>
- FAOSTAT data 2006: <http://faostat.fao.org/faostat/collections?version=ext&hasbulk=0&subset=forestry>
- Grönkvist, S., Möllersten, K., Pingoud, K. 2005: Equal opportunity for biomass in greenhouse gas accounting of CO₂ capture and storage: a step towards more cost-effective climate change mitigation regimes. 14 p. Article accepted for publication in *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*.
- Gustavsson, L., Pingoud, K., Sathre R. 2005a: Carbon dioxide balance of wood substitution: comparing concrete- and wood-framed buildings. 21 p. Article accepted for publication in *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*.
- Gustavsson, L., Sathre, R.: 2005. Variability in energy and carbon dioxide balances of wood and concrete building materials. *Building and Environment* (in press).
- Gustavsson, L., Sathre, R., Pingoud, K. 2005b. Greenhouse gas benefits of wood substitution: comparing concrete- and wood-framed buildings in Finland and Sweden. IEA Bioenergy Task 38

- (Greenhouse Gas Balances of Biomass and Bioenergy Systems), Case studies. 6 p.
<http://www.joanneum.ac.at/iea-bioenergy-task38/projects/task38casestudies/>
- Sathre, R., Gustavsson, L., Pingoud, K. 2004. Greenhouse Gas Balance Implications of Recovered Construction Wood in Sweden and Finland, pp. 264-279 in: European COST E31 Conference Proceedings: *Management of Recovered Wood. Recycling, Bioenergy and Other Options*. 22-24 April, Thessaloniki, Greece. University Studio Press.
- IEA Bioenergy Task 38, 2005: Optimizing the greenhouse gas benefits of bioenergy systems.
<http://www.joanneum.ac.at/iea-bioenergy-task38/publications/>
- IPCC 1996: Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Guidelines. Vols. I-III.
- IPCC 2000: Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories.
- IPCC 2003: Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry (edited by Jim Penman, Michael Gytarsky, Taka Hiraishi, Thelma Krug, Dina Kruger, Riitta Pipatti, Leandro Buendia, Kyoko Miwa, Todd Ngara, Kiyoto Tanabe and Fabian Wagner). www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf.htm
- Petersen Raymer, A.K. 2005: Modelling and analysing climate gas impacts of forest management. Norwegian University of Life Sciences, Thesis 2005:11.
- Pingoud, K., Perälä, A.-L., Pussinen, A. 2001: Carbon dynamics in wood products. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, Vol. 6, No. 2, pp. 91-111, 2001.
- Pingoud, K., Schlamadinger, B., Grönkvist, S., Brown, S., Cowie, A., and Marland, G. 2004: Approaches for inclusion of harvested wood products in future GHG inventories under the UNFCCC, and their consistency with the overall UNFCCC inventory reporting framework. 6 p.
<http://www.joanneum.ac.at/iea-bioenergy-task38/publications/>
- Pingoud, K., Perälä, A.-L. 2000: Arvioita puurakentamisen kasvihuonevaikutuksesta. 1. Skenaariotarkastelu potentiaalisesta puunkäytöstä ja sen kasvihuonevaikutuksesta vuosien 1990 ja 1994 uudisrakentamisessa. 2. Rakennuskannan puutuotteiden hiilivaranto Suomessa: inventaariot vuosilta 1980, 1990 ja 1995 [Studies on greenhouse impacts of wood construction. 1. Scenario analysis of potential wood utilisation in Finnish new construction in 1990 and 1994. 2. Inventory of carbon stock of wood products in the Finnish building stock in 1980, 1990 and 1995.] Espoo 2000, Technical Research Centre of Finland, *VTT Julkaisuja – Publikationer* No. 840. 58 p. + app. 14 p.
- Pingoud, K. 2003: Harvested wood products: considerations on issues related to estimation, reporting and accounting of greenhouse gases. Manuscript prepared for the UNFCCC secretariat to compile and analyse relevant data and methodologies for accounting emissions from harvested wood products in the context of the UNFCCC and the Kyoto Protocol. 93 p.
- Pingoud, K., Perälä, A.-L., Soimakallio, S., Pussinen, A., 2003: Greenhouse gas impacts of harvested wood products. Evaluation and development of methods. VTT Research Notes 2189, 138 p.
<http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2003/T2189.pdf>
- Pingoud, K. and Skog, K.E. 2003: Appendix 3a.1 Harvested wood products: Basis for future methodological development, pp. 3.257 – 3.272 in IPCC 2003: Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry.
- Pingoud, K., Wagner, F. 2006. Methane emissions from landfills and decay of harvested wood products: the first order decay revisited. IIASA Interim Report IR-06-004. Hyväksytty julkaistavaksi myös *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* -aikakauslehdessä.
- Scharai-Rad, M., Welling, J.: 2002. Environmental and energy balances of wood products and substitutes. Food and Agricultural Organization of the United Nations. Web accessible at
<http://www.fao.org/docrep/004/y3609e/y3609e00.htm>
- Schlamadinger, B., Apps, M., Bohlin, F., Gustavsson, L., Jungmeier, G., Marland, G., Pingoud, K., Savolainen, I.: 1997. Towards a standard methodology for greenhouse gas balances of bioenergy systems in comparison with fossil energy systems. *Biomass and Bioenergy*. 13(6), 359-375.
- Skog, K.E., Pingoud, K., Smith, J.E., 2004: A method countries can use to estimate changes in carbon stored in harvested wood products and the uncertainty of such estimates. *Environmental Management* Vol. 33, Supplement 1, pp. S65–S73.

UNFCCC 2003: Estimation, reporting and accounting of harvested wood products. FCCC/TP/2003/7,
7 October 2003, 44 p.

4 TAPAUSTARKASTELU: Metsien ja puutuotteiden yhdistetty vaikutus

Kim Pingoud, Johanna Pohjola, Lauri Valsta ja Kalle Karttunen

4.1 Johdanto

Metsien ja puunkäytön kokonaisvaikutus ilmakehän hiilidioksidipitoisuuksiin riippuu sekä metsien että puutuotteiden käytön vaikutuksista. Metsien hiilivaraston suuruudella ja puuston (tai biomassan) kasvulla on konkaavi suhde: puuston kasvu saavuttaa maksimin tietyllä metsäalueen puuston määrällä ja jos puusto lisääntyy tästä, kasvu alkaa alentua. Vaikka siis metsien hiilivaraston lisääminen sitoo hiiltä, liiallinen varaston suuruus alkaa vähentää puuston kasvua ja puun virtaa puutuotteisiin. Puutuotteet puolestaan korvaavat enemmän fossiilisia päästöjä aiheuttavia energialähteitä ja materiaaleja. Ilmastovaikutuksen kannalta on näin ollen olemassa tehokkain metsän hiilivaraston ja puutuotevirran yhdistelmä. Puutuotteiden ilmastovaikutus riippuu myös puutavaran lajeista (esim. tukkipuu, kuitupuu, energiapuu), mikä on tärkeää yhdistää tarkasteluun.

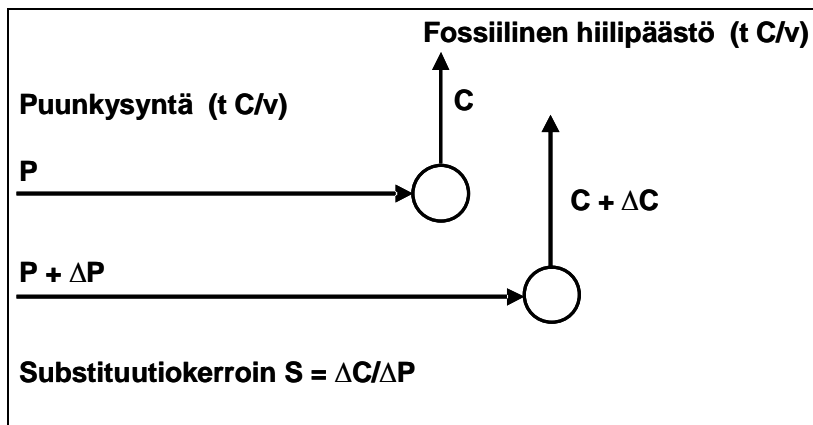
4.2 Menetelmät

Tutkimuksessa lähdettiin kehittämään kvantitatiivista, tasapainoskenaarioihin perustuvaa metodologiaa, jolla metsien ja puun koko elinkaaren vaikutusta biomassan hiilivarastoihin sekä kasvihuonekaasupäästöihin voitaisiin arvioida. Menetelmää käytettiin tapaustarkastelussa, jossa tutkittiin erilaisten metsänhoitostrategioiden vaikutusta potentiaalsiin päästöihin.

4.2.1 Substituutiokerroin

Puutuotteilla korvaamisella saavutetaan *suhteellisia* päästönvähennyksiä, ts. vähennyksiä verrattuna johonkin referenssitilanteeseen (esim. ”business as usual”), koska lähes kaikki puunkäyttö aiheuttaa välillisesti fossiilisia hiilipäästöjä puunkorjuusta ja -kuljetuksista lähtien. Näiden suhteellisten, marginaalisten ja puun *lisäkäytöllä* saavutettavien päästönvähennysten tehokkuutta kuvaamaan määriteltiin ns. substituutiokerroin S seuraavalla tavalla:

Oletetaan, että tietyllä puun kysynnän tasolla P jonkin tietyn toiminnon ylläpitämisestä aiheutuvat fossiiliset hiilipäästöt ovat C . Oletetaan vielä, että jos puun käyttöä lisätään ΔP , niin päästöt vastaavasti muuttuvat ΔC :n verran. Jos kerroin S on negatiivinen (eli $\Delta C < 0$), merkitsee se, että lisäämällä puunkysyntää tietyssä toiminnossa hiilipäästöt vähenevät suhteessa alkuperäiseen tilanteeseen. Mitä negatiivisempi S , sitä suurempi on suhteellinen päästönvähennys. (Esittämällä puunkysyntä P hiilivirran yksiköissä saadaan kertoimesta laaduton luku.) Kerrointa havainnollistaa kuva 4.1.



Kuva 4.1. Substituutiokerroin S suhteellisten päästönvähennysten kuvaajana. Puunkypsyntän muutos $P \rightarrow P + \Delta P$ muuttaa puun elinkaaresta välillisesti aiheutuvia fossiilisia hiilipäästöjä $C \rightarrow C + \Delta C$. Kummassakin tapauksessa tarkastellaan *saman funktion omaavaa järjestelmää*, esimerkiksi tietyn asumistarpeen tai energiatarpeen tyydyttämistä; järjestelmät eroavat siinä miten paljon biomassapanoksia suhteessa fossiilisiin käytetään.

4.2.2 Skenaariot

Tutkimuksessa tehdyssä tapaustarkastelussa vertailtiin erilaisia tasapainotiloja, joissa sekä metsien että puutuotteiden hiilivarastot pysyvät vakiona eli metsien kasvun ja poistuman oletetaan olevan tasapainossa ja puutuotteita oletetaan otettavan käyttöön saman verran kuin niitä poistuu. Tasapainotilat eroavat toisistaan vuotuisten fossiilisten hiilipäästöjen ja kokonaishiilivarastojen suhteen.

Puun tarjonnan oletettiin tulevan normaalimetsästä, joka sisältää tasaisesti kaikkia ikäluokkia ja josta tuotetaan sama määrä puuta vuosittain. Eri puuntarjontaskenaarioissa ainoastaan sovellettavat metsänhoitotoimet erosivat toisistaan. Kun metsänhoitoa muutetaan esimerkiksi pidentämällä kiertoaikaa, voidaan aikaa myöten saavuttaa uusi tasapainotila: normaalimetsä, jossa vuosittainen kokonaispuuntarjonta ja tuotettujen puutaveralajien (tukki-, kuitu-, energiapuu) suhteet ovat erilaiset kuin alkuperäisessä tasapainotilassa. Siirtymää tasapainotilasta toiseen ei tarkasteltu, vaan tapaustarkastelussa keskityttiin pelkkiin tasapainotilojen vertailuihin.

Tarkasteltuja puuntarjontaskenaarioita eli normaalimetsien tasapainotiloja oli 6 kpl kummallekin tarkastelulle metsätyypille (kuusi, mänty) (Taulukko 4.1). Perusskenaariossa tukkipuun tarjonta oli pienimmillään. Perusvaihtoehtona oli Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion metsänhoitosuositusten mukainen metsänhoito, joka valittiin edustamaan tyypillistä nykymetsätaloutta. Skenaarioille tehdyt metsän kehityksen simuloinnit pohjautuivat joukkoon jäljempänä kuvattuja koealoja. Näin saadut simuloinnit edustavat tasaisia ja ensiharvennusvaiheessa tiheitä, hyvin hoidettuja metsiä. Perusvaihtoehdossa metsiä harvennettiin metsänhoitosuositusten mukaan ja uudistaminen perustui puuston keskilämpimän mukaiseen suositukseen. Tällöin perusskenaariossa kiertoaika oli männiköissä keskimäärin 75 vuotta ja kuusikoissa 57 vuotta.

Taulukko 4.1. Puun tarjonnan ja kysynnän tasapainotarkastelussa käytetyt skenaariot.

Skenaario	Metsänhoitotoimet
1	Tapion suositusten mukainen metsänhoito, keskiläpimittakriteeri päätehakkuussa. Kiertoaika: mänty 75 v, kuusi 57 v
2	Kuten 1, mutta kiertoaikaa lisätään 20 vuotta
3	Kuten 1, mutta kiertoaikaa lisätään 40 vuotta
4	Kuten 1, mutta kiertoaikaa lisätään 20 vuotta; puuston pohjapinta-alan korotus 4 m ² /ha
5	Kuten 1, mutta kiertoaikaa lisätään 40 vuotta; puuston pohjapinta-alan korotus 4 m ² /ha
6	Energiapuuharvennus 12 m valtapituusvaiheessa osana metsänkasvatusketjua

Perusvaihtoehdosta muokattiin metsien hiilinielua lisäävät skenaariot, joissa kiertoaikaa pidennettiin 20 tai 40 vuodella pitäen harvennusmalli perusvaihtoehdon mukaisena (skenaariot 2 ja 3) tai lisäksi korotettiin puuston pohjapinta-aloja ennen ja jälkeen harvennusten 4 m²/ha ja samanaikaisesti pidennettiin kiertoaikoja (skenaariot 4 ja 5). Lisäksi luotiin nuoren metsän energiapuu -skenaario, jossa toteutettiin nuoren metsän harvennus Kestävän metsätalouden rahoituslain mukaisesti (skenaario 6). Kuusikoiden skenaarioihin 3 ja 5 (kiertoajan pidennys 40 vuodella) liittyi voimakkaana jatkuva kasvu. Tyvilahon riskiä ei sisällynyt laskelmiin. Näin ollen kuusikoiden skenaarioiden 3 ja 5 tuotosennusteita voidaan pitää hieman epävarmempina.

Laskelmat suoritettiin kahdeksalle VT- tai MT-männikölle sekä neljälle MT-kuusikolle. Laskelmat suoritettiin Metsäntutkimuslaitoksessa kehitetyllä MOTTI-metsikkösimulaattorilla, joka tuottaa puuston kehitysennusteet metsikkötasolla, kun sovelletaan vaihtoehtoisia metsänkäsitteilytapoja (ks. esim. Hynynen ym. 2005). Lisäksi MOTTI-tuloksista saadaan puun poistumat puutavaralajeittain kiertoajan kuluessa. Niistä laskettiin keskimääräiset vuotuiset puuntarjonnat normaalimetsistä, jotka vastasivat kutakin koealaa ja käsittelyä.

Puun kysyntä sovitettiin normaalimetsän puuntarjontaan. Suoritetussa tapaustarkastelussa *tukkipuu* oletettiin käytettäväksi kerrostalojen rakentamisessa siten, että kaikissa kysyntäskenaarioissa toteutui sama käyttöfunktio eli sama rakennusneliöiden määrä. Vähiten tukkipuuta tuottavassa perusskenaariossa oletettiin rakennettavan pelkästään betonikerrostaloja, joihin käytetään jonkin verran puuta rakennusaineena. Puun tarjonnan lisäys oletettiin käytettävän saman funktion täyttävien puukerrostalojen rakentamiseen talojen kokonaismäärän pysyessä samana kaikissa skenaarioissa. Lähtökohtana oli tasapainotilojen vertailu toisiinsa: kaikissa kysyntäskenaarioissa taloja rakennetaan saman verran kuin niitä puretaan; ainoastaan puutalojen osuus talojen kokonaismäärästä vaihtelee eri skenaarioissa. Kaiken kaikkiaan tukkipuun elinkaareen sisältyy puunkorjuu ja -kuljetus, kuoren käyttö energiaksi, sahatavaran valmistus, sahausjätteiden käyttö osittain puulevyjenvalmistamiseen ja osittain energiaksi, rakennusjätteiden ja purkujätteiden kuljetus ja käyttö energiaksi. Jätepuu ml. kuori rakennusmateriaalien (sahatavara, puulevyt) tuotannosta ja rakentamisesta oletettiin kokonaisuudessaan käytettäväksi bioenergiaksi, samoin suurin osa talojen puuperäisistä purkujätteistä.

Kuitupuulle tehtiin kaksi erilaista käyttöskenaariota: skenaariossa A kuitupuun kysyntä massa- ja paperiteollisuuden raaka-aineena pidettiin vakiona ja mahdollinen kuitupuun ylijäämä käytettiin bioenergiaksi; skenaariossa B annettiin massan- ja paperinvalmistuksen vaihdella kuitupuun kokonaistarjonnan mukaisesti. Kuusikuitu oletettiin käytettäväksi mekaanisen massan valmistukseen ja mäntykuitu sellun valmistukseen. (B-skenaariossa rikotaan saman käyttöfunktion periaatetta, koska kaikilla skenaarioilla ei pystytty tuottamaan samaa paperimäärää ja näin olisi periaatteessa oletettava, että paperille olisi olemassa jonkinlainen korvaaja.)

Pääte- ja harvennushakkuista tuleva *energiapuu* oletettiin käytettävän bioenergiana ja korvaavan päästölaskelmissa joko hiili- tai kaasuvoimaa. Rakennusmateriaalien tuotannossa tarvittavan sähkön oletettiin olevan ns. marginaalisähköä, vaihtoehtoisesti joko hiili- tai kaasulauhdevoimalla tuotettua.

Kaikille skenaarioille laskettiin vuotuiset fossiiliset hiilipäästöt sekä hiilen tasapainovarastot niin metsissä kuin rakennusmateriaaleissa. Muita puuntarjontaskenaarioita verrattiin perusskenaarioon, jossa

tukkipuun tarjonta oli alhaisin ja laskettiin hiilipäästöt suhteessa tähän sekä vastaavat muutokset hiilen varastoissa.

4.3 Tulokset

4.3.1 Substituutiokertoimet

Puun eri käyttöketojuille laskettiin substituutiokertoimet, jotka on esitetty Taulukossa 4.2. Substituutiokertoimet laskettiin suhteessa siihen biomassaan, joka todella korjataan ja kuljetetaan pois metsästä, ei siis suhteessa kokonaisbiomassan tuottoon. Substituutiokertoimet riippuvat mm. siitä mitä polttoaineita bioenergian oletetaan korvaavan ja mitä materiaaleja puutuotteilla korvataan.

Taulukko 4.2. Substituutiokertoimet (S), kun korvattava fossiilinen polttoaine on kivihiihi.

Tukkipuu (ruotsalainen puukerrostalo)	-2,05
Tukkipuu (suomalainen puukerrostalo)	-1,31
Kuitupuu, skenaario A (vakiomäärä m/p-teoll., ylimäärä bioenergiaksi)	-0,89
Kuitupuu (kuusi), skenaario B (kaikki m/p-teoll.)	0,48
Kuitupuu (mänty), skenaario B (kaikki m/p-teoll.)	0,13
Energiapuu	-0,89

Tukkipuun elinkaaren substituutiokertoimen laskenta perustui tapaustutkimukseen (Gustavsson et al. 2005 a,b), jossa Suomessa ja Ruotsissa rakennettua puurakenteista kerrostaloa verrattiin samat funktiot täyttävään perinteiseen betonirakenteiseen kerrostaloon. Toisin kuin aiemmassa tutkimuksessa, tässä rakentamisen hiilitasevaikutukset kohdennettiin pelkästään tukkipuun käyttöketojuille, koska nyt käytetyllä metsän kasvumallilla voitiin erotella eri puutavaralajien tuotto metsästä. Substituutiokertoimista huomataan, että suomalainen ja ruotsalainen puutalo erosivat vaikutuksiltaan melko paljon, mikä viittaa rakenteellisiin eroavuuksiin talojen välillä. Tukkipuun käyttöketojuun substituutiokertoimen laskennassa on oletettu, että rakennusjätteet kokonaisuudessaan ja purkujätteistä 90% käytetään energiaksi. Kertoimista huomataan, että ne ovat sekä suomalaisessa että ruotsalaisessa tapauksessa yhtä suurempia eli lisäämällä biomassan käyttöä yhden hiilitonnin verran saavutetaan yli yhden tonnin fossiilisen hiilitonnin päästövähennykset.

Kuitupuun käyttöketojuun substituutiokertoimet riippuvat kuitupuun kysyntäskenaariosta. Kun kuitupuun kysyntä massan- ja paperinvalmistukseen oletetaan samaksi, kuitupuun tarjonnasta riippumatta (kuitupuun kysyntäskenaario A), ja loppuosa kuitupuun tarjonnasta käytetään energiantuotantoon, on substituutiokertoimen negatiivinen ja sama kuin energiapuulla. Jos sitä vastoin oletetaan, että kaikki kuitupuu käytetään massan- ja paperinvalmistukseen (kuitupuun kysyntäskenaario B) lisää kuitupuun tarjonta päästöjä, koska se johtaa massan- ja paperinvalmistuksen kasvuun. Tällöin substituutiokertoimen on positiivinen eli päästöt lisääntyvät kun puuntarjonta lisääntyy. Kertoimen laskemiseen käytettiin julkaisussa (Pingoud ja Lehtilä 2002) esitettyjä keskimääräisiä ominaispäästökertoimia mekaanisesta ja kemiallisesta massasta valmistetulle paperille. Kuusikuitu oletettiin käytettäväksi mekaanisen massan ja mäntykuitu sellun valmistukseen. Kysyntäskenaariossa B poikettiin peruseriaatteesta, että kaikki puun käyttöskenaariot tuottavat saman palvelun. Jotta tämä toteutuisi, pitäisi paperituotteilla olla jokin korvaaja alemmissa kuitupuun tarjontaskenaarioissa. Tästä aiheutuisi päästövaikutuksia, joita tapaustarkastelussa ei ole huomioitu.

4.3.2 Puuntarjonta ja käyttöketojujen hiilitaseet

Taulukossa 4.3 on esitetty puuntarjonta eri metsänkäsittelyskenaarioissa muunnettuna yksikköön *tuotetun puuaineksen hiilisisältö hehtaaria kohti vuodessa*. Energiapuun osalta on taulukossa ilmoitettu puuntarjontana ainoastaan metsistä korjattu ja bioenergianä hyödynnetty biomassan osuus. Tämän oletettiin olevan 70 % päätehakkuutähteistä ja 85 % nuoren metsän harvennuksista (skenaario 6).

Taulukko 4.3. Puun tarjonta eri metsänkäsittelyskenaarioissa kuuselle ja männylle.

KUUSI	PUUN TARJONTA			YHTEENSÄ
	Tukki	Kuitu	Energiapuu	
Skenaa- rio	tn C/ha/v	tn C/ha/v	tn C/ha/v	tn C/ha/v
1	0,74	0,47	0,30	1,51
2	0,91	0,35	0,26	1,52
3	1,00	0,27	0,29	1,55
4	0,98	0,45	0,30	1,73
5	1,11	0,35	0,33	1,78
6	0,76	0,36	0,68	1,80

MÄNTY	PUUN TARJONTA			YHTEENSÄ
	Tukki	Kuitu	Energiapuu	
Ske- naario	tn C/ha/v	tn C/ha/v	tn C/ha/v	tn C/ha/v
1	0,68	0,50	0,21	1,39
2	0,71	0,42	0,17	1,29
3	0,68	0,38	0,17	1,23
4	0,78	0,46	0,21	1,44
5	0,75	0,42	0,21	1,37
6	0,70	0,36	0,54	1,59

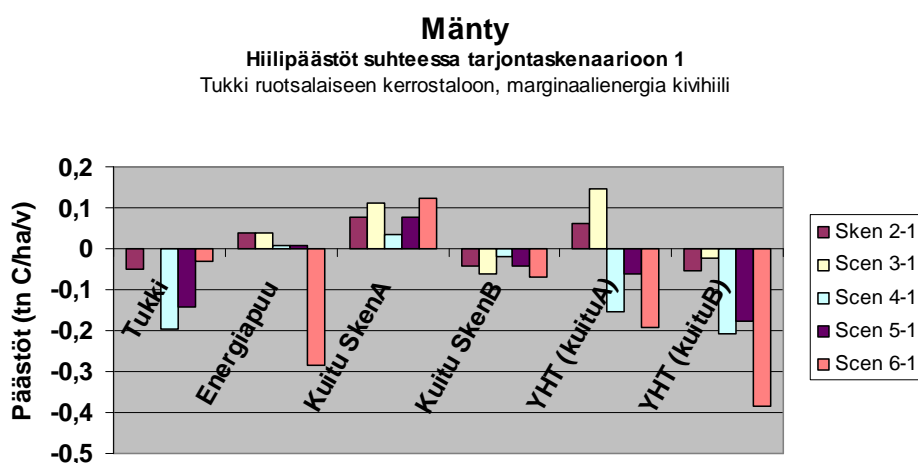
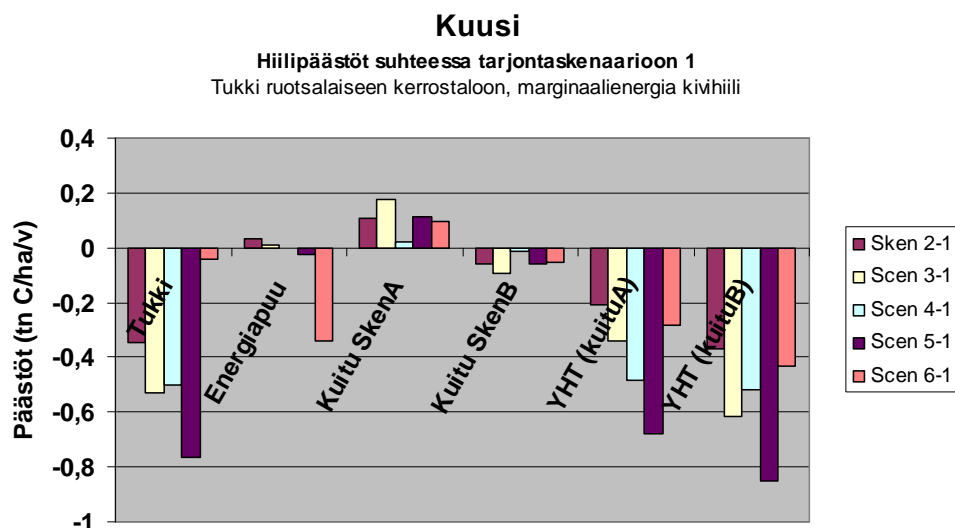
Hiilipäästöt

Kuusen ja männyn käyttöketjujen päästöt eri metsänkäsittelyskenaarioissa esitetään taulukossa 4.4. Kuviossa 4.2 ja 4.3 esitetään taulukosta 4.4 lasketut päästöjen muutokset perusskenaarioon 1 verrattuna. Kuusen tapauksessa kiertoaikojen ja pohjapinta-alojen kasvattaminen johti tukkipuun tarjonnan lisäykseen siten, että myös puun kokonaistarjonta kasvoi. Tukkipuun tuoton ja siten puutulojen määrän maksimoiva skenaario 5 tuotti selvästi pienimmät hiilipäästöt, ja kaikissa muissakin skenaarioissa päästöt olivat perusskenaariota alemmat. Tukkipuun tuotannon lisäyksen tuottamat päästövähennykset ylittivät selvästi kuitupuun vähennyksestä aiheutuvat päästölisäykset kuitupuun kysyntäskenaarioissa A, joissa kuitupuun vähennys oli pois bioenergian tuotannosta. Kuusi- ja mäntykuitupuun kysyntäskenaarioissa B myös kuitupuusta aiheutui päästövähennyksiä perusskenaarioon 1 verrattuna, koska vähemmällä kuitupuulla tuotettiin vähemmän korkeapäästöistä mekaanista massaa kuusen tapauksessa tai sellua männyn tapauksessa. Kokonaispäästövähennykset olivat siten suuremmat skenaarioissa B kuin skenaarioissa A. Jopa biomassan tuoton maksimoiva skenaario 6 antaa sekin suuremmat päästöt kuin skenaario 5, mikä johtuu siitä että tukkipuun käyttöketjun substituutiokerroin on selvästi suurempi kuin energiapuun substituutiokerroin (Taulukko 4.2). Tässä on huomattava, että nuoren metsän energiapuuharvennus voitaisiin periaatteessa liittää skenaarioihin 1-5, jolloin saavutettaisiin kaikkein pienimmät vuotuiset päästöt.

Taulukko 4.4. Kuusen ja männyn käyttöketjujen hiilipäästöt (ruotsalainen talo-case). Talon eliniäksi oletettu 100 vuotta.

KUUSI	PÄÄSTÖT PUUN KÄYTTÖKETJUISTA			
	Tukki	Kuitu A	Ener- giapuu	YHTEENSÄ
Skenaario	tn C/ha/v	tn C/ha/v	tn C/ha/v	tn C/ha/v
1	0,50	-0,05	-0,27	0,19
2	0,15	0,06	-0,23	-0,02
3	-0,03	0,13	-0,25	-0,16
4	0,00	-0,03	-0,27	-0,30
5	-0,27	0,06	-0,29	-0,49
6	0,46	0,05	-0,61	-0,10

MÄNTY	PÄÄSTÖT PUUN KÄYTTÖKETJUISTA			
	Tukki	Kuitu A	Ener- giapuu	YHTEENSÄ
Skenaario	tn C/ha/v	tn C/ha/v	tn C/ha/v	tn C/ha/v
1	0,48	0,05	-0,19	0,34
2	0,42	0,12	-0,15	0,40
3	0,48	0,16	-0,15	0,48
4	0,28	0,08	-0,18	0,18
5	0,33	0,12	-0,18	0,27
6	0,44	0,17	-0,47	0,14



Kuva 4.2. Kuusen ja männyn käyttökettujen hiilipäästöt suhteessa perusskenaarioihin 1. Mukana kuitupuun sivuskenaariot A ja B.

Männyn käyttökettujen päästöt olivat pienimmät energiapuuskenaariossa 6 ja seuraavaksi pienimmät skenaariossa 4, jossa kiertoaikaa pidennettiin 20 vuodella samalla kun nostettiin pohjapinta-alaa. Kuituskenaarioiden A osalta korkeimmat päästöt aiheutti skenaario 3, jossa kiertoaikaa pidennettiin 40 vuodella. Männyllä kiertojen pidennys ei skenaarioissa A alentanutkaan päästöjä perusskenaarioon verrattuna, sillä tukkipuun tarjonta lisääntyi vain hieman. Sen sijaan skenaarioissa 4-5, joissa nostettiin lisäksi pohjapinta-alaa, päästöt vähenivät, lähinnä suuremmasta tukkipuun ja siten puutalojen tuotannosta johtuen. Lisäksi kuitupuun vähenemästä aiheutunut päästölisäys jäi melko pieneksi. Myös tässä nuoren metsän energiapuuharvennus voitaisiin liittää skenaarioihin 2-5, jolloin saavutettaisiin kaikkein pienimmät vuotuiset päästöt.

Kuusella saavutettiin skenaarioissa 2-5 selvästi suuremmat päästövähennykset suhteessa perusskenaarioon kuin männyllä. Energiapuun osalta päästövähentymä oli kuusella ja männyllä samaa luokkaa molemmissa kuituskenaarioissa.

Suomalainen talo-case antoi samankaltaiset tulokset, eikä niitä ole esitetty oheisissa taulukoissa ja kuvioissa. Suomalaisen kerrostalon osalta lähtötiedoista puuttuivat ne talon rakenneosat, jotka oletet-

tiin samoiksi sekä puukerrostalossa että kuvitteellisessa betonikerrostalossa, kuten ikkunat ja kiintokalusteet. Skenaarioiden absoluuttisia päästöjä ei siten voida laskea, sen sijaan päästöjen erotukset ovat oikeita myös suomalaisen talo-casen tapauksessa.

Hiilivarastot

Hiilen määrä metsässä oli luonnollisesti suurempi vaihtoehtoskenaarioiden tasapainotiloissa perusskenaarioon verrattuna. Molemmilla puulajeilla sekä kiertoajan pidentäminen että puuston kasvatustiheyden nosto kasvattivat metsien hiilivarastoa perusskenaarioon verrattuna (Taulukko 4.5 ja kuvio 4.3). Hiilivarasto oli siis korkein skenaariossa 5, jossa pidennettiin kiertoaikaa 40 vuodella ja nostettiin pohjapinta-alaa. Kuusella metsien hiilivarasto lisääntyi selvästi enemmän kuin männyllä. Kuusella skenaario 5 tuotti myös suurimman puutuotteiden hiilivaraston kun taas männyllä suurin puutuotteiden varasto oli skenaariossa 4, jossa kiertoaikaa pidennettiin vain 20 vuodella pohjapinta-alan noston lisäksi. Kokonaisuutena muutokset metsän hiilivarannoissa olivat huomattavasti suuremmat kuin muutokset puutuotteiden varannoissa.

Puutuotteiden *absoluuttinen* hiilivarasto on huomattavan suuri tukkipuun käyttöketjussa kaikissa skenaarioissa, jopa samaa suuruusluokkaa kuin puuston hiilivarasto. Tämä johtuu suomalais-ruotsalaisessa tapaustarkastelussa (Gustavsson et al. 2005 a, b) korkeaksi arvioidusta rakennuksen käyttöiästä (=100 vuotta), minkä oletettiin koskevan myös kaikkia puisia rakennusmateriaaleja. Todellisuudessa puumateriaalien keskimääräinen elinikä on rakennuksen ikää pienempi. Esimerkiksi pinta-verhousmateriaaleja, kiintokalusteita ja ikkunoita saneerataan yhteen tai useampaan kertaan talon elinkaaren aikana runkomateriaalien ollessa pitkäikäisempiä. Betonitalosta puiset runkomateriaalit puuttuvat ja näin siinä puutuotteiden keskimääräinen elinikä on todennäköisesti lyhyempi.

Jos rakennusmateriaalien keskimääräinen elinikä on pienempi kuin 100 vuotta, vaatii saman talokannan ylläpitäminen suurempaa puunkysyntää. Todellisuudessa skenaarioiden puuntarjonnalla voitaisiin siten ylläpitää jonkin verran pienempää talojen lukumäärää kuin laskelmissa on oletettu ja vastaavasti puutuotteiden varasto olisi pienempi. Kyseinen esimerkki kuitenkin osoittaa, että pitkäkestoisten puutuotteiden hiilivarasto voi olla varsin huomattava suhteessa metsiin, joissa puu kasvatettu.

Taulukko 4.5. Hiilivarastot metsissä ja puutuotteissa (kuusi ja mänty).

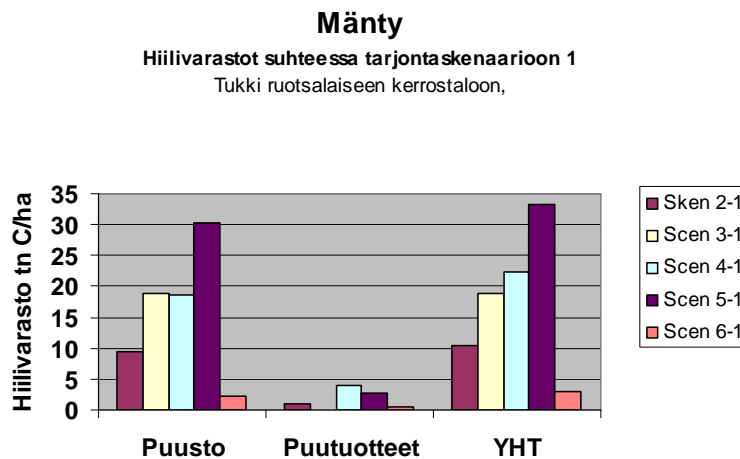
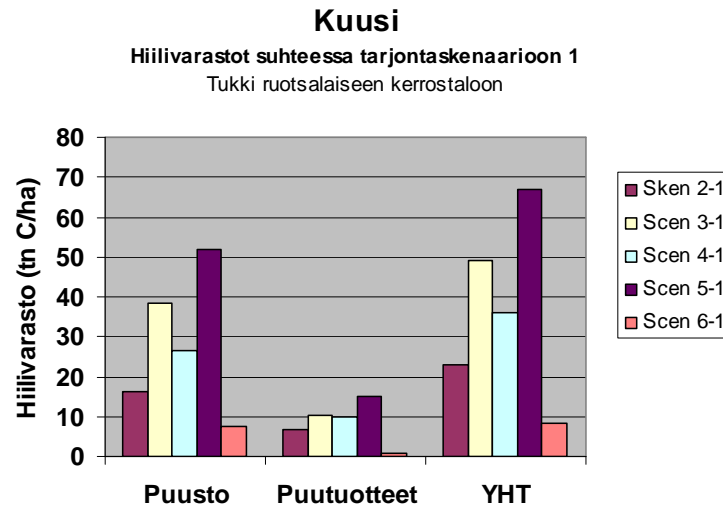
KUUSI	HIILIVARASTOT			YHTEENSÄ
	Metsät	Puutuot- teet	Puuta- loja	
Ske- naario	tn C/ha	tn C /ha	%	tn C /ha
1	41,16	38,18	0 %	79,34
2	57,31	45,03	42 %	102,34
3	79,65	48,66	64 %	128,31
4	67,50	48,06	61 %	115,56
5	92,90	53,30	93 %	146,19
6	48,54	38,99	5 %	87,53

MÄNTY	HIILIVARASTOT			YHTEENSÄ
	Metsät	Puutuot- teet	Puutaloja	
Ske- naario	tn C/ha	tn C /ha	%	tn C /ha
1	47,64	35,72	0 %	83,35
2	57,10	36,74	7 %	93,84
3	66,47	35,72	0 %	102,19
4	66,18	39,59	25 %	105,77
5	77,98	38,57	19 %	116,55
6	49,88	36,33	4 %	86,21

4.3.3 Vaikutukset hakkuutuloihin

Kuusikoissa skenaario 4 lisää nettotulojen nykyarvoa perusskenaarioon 1 verrattuna kun korkokanta on korkeintaan 3%, sillä puuston pohjapinta-alan noston tuottama tulonlisäys ylittää kiertoajan pidentämisestä aiheutuvan tulonmenetyksen. Pelkkä kiertoajan pidentäminen 20 vuodella (skenaario 2) alentaa tuloja jonkin verran perusskenaarioon verrattuna. Hakkuutulojen kannalta epäedullisin vaihtoehto on kiertoajan pidentäminen 40 vuodella (skenaario 3). Jos pohjapinta-alaa nostetaan samanaikaisesti (skenaario 5), nettotulojen nykyarvo kasvaa jonkin verran. Tulot jäävät kuitenkin alemmas kuin skenaariossa, jossa kiertoaikaa pidennetään 20 vuodella, kun korkokanta on 3 % tai korkeampi.

Männiköissäkin hiilinielua lisäävistä skenaarioista 2-5 hakkuutulojen kannalta paras on skenaario 4, jossa sekä nostetaan pohjapinta-alaa että pidennetään kiertoaikaa 20 vuodella. Nettotulojen nykyarvo alenee kuitenkin perusskenaarioon verrattuna toisin kuin kuusikoissa. Koealasta riippuen huonoimman taloudellisen tuloksen tuottaa joko kiertoajan pidentäminen 40 vuodella (skenaario 3) tai kiertoajan pidentäminen 40 vuodella ja samanaikainen pohjapinta-alan nosto (skenaario 5). Nämä skenaariot eivät poikkeakaan toisistaan kovin suuresti nettotulojen nykyarvon suhteen. Yllä olevissa laskelmissa ei kuitenkaan ole huomioitu puunkäyttökettujen ilmastovaikutusten mahdollista heijastumista eri puutaralajien hintoihin.



Kuva 4.3. Kuusen ja männyn eri skenaarioiden hiilivarastot suhteessa perusskenaarioihin 1.

4.4 Tulosten tarkastelua

Tutkimuksessa luotiin laskentakehikko puun käyttöketjun päästöjen ja hiilivarastojen arvioimiseksi eri tasapainotiloissa, joissa puulajittaiset puuntarjonnat poikkesivat erilaisen metsänkäsittelyn seurauksena. Päästövähennyksillä ja hiilivarastojen muutoksilla on erilainen ajallinen ulottuvuus. Tässä ei lähdetty yhteismitallistamaan näitä vaikutuksia, koska siihen ei ole yksikäsitteistä tapaa, vaan skenaarioita verrataan näiden tekijöiden suhteen.

Kuusella pienimmät hiilipäästöt ja samalla suurimmat hiilen tasapainovarastot tuotti skenaario 5, jossa pidennettiin kiertoaikaa 40 vuodelle ja samalla lisättiin puuston tiheyttä. Arviot hiilivaraston sekä puuntarjonnan ja siten päästövähennyshyötyjen lisäyksestä ovat todennäköisesti kuitenkin liian suuria. Lisäksi hakkuutulosten nykyarvot alenivat selvästi.

Männyllä hiilivarasto kasvoi selvästi eniten skenaariossa 5, jossa pidennetään kiertoaikaa 40 vuodelle ja nostetaan pohjapinta-alaa. Kuituskenaariossa B se oli myös päästövähennysten suhteen parhaita skenaarioita. Energiapuuskenaario tuotti männyn tapauksessa suurimmat päästövähennykset. Se voitaisiin kuitenkin liittää skenaarioihin 2-5, jolloin saavutettaisiin kaikkein pienimmät vuotuiset päästöt. Molemmilla puulajeilla puuston kasvatustiheyden nosto yhdessä kiertoajan pidentämisen kanssa vai-

kutti antavan paremman kokonaisvaikutuksen (substituutio + metsän hiilivarasto) kuin pelkkä kiertoajan pidentäminen.

Perez-Garcia ym. (2004) tarkastelivat eripituisia kiertoaikoja ja laskivat 45, 80, 120 ja 165 vuoden kiertoajoille puustoon ja puutuotteisiin sitoutuneen hiilen sekä substituution avulla syntyneen päästövähennyksen yhteen, pisimmillään 165 vuoden ajalle. Lyhyt (45 vuoden) kiertoaika tuotti suurimman ilmakehän hiilidioksidin vähennyksen aikaisin alkaneen ja jatkuvan substituutiovaikutuksen vuoksi. Pohjoisamerikkalaisten olosuhteiden vuoksi mahdollinen kiertoaikojen vaihtelu on suurempaa. Vastaavaa analyysi ei ole yhtä tarkoituksenmukainen suomalaisissa olosuhteissa. Kuitenkin em. tutkimus osoitti substituutiovaikutuksen suuren merkityksen kokonaisuudessa ja erityisesti, kun tarkastelu ulotetaan yli 100 vuoden aikaulottuvuuksiin.

Nyt käsillä oleva tutkimus perustui tasapainotilojen vertailuun sekä kahteen yksittäiseen uudisrakentamisen tapaustarkasteluun, mikä estää tulosten suoraviivaisen yleistämisen makrotasolle. Vaikka lausekennallisesti voitaisiin löytää metsänkasvatus- ja puuntuottostrategioita, joilla maksimoitaisiin substituutiohyötyjä normaalimetsän tasapainotilassa, se ei vielä anna vastausta kysymykseen, miten tähän ”optimaaliseen” tasapainotilaan päästäisiin toisesta tasapainotilasta. Lisäksi todellisten metsien ikäluokkajakauma poikkeaa normaalimetsästä, jossa kaikkia ikäluokkia on yhtä paljon. Kun tulokset viittaavat siihen, että esimerkiksi metsien keskimääräisiä kiertoaikoja kannattaisi lisätä materiaali- ja energiasubstituutiohyötyjen maksimoimiseksi pitkällä aikavälillä, saattaisi tämä lyhyellä aikavälillä merkitä puuntarjonnan alenemista ja näiden hyötyjen potentiaalista vähenemistä. Tällaisia dynaamisia siirtymiä tilasta toiseen ei nyt sovelletulla metodilla voida tarkastella ja näitä kysymyksiä onkin tarkoitus selvittää jatkotutkimuksissa.

Empiirinen perusta substituutiokertoimien arvioinnille on toistaiseksi suppea ja realistisia tapaustutkimuksia olisi tehtävä lisää. Kahdelle talo-caselle lasketut substituutiokertoimetkin erosivat toisistaan huomattavasti. Mikrotason tapaustarkasteluita olisi järkevä tehdä myös yksittäisille talon rakenneosille, jolloin saataisiin parempi käsitys siitä, missä käyttökohteissa ja millä puumateriaaleilla voitaisiin saavuttaa suurimpia suhteellisia päästövähennyksiä.

Nyt suoritettussa tapaustutkimuksessa saavutettiin suurimmat päästövähennykset lisäämällä tukkipuun tarjontaa. On kuitenkin mahdollista, että myös pieniläpimittaisempaa puuta voitaisiin käyttää suuret päästövähennykset tuottavien rakennusmateriaalien raaka-aineena. Tällöin tulokset eivät olisi yhtä herkkiä tuotettaville puutavaralajeille, ja substituutiovaikutusten maksimoinnissa kannattaisi pikeminkin panostaa puutavaran kokonaistuottoon.

Laskentamalleihin ja niiden parametreihin liittyy lukuisia epävarmuuksia. Näiden vaikutuksia lopputuloksiin olisi vielä selvitettävä yksityiskohtaisella herkkyysoanalyysillä.

4.5 Johtopäätöksiä

Puun käyttöketjut eroavat toisistaan ilmastovaikutuksiltaan. Ilmakehän hiilitaseen kannalta on edullista jos:

- 1) puutuotteen valmistusprosessin energiapanokset pieniä, jolloin kulutetaan vähemmän fossiilisia polttoaineita tai bioenergiaa säästyy muihin käyttökohteisiin
- 2) puutuotteella uusiokäyttöineen on pitkä elinkaari, johon sitoutuu enemmän hiiltä,
- 3) tuote voidaan kierrättää bioenergiaksi elinkaarensa lopussa, jolloin puuhun sitoutunut aurinkoenergia saadaan hyödynnettyä
- 4) puulla voidaan korvata erityisen päästöintensiivisiä tuotteita, jolloin epäsuorasti vähennetään fossiilisten polttoaineiden käyttöä

Muun muassa useat rakennuspuutuotteet ovat em. suhteessa lupaavia.

Tuloksista huomataan selvästi, että substituutiovaikutusten maksimointi ei välttämättä edellytä biomassan vuosituoton maksimointia, koska puun käyttöketjut eroavat toisistaan substituutiokertoimiltaan. Ilmastovaikutuksien kannalta on ratkaisevaa mitä puutavaralajeja tuotetaan ja missä puuraaka-ainetta voidaan hyödyntää. Metsän kiertoajan pidentäminen ja keskimääräisen puustotilavuuden lisäys voi pitemmällä aikavälillä lisätä myös substituutiovaikutuksia, jolloin nielujen ja substituutiohyötyjen suhteen saattaa vallita ns **win-win** -tilanne. Innovaatiot voisivat edistää myös pieniläpimittaisen puutavararan sekä muuntyyppisen biomassan materiaalikäyttöä, jolloin niillä olisi pitempi elinkaari ja niillä voitaisiin samalla tavoin kuin tukkipuulla korvata energiaintensiivisiä materiaaleja.

Puu on uusiutuva mutta äärellinen resurssi: ilmaston kannalta saattaisi olla edullista suunnata sen käyttöä siten, että pienempi osa puuraaka-aineesta käytettäisiin energiaintensiivisten ja lyhytkestoisten tuotteiden valmistukseen. Tämä edellyttää kuitenkin kulutustottumusten muuttumista ja mm. paperin käytön vähentymistä.

Metsien hiilinielut ja puutuotteiden tehokas käyttö eivät ole väistämättä ristiriidassa keskenään eivätkä nielut välttämättä merkitse metsien muun käytön vähentämistä. Nielut voivat olla seurausta metsäpin-ta-alan kasvusta ja näin olla osaltaan luomassa laajenevaa pohjaa kestäväälle metsätaloudelle. Nielut voivat myös olla seurausta paremmista metsänhoitotoimista tai ikäluokkajakautaman muutoksista, jotka pidemmällä aikavälillä edistävät myös substituutiopotentiaalia.

Lähteet

- Gustavsson, L., Pingoud, K., Sathre R. 2005a: Carbon dioxide balance of wood substitution: comparing concrete- and wood-framed buildings. 21 p. Article accepted for publication in *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*.
- Gustavsson, L., Sathre, R., Pingoud, K. 2005b. Greenhouse gas benefits of wood substitution: comparing concrete- and wood-framed buildings in Finland and Sweden. IEA Bioenergy Task 38 (Greenhouse Gas Balances of Biomass and Bioenergy Systems), Case studies. 6 p. <http://www.joanneum.ac.at/iea-bioenergy-task38/projects/task38casestudies/>
- Perez-Garcia, J., Lippke, B., Connick, J. and Manriquez, C. 2004. Tracking carbon from sequestration in the forest to wood products and substitution. CORRIM Phase I Final Report, Module N. http://www.corrим.org/reports/final_report_2004/Module%20N%20-%20Carbon_Final_July%201.pdf.
- Pingoud, K., Lehtilä, A. 2002: Fossil carbon emissions associated with carbon flows of wood products. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, Vol. 7, No.1, pp. 63-83, 2002.
- Sathre, R., Gustavsson, L., Pingoud, K. 2004. Greenhouse Gas Balance Implications of Recovered Construction Wood in Sweden and Finland, pp. 264-279 in: European COST E31 Conference Proceedings: *Management of Recovered Wood. Recycling, Bioenergy and Other Options*. 22-24 April, Thessaloniki, Greece. University Studio Press.
- Sathre, R., Gustavsson, L., Pingoud, K. 2005. Carbon balance implications of wood substitution in building construction. Poster. IUFRO World Conference, Brisbane, Australia , 8-13 August 2005.

5 MARKKINAVAIKUTUKSET

Jussi Uusivuori

Metsätalouteen kohdistuvien ilmastopoliittisten ohjauskeinojen markkinavaikutukset heijastuivat ensisijassa puumarkkinoiden toiminnan kautta. Yksityismetsänomistajien puunmyyntihalukkuutta ja siten puun tarjontaa edistämällä tai ehkäisemällä ohjauskeinoilla on joko puun hintaa laskeva tai sitä kohottava vaikutus. Puun hintamuutosten taloudellisten vaikutusten suuruus ja yhteiskunnallinen jakautuminen riippuvat siitä, millä tavoin puuta käyttävät metsäteollisuuden ja energia-alan yritykset ja toisaalta metsänomistajat reagoivat puun hinnan muutoksiin. Puun ns. tasapainohinta määräytyy yritysten ja metsänomistajien reaktioiden yhteistuloksena.

Ohjauskeinojen markkinavaikutusten arviointia hankaloittaa se, että vaikutukset tulee eriyttää lyhyellä ja pitkällä aikavälillä tapahtuviin, ja että nämä vaikutukset saattavat olla toisilleen vastakkaisuuntaisia. Esimerkiksi kiertoaikoja pidentävä ohjauskeino, kuten erityinen hiilimaksu, voi aluksi vähentää puun tarjontaa, mutta voi johtaa pitkällä aikavälillä sekä suurempiin puuvarannoihin että lisääntyvään puun tarjontaan. Vaikutusten keskinäiset suurusluokat ja ajallinen toteutuminen riippuvat mm. metsien ikäluokkajakaumasta ja metsänomistajien markkinareaktioista. Toisaalta ohjauskeinoilla voi olla suoria ja epäsuoria markkinavaikutuksia. Esimerkiksi puuston ja hiilivarantojen suurentamiseen tähtääville metsänhoitotoimenpiteille myönnettävä tuki edesauttaisi suoraan puuston kasvua, mutta voisi myös epäsuorasti johtaa kiertoaikojen lyhentymiseen. Näiden vaikutukset puun tarjontaan voivat olla vastakkaisia pitkällä aikavälillä.

Ilmastopoliittisten keinojen markkinavaikutukset voivat olla myös erilaisia eri puutavaralajien kohdalla. Mikäli esimerkiksi metsänomistajille maksettavat hiilimaksut johtaisivat harvennushakkuiden supistumiseen mutta päätehakkuiden kasvuun, saattaisivat hintavaikutukset puumarkkinoilla olla sellaiset, että kuitupuun hinta kohoaa, kun taas tukkipuun hinnat laskevat. Tällä saattaisi olla vaikutuksia myös metsäteollisuuden rakenteeseen.

Ilmastopoliittisia ohjauskeinoja ovat myös jo käytössä olevat päästökauppajärjestelmä sekä metsähakkeen korjuun ja haketuksen tuki. Näillä on selkeästi energiapuun kysyntää edistävä vaikutus, kun ne ohjaavat sähkön ja lämmön tuotantoa korvaamaan fossiilisia energialähteitä puulla ja muilla bioenergialähteillä. Kysyntä kohdistuu ainakin aluksi pääasiassa sellaiseen puuhun, jota ns. ainespuuta käyttävä metsäteollisuus ei hyödynnä. Näin varsinaiset puumarkkinavaikutukset ovat vielä tällä hetkellä vähäisiä.

Kun energiapuun kysyntä jatkaa kasvuaan, on sillä myöhemmin selkeämpiä puumarkkinavaikutuksia. Kuitenkaan puun energiakäyttö ei tällöinkään välttämättä kilpaile puun jalostuskäytön kanssa, jos esimerkiksi metsätaloudessa käyttöönotettavat energiapuuharvennukset edesauttavat metsien yleistä puuntuotannollista potentiaalia. Lisäksi mikäli puuenergian käyttö johtaa yksityismetsätalouden kannattavuuden kohoamiseen, voi tällä olla myös myönteinen vaikutus metsänomistajien yleiseen puunmyyntihalukkuuteen. Puun kysynnän kasvu energiakäyttöön voi myös johtaa sahateollisuuden energiasivutuotteiden, kuoren, purun ja hakkeen hintatason nousuun. Tällä on sahateollisuuden kannattavuutta parantava vaikutus, ja voi myös heijastua tämän teollisuudenalan puustamaksukykyyn.

6 OHJAUSKEINOT

6.1 Kestävän metsätalouden rahoitus hiilipolitiikan ohjauksena

Eriika Melkas

6.1.1 Johdanto

Metsien hiilensidontakapasiteetin hyväksikäyttö Kioton pöytäkirjan mukaisten veloitteiden täyttämässä perustuu ensisijaisesti pöytäkirjan 3.3 artiklaan, joka rajaa huomioon otettavat metsätaloustoiminnot metsitykseen (esim. pellot), uudelleen metsitykseen ja metsänhävitykseen. Nielujen hyväksikäyttö voi perustua myös pöytäkirjan 3.4 artiklaan, jonka olennainen sisältö on se, että se velvoittaa osapuolikokouksen päättämään muiden kuin yllämainittujen toimien huomioon ottamisen hyväksymisestä toisella ja sen jälkeisillä sitomuskausilla. Sopimusvaltio voi vapaaehtoisesti ottaa näitä muita toimia huomioon jo ensimmäisellä sitomuskaudella, mikäli toimet on toteutettu aikaisintaan vuonna 1990.² Suomi ei kuitenkaan käytä tätä optiota (ks. Valtioneuvoston selonteko eduskunnalle 24. päivänä marraskuuta 2005, s. 34).

Tässä tutkimuksessa on keskitytty talouskäytössä olevien metsien hiilinielun edistämiseen tähtäävien ohjaukskeinojen tarkasteluun. Tavoitteena on ollut täysin uusien ohjaukskeinojen kehittämisen sijaan jo olemassa olevien ohjaukskeinojen käyttömahdollisuuksien kartoittaminen, ja toiminta- ja kehittämissuosituksen esittäminen sen pohjalta. Lähtökohdaksi on otettu jo varsin vakiintunut ohjaukskeinojen ryhmittely oikeudellis-hallinnollisiin, taloudellisiin ja informaatio-ohjaukskeinoihin. Näiden lisäksi neljäntenä ryhmänä on tarkasteltu vapaaehtoista sopimista. Kustakin ryhmästä on valittu yksi tai kaksi instrumenttia tarkasteluun. Hallinnollisten keinojen ryhmästä sellainen on ollut kaavoitus, taloudellisten keinojen kestävän metsätalouden rahoituksesta annetun lain (KMRL) mukainen tuki, ja informatiivisten keinojen sertifiointi ja ympäristöhallintajärjestelmät. Vapaaehtoisen sopimisen osalta eri sopimustyyppisiä ei ole eritelty, vaan on tarkasteltu sopimisen soveltumista yleensä hiilinielujen edistämiseen tähtääväksi ohjaukskeinoksi. Yllä mainitut Kioton pöytäkirjan määräykset asettavat rajat valittaville ohjaukskeinoille.

Yleisen tarkastelun tuloksena KMRL:n mukainen tuki yhdistettynä sopimusinstrumenttiin on näyttänyt soveltuvimmalta ohjaukskeinolta, joten se on tässä tekstissä valittu lähempään tarkasteluun. Syynä tälle ovat se, että siitä on kestävän metsätalouden rahoitusmuotona jo nyt hyviä kokemuksia, sekä se, että sille on olemassa jo nyt hallinnolliset rakenteet, joten se olisi helposti otettavissa käyttöön. Tämän lisäksi metsätalouden kestävyuden painotus laissa linkittäisi hiilinielun turvaamisen paitsi puuntuotannon kestävyuden turvaamiseen, myös luonnon monimuotoisuuden turvaamiseen (ks. luku 6.5). Sellaisenaan KMRL ei kuitenkaan tarjoa keinoja edistää hiilen sitoutumista metsiin, vaan tarvitaan lainmuutos.

KMRL:n tuntemista toimenpiteistä hiilen sitomisen edistämiseen lienevät sopivimpia metsänuudistaminen ja nuoren metsän hoito (5 §). Näistä metsänuudistaminen on siis toimenpide, joka on luettavissa Kioton pöytäkirjan 3.3 artiklan alaisuuteen, nuoren metsän hoito taas 3.4 artiklan alaisuuteen. Kumpikin vaihtoehto otetaan tässä tekstissä huomioon, mutta vain metsänuudistaminen 3.3 artiklan alaisena toimenpiteenä on tällä hetkellä hyödynnettävissä ilmastopolitiikassa.

² Tällainen päätös on tehty Montrealissa Kioton pöytäkirjan ensimmäisessä osapuolikokouksessa 2005. Päätöksen liitteessä on määrätty maakohtaiset rajat 3.4 artiklan käyttämiselle. Päätöksellä myös annetaan tarkempia säännöksiä maankäyttöön ja metsätalouteen liittyvien toimien huomioon ottamisesta 3.3 artiklan perusteella.

6.1.2 Taloudellinen ohjaus ympäristöoikeudessa

Ohjauskeinoilla tarkoitetaan keinoja, joita käytetään ohjattaessa toimintaa tavoiteltuun suuntaan. Ympäristönkäytön ohjauskeinot ovat siis väline, jolla ympäristön tilaa koskevat tavoitteet pyritään saavuttamaan (Ekroos ym. 2002 s. 26-27; Kokko 2003 s. 124-147; Hollo 2004 s. 65-66; ks. Määttä 2001 s. 25).

Taloudellisen ohjauksen perusideana on ulkoisten kustannusten, esim. päästöjen vähentämisestä aiheutuvien tai puhdistuskustannusten, sisällyttäminen tuotteen hintaan, ja toiminnan itseohjautuvuus taloudellisten seurausten mukaisesti (Ekroos ym. 2002 s. 30; ks. myös Kokko 2003 s. 137; Määttä 2001 s. 23). Hyvin yleisellä tasolla taloudellisen ohjauksen keinot on jaoteltu sanktioihin ja kannustimiin. Sanktioilla aiheutetaan taloudellinen kustannus toimijalle, kannustimilla taas etu (Salila 2005 s. 13). Ympäristöverot ja -tuet ovat tyypillisimpiä esimerkkejä taloudellisen ohjauksen keinoista, edelliset sanktioista ja jälkimmäiset kannustimista (Kokko 2003 s. 138).

Taloudellista ohjausta on yleensä käytetty hallinnollis-oikeudellisen ohjauksen täydentäjänä, eikä niinkään yksin. Vaikka taloudellinen ohjaus perustuukin lähtökohtaisesti toiminnan itseohjautuvuuteen, ohjauskeinot ovat yleensä yhteydessä säädettyihin normeihin. Viime kädessä näiden taustalta on usein löydettävissä oikeusperiaatteita, kuten aiheuttamisperiaate (Kokko 2003 s. 138; Metsä-Simola 2002 s. 8).

6.1.3 Vapaaehtoinen sopiminen ympäristöpolitiikan instrumenttina

Ns. vapaaehtoisilla sopimuksilla tarkoitetaan ensi sijassa yksityisten toimijoiden (yksittäiset yritykset, yritysten etujärjestöt jne.) ja julkisen vallan välillä tehtyjä näiden toimijoiden toiminnan haitallisten ympäristövaikutusten vähentämiseen tähtääviä sopimuksia. Niiden on katsottu lisäävän sääntelyn jous-tavuutta ja mahdollisuuksia ottaa huomioon yksittäistapaukselliset olosuhteet. Toisaalta myös kritiikkiä on esitetty mm. hallinnon lainalaisuusvaatimuksen sekä yleisen edun valvonnan näkökulmasta (ks. esim. Mäenpää 1989 s. 46-55). Myös KMRL:n mukaiseen tukeen liittyy metsänomistajan ja metsäkeskuksen välillä solmittava sopimus. Näin ollen sopimusjärjestely näyttäisi luonteelta myös hiilen sidonnan edistämiseen tarkoitetun tuen yhteydessä. Tietoa sopimuksesta ja sen sisällöstä on oltava yleisön saatavilla (ks. Århusin yleissopimus (SopS 122/2004); KOM(2002) 412 lopull. s. 10; ks. myös KOM(96) 561 lopull. s. 13; Mäenpää 1989 s. 53-54). Monitorointi ja valvonta yhdessä raportoinnin ja tulosten todentamisen kanssa ovat tiedon tuottamisen takaajina myös tärkeä tekijä sopimusten tehokkuuden kannalta. Sopimus on tehokkaimmillaan kun kaikkia kolmea käytetään – yksin valvonta ei siis riitä (ELNI 1998 s. 126-127; ks. myös EEA 1997 s. 12, 15, 87). Monitorointiin on hyvä liittää sopijapuolten – tässä tapauksessa siis lähinnä metsänomistajien – raportointi sopimuksen täyttämistä (ks. KOM(96) 561 lopull. s. 13). Vahingonkorvauksesta tai sopimussakosta, taikka sopimuksen irtisanomisesta on syytä ottaa määräys osapuolen suojakeinona toisen osapuolen velvoitteiden laiminlyönnin varalta (ks. KOM(96) 561 lopull. s. 15).

Menettelyyn sopimusta solmittaessa samoin kuin sopimuksella perustetun oikeussuhteen sisältöön ja tulkintaan tulee voida soveltaa sekä yleisiä hallinto- että sopimusoikeudellisia periaatteita. Luonnollisesti myös sisällöllistä lainmukaisuutta on edellytettävä (Mäenpää 1989 s. 54).

Jotta sopimuksesta tulisi mahdollisimman tehokas, tulee sopimuksen kohde ja sopimuksen tavoite sekä se, miten sitä tavoitellaan, määritellä riittäväällä tarkkuudella (ks. KOM(96) 561 lopull. s. 14; EEA 1997 s. 15, 87). Samoin tulee sopimuksen alkamis- ja päättymisajankohta määritellä sekä mahdolliset välitavoitteet ja niiden aikataulu (ks. ELNI 1998 s. 123, 169; Sandhövel 1998 s. 84; KOM(96) 561 lopull. s. 12, 15). Yleiset tavoitteet tulee kääntää selkeiksi ja yksityiskohtaisiksi velvoitteiksi osapuolille, ja vastuusuhteet ja sopimuksesta koituvat velvoitteet tulee määritellä riittävän selkeästi (ELNI 1998 s. 130; KOM(96) 561 lopull. s. 14).

Sopimukseen on syytä kirjata myös mahdollisuus sen muuttamiseen ja tarkistamiseen olosuhteiden muuttuessa. Samoin mahdollisiin erimielisyyksiin on syytä varautua ottamalla mukaan jonkinlainen

riidanratkaisujärjestelmä (ks. ELNI 1998 s. 131; KOM(96) 561 lopull. s. 15). Sopimuksia on yleensä käytetty, ja on myös suositeltavaa käyttää yhdessä muiden instrumenttien kanssa, ei siis yksinään. Näin voidaan vahvistaa ohjausvaikutusta ja varmistaa asetettujen tavoitteiden saavuttamista. Sopimusten yhteydessä voidaan siten käyttää mm. erilaisia hallinnollisia tai taloudellisia kannustimia tai sanktioita, kuten juuri tuki-instrumenttia (ks. KOM(96) 561 lopull. s. 14.)

6.1.4 Taloudellinen tuki kestäväälle metsätaloudelle

Metsätalouden kestävyttä on edistetty taloudellisen tuen keinoin kestävä metsätalouden rahoituksesta annetulla lailla (KMRL, 12.12.1996/1094). Tuella tarkoitetaan tässä yhteydessä julkisista varoista maksettavaa suoritusta, joka annetaan metsänomistajalle hänen metsiensä hoidon tai käytön edistämiseksi. Keskeisenä ajatuksena on, että julkisen rahoituksen avulla voidaan suoraan parantaa tietyn hankkeen tai toimenpiteen kannattavuutta ja siten pienentää toimintaan liittyvää taloudellista riskiä (Metsä-Simola 2002 s. 16). Tarkoituksena on tällä tavoin ohjata yksityismetsänomistajia metsiensä hoidossa ja käytössä säilyttämään metsänsä elinvoimaisina, monimuotoisina, tuottavina ja uusiutumiskykyisinä (HE 63/1996; ks. myös KMRL 1 §; Hanhijärvi 2003 s. 53; Kiviniemi 2004 s. 384).

Yhteisenä vaatimuksena näille toimenpiteille on se, että niiden on edistettävä metsien kestävä hoitoa ja käyttöä metsälain mukaisesti (KMRL 1.1 §) (ks. HE 63/1996).³ Toisin sanoen metsälaki asettaa peruskriteerit yksityismetsien hoidolle, minkä perusteella KMRL:a sitten sovelletaan. Tämä tarkoittaa sitä, että hankkeista hyötyvien alueiden on oltava pääsääntöisesti metsälain soveltamisaluetta eli metsätalousmaata (Kiviniemi 2004 s. 387).

KMRL 7 § asettaa edelleen töille myös tiettyjä yleisiä vaatimuksia. Ensinnäkin, työt on ohjattava kunkin alueen ja työläjien puitteissa ensi sijassa puuntuotannon kestävyden kannalta tarkoituksenmukaisimpiin kohteisiin. Toiseksi, töiden on oltava taloudellisesti sekä metsäluonnon- ja ympäristönhoidon samoin kuin metsien biologisen monimuotoisuuden säilyttämisen kannalta tarkoituksenmukaisia eikä niillä saa aiheuttaa kohtuudella vältettävissä olevaa haittaa muulle ympäristölle (HE 63/1996).

KMRL 5 § luettelee metsien hoitoa ja käyttöä edistäviä työläjejä, joihin lain mukaista tukea voidaan myöntää. Näistä hiilen sitomisen edistämiseen näyttävät olevan, kuten edellä on todettu, sopivimpia metsänuudistaminen ja nuoren metsän hoito. Näistä metsänuudistaminen on siis toimenpide, joka on luettavissa Kioton pöytäkirjan 3.3 artiklan alaisuuteen, nuoren metsän hoito taas 3.4 artiklan alaisuuteen. KMRL 6 §:n mukaan metsänuudistamisella tarkoitetaan mm. metsätalouden käyttöön otettavan, metsänkasvatukseen soveltuvan alueen metsittämistä. Nuoren metsän hoidolla laki tarkoittaa taimikon ja nuoren metsän perkausta, harvennusta ja laatupuiden pystykarsintaa edellyttäen, ettei alueelta toimenpiteiden yhteydessä kerry leimikkona myyntikelpoista määrää kaupallisen ainespuun laatu- ja mittavaatimukset täyttävää puutavaraa.

6.1.5 Johtopäätös: KMRL:n mukainen tuki ja hiilinielu

Se, onko KMRL:a mahdollista käyttää metsien hiilinielutoiminnon edistämiseen ja kiertoajan pidentämiseen ohjaamiseen näyttäisi kiertyvän kysymykseksi siitä, kuinka puuntuotannon tai metsätalouden kestävyys määritellään (ks. Uitamo 1997, s. 24, 86-87). Jonkin verran tulkitsemalla sen voidaan ymmärtää kattavan myös metsien hiilinielutoiminnon, aiheuttaahan ilmastonmuutos nykytiedon valossa merkittäviä rajoituksia ainakin ekologisten, taloudellisten ja sosiaalisten toimintojen mahdollisuuksiin (ks. Kansallinen metsäohjelma 2010 s. 12). Tällainen tulkinta olisi kuitenkin varsin laaja. KMRL:n soveltaminen suoraan myös metsien hiilensidonnan edistämiseen ei siis näytä mahdolliselta, vaan tarvittaisiin lainmuutos.

³ Metsien kestävä hoito ja käyttö sisältävät myös vaatimuksen metsien biologisen monimuotoisuuden turvaamisesta. Metsien käytön eri näkökulmat tulee käytännön metsien käsittelyssä sovittaa yhteen siten, että turvataan taloudellisesti kannattavan metsätalouden harjoittamisen edellytykset.

Jotta KMRL:a voitaisiin soveltaa metsän hiilinielun kasvattamiseen ohjaamiseen, sitä tulisi muuttaa ainakin kahdelta osin. Lain 1 §:ään, joka määrittelee, mihin toimenpiteisiin tukea voidaan myöntää, tulisi lisätä maininta hiilen metsään sitoutumisen edistämiseen tähtäävistä toimenpiteistä, jollainen voisi olla vaikkapa kiertoajan pidennys tietyin edellytyksin (ks. 6.3). Hiilinielutoiminnon tulkinallisen lukeminen 1 §:n alaisuuteen ei luontevasti onnistu.

Mikäli KMRL laajennettaisiin koskemaan myös hiilensidontaa, tulisi 7 §:n tarkoituksenmukaisuusarvioinnin alaa laajentaa kattamaan myös kulloinkin kyseessä olevan metsän asettamat edellytykset hiilensidonnan maksimoimiseksi. Hiilinielu toisi siihen kolmannen ulottuvuuden jo edellä mainittujen lisäksi, joskin näyttääkin siltä, että hiilinielun ja monimuotoisuuden turvaaminen ovat ainakin joissakin tapauksissa yhteen sovitettavissa, ja erilaiset win-win –tilanteet ovat mahdollisia (ks. 6.5). Tästä huolimatta hiilinielun turvaamisen varmistamiseksi lainmuutos olisi nähdäkseeni tältä osin tarpeen.

Tällöin esim. metsänhoito- ja perusparannustoimenpiteet tulisi toteuttaa siten, että pystytään maksimoimaan metsiin sitoutuvan hiilen määrä, kuitenkin ottaen huomioon myös puuntuotannolliset intressit. Tukipäätöksessä voitaisiin ohjeistaa metsänomistajia toimenpiteiden järjestämisessä, esim. kiertoajan pituudessa ja harvennusten frekvenssissä ja toteuttamistavassa. Tuen mitoittamisessa apuna käytettäväksi tulisi arvioida metsänkasvatuksen kannattavuuden heikkenemisestä, jonka esim. kiertoajan pidennys voi aiheuttaa (ks. kuitenkin 6.3). Toinen vaihtoehto olisi mitoittaa tuki metsään sitoutuneen hiilen määrän mukaan. Tällöin kannattavuuden heikentyminen voitaisiin pitää vähäisempänä (ks. 2.). Jos tukeen yhdistettäisiin sopimusinstrumentti, siis siten, että tuesta sovitaan metsänomistajan ja metsäkeskuksen kesken, tulisi ohjauskeinosta vieläkin joustavampi. Tällöin maanomistaja voisi sopia julkisvallan – metsäkeskuksen – kanssa toimenpiteiden yksityiskohdista.

Metsittäminen, jonka hyväksilukemisen Kioton pöytäkirjan 3.3 artikla mahdollistaa jo nyt, on luettavissa, kuten edellä on todettu, metsänuudistamistoimenpiteiden joukkoon. Lainmuutosta ei siis tältä osin tarvittaisi. Jälleen tukipäätöksessä tai maanomistajan ja metsäkeskuksen välillä solmittavassa sopimuksessa voisi olla määräyksiä toimenpiteiden yksityiskohdista.

Muut KMRL:n tuntemat metsänhoidolliset toimenpiteet, kuten juuri edellä mainittu nuoren metsän hoito tai kiertoajan pidennys, eivät näyttäisi ensimmäisellä sitoumuskaudella olevan Suomelle Kioton pöytäkirjan ja sen osapuolikokouksen päätösten valossa olevan mahdollisia kansainvälisten velvoitteiden täyttämiseksi. Sen jälkeinen oikeustila – 2012 eteenpäin – on kuitenkin vielä täysin avoin.

Tässä on tarkasteltu tuki-instrumenttia, joka toimii julkisen rahoituksen varassa. Erilaiset markkinapohjaiset ohjauskeinot ovat myös ajateltavissa metsien hiilensidonnan edistämiseen. Näihin liittyy kuitenkin vielä lukuisia avoimia kysymyksiä ja siten tutkimustarpeita, joita käsitellään seuraavassa luvussa.

Lähteet

- Communication from the Commission to the Council and the European Parliament on Environmental Agreements. KOM(96) 561 lopull.
- Ekroos, Ari, Kumpula, Anne, Kuusiniemi, Kari & Vihervuori, Pekka (2002): Ympäristöoikeuden pääpiirteet. WSOY Lakitieto.
- Environmental Agreements. The Role and Effect of Environmental Agreements in Environmental Policies. Ed. by the Environmental Law Network International (1998). Cameron May Ltd. (ELNI.)
- European Environment Agency (1997): Environmental Agreements: Environmental Effectiveness. Case Studies. Environmental Issues Series No. 3 – Vol. 2. (EEA.)
- Hanhijärvi, Johanna (2003): Metsätalouden ympäristötuki biodiversiteetin turvaamisen ohjauskeinona. Julkaisussa Ympäristöjuridiikka 4/2003.
- Hollo, Erkki J. (2004): Ympäristönsuojelu- ja luonnonsuojeluoikeus. Talentum.
- Kiviniemi, Matti (2004): Metsäoikeus. Metsälehti Kustannus.

- Kokko, Kai (2003): Biodiversiteettiä turvaavat oikeudelliset periaatteet ja mekanismit. Suomalaisen lakimiesyhdistyksen julkaisuja, A-sarja N:o 243.
- Komission tiedonanto Euroopan parlamentille, neuvostolle, talous- ja sosiaalikomitealle ja alueiden komitealle: Yhteisön tason ympäristösopimukset osana lainsäädännön yksinkertaistamista ja parantamista koskevaa toimintasuunnitelmaa. KOM(2002)412 lopull.
- Lähiajan energia- ja ilmastopolitiikan linjauksia – kansallinen strategia Kioton pöytäkirjan toimeenpanemiseksi. Valtioneuvoston selonteko eduskunnalle 24. päivänä marraskuuta 2005.
- Metsä-Simola, Klaus (2002): Yksityismetsien hoidon ja käytön taloudellinen sääntely. Lisensiaatin-tutkimus, Helsingin yliopisto.
- Mäenpää, Olli (1989): Hallintosopimus. Lakimiesliiton kustannus.
- Määttä, Kalle (2001): Regulatory reform and innovations: Whether to trust the invisible hand or use the visible one. Sitra Reports Series 10.
- Salila, Jari (2005): Metsäalueen oikeudellisesta asemasta. Suomalaisen lakimiesyhdistyksen julkaisuja, A-sarja N:o 266.
- Sandhövel, Armin (1998): What can be achieved using instruments of self-regulation in environmental policy making? Julkaisussa *European Environmental Law Review*, maaliskuu 1998.
- Uitamo, Janne (1997): Metsälakiuudistus ja metsien biologinen monimuotoisuus. Julkisoikeuden tutkimuksia ja kurssikirjoja. Joensuun yliopiston yhteiskuntapolitiikan ja filosofian laitos.

6.2 Päästöoikeuden määrittely ja hiilinielukaupan kehittäminen

Jyri Mononen

6.2.1 Johdanto

Metsätalous sekä puunkäyttö sisältävät merkittävän ilmastopoliittisen kapasiteetin Suomessa. Ilmakehän hiilidioksidipitoisuuteen voidaan vaikuttaa mm. suojelemalla metsien nykyisiä hiilivarastoja, lisäämällä metsien pinta-alaa, tehostamalla niiden hiilinielua metsänhoidollisin menetelmin, sekä kannustamalla pitkäikäisten tai jatkuvasti kierrossa olevien puutuotteiden tuotannon kasvattamiseen. Hiilikonsortion tulosten perusteella metsien kestävä laadullisen sekä absoluuttisen kasvun ja tarjonnan maksimointi yhdessä kestävä ja edistyneen puunkäytön kanssa johtaisi suurimpaan ilmastohyötyyn (ks. luku 4.3). Tällöin kasvavien metsien nielupotentiaali ja puutuotteiden hiilivarastot, sekä puun käytön energia- sekä materiaalisubstituutit yhdessä alentaisivat ilmakehän hiilidioksidipitoisuutta ja myös hiilidioksidipäästöjä. Todennettava ja ilmastopoliittisesti hyväksyttävä muutos voisi tuottaa konkreettista hyötyä myös taloudellisesti, koska monet päästökauppaan osallistuvat valtiot tarvitsevat lisää päästöoikeuksia ja sellaisten tuottamiseksi on metsätaloudessa teoriassa suuret (jopa satoja miljoonia CO₂-tonneja) resurssit Suomessa. Parhaimmillaan ilmastotavoitteiden sisällyttäminen metsä- ja puutalouteen tuottaisi jopa win-win-tuloksia esimerkiksi puutavaran tarjonnan kasvuna (ks. luku 2), metsänkasvattamisen kannattavuuden paranemisena, sekä puutuoteteollisuuden jalostusasteen kohtamiseksi (ks. luku 4). Hiilinielua voisi edistää myös luonnon monimuotoisuuden turvaamisen rinnalla (ks. luku 6.5). Ohjaukskeinoista julkinen tuki mahdollistaisi osin valmiiden ratkaisujen hyödyntämisen (ks. luku 6.1), mutta myös markkinavetoisia mekanismeja on syytä huomioida julkiseen ohjaukseen liittyvien monien vääristävien vaikutusten vuoksi (ks. luku 5).

6.2.2 Kansainvälisiä esimerkkejä

Aihealueen lyhyestä historiasta ja poliittisesta monimutkaisuudesta huolimatta metsien hyödyntämiseksi on jo tehty ja etenkin suunnitellaan tehtävän paljon maailmalla. Metsistä linkittyvät kaupankäyntikelpoiset yksiköt ovatkin osoitettavissa täysin realistisiksi, vaikkakin on syytä huomioida ettei valmiita laajavaikutteisia ratkaisuja ole vielä olemassa Suomen yksityismetsätalouden olosuhteisiin. Toistaiseksi voidaan ainoastaan todeta puun hiilellä olevan merkittävä taloudellinen arvo, jonka markkinoille tulo edellyttää vielä paljon kehittelyä.

Puhtaan kehityksen mekanismeissa (CDM) vain metsitys ja uudelleen metsittäminen ovat hyväksytyjä metsällisiä hanketyyppejä. Tällaisia kahdenvälisiä, kehitysmaihin suuntautuvia koeohjelmia ja suunnitelmia on tehty mm. Etelä-Amerikan alueelle ja tulevaisuudessa kaupattavien A/R-projektein aikaansaatavien päästöyksiköiden menetelmäohjeistuksia on jo tehty UNFCCC:ssä. Puun energiakäytön osalta CDM-hankkeet ovat jo pidemmällä. (UNFCCC 2005). Myös kuviteltaville suomalaisille hiilensidontaprojekteille voitaneen hakea arvauksia päästövähennemien markkinahinnoiksi CDM-projekteista (yhtä lailla runsaasti epävarmuuksia, rajatusti kokemuksia ja suuret riskit), joissa yksikköhinnat vaihtelevat karkeasti n. 3-7 €/tCO₂ (World Bank, IETA 2005). CDM-hankkeiden poliittisia ja teknisiä riskejä vastaisivat Suomeen sijoituvissa metsänieluprojekteissa lukuisat epävarmuustekijät, kuten metsätuhoriskit ja yleistävät kasvumallit.

Yhteistoteutushankkeista (JI, Joint implementation) hyvä metsällinen esimerkki on ”Romanian Afforestation Project” (World Bank). Vaikka kyseessä onkin maankäytön muutokseen suunnattu hanke, se raportoidaan kattaen mm. nielujen todentamisen tekniikan, taloudelliset analyysit, riskianalyysit sekä ulkoisvaikutusten tarkastelut. Samoja menetelmiä sekä havaintoja voitaisiin hyödyntää myös kehitettäessä suomalaisia hankkeita. Lisäksi JI-hankkeiden (tai vastaavien) toteutusmahdollisuus muissakin kuin siirtymätalousmaissa saattaisi tarjota Suomelle mielenkiintoisia metsällisiä toteutuskeinoja, etenkin maantieteellisesti rajaten sekä substituuttivaikutuksia tavoitellen.

Toisin kuin Suomi ja muu EU, merkittävistä metsätalousmaista Japani ja Kanada saattavat monista epävarmuustekijöistä huolimatta hyödyntää Kioton pöytäkirjan artiklan 3.3 lisäksi artiklan 3.4 (ks. luku 6.1) mukaisia metsänhoidollisia toimenpiteitä jo ensimmäisellä Kioton sopimusjaksolla. Kyseessä ovat erittäin merkittävät toiminnot ja metsien nieluilla tavoitellaan Japanin kohdalla jopa yli puolta päästövähennystavoitteesta ja Kanadankin kohdalla ehkä noin 10 prosenttia. EU:ssa vastaava osuus jäänee yksittäisiin prosentteihin. Tavoitteisiin pyrittäisiin mittavin hankkein, kotimaisia hakkuita rajoittaen ja kansallisin nielumarkkinoin (Masahiro ja Sedjo 2003). Mikäli tällaisia hankkeita ensimmäisellä sopimusjaksolla toteutetaan, saadaan ensimmäiset käytännön esimerkit, jotka olisivat vertailukelpoisia suomalaisiin olosuhteisiin.

Uusi-Seelanti ja Australia ovat metsien nielujen kohdalla aktiivisia maita. Niiden plantaasimetsätalouden laajuus mahdollistaa suuren nielupotentiaalin sekä suomalaiseseen metsätalouteen nähden yksinkertaisemmän nielujen todentamisen. Metsityshankkeiden kohdalla voidaan soveltaa Kioton pöytäkirjan artikla 3.3:n alaisia toimenpiteitä ja tulevaisuudessa ehkä myös artiklaa 3.4. Uudessa Seelannissa nielut ovat tärkeä sisäpoliittinen keskustelunaihe ja maa tarjoaa myös suomalaisiin olosuhteisiin hyvää tietoa mm. tulonjaon huomioon ottamisen, ilmastopolitiikkaan vaikuttamisen, julkisen ohjauksen sekä nielumarkkinoiden suunnittelun kannalta. Mielenkiintoisia esimerkkejä toimivista mekanismeista ovat mm. MAF (”Permanent Forest Sink Initiative”) sekä yksityinen toimija EBEX21 (”A New solution for greenhouse gas measurement, management & mitigation”). Vaikka Australia ei ole hyväksynyt Kioton pöytäkirjaa, siellä on vastaavia mekanismeja mm. New South Wales:ssa Forests NSW sekä yksityinen CO₂ Australia.

Muitakin vapaaehtoisia ja koeluonteisia toimia on tehty metsien nielujen hyödyntämiseksi, USA:ssa markkinavetoisesti PTF (”forest climate program”) sekä American Forests (”Climate Change Calculator”), kansainvälisesti Hancock Timber Resource Group (”Global Forest Carbon Sequestration Program”) sekä Britanniassa The Carbon Neutral company.

6.2.3 Nykytilanne Suomessa

- Suoria toimenpiteitä ei ole toistaiseksi suunnitteilla metsiin. Kioton pöytäkirjan artiklalla 3.3 on merkitystä niin, että metsäpinta-alaan tulee kiinnittää huomiota esim. kaavoituksen kautta maataloustoiminnassa sekä rakentamisessa. Artiklaa 3.4 ei toistaiseksi hyödynnetä (Valtioneuvoston selonteko eduskunnalle 24. päivänä marraskuuta 2005, s. 34). Kioton pöytäkirjaa seuraavien kausien tilanne etenkin metsien osalta on yhä avoin ja nielujen

saattaminen päästöoikeusmarkkinoille, etenkin yksityisten toimijoiden pohjalta, on suuri haaste.

- Tapion johtokunta esittää maa- ja metsätalousministeriölle, että metsänhoitosuosituksissa kasvatushakkuissa sallittaisiin harvennuksen jälkeen hieman nykyistä alhaisemmat kasvamaan jäävän puuston määrät. Lisäksi uudistamiskypsyyden minimivaatimuksia esitetään laskettavaksi puuston keskiläpimitassa keskimäärin 1-2 cm, mikä vastaa noin 5-20 vuoden lyhenemää metsän kiertoajassa (Tapio 2005). Tällaiset muutokset metsänomistajien päätöksenteossa olisivat ilmeisesti ristiriidassa ilmastotavoitteen kanssa, vaikkakin ehkä puuntuotannon talouden kannalta perusteltuja.

Myös seuraavilla sopimusjaksoilla metsät kasvanevat (sitovat lisää hiiltä) yksityismetsissäkin hakkuita enemmän (Nuutinen et. al. 2005). Ilmaston lämpeneminen saattaa yhä kiihdyttää kasvua (Kellomäki et al. 2005). Metsäaluetason optimointilaskelmissa (Matala 2005) ilmastonmuutoksen aiheuttama kasvunlisäys lisäsi myös suurinta mahdollista kestäväää hakkuumäärää aluetasolla. Kasvun lisääntyminen lisäsi myös harvennushakkuiden määrää suhteessa päätehakkuihin, koska metsiköt saavuttivat harvennusrajat aiemmin (Matala 2005). Myös tämä lienee ilmastotavoitteen kannalta ristiriitainen reagoititapa, koska lisääntyvin harvennushakkuin saatettaisiin rajoittaa lisääntyvää kasvu- sekä nielupotentiaalia metsikkötasolla., sekä vähentää tukkipuun osuutta puuntuotokseesa (kts. luku 2).

Joistakin metsiemme tuottamista puutavaralajeista voi esiintyä kysyntä-tarjonta epätasapainoa mm. mänty- sekä koivukuitupuiden osalta, joille syntyy ehkä ylitarjontaa maantieteellisesti sekä puun tuonnista riippuen. Myyntikäyttäytyminen voi tulevaisuudessa, metsäveromuutoksen jälkeen, muuttua ja esimerkiksi järeästä kuusesta voi tulla pulaa. (Nuutinen et. al. 2005).

- Puuenergian käyttöä pyritään edistämään. Myös päästökauppain (693/2004) mukainen päästökauppa voi lisätä puuenergian sekä puutuotteiden kysyntää tilanteessa, jossa päästöoikeudet eivät riitä toimijoille.
- Hiilidioksidivero, puuenergian tuki sekä päästökauppa nykyisessä muodossa saattavat ohjata puun elinkaaren aikaista ilmastovaikutusta yksipuolisesti energian sekä materiaalisubstituuttien käyttöön, jolloin metsien pidemmän aikavälin kasvun nielupotentiaali voi osin jäädä hyödyntämättä.

6.2.4 Mahdollisia uusia toteutustapoja

Lainsäädännölliset epäselvyydet ovat hidastaneet metsien käyttöä kasvihuonekaasujen vähentämiseksi ja useimmiten maailmalla on päätetty toistaiseksi odottaa ja seurata poliittista kehitystä. Metsien roolin todennäköisesti kasvaessa tulevassa ilmastopolitiikassa, aktiivisempikin toiminta voi tulla kannattavaksi ja jopa väistämättömäksi. Tässä tilanteessa kansainvälistä sekä kansallista lainsäädännöllistä ohjausta kehitettäessä tulee analysoida kriittisesti mahdolliset pakolliset lainsäädännölliset muutokset sekä niistä koituvat hyödyt ja haitat (Rosenbaum et al. 2004). Yksinkertaisimmillaan metsien ilmastohyötyjä tavoiteltaisiin kansainvälisin ja kattavin GHG-veroin, jolloin markkinat siirtohinnoittelisivat ainakin teoriassa substituutti- sekä nieluhyötyjä tuottavalle puulle (ja samalla puun kasvattamiselle) suuremman kysynnän. Käytännössä kansainvälisesti yhtenäinen ympäristöverotus lienee kuitenkin yksittäisiä talousalueita lukuun ottamatta melko utopistinen tavoite, mistä syystä tarvittaneen myös Kioton kaltaisia sopimuksia.

Jotta metsällisiä nieluhankkeita voitaisiin toteuttaa markkinavetoisesti, tulee lähtökohtaisesti tiedostaa kaupattavien hiilikrediittien laatu. Mitä aktiviteetteja hyväksytään, mitä varmennusmenetelmiä vaaditaan, mihin perusuraan verrataan, miten lasketaan lisäisyys ja vuodot sekä kuinka suhtaudutaan pysyvyyteen? (Sampson 2005). Kysynnän kannalta krediittien luotettavuus (virallisesti todennettuja, selkeät omistusoikeudet, pysyvyys), likvidi luonne (päästökaupassa hyväksyttävä kilpailukykyinen kaup-

payksikkö, sekä kansallisesti että kansainvälisesti) sekä yksikkökustannustaso ovat avainasioita (ICF Consulting 2005).

Laskettavat krediitit voidaan määritellä monella tapaa metsällisissä hankkeissa. IPCC:n Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry (2003) tarjoaa tähän lähtökohtia. Perusluonteisia yksiköitä voivat olla vuosittaiset virrat ($t/C/y$), pitkän ajan muutos hiilivarastossa (tC), tai kumulatiivinen hiilivarasto ($tC.years$). Suomen olosuhteissa voisi olla sovellettavissa esim. muutos tC (sopimusjaksolle), muutos $tC.years$ (ikuisuuteen jatkuva ja tasapainotilan siirtymäaika), taikka $t/C/y$ (erillisissä projekteissa, esim. pellonmetsitys, plantaasit tai esim. bioenergiakasvatus). Kattavien laskentäsääntöjen täsmentäminen vaatii myös monien muiden tekijöiden ratkaisemisen ja asiaa on jo ehditty tarkastella, mm. Forner (2004), IETA (2002), sekä Schlamadinger et al. (2005) Kioton jälkeisiä aikajaksoja ajatellen. Olennaista on löytää yleisesti hyväksytyt perusohjeistukset hyväksyttävälle nielu-projekteilte, jotka tuottavat todellista ja todennettavaa ilmastohyötyä, ulkoisvaikutukset huomioiden sekä hyväksyttävien transaktiokustannuksin (EPA 2005). Suomessa voisi ajatella toteutettavan mm. seuraavanlaisia hankkeita (Tätä aihetta tulemme käsittelemään tarkemmin artikkelikäsikirjoituksessamme):

Mikäli Kioton pöytäkirjan seuraavissa sopimuksissa sallitaan, voidaan kehittää yksittäisten metsänomistajien tai todennäköisemmin metsänomistajaryhmien (tai metsäkeskusalueiden tai institutionaalisten metsänomistajien) hankkeita. Tämä olisi edellytyksenä hiilinielukaupan linkittämiseksi nykyisenkaltaiseen päästökauppaan.

Ji-projektit (Joint implementation, yksi Kioton mekanismeista) tai vastaavat rajatut hankkeet Kioton pöytäkirjaa tulkiten, taikka Kioton pöytäkirjaa aktiivisesti kehittäen. Ongelmina saattaa ilmetä vuotoja ja vaikeuksia osoittaa lisäisyys. Voisivat silti olla sovellettavissa esim. pellonmetsitysinvestoinneissa, energiapuuplantaasien perustamisessa, taajamien viheraluesuunnittelussa, taikka esim. tehostamisprojekteissa ”ylitarjontapuun” alueelliseen energiakäyttöön.

Valtio voisi olla päästöoikeuksien tuottaja välillisesti, jolloin taustalla olisi valtakunnallinen metsätalouden ohjaus, kansallisen tason aktiviteetin, esim. KMRL:n (ks. luku 6.1) kautta etenkin Artiklan 3.4 alla ja valtio olisi nielukredittien omistaja sekä myyvä osapuoli? Tällöin kauppayksiköiden hinnoittelussa voitaneen olettaa olevan lähes EU:n päästökaupan markkinahinnat, samalla huomioon ottaen yksiköiden kokonaismäärään vaikuttavat epävarmuuskertoimet.

Eräs ratkaisumalli voisi olla vapaaehtoiset metsitys- ja puuenergiahankkeet etenkin yritysten ja yksityisten henkilöiden rahoittamina (”carbon neutral products and services”) kansainvälisten esimerkkien yhteydessä mainittujen toimijoiden tapaan. Tällaiset hankkeet ovat ainakin toistaiseksi epävarmoja päästökauppaan linkittämisen kannalta, mutta joissain tapauksissa virallisen järjestelmän rinnalla myös epäviralliset mekanismit voisivat toimia ongelmitta puhtaan markkinavetoisesti.

6.2.5 Suositukset

Lukuisat epävarmuustekijät ovat hidastaneet nieluhankeiden etenemistä. Pahimmillaan metsien nielu-jen hätäinen käyttöönotto aiheuttaisi turhia taloudellisia riskejä etenkin siirtymävaiheissa sekä muuttuvissa suhdanteissa. Korkeat transaktiokustannukset, negatiiviset ulkoisvaikutukset (mm. hiilen vuodot muualla, muut ympäristöarvot, muut viiteryhvät jne.) ja epäoikeudenmukainen tulonjako ovat muita mahdollisia riskejä. Tässä vaiheessa onkin syytä edelleen panostaa maailmalta saatavien kokemusten aktiiviseen seurantaan sekä turvalliseen pohjaan rakentuvien järjestelmien huolelliseen suunnitteluun.

Tieteellisen, teknisen ja poliittisen kehityksen myötä olisi metsien nielu-jen sisällyttäminen kansalliseen keinovalikoimaan kuitenkin tulevaisuudessa toivottavaa, koska muutoin jätetään hyödyntämättä sekä ilmastolle että taloudelle erittäin merkittävä kapasiteetti. Erityistä huomiota tulisi kiinnittää siihen, kuinka taloudellinen ohjaus tulee vaikuttamaan globaalisti koko puun kasvatus- ja käyttöketjun ilmastotaseeseen sekä siihen kuinka muuttuvaa kysyntä-tarjontatasapainoa sekä ilmastonlämpenemi-

sen seurauksena lisääntyvää puuston kokonaiskasvua tulisi käsitellä kansallisen ilmastopolitiikan näkökulmasta.

Lähteet

- Forner, C. 2004 LULUCF and climate change, a field for battles? UNFCCC Secretariat. Summary Paper. http://www.joanneum.at/Carboinvent/post2012/Bird/Forner_2004.pdf (02.01.2006)
- IETA 2002. LULUCF Projects in the CDM. Accounting regimes and proposals for simplified rules and modalities. Discussion Paper No. 02-02.
- IPCC 2003. Good Practice Guidance for Land Use, Land-use Change and Forestry. Japan.
- Kellomäki, S. Strandman, H. Nuutinen, T. Peltola, H. Korhonen, K. & Väisänen, H. 2005. Metsä-ekosysteemin, metsien ja metsätalouden sopeuttaminen muuttuvaan ilmastoon. Seminaaripaperi ”Ilmastonmuutoskenaarioita FinAdapt-hankkeen sopeutumistutkimusten tarpeisiin.” MAF Indigenous Forestry Unit 2005. Carbon credits for new permanent forests. New Zealand. <http://www.maf.govt.nz/mafnet/publications/rmupdate/rm17/rm17-02.htm> (21.12.2005)
- Masahiro, A. & Sedjo, R. 2003. Forest Carbon Sinks: European Union, Japanese, and Canadian Approaches. Discussion Paper 03-41. Resources for the Future. Washington.
- Matala, Juho 2005. Impacts of climate change on forest growth: a modelling approach with application to management. University of Joensuu, Faculty of Forestry.
- NSW Department of Primary Industries 2004. Growing Trees for Carbon Credits – A guide for Landholders. State of New South Wales. Australia. http://www.forest.nsw.gov.au/publication/forest_facts/growing_trees/default.asp (15.09.2004)
- Nuutinen, T. Salminen, O. Hirvelä, H. & Räsänen, T. 2005. Yksityismetsien hakkuumahdollisuudet metsäverotuksen siirtymäkauden jälkeen. Metsätehon Katsaus nro. 15.
- Peltola, H & Kellomäki, S. 2005. Ilmastonmuutoksen vaikutukset metsäekosysteemin toimintaan ja rakenteeseen sekä metsien hoitoon ja ainespuun tuotantoon. Julkaisussa: Riikonen, J. & Vapaa-vuori, E. (toim.) Ilmasto muuttuu – muuttuvatko metsät s. 99-113. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 944, 2005.
- Rosenbaum, K. Schoene, D & Mekouar, A. 2004. Climate Change and the forest sector. Possible national and subnational legislation. FAO Forestry Paper 144. Rome.
- Schlamadinger, B. et al. 2005. Options for including LULUCF activities in a post-2012 international climate agreement. Draft for discussion at the Workshop on 5-6 May. Work in Progress.
- Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio 2005. Tapio esittää metsälain määräyksiin tarkistuksia - hakukuisiin haetaan lisää joustavuutta. <http://www.metsavastaa.net/index.cfm?docID=9634>
- UNFCCC 2005. Methodologies for afforestation and reforestation CDM project activities. <http://cdm.unfccc.int/methodologies/ARmethodologies> (30.12.2005)
- World Bank, IETA. May 2005. State and Trends of the Carbon Market 2005. <http://www.ieta.org/ieta/www/pages/getfile.php?docID=899> (02.01.2006)
- The World Bank Carbon Finance Unit. Baseline Report for Romanian Afforestation Project. <http://carbonfinance.org/Router.cfm?Page=Projport&ProjID=9614#DocsList>
- U.S. Environmental Protection Agency (EPA) 2005. Carbon Sequestration in Agriculture and Forestry. Establishing Baselines for Projects. <http://www.epa.gov/sequestration/baselines.html> (29.12.2005)

Linkkejä:

- American Forests. <http://www.americanforests.org/resources/ccc/> (12.10.2005)
- The Carbon Neutral Company. United Kingdom. <http://www.carbonneutral.com/> (02.01.2006)
- CO2 Group Limited. Australia. <http://www.co2australia.com.au/> (02.01.2006)
- EBEX 21 2005. Sell Carbon Credits. New Zealand. http://www.ebex21.co.nz/carbon_credits_sell.htm (27.10.2005)

Hancock Timber Resource Group (HTRG). 2000. Hancock Natural Resource Group Creates New Global Forest Carbon Sequestration Program. News Releases June 19, 2000. Boston..
http://www.htrg.com/htrg/w_n/news/2000/06-19.html (29.09.2005)

ICF Consulting. Carbon Sequestration and Emission Trading. From a Buyer's Point of View. Toronto.
<http://www.pollutionprobe.org/whatwedo/FCM/workshop4/willis.pdf> (02.01.2006)

The Pacific Forest Trust (PFT). <http://www.pacificforest.org/services/forever.html> (21.12.2005)

Sampson, N. 2005. Qualifying Carbon Credits. Winrock/CCAR Workshop Berkeley, CA – April 18, 2005. http://www.climate registry.org/docs/EVENTS/Conference%202005/Sampson_041805.pdf (02.01.2006)

6.3 Kiertoaika hiilipolitiikan kohteena

Jussi Uusivuori, Eriika Melkas

Julkinen valta voi käyttää hiilimaksuja ohjaamaan metsänomistajia käyttämään pidempiä kiertoaikoja. Hiilimaksut voivat joko perustua metsien arvioituun hiilivarantojen kasvuun ja tämän kasvun korvaamiseen metsänomistajalle, tai maksut voivat olla vuokraa metsien arvioituun hiilivarannon arvoon perustuen. Edellisen mallin mukaisesti metsänomistaja saa korvausta hiilivarannon kasvusta ja maksaa takaisin korvausta, kun metsien hiilivaranto esimerkiksi hakkuiden yhteydessä pienentyy. Jälkimmäisen mallin mukaisesti vuokrat korvausta maksetaan yksisuuntaisesti hiilensitomisesta hiilivarantojen suuruuden mukaan. On osoitettavissa, että molemmat järjestelmät vaikuttavat yksittäisen metsänomistajan käyttäytymiseen samalla tavalla. Molemmissa tapauksissa edellytettäisiin maanomistajan puuston määrän ja metsiin sitoutuneen hiilivarannon arvioiteja ja inventointeja tietyin väliajoin. Käytännössä arvioinnit voisivat perustua metsän kasvuarvioihin ja tietoihin hakkuista, kun taas inventoinnit toimisivat osana verifiointijärjestelmää.

Ilmastopolitiikan osana ja puumarkkinoiden toiminnan kannalta metsien kiertoaikoihin vaikuttaminen ei ole ristiriidaton ohjauskeino. Metsänomistajien pidentäessä kiertoaikoja hakkuiden ja puun myyntien määrä voi lyhyellä aikavälillä laskea. Korostettaessa puun substituutiovaikutuksia ilmastopolitiikassa puun tarjonnan lasku pienentää metsätalouden hyödynnettävyyttä uusiutumattomien hiilen varantojen korvaajana. Tällöin ilmastopolitiikan kannalta pitäisi pystyä arvioimaan puun tarjonnan supistumisesta johtuvan negatiivisen substituutiopotentiaalnin ja kasvavien metsävarojen aiheuttamien hiilinielujen nettovaikutus. Pitkällä aikavälillä on mahdollista, että kiertoaikojen pidentäminen nostaa myös puun tarjontaa, jolloin syntyy ns. win-win tilanne, jossa metsätaloutta voidaan käyttää sekä hiilen nieluna että uusiutumattomia hiilenvarastoja korvaamaan. Pitkänkin aikavälin vaikutus riippuu mm. käytännössä noudatettavista kiertoajoista. Mikäli noudatetut kiertoajat ovat jo lähtökohtaisesti riittävän pitkiä, voi niiden pidentäminen johtaa puun tarjonnan laskuun pitkällä aikavälillä.

Koska kiertoaikojen pidentymisellä voi olla ilmaston kannalta negatiivisiakin vaikutuksia, tulee mahdollisten hiilimaksujen tai korvausten vaikutusta arvioida myös yhdistettynä muihin kiertoajan valintaan vaikuttavien tekijöiden kanssa. Voidaan mm. osoittaa, että Suomessa käytössä oleva puun myyntituloihin perustuva metsäverojärjestelmä tyypillisesti pidentää kiertoaikaa esimerkiksi silloin, kun metsänomistajat arvostavat myös metsien ns. aineettomia virkistys- tai monimuotoisuusarvoja. Samoin yksityismetsänomistajien yleisellä vaurastumisella ja kaupungistumisella saattaa olla samansuuntainen vaikutus. Näiden tekijöiden olemassaolo lisää riskiä, että erityisesti ilmastopolitiikan käyttöön mahdollisten ohjauskeinojen vaikutus olisi ilmaston kannalta epäedullinen.

Metsissä käytettyihin kiertoaikoihin voidaan vaikuttaa esim. tuki-instrumentin avulla, riippumatta siitä, mihin suuntaan niitä halutaan muuttaa. Jos tuki-instrumenttia käytetään, voidaan tuen suuruus määrittää esim. sen perusteella, millaista metsätalouden kannattavuuden heikennystä tai millaista hei-

kennystä puusta saatavissa tuloissa kiertoajan ohjaaminen yhteiskunnan kannalta optimaaliseksi merkitsisi. Tämä edellyttäisi tietoa tavoitellusta kiertoajasta tai haluttavasta muutoksesta. Toisaalta tuki voitaisiin myös mitoitaa metsään sitoutuneen hiilen määrän mukaan. Tuki voidaan kohdistaa myös yksinkertaisesti hakkaamatta jättämiseen ilmankin tietoa kyseisen metsänomistajan oman talouden ja yhteiskunnan optimeista tai esimerkiksi metsänhoidon ja puun kasvun tehostamiseen. Markkinatasolla metsänomistajien keskimääräinen käyttäytyminen muuttuisi kuitenkin tuen perusteella toivottuun suuntaan tai vaihtoehtoisesti tuki voisi toimia ei-halutun käyttäytymisen ehkäisijänä. Jälkimmäisellä voi olla merkitystä, mikäli valtio on sitoutunut metsävarojensa suhteen tiettyyn hiilivarantoon, ja sitoumuksen täyttymiseen liittyy riskejä. Tuki voitaisiin ottaa käyttöön siinä tapauksessa, että metsänomistajien käyttäytyminen ei muuten johtaisi valtion sitoumuksen mukaiseen lopputulokseen. Tuki toimisi tällöin valtion sopimusriskin pienentäjänä.

Kestävän metsätalouden rahoituksesta annettu laki (KMRL), joka sisältää säännökset jo olemassa olevasta tukimuodosta metsätalouden kestävyydelle, ei kuitenkaan mahdollista kiertoajan muokkaamisen tukemista sinällään, ellei kyseessä voida katsoa olevan KMRL 6.1 § 1 kohdan a)-d) alakohdissa mainittu toiminta tai 6 § 3 kohdassa mainittu nuoren metsän hoito. Muissa tapauksissa kiertoaikaan KMRL:n mukaisella tuki-instrumentilla vaikuttaminen siis edellyttäisi lainmuutosta.

On kuitenkin huomattava, että kiertoaika sinällään on katsottava metsänhoidolliseksi toimenpiteeksi. Siten se ei kuulu Kioton pöytäkirjan 3.3 artiklan alaisiin toimenpiteisiin, jotka on rajattu metsitykseen, uudelleen metsitykseen sekä metsänhävitykseen. 3.4 artiklan alaisuuteen se voitaisiin metsänhoitona sen sijaan hyvinkin lukea. Näin ollen intressi metsän hiilivaraston kasvattamiseen kiertoaikaa hyväksi käyttäen lienee Suomessa pieni ensimmäisellä sitoumuskaudella. Ensimmäisen sitoumuskauden jälkeisellä ajalla sen merkitys voisi olla suurempi.

Metsänhoidon keinoja koskevien laskelmien mukaan (luku 2) kiertoaikaa pidentämällä voidaan selkeästi lisätä metsien hiilivarastoja. Pelkkään kiertoajan pidentämiseen perustuva hiilivarastojen nosto on kuitenkin kustannuksiltaan suurta verrattuna kasvatusmetsän puuston tiheyden nostamiseen tai molempien keinojen samanaikaiseen käyttämiseen. Vaikka kiertoajan pidentäminen on ohjauskeinona tehokas ja suhteellisen helppo toteuttaa, sitä on vielä ennenaikaista suositella laajamittaisena keinona metsien hiilivarannon nostamiseksi.

6.4 Nuoren metsän hoito (bioenergia) hiilipolitiikan kohteena

Kalle Karttunen

6.4.1 Johdanto

Puuenergian käytön lisääminen on Suomelle tärkeä keino toteuttaa ilmastopimusta. Puun käyttö energiantuotannossa on määritelty päästökauppajärjestelmässä kasvihuoneutraaliksi, joten poltosta aiheutuneita hiilidioksidipäästöjä ei tarvitse hyvittää päästöoikeuksina. Energiapuun poltossa vapautuva hiilidioksidi sitoutuu metsän kasvuun ja vapautuisi jokataapauksessa esimerkiksi hakkuutähteiden lahotessa. Energiapuulla voidaan korvata fossiilisia polttoaineita, jolloin saavutetaan ilmastomuutoksen ehkäisemisessä tärkeitä päästövähennyksiä.

Biopolttoaineiden käyttökohteet ja -määrät riippuvat niiden kilpailukyvystä muihin polttoaineisiin verrattuna. Biopolttoaineilla voidaan edistää uusiutuvien luonnonvarojen osuutta sähkön ja lämmön tuotannossa ja korvata fossiilisten polttoaineiden aiheuttamia hiilidioksidipäästöjä (Helynen ym. 2002). Suurin energiapuun käytön lisäysmahdollisuus on teollisuuden ja kaukolämmön sähköä ja lämpöä tuottavissa laitoksissa (CHP-laitokset) (Asplund ym. 2005).

Puun käyttöketjussa syntyy lähes poikkeuksetta fossiilisia hiilipäästöjä eli puun käyttöketju lisää absoluuttisesti kasvihuonekaasupäästöjä (Pingoud ja Lehtilä 2002). Substituutiossa on-

kin aina kyse suhteellisista päästövähennyksistä. Kasvihuonevaikutukseltaan edullisesta substitutiosta on kyse silloin, kun puutuoteketjun päästöt ovat pienempiä kuin sen korvaaman ketjun päästöt.

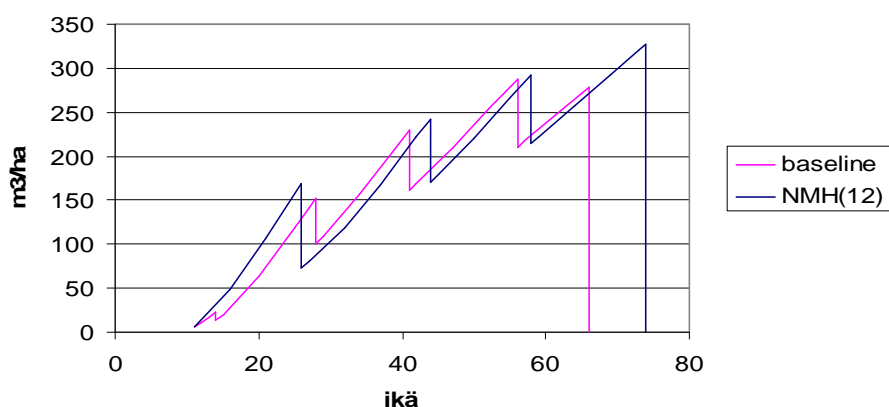
Energiapuun kilpailukyvyyn parantuessa ja kysynnän kasvaessa on mielekästä tarkastella vaihtoehtoista metsänkasvatusmenetelmää, jossa otetaan huomioon puun tuotannon ohella myös energiapuun tuotantoa. Energiapuun tuomia päästövähennyksiä tarkastellaan tässä vain tuotteen korvaavuuden näkökulmasta, eikä oteta huomioon koko tuoteketjun päästöjä, jotka voidaan arvioida olevan vertailupolttoaineella kivihiilellä kuitenkin suuremmat kuin energiapuulla.

Energiapuuharvennus osana metsänkasvatusta

Energiapuun kasvatus voi olla metsänkasvatuksen päätavoite tai se voi olla puuntuotannon ohella osa metsänkasvatusketjua. Energiapuun korjuu sopii luontevasti osaksi metsänkasvatusketjua sekä nuoren metsän harvennuksessa, jolloin voidaan saada pienpuuta energiakäyttöön, että päätehakkuun yhteydessä, jolloin hakkuutähteitä jää runsaasti metsään. Tässä tarkastellaan nuoren metsän energiapuuharvennusta osana metsänkasvatusketjua. Käytännössä energiapuuharvennuksen ottaminen osaksi metsänkasvatusta mahdollistaa nuoren metsän tiheimmän kasvatuksen (kuva 6.4.1).

Koneellisessa energiapuuharvennuksessa energiapuukertymä voidaan ottaa talteen kokopuuna, joka sisältää puun koko maanpäällisen biomassin. Koneellisen energiapuukorjuun kannattavuuden ratkaisevat riittävän suuri kokopuun keskikoko ja kertymä, jotka toisaalta kasvattavat myös ainespuun osuutta koko energiapuukertymästä. Energiapuuharvennuksessa on kuitenkin suositeltavaa jättää riittävästi hakkuutähdettä metsään ravinnehävikin ehkäisemiseksi.

Energiapuuharvennuksen koneellisen korjuun kehittyminen on kannattavuuden keskeinen edellytys. Ilman Kemera-tukia energiapuuharvennuksen pienpuuhake ei pärjää hintavertailussa hakkuutähdhakkeen kanssa. Pienpuuhakkeen ero hakkuutähdhakkeen kustannuksiin syntyy kaato-kasausvaiheessa, joka maksaa 12-15 €/m³. Siksi toiminnan tehostaminen tulisi kohdistua juuri tähän vaiheeseen. Muiden kustannusten osalta pienpuuhake on kilpailukykyistä hakkuutähteeseen verrattuna. (Laitila ym. 2004)



Kuva 6.4.1. Tuoreen kankaan männikkökoealan (n:o 4) taimikonhoidon sisältämä metsänhoitosuosituksen mukainen metsänkasvatus (baseline) ja vaihtoehtoinen metsänkasvatus, jossa nuoren metsän harvennus tehdään 12 metrin valtapituusvaiheessa (NMH 12).

6.4.2 Tutkimuksen aineisto ja menetelmät

Tutkimuksessa verrattiin vaihtoehtoisen metsänkasvatuksen kannattavuutta metsänhoitosuosituksiin perustuvaan metsänkasvatukseen metsänomistajan näkökulmasta. Vaihtoehtoisessa metsänkasvatuksessa Tapion metsänhoitosuosituksien (Hyvän metsänhoidon... 2001) mukaiset taimikonhoito ja ensi-

harvennus korvattiin energiapuuharvennuksella, joka toteutettiin puuston eri valtapituusvaiheissa (10, 12 ja 14 m). Energiapuulle asetettiin arvo hiilidioksidin eri hintatasoilla (10, 20 ja 30 €/CO₂ tn) olettamalla energiapuun korvaavan fossiilista polttoainetta kivihiiltä. Tutkimuskohteina oli 12 eteläsuomalaisista metsikkökoealaa, joissa oli mahdollista toteuttaa vielä metsänhoitosuosituksen mukainen taimikonhoito. Tutkimuksessa käytettiin MOTTI-metsikkösimulaattoria, jolla kasvatettiin metsikkökoealojen puustoja valittujen asetusten ja rajoitusten mukaisesti. Metsikkökoealojen lähtötilanteen runkoluku oli keskimäärin 3362 kpl/ha (vaihteluväli 2603 – 4800 kpl/ha).

Kannattavuutta tarkasteltiin vertailemalla eri metsänkasvatusvaihtoehtojen yhden kierroksen tulojen ja menojen diskontattua nettonykyarvoa. Nettonykyarvolaskelmissa käytettiin pitkän aikavälin tukkuhintaindeksillä korjattujen kantohintojen vuoden 2005 trendihintoja. Tienvarsihintojen laskemiseksi kantohintoihin lisättiin vuoden 2004 puutavaralajittaiset korjuukustannukset (Väkevä & Örn 2005). Laskelmissa hakkuiden puuerien kantorahatulot saatiin tienvarsihinnan ja korjuukustannusten (MOTTI-metsikkösimulaattori) erotuksena, jolloin puuerän ominaisuudet tuli huomioon otetuiksi. Energiapuuharvennuksen korjuukustannukset perustuivat koealatietoihin ja Timberjack 720 keräävän kaatopään tuottavuusfunktioihin kokopuun kustannuslaskentaohjelmassa (kaato, kasaus ja metsäkuljetus) (Laitila 2004).

Energiasubstituution ja hiilensidonnan kustannusten laskennassa käytettiin diskonttausmenetelmää (Richards & Stokes 2004). Nuoren metsän harvennuksen energiapuun oletettiin olevan kokonaisuudessaan koivua, jonka muuntokertoimeksi asetettiin ensiharvennuskoivun puuaineen kuiva-tuoretiheys (470 kg/m³) (Hakkila 2004) muutettuna hiileksi (50 %) (Impola 1998 ym. viit. Alakangas 2000) 235 kg. C/m³. Hiilensidonnan laskennassa käytettiin pääpuulajien biomassakertoimia (Lehtonen ym. 2004). Tuloksiin puun sisältämä hiili muutettiin hiilidioksiditonneiksi muuntokertoimilla.

Energiapuun oletettiin korvaavan energiatuotannossa kivihiiltä päästökertoimen suhdeluvun mukaisesti; biomassassa (puu) 1.20 tC/toe ja kivihiili 1.05 tC/toe (Jantunen & Nevanlinna 1990), jolloin energiapuulla olisi puuhun sitoutuneen hiilidioksidin ja päästökertoimen mukainen arvo korvaavuuden perusteella. Päästökertoimen ilmaisee hiilidioksidipäästöjen sisältämän hiilimäärän tuotettua energiayksikköä kohti. Poltettaessa puuta vapautuu yhtä tuotettua energiayksikköä kohti vajaa 15 prosenttia enemmän hiilidioksidia ilmakehään. Keskimääräiset kertoimet vaihtelevat todellisuudessa polttoaine-erittäin. (Seppälä & Siekkinen 1993)

6.4.3 Tulokset

Energiapuuharvennuksen kokonaiskertymien (keskimäärin 102 m³) ja kokopuun keskikokojen (keskimäärin 74 dm³) vaihtelut olivat suuria ja riippuivat paljon etenkin metsikkökoealojen tiheydestä ja energiapuuharvennuksen ajankohdasta. Energiapuukertymän oletettiin olevan 85 % kokonaiskertymästä. Ainespuun suuresta määrästä johtuen ainespuukorjuun tai integroidun energiapuun- ja ainespuukorjuun vertailu tulisi kysymykseen ainakin 12 ja 14 metrin valtapituusvaiheissa.

Yksikkökustannusvertailu antaa mahdollisuuden vertailla vaihtoehtoisten metsänkasvatusmenetelmien aiheuttamia taloudellisia kustannuksia lisättyä yksikköä (m³ tai CO₂ tn) kohden. Tämä on tärkeää, kun mietitään kustannustehokkaita ohjauskeinoja, joiden tarkoituksena olisi edistää fossiilisten polttoainesten korvaamista energiapuulla. Yksikkökustannus kertoo millaisilla energiapuun vähimmäisyksikkökustannuksella tulisi metsänomistajan tuloja kompensoida, jos tavoitteena olisi energiasubstituution kasvattaminen nuoren metsän energiapuulla ja tulojen pysyminen ennallaan, mikäli energiapuun hinta perustuisi pelkästään tukeen. Eli metsänomistajalle ei koituisi taloudellista tappiota nuoren metsän harvennuksen energiapuukorjuun sisältämästä metsänkasvatuksesta, eikä toisaalta taloudellista hyötyäkään verrattuna metsänhoitosuositukseen perustuvaa metsänkasvatukseen.

Energiapuuharvennuksen sisältämän metsänkasvatuksen yksikkökustannukset olivat koealasta, ajankohdasta ja korkokannasta (korkokanta 3 %) riippuen keskimäärin 21 €/m³ (= 28 €/CO₂ tn) diskonttausmenetelmän mukaisesti laskettuna. Kaikkien päästövähennyksien yksikkökustannukset (energia-

substituutio ja hiilinielu) vaihtelivat keskimäärin 11-35 €/CO₂ tn välillä. Koealojen energiapuuharvennusten Kemera-tuet muutettuina kuutiota kohden olivat keskimäärin 13.5 €/m³, mikäli kaikki tuet lasketaan mukaan. Energiapuukorjuun kustannukset riippuivat etenkin koealojen energiapuun keskikoosta ja olivat keskimäärin 16.7 €/m³. Energiapuuharvennuksen nettotulos ilmaisee metsänomistajalle koituvaa tulosta, kun energiapuusta saatavista tuloista (päästökaupan siirtohinnoittelu) vähennetään korjuukustannukset (kaato, kasaus ja metsäkuljetus) (taulukko 6.4.1).

Taulukko 6.4.1. Energiapuuharvennuksen nettotulos hiilidioksidin eri hintatasoilla energiapuun korvatta kivihiiltä (10 €/CO₂ tn = 7.54 €/m³ ”tienvarsihintaa”). Kemera-tukia ei otettu huomioon.

	10 €/CO ₂		20 €/CO ₂		30 €/CO ₂		Kemera-tuet
	€/ha	€/m ³	€/ha	€/m ³	€/ha	€/m ³	€/m ³
Männiköt, MT & VT							
NMH (10)	-825.17	-11.76	-269.22	-4.22	286.74	3.32	14.32
NMH (12)	-852.35	-8.36	-53.57	-0.82	745.21	6.72	13.42
NMH (14)	-839.52	-6.70	136.78	0.84	1113.09	8.38	13.04
Kuusikot, MT							
NMH (10)	-869.95	-12.04	-298.74	-4.50	272.48	3.04	14.21
NMH (12)	-883.22	-8.79	-93.54	-1.25	696.13	6.29	13.43
NMH (14)	-871.81	-7.31	58.44	0.23	988.69	7.77	13.12

Energiasubstituution vaikutus kannattavuuteen

Metsikkökoalojen koko kiertoajan laskennallisten tulojen ja menojen nettohyötyjen keskiarvojen sekä energiapuuharvennuksen Kemera-tukien (ei haketustukia) nykyarvojen keskiarvojen (3 % korkokanta) perusteella vaihtoehtoinen metsänkasvatus (NMH 10, 12 ja 14) oli kannattavampi vaihtoehto korkeilla hiilidioksidin arvoilla (20 ja 30 €/CO₂ tn) kuin metsänhoitosuositukseen perustuva metsänkasvatus (baseline). Paras nettohyöty korkeilla hiilidioksidin arvoilla (20, 30 €/CO₂ tn) saavutettiin, kun energiapuuharvennus toteutettiin 12 metrin valtapituusvaiheessa. (taulukko 6.4.2)

Taulukko 6.4.2. Puuntuotannon ja energiasubstituution vaikutus kannattavuuteen. Nettohyötyjen vertailu, €/ha, hiilidioksidin eri hintatasoilla (3 % korkokanta). Kemera-tuet otettu huomioon.

	10 €/CO ₂ tn	20 €/CO ₂ tn	30 €/CO ₂ tn	Kemera-tuet
	€/ha	€/ha	€/ha	€/ha
Männiköt, MT & VT				
Baseline	1433	1433	1433	
NMH (10)	1314	1606	1898	406
NMH (12)	1285	1639	1993	442
NMH (14)	1148	1507	1867	428
Kuusikot, MT				
Baseline	1673	1673	1673	
NMH (10)	1559	1849	2138	399
NMH (12)	1553	1900	2247	435
NMH (14)	1522	1878	2234	429

Energiapuuharvennuksen sisältämän metsänkasvatuksen ilmastohyödyt

Energiapuuharvennuksen sisältämällä metsänkasvatuksella oli merkitystä ilmastomuutoksen hillinnässä energiasubstituutiolla ja hiilensidonnalla aikaansaatuisten päästövähennyksien lisääntymisellä verrattuna metsänhoitosuosituksen mukaiseen metsänkasvatukseen. Energiasubstituutio oli varmempi keino lisätä päästövähennyksiä kuin hiilensidonta nuoren metsän tiheimmän metsänkasvatuksen avulla.

Energiasubstituution avulla saatiin koealasta ja energiapuuharvennuksen ajankohdasta riippuen keskimäärin 34-53 % suurempi lisäys päästövähennyksien nykyarvoon verrattuna metsänhoitosuosituksen

mukaiseen metsänkasvatukseen (3 % korkokanta). Energiapuuharvennuksen sisältämä metsänkasvatus lisäsi myös hiilensidontaa verrattuna metsänhoitosuosituksen mukaiseen metsänkasvatukseen kaikissa muissa vaihtoehdoissa paitsi männiköiden energiapuuharvennuksen toteutuessa 10 metrin valtapituusvaiheessa (vaihteluväli keskimäärin -2-23 %).

Energiapuuharvennuksen sisältämän metsänkasvatuksen hiilensidonnan ja energiasubstituution yhteisvaikutuksella saatiin koealasta ja energiapuuharvennuksen ajankohdasta riippuen keskimäärin 26-90 % lisäys päästövähennyksien nykyarvoon verrattuna metsänhoitosuosituksen mukaiseen metsänkasvatukseen.

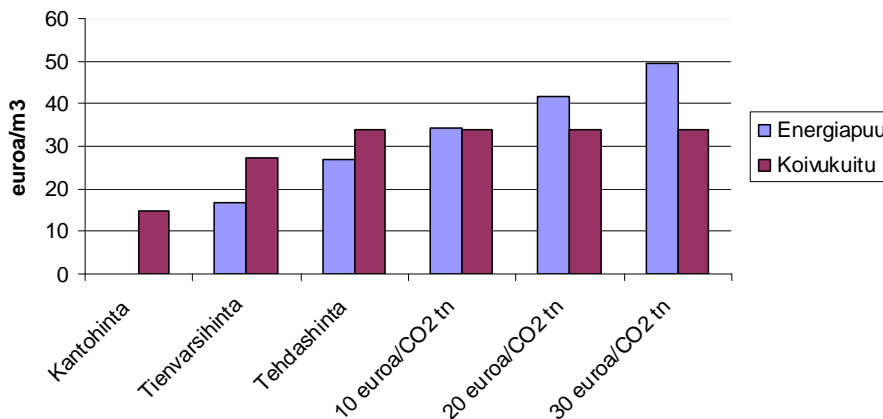
Energiapuu vs. kuitupuu päästökaupan vallitessa

Seuraavassa esimerkissä vertaillaan koivukuitupuun ja energiapuun välistä kustannusten muodostumista metsästä tehtaalle. Päästökauppajärjestelmässä energiapuun puustamaksukyky paranee hiilidioksidin hintatason noustessa verrattuna koivukuitupuuhun (kuva 6.4.2).

Kantohinta Energiapuu: Ei kantohintaa, eikä Kemera-tukia.
Koivukuitu: Tukkuhintaindeksillä korjattujen kantohintojen reaalin trendihinta vuodelle 2005. 14.9 €/m^3

Tienvarsihint Energiapuu: 12 koealan eri valtapituusvaiheessa (10, 12 ja 14 metrissä) toteutettujen energiapuuharvennuksien korjuukustannuksien keskiarvo. 16.7 €/m^3 .
Koivukuitu: Kantohinta + Keskimääräinen korjuukustannus vuonna 2004 (Väkevä & Örn 2005). $14.9 + 12.4 = 27.3 \text{ €/m}^3$

Tehdashinta Energiapuu: Käyttöpaikkakustannuksia laskettaessa käytettiin 40 km kaukokuljetusmatkaa ja energiapuu oletettiin kaukokuljetettavan kokopuuna (8.3 €/m^3) ja haketettavan käyttöpaikalla (1.8 €/m^3).
Tienvarsihint + kaukokuljetus- ja haketuskustannus. $16.7 + 10.1 = 26.8 \text{ €/m}^3$
Koivukuitu: Tienvarsihint + Keskimääräinen kaukokuljetuskustannus vuonna 2004 (Väkevä & Örn 2005). $27.3 \text{ €/m}^3 + 6.53 \text{ €/m}^3 = 33.83 \text{ €/m}^3$



Kuva 6.4.2. Energiapuun puustamaksukyky paranee hiilidioksidin eri hintatasoilla verrattuna koivukuitupuun hintaan. Energiapuun oletetaan korvaavan kivihiiltä.

6.5 Tulosten tarkastelu

Energiapuuharvennuksen sisältämä vaihtoehtoinen metsänkasvatus oli metsänomistajan näkökulmasta kannattavampaa kuin metsänhoitosuosituksiin perustuva metsänkasvatus, mikäli hiilidioksidin hintataso oli korkeampi kuin $15 \text{ €/CO}_2 \text{ tn}$ ja Kemera-tuet säilyivät ennallaan. Energiapuun oletettiin korvaavan fossiilista polttoainetta kivihiiltä päästökertoimien mukaisesti, eikä energiapuulle ollut määritetty

korvaavuuden ja Kemera-tukien lisäksi muuta hintatasoa. Energiapuuharvennuksen toteuttaminen 12 metrin valtapituusvaiheessa oli kannattavinta korkeammilla hiilidioksidin hintatasoilla muihin valtapituusvaiheisiin verrattuna.

Ilmastopoliittisia ohjauskeinoja ovat jo käytössä olevat päästökauppajärjestelmä sekä energiapuukorjuun ja haketuksen Kemera-tuet. Näillä on selkeästi energiapuun kysyntää edistävä vaikutus, kun ne ohjaavat sähkön ja lämmön tuotantoa korvaamaan fossiilisia polttoaineita puulla. Energiapuun puus-tamaksukyky paranee hiilidioksidin hintatason noustessa kuitupuuhun verrattuna, jolloin energiapuukorjuun Kemera-tuilla on merkitystä, kun ne ohjaavat energiapuunhankintaa nuorten metsien pienpuuhun ja päätehakuiden hakkuutähteeseen. Energiapuun kysynnän voimakkaaseen kasvuun on mahdollista vastata ottamalla energiapuuntuotanto osaksi metsänkasvatustietoa.

Metsänhoitosuosituksiin pohjautuva ja Kemera-tukea nauttiva taimikonhoito saattaa olla sijoitettu joko liian myöhäiseen vaiheeseen tai se toteutetaan liian voimakkaana. Vaihtoehtoisen metsänkasvatuksen mukaisesti taimikonhoito voitaisiin toteuttaa aikaisemmin tai nykyisiä metsänhoitosuosituksia lievempänä, jolloin jätettäisiin enemmän puita kasvamaan, mikäli taimikkotiheys olisi riittävä. Tällöin nuoren metsän harvennus voisi olla kannattavaa toteuttaa joko ainespuu- tai energiapuukorjuuna tai aines- ja energiapuun intergroituna korjuuna, riippuen vallitsevien menetelmien korjuukustannusten ja aines- ja energiapuun välisistä hintasuhteista.

Energiapuuharvennuksella osana metsänkasvatustietoa oli merkitystä ilmastomuutoksen hillinnässä energiasubstituution lisäksi myös hiilensidonnan lisääntymisellä verrattuna metsänhoitosuosituksiin perustuvaan metsänkasvatukseen. Sekä hiilensidonnan että energiasubstituution merkitys korostuu energiapuuharvennuksen sisältämässä vaihtoehtoisessa metsänkasvatuksessa, kun ilmastolliset ja taloudelliset hyödyt painottuvat kiertoajan alkuun.

Lähteet

- Alakangas, E. 2000. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. VTT tiedotteita 2045.
- Asplund, D., Korppi-Tommola, J. & Helynen, S. 2005. Uusiutuvan energian lisäysmahdollisuudet vuoteen 2015.
- Hakkila, P. 2004. Puuenergian teknologiaohjelma 1999-2003. Teknologiaohjelmaraaportti 5/2004. 135 s.
- Hakkila, P. & Fredriksson, T. 1996. Metsämme bioenergian lähteenä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 613: 75-76.
- Helynen, S., Flyktman, M., Mäkinen, T., Sipilä, K. & Vesterinen, P. 2002. Bioenergian mahdollisuudet kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä. VTT tiedotteita 2145.
- Hyvän metsänhoidon suositukset. 2001. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. 95 s.
- Impola, R. 1998. Puupolttoaineiden laatuohje. Jyväskylä, FINBIO, Julkaisu 5. 33 s.
- Jantunen, M. & Nevanlinna, L. 1991. Kasvihuoneilmiö, ilmastomuutos ja Suomi. Teknillistieteelliset Akatemiät 1990:1.
- Laitila, J. 2004. Kokopuuhakkeen kustannuslaskentaohjelma. Metsäntutkimuslaitos.
- Laitila, J., Asikainen A., Sikanen, L., Korhonen, K. & Nuutinen, Y. 2004. Pienpuuhakkeen tuotannon kustannustekijät ja toimituslogistiikka. Metlan työraportteja 3.
- Lehtonen, A., Mäkipää, R., Heikkinen, J., Sievänen, R. & Liski, J. 2004. Biomass expansion factors (BEFs) for Scots pine, Norway spruce and birch according to stand age for boreal forests. *Forest Ecology and Management* 188 (2004) 211-224.
- Pingoud, K. & Lehtilä, A. 2002. Fossil carbon emissions associated with carbon flows of wood products. Evaluation and development of methods. VTT Research Notes 2189, 138 p.
- Richards, K. & Stokes, C. 2004. A review of forest carbon sequestration cost studies: a dozen years of research. *Climatic Change* 63:1-48.
- Seppälä, H. & Siekkinen, V. 1993. Puun käyttö ja hiilitasapaino. Metlan tiedonantoja 473. Helsinki 1993. 51 s.

Väkevä, J. & Örn, J. 2005. Puunkorjuu ja kaukokuljetus 2004. Julkinen jakelu nro 12 4/2005. Metsäteho Oy.

6.6 Hiilinielujen ja biodiversiteetin turvaamisen ohjauskeinojen yhteensovittaminen

Anssi Ahtikoski, Paula Horne & Kai Kokko

6.6.1 Ohjauksen yhteensovittaminen ongelmana ja mahdollisuutena

Metsien hiilinielutoiminta ja biodiversiteetti ovat kummatkin metsien tuottamia julkishyödykkeitä. Taloustieteissä julkishyödykkeille on kuvaavaa, että ketään ei voi estää hyötymästä niistä kun ne keran on tuotettu ja toisaalta yhden hyötyminen ei vähennä muiden hyötymahdollisuuksia (ks. esim. Varian 1992). Tämän takia markkinoiden luominen on vaikeaa. Tyypillisesti julkiset tahot tuottavatkin julkishyödykkeitä. Myös oikeudellisessa ajattelussa hiilinielut ja biodiversiteetti on tavallisesti mielletty julkiseen tai yleiseen intressiin kuuluvaksi asiaksi, jonka turvaamisessa päävastuu on viranomaisilla (ks. kuitenkin luonnonsuojelulain (20.12.1996/1096) 57 §:n 2 momentti).

Metsien hiilinielutoiminnan ja biodiversiteetin tuotannonohjaus julkisen toimijan taholta voi antaa mahdollisuuksia ns. win-win tilanteisiin, jossa yhdellä ohjaustoimella saavutetaan useampia hyötyjä. Synergiaedun saamiseksi on kummankin julkishyödykkeen tuotantoon vaikuttavat tekijät tunnettava hyvin, jotta ei syntyisi ristiriitaisia ohjaussignaaleja. Edellisissä luvuissa on käsitelty metsien toimintaa hiilinieluna ja siihen vaikuttavia tekijöitä. Seuraavassa tarkastellaan lyhyesti metsien biodiversiteetin turvaamiseen liittyviä tekijöitä.

6.6.2 Metsien biodiversiteetin turvaamisen ohjauksesta

Metsien biodiversiteetin turvaaminen voidaan oikeudellisessa mielessä systematisoida perinteisen suojelun, kestävän käytön ja pilaamisen torjunnan näkökulmasta (Kokko 2003). Näkökulmasta riippuen käytössä on eri lainsäädännöllinen keinovalikoima luonnonsuojelusääntelystä maankäyttöä ja metsiä koskevaan lainsäädäntöön ja vesi- ja ympäristönsuojelusäädöksiin. Seuraavassa on tarkasteltu luonnonsuojelu- ja metsälainsäädäntöä.

Yksityisen maanomistajan kannalta metsien monimuotoisuuden turvaamisen äärimmäisenä keinona on luonnonsuojelulain 52 §:n mukainen lupa lunastaa suojelualue valtiolle. Muina keinoina mainittakoon luonnonsuojelulain 24 §:n mukainen suojelualueen perustaminen yksityiselle kuuluvalla alueella ja 25 §:n mukainen alueen määräaikainen rauhoittaminen enintään 20 vuodeksi. Luonnonsuojelulain 4 luvun luontotyyppisuojelella ja 6 luvun eliölaajien suojelulla sekä 10 luvun mukaisella Natura-sääntelyllä on kaikilla muun muassa oikeuskäytännöstä ilmenevät yhteytensä metsien käyttöön. Luonnonsuojelulakiin perustuvan pysyvän suojelun vaikutukset hiilivarantoihin ja -nieluihin ja hiilipolitiikan mahdollisuudet ottaa ko. alueet huomioon, on kuitenkin rajattu tässä tutkimuksen ulkopuolelle ja keskitytty tarkastelemaan hiilinielujen ja biodiversiteetin yhteensovittamista talousmetsissä.

Metsälain 1 §:n tavoitteen mukainen biodiversiteetin turvaaminen on ennen kaikkea suunnittelun yms. vapaaehtoisten keinojen varassa. Oikeusvaikutuksiltaan vahvin metsälain biodiversiteetin säilyttämiin kytkeytyvistä instrumenteista koskee lain 10 ja 11 §:n mukaisesti erityisen tärkeiden elinympäristöjen käsittelyä ominaispiirteet säilyttävällä tavalla ja käsittelytavasta poikkeamista. Käytännössä näitä elinympäristöjä on rajattu hakkuiden ulkopuolelle. Viime vuosikymmenen aikana ovat lisääntyneet myös yksityisten maanomistajien kanssa tehtävät kestävän metsätalouden rahoituksesta (KMRL) annetun lain mukaiset suojelusopimukset, joissa maanomistaja jättää osan metsistään puuntuotannon ulkopuolelle ja tuottaakin biodiversiteettipalveluja palkkiota tai korvausta vastaan. Palkkio on useimmiten määritelty menetettyjen puuntuotantotulojen ts. vaihtoehtoiskustannuksen mukaan. (Ks. KMRL käytöstä hiilinielujen osalta luku 6.1)

Taloustmetsien hoidossa on myös entistä enemmän kiinnitetty huomiota monimuotoisuuden turvaamiseen. Metsänhoitomethodilla, uudistusmethodilla ja kiertoajoilla voidaan vaikuttaa eri rakennepiirteiden ja eliölajien säilymiseen. Koska taloustmetsät kattavat reilusti yli 90 prosenttia metsäpinta-alasta, niiden hoidolla on laajalti merkitystä metsälajiston elinolosuhteisiin. Etelä-Suomen monimuotoisuusohjelman (METSO) yksi toimenpiteistä on luonnonhoitoalueet, joilla luonnonsuojelu, metsänhoito ja -käyttö sekä alueen muu taloudellinen käyttö sovitettaisiin yhteen luonnonhoitosuunnitelman mukaisesti. Metsänomistajalle korvattaisiin taloudelliset menetykset ja aiheutuneet kustannukset. Toimenpiteestä tehdyssä selvityksessä esitetään luonnonhoitoalueiden perustamista joko ottamalla uusi 25 a § luonnonsuojelulakiin tai sisällyttämällä se kestävän metsätalouden rahoituslakiin uutena 19 a §:nä (Luonnonhoitoalueen ... 2003).

METSO-toimintaohjelmassa monimuotoisuuden turvaaminen keskittyy erityisesti elinympäristöihin ja rakennepiirteisiin, ei niinkään lajeihin. Suojelun kohteena ovat elinympäristöt ja rakennepiirteet liittyvät usein kasvupaikkaan (esim. lehdot, korvet), erityisiin ympäristöllisiin olosuhteisiin (esim. paahderinteet, tulva-alueet), mutta myös puuston ikään ja lahoamiseen. Monien uhanalaisten metsälajien on todettu vaativan lahoppua elinympäristökseen (esim. Rassi et al. 2001, Hyvärinen et al. 2005, Jonsell & Weslien 2003). Sekä metsäsertifiointikriteereissä että myös Tapion metsänhoidonsuosituksissa säästöpuuta suositellaan yleisesti jätettäväksi 5-10 kpl / ha.. Luonnonomistamiseen metsään verrattuna suositus on kuitenkin alhainen, tutkimusten mukaan borealisella metsävyöhykkeellä olisi luontaisesti runsaasti yli 20 m³ lahoppua hehtaaria kohti. Metsänkasvatukselliset toimenpiteet, taimikon harvennus ja harvennushakkuut, poistavat metsästä heikompilaattuisia puita, jotka karsiutuisivat ja kuolisivat kilpailun myötä. Jäljelle jäävät rungot järeistyvät ja tuottavat parempilaattuisia ja siten myös kuutioarvoltaan kalliimpaa puuainesta.

Hiilinielujen ja biodiversiteetin tuotannon kannalta harvennuksilla on kuitenkin myös kielteisiä vaikutuksia; metsikön absoluuttinen hiilensidontapotentiaali vähenee tiettyä kiertoaikaa kohti, ja puuainesta jää vähemmän lahoppua riippuvaiselle lajistolle. Seuraavassa tarkastellaan empiiriseen aineistoon nojautuen eri harvennustapojen vaikutusta metsien hiilinielu- ja biodiversiteettitoimintaan ja niiden taloudellisia vaikutuksia.

6.6.3 Eri metsänkäsittelytapojen hiilinielu- ja biodiversiteettivaikutukset

Tutkimuksessa tarkasteltiin eri kasvupaikkatyypeillä ja puulajisuhteilla harvennusten vaikutusta hiilinieluihin ja metsien monimuotoisuuteen. Jotta tietystä metsänkäsittelytavasta aiheutuvia mahdollisia hiilensidonnan hyötyjä ja mahdollisia biodiversiteettiä hyötyjä voitaisiin verrata samasta metsänkäsittelytavasta aiheutuviin kantorahatulojen menetyksiin, täytyy valita ns. peruskäsittelytapa, johon voimme verrata vaihtoehtoisia metsänkäsittelytapoja. Peruskäsittelytavaksi valittiin vallitsevien metsänhoitosuositusten mukainen metsänkäsittely. Lisäksi selvitettiin laskentakorkokannan merkitys kantorahatulojen nykyarvoihin, ja edelleen vaihtoehtoisten metsänkäsittelytapojen keskinäisiin kannattavuuseroihin.

Hiilinielu- ja biodiversiteettivaikutuksia selvitettiin muodostamalla vaihtoehtoisia metsänkäsittelyketjuja samalle metsikköjoukolle. Metsikön vaihtoehtoisten metsänkäsittelytapojen vaikutuksia tutkittiin Metsäntutkimuslaitoksessa kehitetyllä MOTTI-metsikkösimulaattorilla, jolla voi muodostaa luotettavia puuston kehityssuunnusteita metsikkötasolla (ks. Matala ym. 2003, Salminen ym. 2005, Hynynen ym. 2005). Aineisto koostui kaikkiaan 59 olemassa olevasta taimikosta kahden eteläsuomalaisen metsäkeskuksen alueella. Metsiköt olivat yksityisten omistuksessa olevia metsäpalstoja, joissa ei ollut tehty taimikonhoitoa. Metsiköt edustivat puustotunnusiltaan keskimääräisiä eteläsuomalaisia seka-metsätaimikoita (Taulukko 6.5.1).

Taulukko 6.5.1. Taimikoiden puustotunnukset keskihajontoineen lähtötilanteessa. Lähtötilanne syötettiin MOTTI metsikkösimulaattoriin, jolla ennustettiin vaihtoehtoisten metsänkäsittelytapojen (1-5) mukainen puuston kehitys päätehakkuuseen asti.

pääpuulaji- kasvupaikka ¹⁾	runkoluku ³⁾ (keskihajonta)	pääpuulajin runkoluku	puuston ikä, vuosia	keskipituus, <i>m</i>	keskilä- pimitta, <i>cm</i>
kuusi – OMT ²⁾	4511 (2471)	2214 (582)	12.8 (2.1)	4.6 (1.3)	4.1 (1.1)
kuusi – MT	4230 (800)	2459 (484)	12.7 (2.2)	4.4 (1.6)	3.9 (1.2)
mänty – MT	3853 (472)	2124 (719)	14.4 (2.5)	4.8 (1.0)	4.3 (0.8)
mänty – VT	4299 (1030)	3020 8984)	13.2 (2.4)	4.4 (0.8)	3.8 (0.5)

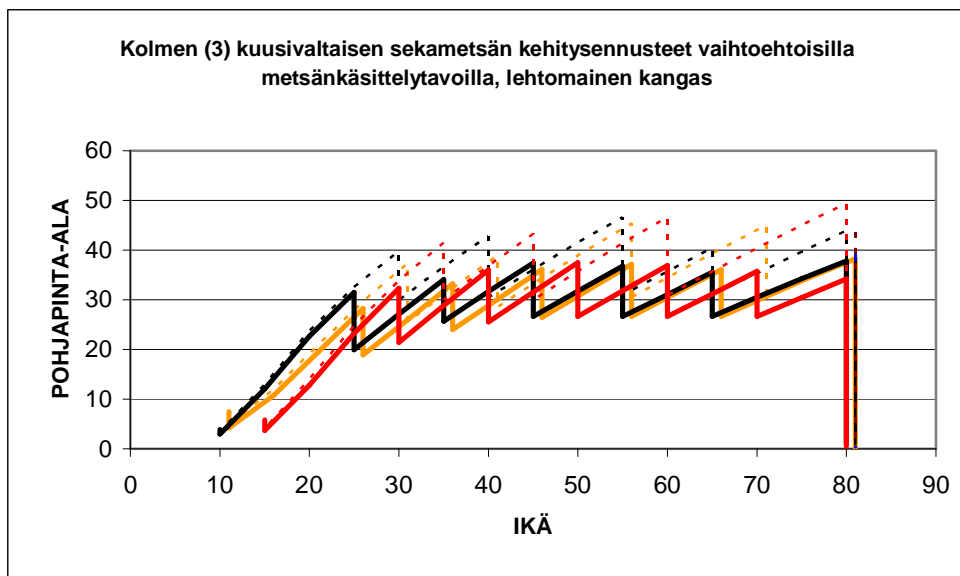
¹⁾ OMT vastaa lehtomaista kangasta, MT tuoretta kangasta ja VT kuivahkoa kangasta ²⁾ taimikoiden määrä, *n* oli 15 kaikissa muissa paitsi ”mänty-VT”-taimikoissa, jolloin *n* oli 14. ³⁾ runkoluku tarkoittaa taimien kokonaislukumäärää, josta pääpuulajin (kuusi tai mänty) runkoluku on esitetty toisessa sarakkeessa, runkoa/ha

Sekä taloudelliset että hiilensidonta – ja biodiversiteettilaskelmat suoritettiin vaihtoehtoisille metsänkäsittelytapoille. Kaikkiaan vaihtoehtoisia metsänkäsittelytapoja oli viisi:

Nykyisten metsänhoitosuositusten mukainen metsänkäsittely, aito sekametsä (PERUS) – *muita vaihtoehtoja verrattiin tähän metsänkäsittelyyn*

- 1) Nykyisten metsänhoitosuositusten mukainen metsänkäsittely, yhden puulajin metsikkö (PERUS/YKSI PUULAJI)
- 2) Puuston hiilensidontaa tukeva metsänkäsittely, jossa puustopääoma pidetään korkealla tasolla läpi kiertoajan, aito sekametsä (HIILI)
- 3) Puuston hiilensidontaa tukeva metsänkäsittely, jossa puustopääoma pidetään korkealla tasolla läpi kiertoajan, yhden puulajin metsikkö (HIILI/YKSI PUULAJI)
- 4) Passiivinen metsänhoito, jolloin metsikössä ei kiertoaikana tehdä lainkaan metsänhoitotoimenpiteitä eikä hakkuita, aito sekametsä (MONIMUOTO)

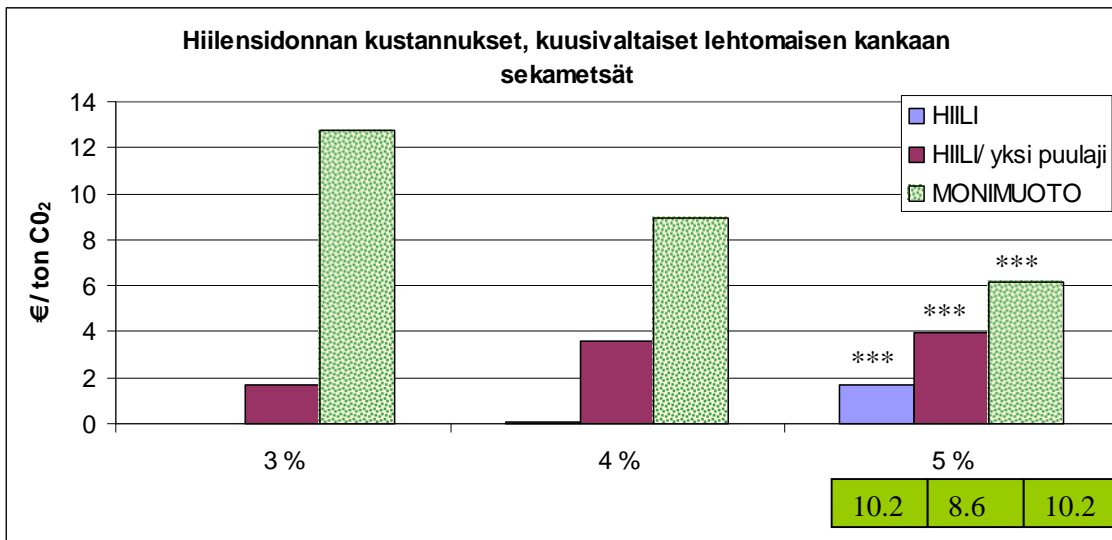
Perusideana kehitysennusteiden laadinnassa oli, että metsänkäsittelyvaihtoehdoissa ”HIILI” ja ”HIILI/YKSI PUULAJI” jo taimikonhoidossa jätetään hieman enemmän runkoja hehtaarille, noin 100-200 runkoa enemmän kuin vaihtoehdoissa ”PERUS” ja ”PERUS/ YKSI PUULAJI”. Näin ollen puustopääoma oli jo taimikonhoidosta lähtien korkeammalla tasolla kuin nykyisuositusten mukaan. Vaihtoehtoisissa ”PERUS/YKSI PUULAJI” ja ”HIILI/YKSI PUULAJI” jo taimikonhoidossa poistettiin kaikki muut puulajit kuin pääpuulaji (joka oli siis joko mänty tai kuusi). Kuvassa 6.5.1 on esitetty kolmen kuusivaltaisen sekametsän kehitysennusteet metsänkäsittelyvaihtoehtojen ”PERUS” ja ”HIILI” mukaisesti. Hiilen sidonnan kustannukset (€/ton CO₂) määritettiin vallitsevan käytännön mukaisesti, eli soveltamalla ns. keskimääräisen (hiili)varaston (engl. average storage method, ks. Richards & Stokes 2004 ss.11–12) kaavaa, jossa määritetään vuotuinen keskimääräinen hiilivarasto, joka liittyy tiettyyn metsänkäsittelytapaan. Vertaamalla keskimääräistä hiilivarastoa perustason (tässä: ”PERUS”) vastavaan, voidaan määrittää keskimääräinen varastonlisäys, jota edelleen puntaroidaan esimerkiksi menettelyihin kantorahatuloihin valitulla laskentakorkokannalla.



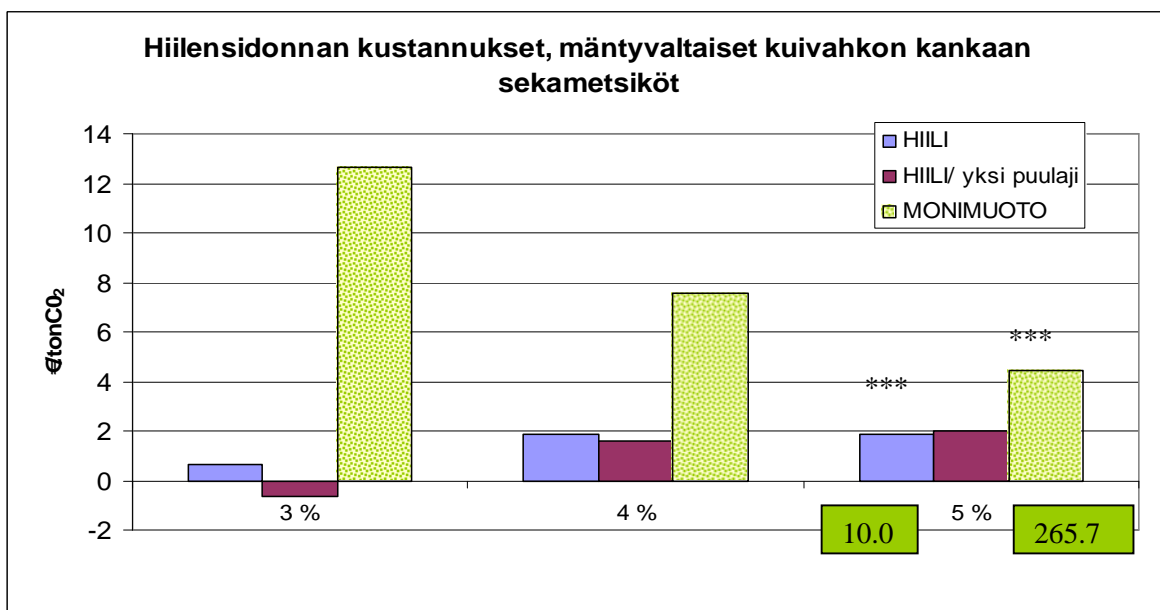
Kuva 6.5.1. Kolmen kuusivaltaisen sekametsän kehitysennusteet, kun metsänkäsittely toteutetaan joko metsänkäsittelytavan 1 (yhtenäiset viivat) tai 3 (katkoviivat) mukaan.

Kuten tuloksista nähdään (Kuva 6.5.2a), Etelä-Suomen kuusivaltaisissa lehtomaisen kankaan sekametsissä (kiertoajan keskiarvo 80.7, keskihajonta 0.9 vuotta) hiilensidonnan kustannukset ovat varsin maltillisia – niinkin korkealla laskentakorkokannalla kuin 5 %. Samalla myös monimuotoisuus (jota tässä mitattu kuolleen puun määrällä) on lisääntynyt. Kuolleen puun määrästä regressiolla (ks. Hynynen ym. 2005) määritetty kokonaislajimäärä kasvoi 13:lla, jos metsänomistaja olisi valinnut metsänkäsittelytavan HIILI-vaihtoehdon PERUS-vaihtoehdon sijaan. Vastaavasti, MONIMUOTO-vaihtoehdossa kokonaislajimäärä olisi kasvanut peräti 84 lajilla. Kustannuksiltaan hiilensidonta oli aidoissa sekametsissä tehokkaampaa kuin puhtaisissa yhden puulajin metsiköissä, kun laskentakorkokanta vaihteli välillä 3-5 %.

Kuivahkon kankaan mäntyvaltaisissa sekametsiköissä (kiertoajan keskiarvo 91.6, keskihajonta 1.6 vuotta) hiilensidonnan kustannukset vaihtelivat välillä -0.7 – 12.7 €/ton C02, kun laskentakorkokanta oli 3-5% (Kuva 6.5.2b). Vastaavasti hiilensidonta ei ollut yksiselitteisesti kustannustehokkaampaa mäntyvaltaisissa kuivahkon kankaan sekametsissä verrattuna puhtaisiin mäntymetsiin (Kuva 6.5.2b: HIILI vs HIILI/YKSI PUULAJI). Lajien kokonaismäärä kasvoi HIILI-vaihtoehdossa ainoastaan kahdeksalla lajilla, verrattuna PERUS-vaihtoehtoon. MONIMUOTO-vaihtoehdossa lajien kokonaismäärä oli puolestaan peräti 78 lajia enemmän kuin PERUS-vaihtoehdossa. Sekä HIILI- että MONIMUOTO-vaihtoehdoissa kuolleen puun määrä oli tilastollisesti merkitsevästi suurempi kuin PERUS-vaihtoehdossa.



Kuva 6.5.2a Hiilen sidonnankustannukset lehtomaisen kankaan kuusivaltaisissa sekametsäkoissa. Tähdet 5 %:n laskentakorkokannan pylväiden päällä kuvaavat tilastollisesti merkitsevää eroa (***) $p < .001$) keskimääräisessä vuotuisessa hiilen määrässä ko. metsänkäsittelyvaihtoehdon ja perustason (PERUS)välillä. Keskimääräinen hiilen määrä on riippumaton laskentakorkokannasta. Laatikoissa olevat lukuarvot kuvaavat kuolleen puun määrää, ja samalla ao. lukuarvot poikkeavat tilastollisesti merkitsevästi ($p < .001$) perustason kuolleen puun määrästä, joka on $5.3 \text{ m}^3/\text{ha}$.



Kuva 6.5.2b. Hiilen sidonnankustannukset kuivahkon kankaan mäntyvaltaisissa sekametsäkoissa. Tähdet 5 %:n laskentakorkokannan pylväiden päällä kuvaavat tilastollisesti merkitsevää eroa (***) $p < .001$) keskimääräisessä vuotuisessa hiilen määrässä ko. metsänkäsittelyvaihtoehdon ja perustason (PERUS)välillä. Laatikoissa olevat lukuarvot kuvaavat kuolleen puun määrää, ja samalla ao. lukuarvot poikkeavat tilastollisesti merkitsevästi ($p < .001$) perustason kuolleen puun määrästä, joka on $6.6 \text{ m}^3/\text{ha}$.

6.6.4 Johtopäätökset

Päätulosten perusteella näyttäisi siltä, että hiilensidonnankustannukset ovat varsin maltillisia, vaihdellen noin 0.2- 9.0 €/tonCO₂ kun pääpuulaji-kasvupaikkatyypikombinaatiot vaihtelevat kuusivaltaisista lehtomaisen kankaan sekametsäkoista mäntyvaltaisiin kuivahkon kankaan sekametsäin (laskentakorko-

kanta 4-5%). Lisäksi tämän tapaustutkimuksen valossa näyttäisi siltä, että sekametsissä olisi kustannustehokkaampaa sitoa hiiltä kuin yhden puulajin (mänty tai kuusi) tasaikäisissä metsiköissä. Samalla kun tietyllä metsänkäsittelyllä voidaan kasvattaa hiilensidontaa metsikössä, niin samanaikaisesti pystytään turvaamaan monimuotoisuutta jopa siinä määrin, että kokonaislajimäärän lisäys verrattuna nykyisiin metsänhoitosuosituksiin ("PERUS") on tilastollisesti merkitsevä. Tämän tapaustutkimuksen pohjalta voidaankin sanoa, että esimerkiksi oikealla tukipolitiikalla voidaan saavuttaa selkeitä *win-win*-tilanteita, joissa sama metsänkäsittelytapa parantaa sekä hiilensidontaa että turvaa monimuotoisuutta. *Win-win* -tilanteiden osalta on kuitenkin syytä tiedostaa mahdollinen heijastusvaikutus hiilinielukapasiteetin kokonaistaseeseen. Vähentämällä harvennuksia rajataan puuenergiankäyttöä ja lisätään riskiä puun substituutitihyötyjen vähenemiseen lyhyellä ja keskipitkällä tarkastelujaksolla (ks. luvut 3 ja 6.4).

Kun metsien hiilinieluja ja monimuotoisuutta lahopuulajiston osalta ylläpidetään vähentämällä tai jopa kokonaan pois jättämällä harvennushakkuut, yksityismetsänomistajalle aiheutuu kustannuksia menetetyt puuntuotannon osalta. METSO-monimuotoisuusohjelmassa innovoidut uudet kannustimiin perustuvat keinot voisivat tarjota mahdollisuuden hiilinielutoimintojen huomioon ottamiseen metsien monimuotoisuuden rinnalla. Esimerkiksi luonnonhoitoalueiden suunnitelmiin voitaisiin sisällyttää harvennushakkuiden poisjättäminen luontoarvoiltaan arvokkaimpien alueiden osalla. Mikäli metsänomistajalle korvattaisiin julkishyödykkeiden yhteistuotanto kohteella, korvaus olisi luonnollisesti yhteensovitettava KMRL-tukien kanssa (ks. 6.1). Samalla on huomattava, että erilaiset tuet ja korvaukset vaikuttavat puumarkkinoihin (ks. 6.3).

Hiilinielutoimintojen ja biodiversiteetin turvaaminen eriytyvät metsän vanhetessa, joten em. *win-win* tuloksia ei voida yleistää talousmetsien kiertoajan kasvattamisen yhteyteen eikä esimerkiksi luonnonsojelumetsien käsittelyyn. Kyse oli tässä tapauksessa kiertoaikojen alkuun, vastauudistetuille metsille, lasketuista arvoista ja lukemat olisivat erilaisia väli-ikäisissä ja vanhoissa puustoissa (ks. luku 2).

Lähteet

- Hynynen, J., Ahtikoski, A., Siitonen, J., Sievänen, R. & Liski, J. 2005. Applying the MOTTI simulator to analyse the effects of alternative management schedules on timber and non-timber production. *Forest Ecology and Management* 207:5-18
- Hyvärinen, E., Kouki, J., Martikainen, P. & Lappalainen, H. 2005. Short-term effects of controlled burning and green-tree retention on beetle (Coleoptera) assemblages in managed boreal forests. *Julkaisussa: Forest Ecology and Management* 212, s. 315-332,
- Kokko, K. 2003. Biodiversiteettiä turvaavat oikeudelliset periaatteet ja mekanismit. *Suomalainen lakimiesyhdistys A-sarja N:o 243: 1-302*
- Jonsell, M. & Weslien, J. 2003. Felled or standing retained wood - it makes a difference for saproxylic beetles. *Julkaisussa: Forest Ecology and Management* 175, s. 425-435.
- Luonnonhoitoalueen perustamista koskeva selvitys. 2003. Hannu Karjalainen, Pentti Lähteenoja ja Kalevi Laaksonen 17.12.2003.
http://www.mmm.fi/metsa/uudet_suojelun_keinot/luonnonhoitoalueet/Luonnonhoitoalueen_perustamista_koskeva_selvitys_12_2003.pdf
- Matala, J., Hynynen, J., Miina, J., Ojansuu, R., Peltola, H., Sievänen, R., Väisänen, H. & Kellomäki, S. 2003. Comparison of a physiological model and a statistical model for prediction of growth and yield in boreal forests. *Ecological Modelling* 161:95-116.
- Rassi, P., Alanen, A., Kanerva, T. & Mannerkoski, I. (toim.) 2001. Suomen lajien uhanalaisuus 2000. Ympäristöministeriö & Suomen ympäristökeskus, Helsinki.
- Richards, K. & Stokes, C. 2004. A review of forest carbon sequestration cost studies: a dozen years of research. *Climatic Change* 63:1-48.
- Salminen, H., Lehtonen, M. & Hynynen, J. 2005. Reusing legacy FORTRAN in the MOTTI growth and yield simulator. *Computers and Electronics in Agriculture* 49(1):103-113.
- Varian, H. 1992. *Microeconomic Analysis*, 3rd. edition, W.W. Norton & Company, Inc. London. 506 s.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTAA

Puu tarjoaa monenlaisia mahdollisuuksia ilmastonmuutoksen torjuntaan: hiilen sitominen kasvaviin puubiomassan varastoihin metsissä ja puutuotteissa, puu kulutuksessa materiaalina ja bioenergiana. Tämän vuoksi koko puuntuotanto- ja jalostusketju (kasvatus-valmistus-käyttö) on otettava huomioon ilmastonmuutosvaikutuksia arvioitaessa. Suomen metsissä on yhtäältä mahdollisuuksia nostaa hiilivarantoa kohtuullisin kustannuksin ja näin vähentää hiilidioksidia ilmakehästä. Toisaalta puun käyttö rakentamisessa ja energiantuotannossa on edullista, sillä puun käyttö vähentää fossiilisia päästöjä suhteessa muihin materiaaleihin ja lisää hiilen varastoja. Tarvittavien ohjauskeinojen tutkimus on tärkeää, jotta perusteet ihmisten toiminnalle ilmastopoliittisten tavoitteiden kannalta ovat olemassa.

Päämenetelmät metsien hiilivarannon nostamiseksi ovat kiertoajan pidentäminen ja kasvatustiheyden nostaminen. Metsien kasvattaminen nykyistä tiheämpinä voisi olla sekä taloudellisesti että puuston hiilitaseen kannalta nykyistä käytäntöä tai kiertoaikojen pidentämistä mielekkäämpi vaihtoehto molemilla puulajeilla. Tämä tulos edellyttää, että käytetyt kasvumallit ovat harhattomia reaktiossaan puuston tiheyden muutokseen. Käytännössä muutos voisi tapahtua sekä ns. harvennuskäyriä nostamalla että metsäkoneurakoitsijoiden toiminnan ohjeistamisella. Parhaimmillaan harvennuskäytännön muuttaminen voisi tarjota mahdollisuuksia parantaa metsien hiilitasetta ilman mitään välittömiä korvauksia tai rahoitusjärjestelyjä metsänomistajille. Kiertoajan pidentäminen on sen sijaan edelliseen verrattuna melko kallis keino. Kustannuksia voitaisiin kuitenkin mahdollisesti alentaa nostamalla puuston pohjapinta-alaa kasvatuksen aiemmissa vaiheissa kiertoajan pidentämisen lisäksi. Kustannustasoon vaikuttaa voimakkaasti, kuinka paljon kaikkiaan metsien hiilivarantoa halutaan nostaa sekä myös se, kuinka nopeasti nousun tulisi tapahtua.

Kiertoajan alkupuolelle ajoittuvassa energiapuuharvennuksessa saatavalla puulla voidaan korvata fossiilisia polttoaineita. Energiapuuharvennus tuottaa riittävän myöhään toteutettuna merkittäviä päästövähennyksiä vertailukelpoisin kustannuksin. Toimenpide vaatii kuitenkin huolellisuutta, jotta jäävän puuston tuhoriski ei lisäännä merkittävästi. Kiertoajan alkuvaiheen toimenpiteillä luodaan pohjaa metsän tulevalle puuntuotannolle, hiilensidonnalle ja biodiversiteetille.

Käynnissä olevassa metsänhoitosuosituksen uudistamisessa suuntaus vaikuttaisi olevan suosituskiertoaikojen lievä alentaminen, mikä ei sinänsä tukisi hiilivarannon kasvattamisen tavoitetta, mutta lienee perusteltu puuntuotantotalouden kannalta. Esillä ollut tiettyjen puulaji- ja kasvupaikkatapauksien harvennusmallien alarajan lasku ei tukisi hiilivarannon kasvattamista.

Yleistilanne Suomen metsissä on, että niiden hiilivarantoa voitaisiin biologisessa katsannossa nostaa ainakin useita kymmeniä prosentteja, miljardin hiilidioksiditonnin suuruusluokkaa. Tutkimusryhmän eri analyysien tulosten pohjalta vaikuttaa, että metsiemme hiilivarantoa voitaisiin periaatteessa nostaa nykyistä EU:n päästökaupan hintatasoa vastaavilla kustannuksilla arviolta joitakin satoja miljoonia hiilidioksiditonneja vastaavalla määrällä. Tämä vastaisi vuosikymmenien päästokiintiön ylityksiä Suomessa nykytilannetta vastaavilla päästöillä.

Edellä arvioitiin metsien pitkän aikavälin hiilensidonnan kustannustehokasta lisäämistä metsänhoidon keinoin. Ilmastonmuutoksen torjunnan kannalta paras vaihtoehto on kuitenkin tasapaino puun käytön ja metsiin varastoinnin välillä. Puhdas metsien asettaminen hiilivarastoiksi ei ole tehokkain tapa, koska tällöin menetetään puunkäytön edulliset päästövähennysvaikutukset. Lisäksi metsien hiilivarastoja ei voida jatkuvasti kasvattaa, vaan aikaa myöten niiden hiilinielu kyllästyy ja erilaisten, mm. ilmastonmuutokseen liittyvien metsätuhoriskien toteutuminen voi muuttaa metsät jopa hiililähteiksi. On huomattava, että periaatteessa puun käyttö energiantensiivisempien materiaalien ja fossiilisten polttoaineiden korvaajana on ainoa keino, jolla metsien avulla voidaan *jatkuvasti torjua* ilmastonmuutosta. Sitä voidaan soveltaa silloinkin, kun metsien nielupotentiaali on jo ehtynyt tai sitä ei metsätuhoriskien takia enää haluta käyttää. Pelkkä metsien hiilivarastojen olemassaolohan ei sinänsä hillitse ilmastonmuutosta, ainoastaan varastojen kasvu. Olennaista on tässä biomassan kestävä tuottaminen ja maapinta-alan pysyminen metsätalouden piirissä. Tuotettavan biomassan laadulla on myös merkitystä, koska

puutavaralajista ja sen loppukäytöstä mm. energiaksi riippuu, kuinka suuriin välillisiin fossiilisen hiilen päästönvähennyksiin biomassan käytöllä on mahdollista päästä. Joissain käyttötarkoituksissa puun lisäkäytöstä aiheutunut päästövähennys on muodostunut jopa suuremmaksi kuin puumateriaalin oma hiilisisältö.

Mikä olisi nielujen ja substituution hyödyntämisen järkevä suhde käytännön ilmastopolitiikassa ja näiden keinojen oikea ajoittaminen, on paljon mutkikkaampi kysymys. Järkevien politiikkatoimien kehittäminen edellyttääkin metsien ja puutuotteiden koko elinkaaren integroivaa tarkastelua, joka ottaa huomioon metsänielut, bioenergian ja materiaalikorvaavuuden. Tässä on otettu ensi askel tämän kysymyksen tarkasteluun suorittamalla yksinkertainen, mikrotasolla tapahtuva tasapainotilojen vertailu, jolla pyrittiin löytämään substituutiosta aiheutuvien päästövähennysten sekä metsien ja puutuotteiden hiilivarastojen kannalta edullisia puuntuotosstrategioita.

Saatujen tulosten mukaan vaikuttaisi siltä, että metsien käyttö kohtuullisessa määrin nieluna ei vaarantaisi materiaali- ja energiasubstituutiosta pitkällä aikavälillä saatavia päästövähennysmahdollisuuksia. Alustavien tulosten mukaan ilmastotavoitteen kannalta Suomen metsien puuston määrää tulisi jonkin verran nostaa nykytasolta, jolloin sekä hiilivaranto kasvaisi että pitkän aikavälin puuntuotanto ja siten substituutiomahdollisuudet pääsääntöisesti lisääntyisivät.

Tasapainotarkastelun lisäksi on välttämättä tarkasteltava siirtymää nykytilasta uuteen tasapainoon. Siirtymävaiheessa metsän toimiessa nieluna puun tarjonta väliaikaisesti alenee, mikä vähentää substituutiomahdollisuuksia. Hakkuiden edullisin kohdentaminen tässä muutosvaiheessa vaatiikin lisätutkimuksia, jotta puuntarjonta ei alene ilmastotavoitteiden ja metsäteollisuuden puunsaannin kannalta kovin haitallisesti. Siirtymäkauden realistiseen kuvaamiseen tarvittaisiin dynaamista makrotason mallia, jossa lähtökohtana olisivat tarkemmat metsävaratiedot kuten ikäluokkien, puuston määrien ja puulajien jakaumat. Puutteena tässä esitetystä tasapainotarkastelusta oli myös, että puuntarjonnan oletettiin määräävän puunkysynnän, eikä markkinavaikutuksia tarkasteltu lainkaan. Skenaarioiden taloudellinen vertailu rajoittui hakkuutulosten vertaamiseen.

Vaikka substituutiohyödyillä on pysyvänä keinona merkittävä rooli ilmastomuutoksen hillinnässä, tulosten valossa vaikuttaa siltä, että metsien hiilivarastojen kasvattamistakaan ei tulisi sulkea pois ilmastomuutoksen hillinnän keinovalikoimista. Tähän vaikuttaa myös metsien pitkä keskimääräinen kiertoaika Suomessa suhteessa ilmastomuutoksen hillinnän aikajänteeseen. Metsien hiilinielu ei millään metsänhoidollisilla strategioilla ehdi kyllästymään siinä ajassa, jossa globaalisti on ryhdyttävä radikaaleihin ja kaikki käytettävissä olevat keinot kattaviin toimiin ilmastomuutoksen hillitsemiseksi.

Metsien ja puun hiilivaikutuksia on syytä tutkia myös suhteessa metsien monimuotoisuuden turvaamiseen. Konsortion yhdessä tutkimuksessa tarkasteltiin empiiriseen aineistoon nojautuen eri harvennustapojen vaikutusta metsien hiilinieluun ja biodiversiteettiin sekä niiden taloudellisia seurauksia. Tulosten mukaan lehtipuusekoitusta sisältävissä metsissä harvennuksia vähentämällä voidaan kasvattaa hiilensidontaa, ja samanaikaisesti pystytään turvaamaan lahoppuusta riippuvaista luonnon monimuotoisuutta jopa siinä määrin, että kokonaislajimäärän lisäys verrattuna nykyisiin metsänhoitosuosituksiin on tilastollisesti merkitsevä. Tämän tapaustutkimuksen pohjalta voidaankin sanoa, että esimerkiksi oikealla tukipolitiikalla voidaan saavuttaa selkeitä *win-win* -tilanteita, joissa sama metsänkäsittelytapa parantaa sekä hiilensidontaa että turvaa monimuotoisuutta. METSO-monimuotoisuusohjelmassa innovoidut uudet vapaaehtoisuuteen perustuvat keinot voisivat tarjota metsänomistajille suunnatun kannustimen hiilinielutoimintojen huomioon ottamiseen metsien monimuotoisuuden rinnalla. Hiilinielutoimintojen ja biodiversiteetin turvaaminen kuitenkin eriytyvät metsän vanhetessa, joten em. *win-win* -tuloksia ei voida yleistää talousmetsien kiertoajan kasvattamisen yhteyteen eikä esimerkiksi luonnon-suojelumetsien käsittelyyn.

Tehdyn tutkimuksen pohjalta vaikuttaa siltä, että eri metsäaloilla ohjaus ja sen keinot eriytyvät kulloinkin valitun strategian tai politiikan mukaisiksi: Suomen metsien hakkaamatta jättäminen ei välttämättä kannata ilmastomuutoksen torjunnan kannalta, mutta on tietysti määrin tärkeää biodiversiteetin turvaamiseksi vanhoissa metsissä. Hiilinielun ja biodiversiteetin turvaamisen yhdistäminen eri

ohjauskeinoissa edellyttää näiden ja muidenkin metsätavoitteiden koordinoitua politiikkatasolla. Tavoitteenasettelun aikaiset koordinoinnin heikkoudet saattavat merkitä päällekkäistä ja jopa ristiriitaista ohjausta esimerkiksi kestävä metsätalouden rahoituksesta annetun lain (KMRL) mukaisia tukia kehitettäessä. Kaiken kaikkiaan luonnonprosessit, ihmisten toiminta ja oikeusjärjestyksen asettamat reunaehdot on pyrittävä ottamaan huomioon toimivia ohjauskeinoja suunniteltaessa. Tuki olisi yhteensovittava kyseisen lain muiden ohjaustavoitteiden kanssa. On kuitenkin huomattava, että tuen käyttö hiilipolitiikan ohjauskeinona saattaa vaikuttaa väärin tavalla puumarkkinoihin. Arvioitaessa tuen merkitystä toimivana ohjauskeinona on otettava huomioon myös korkokannan vaihtelut. Kevään 2006 aikana tutkimusryhmältä valmistuu artikkeli, jossa *win-win* -mahdollisuuksia arvioidaan vielä tarkemmin erilaisten hiilinielujen edistävien ja biodiversiteettiä turvaavien ohjauskeinojen yhteydessä.

Montrealin ilmastokokouksen jälkeen on aikaisempaa todennäköisempää, että Kioton toinen sopimuskausi toteutuu jossain muodossa. Tämä tulee merkitsemään ensimmäistä kautta huomattavasti tiukempia päästörajoitteita myös Suomen kohdalla. Kuinka suureksi tästä syntyvä kilpailukykyrasite Suomen kansantaloudelle muodostuu, tulee riippumaan mm. joustomekanismien tehokkuudesta, muiden valtioiden toimenpiteistä sekä Suomen omista toimista. Suomen tulisi omalta osaltaan varmistaa, että kaikki potentiaaliset kompensatiomahdollisuudet pidetään avoimina. Suomen kannalta on ehdottoman tärkeää, että metsien hiilinielut pysyvät ainakin optiona myös toisella sopimuskaudella, vaikka niiden käyttö ei ensimmäisellä kaudella käynnistyäkään. Tulisi tehostaa kansainvälisen tason selvitystyötä metsien ja puumateriaalien hiilinielut laajemmasta hyödyntämisestä osana kansainvälisiä joustomekanismeja.

Poliittinen kiistely puutuotteiden hiilivarastojen vaihtoehtoisista raportointiperiaatteista kansallisissa, YK:n Ilmastopöytäkirjan mukaisissa päästöinventaariorissa on nyt jatkunut lähes 10 vuotta, eikä kiistalle vielä näy loppua. On kuitenkin mahdollista, että puutuotteet tulevat myöhemmässä vaiheessa jossain muodossa mukaan myös kansallisiin päästövelvoitteisiin. Tällöin olisi ensiarvoisen tärkeää, että tulevilla velvoitekausilla ei päädyttäisi puun hiilivarastojen liittämiseen kansallisiin päästövelvoitteisiin millään sellaisella laskentaperiaatteella, joka poistaisi bioenergian nykyisen päästöneutraalisuuden tai rankaisisi valtioita puutuotteiden tuonnista.

Puutuotteiden substituutiovaikutukset, toisin sanoen vaikutukset fossiilisiin hiilipäästöihin, ovat täysimääräisinä mukana jo Kioton ilmastopöytäkirjassa. Koska ne kuitenkin ovat epäsuoria ja huonosti tunnettuja, tarvitaan elinkaarityyppisiä tutkimuksia ja selvityksiä todellisten päästöhyötyjen kvantifiointiksi ja mahdollisten politiikkatoimien suunnittelemiseksi. Kattava päästökauppajärjestelmä voi tulevaisuudessa markkinaohjauksen kautta antaa riittävät kannusteet puutuotteille muiden materiaalien ja polttoaineiden korvaajina ja ohjata resurssien ja päästövähennysten optimaaliseen kohdentamiseen.

8 KONSORTION JULKAISUJA

- Ahtikoski, A., Paula Horne, Kai Kokko, Eriika Melkas & Jyri Mononen: "Contract based instruments in integrating biodiversity conservation and carbon sequestration - implications on timber supply and economic costs", artikkelikäsikirjoitus.
- Cowie, A., Pingoud, K., Robertson, K., Schlamadinger, B., and other experts participating in IEA Bioenergy Task 38, 2005. Key terms used in greenhouse gas reporting and accounting for the land use, land use change and forestry sector, 14 p. 11 December 2005. <http://www.joanneum.ac.at/iea-bioenergy-task38/keydefinitions.pdf> . Kyseisestä kannanotosta laajennettu, aikakauslehteen tarkoitettu artikkeli on juuri valmistunut (Cowie, A., Pingoud, K., Schlamadinger, B.), ja se on lähetetty julkaistavaksi *Climate Policy* -lehteen.
- Grönkvist, S., Möllersten, K., Pingoud, K. 2005: Equal opportunity for biomass in greenhouse gas accounting of CO₂ capture and storage: a step towards more cost-effective climate change mitigation regimes. 14 p. Article accepted for publication in *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*.
- Gustavsson, L., Sathre, R., Pingoud, K. 2005. Greenhouse gas benefits of wood substitution: comparing concrete- and wood-framed buildings in Finland and Sweden. IEA Bioenergy Task 38 (Greenhouse Gas Balances of Biomass and Bioenergy Systems), Case studies. 6 p. <http://www.joanneum.ac.at/iea-bioenergy-task38/projects/task38casestudies/>
- Gustavsson, L., Pingoud, K., Sathre R. 2005: Carbon dioxide balance of wood substitution: comparing concrete- and wood-framed buildings. 21 p. Article accepted for publication in *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*.
- Karttunen, K. 2006. Pro gradu, käsikirjoitus. Metsäekonomian laitos, liiketaloustieteellinen metsäekonomia. 68 s.
- Kokko, K., Eriika Melkas & Jyri Mononen. 2006. "EU:n päästökauppa ja hiilinielu", artikkelikäsikirjoitus.
- Melkas, E. 2004. Ohjauskeinoista hiilinielujen edistämiseksi metsissä. *Ympäristöjuridiikka* 1/2004, s. 7-26.
- Melkas, E. 2005. Kohti kansainvälistä ympäristöoikeutta (kirja-arvostelu). Tuomas Kuokkanen & Juhani Parkkari (toim.), *Kansainväliset ympäristösopimukset, Oikeus* 2005:1, s. 98-102.
- Pingoud, K., Schlamadinger, B., Grönkvist, S., Brown, S., Cowie, A., and Marland, G. 2004: Approaches for inclusion of harvested wood products in future GHG inventories under the UNFCCC, and their consistency with the overall UNFCCC inventory reporting framework. 6 p. <http://www.joanneum.ac.at/iea-bioenergy-task38/publications/>
- Pingoud, K., Wagner, F. 2005. Methane emissions from landfills and decay of harvested wood products: the first order decay revisited. 20 p. Article accepted for publication in *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*.
- Pohjola, J. ja Valsta, L. 2006. Impacts of carbon credits on Scots pine and Norway spruce stand management in Finland. Submitted manuscript. 19 p.
- Pohjola, J. Valsta, L. and Mononen, J. 2005. Economic analysis of carbon sequestration on stand and forest level. *International Forestry Review* 7(5):333.
- Pohjola, J., Valsta, L., Mononen, J. 2004. Costs of Carbon Sequestration in Scots Pine Stands in Finland. *Scandinavian Forest Economics* 40:81-90. (Proceedings of the Biennial Meeting of the Scandinavian Society of Forest Economics, Vantaa, Finland, 12th-15th May, 2004)
- Sathre, R., Gustavsson, L., Pingoud, K. 2004. Greenhouse Gas Balance Implications of Recovered Construction Wood in Sweden and Finland, pp. 264-279 in: *European COST E31 Conference Proceedings: Management of Recovered Wood. Recycling, Bioenergy and Other Options*. 22-24 April, Thessaloniki, Greece. University Studio Press.
- Uusivuori, J. and J. Laturi. 2005. An age-class model with silvicultural subsidies and carbon payments. Submitted manuscript.
- Uusivuori, J., J. Kuuluvainen, and J. Lin. 2005 Forest taxation in multiple-stand forestry with in-situ preferences. Submitted manuscript.

- Valsta, L., Pohjola, J., Mononen, J., Pingoud, K.(2005): Suomen metsät ja puutuotteet ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden hallinnassa. Teoksessa Vapaavuori, E. 2005 (ed.) Ilmasto muuttuu – muuttuvatko metsät. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 944, ss.114-123.
- Valsta, L., Mononen, J. and Pohjola, J. (2004): Economics of carbon sequestration with special reference to Finnish private forests. In: Naito, K. (ed.) The role of forests for coming generations – Philosophy and technology for forest resource management. Japan Society of Forest Planning Press. Pp. 55-69.
- Valsta, L., Sedjo, R.A., Pingoud, K. and Gustavsson, L. 2005b. Forests and forest products in climate change mitigation. *International Forestry Review* 7(5):72.
- Valsta, L., Sedjo, R.A., Pingoud, K. and Pohjola, J. 2005c. Economic interactions in forestry carbon sequestration. *International Forestry Review* 7(5):102-103.

HELSINGIN YLIOPISTO - UNIVERSITY OF HELSINKI
METSÄEKONOMIAN LAITOS - DEPARTMENT OF FOREST ECONOMICS
TUTKIMUSRAPORTTEJA - REPORTS

- No: 1. Miikka Pesonen. 1993. Japanese Market for Scandinavian Wood Products. Helsinki. 135 p. ISBN 951-45-6471-5
- No: 2. Heikki Juslin and Miikka Pesonen. 1994. Forest Products Marketing, The Current State of Research and Education. Helsinki. 65 p. ISBN 951-45-6662-9
- No: 3. Pasi Martikainen. 1994. Strategic Marketing Planning in the Finnish Forest Industries A Theoretical Marketing Planning Model and Its Empirical Testing. Helsinki. 176 p. ISBN 951-45-6661-0
- No: 4. Eija Pouta and Mika Rekola. 1994. Valuing Environmental Effects of Forest Regeneration Cuttings: A Theoretical Framework. Helsinki. 19 p. ISBN 951-45-6899-0
- No: 5. Jari Kuuluvainen and Mika Rekola. 1995. Eino Saari - Commemoration seminar the History and Development of Economic Research in Multiple Use Forestry Helsinki. 32 p. ISBN 951-45-6979-2
- No: 6. Timo Hartikainen ja Kaisa Pirkola. 1996. Katsaus aihoiden käyttöön Tanskassa, Saksassa ja Alankomaissa. Helsinki. 63 s. ISBN 951-45-7350-1
- No: 7. Ritva Toivonen. 1996. Raakapuumarkkinoiden ja puun hintaraportoinnin vertailu. Comparative study about roundwood markets and price reporting in selected countries. Helsinki. 45 p. ISBN 951-45-7477-X
- No: 8. Ritva Toivonen. 1996. Raakapuumarkkinat ja markkinainformaatio eri maissa. Helsinki. 62 s. ISBN 951-45-7478-8
- No: 9. Zoltan A. Kosy. 1996. Higher Education in Forestry and Forest Economics in Baltic and Nordic States. Helsinki. 42 p. ISBN 951-45-7527-X
- No: 10. Mika Aho. 1996. Hankintatyön verovapauden lisääminen metsäpolitiikan keinona. Helsinki. 64 s. ISBN 951-45-7545-8
- No: 11. Anne Toppinen. 1997. Incorporating Cointegration Relations in a Short-Run Model of the Finnish Sawlog Market. Helsinki. 26 p. ISBN 951-45-7918-6
- No: 12. Eija Pouta, Mika Rekola, Jari Kuuluvainen Chuan-Zhong Li and Olli Tahvonen. 1998. Referendum Model of Contingent Valuation and the Finnish Natura 2000 Nature Conservation Program: Preliminary analysis. Helsinki. 29 p. ISBN 951-45-8040-0
- No: 13. Kari Hyytiäinen, Olli Tahvonen. 2000. Legal Limits and Recommendations in Timber Production: On the Political Economy of the Forest Rotation Period. Helsinki. 35 p. ISBN 951-45-9261-0
- No: 14. Jussi Uusivuori, Jari Kuuluvainen. 2000. Substitution in Global Wood Imports in the 1990s. Helsinki. 26 p. ISBN 951-45-9438-X
- No: 15. Harri Häkkinen, Mikko Tervo. 2000. Raakapuun ostotoiminta Suomessa. Helsinki. 61 s. ISBN 951-45-9716-8
- No: 16. Jussi Uusivuori, Jari Kuuluvainen and Peter Blandon. 2001. Substitution in Japanese Wood Imports. Helsinki. 25 p. ISBN 952-10-0075-9
- No: 17. Jaana Rekikoski, Jari Kuuluvainen and Anne Toppinen. 2001. Stumpage and delivery trade in the Finnish pulpwood market. Helsinki. 32 p. ISBN 952-10-0076-7
- No: 18. Chuang-Zhong Li, Jari Kuuluvainen, Eija Pouta, Mika Rekola, Olli Tahvonen. 2001. Using choice experiments to value Natura 2000 nature conservation program in Finland. Helsinki. 18p. ISBN 952-10-0192-5

- No: 19. Mika Rekola, Eija Pouta. 2001. Risk perceptions and contingent valuations – conceptual issues and a measurement experiment. Helsinki. 28 p. ISBN 952-10-0274-3
- No: 20. Mika Rekola. 2001. Lexicographic Preferences in Contingent Valuation: A Theoretical Framework with Illustrations. Helsinki. 26 p. ISBN 952-10-0273-5
- No:21. Pouta, E. 2002. Sensitivity to scope in contingent valuation of forest cutting practices. p. 28. ISBN 952-10-0523-8
- No:22. Jari Kuuluvainen, Emmi Lehtonen, Eija Pouta, Mika Rekola and Chuang-Zhong Li. 2002. Etelä-Suomen ja Pohjanmaan metsien suojelun hyötyjen taloudellinen arvottaminen. Alustavia tuloksia. 43p. ISBN 952-10-0588-8
- No:23. Mika Rekola. 2003. Lexicographic Preferences Challenge Contingent Valuation Method: What are They and How to Measure Them?.
- No:24. Tapio Rantala and Eeva Primmer. 2002. Value Positions Based on Forest Policy Stakeholders' Rhetoric in Finland. Helsinki. 23 p. ISBN 952-10-0873-3
- No:25. Jussi Uusivuori and Jari Kuuluvainen. 2003. The Harvesting Decisions when a Standing Forest with Multiple Age-Classes has Value. Helsinki. 38 p. ISBN 952-10-1246-3
- No:26 Jari Kuuluvainen, Ibrahim Kaikai and Jussi Uusivuori. 2003. Empirical Behaviour Models on Timber Supply. Helsinki. 31 p. ISBN 952-10-1563-2
- No:27 Tapio Rantala. 2003. Conceptions of Democracy of Key Informal Interest Groups in Finnish Forest Policy. 21 p. ISBN 952-10-1717-1.
- No:28 Tapio Rantala. 2003. Metsäpolitiikan aatteelliset muutokset 1990-luvulla - vanhaa, uutta ja lainattua. 32 s. ISBN 952-10-1718-X
- No:29 Sami Berghäll. 2004. Relationships in the Finnish Forest Products Industry - Structure of the Perceptions of the Finnish Non-industrial Private Forest Owner regarding Industrial Buyers of Roundwood. Helsinki. 18p. ISBN 952-10-1713-9
- No:30 Sami Berghäll. 2004. Commitment - Towards a Theory of Marketing Exchanges. 25 p. ISBN 952-10-1712-0
- No:31 Sami Berghäll and Martti Makkonen. 2004. A Comparison of the Perceptions of dyadic business relationships in forest and telecommunications industries. 11 p. ISBN 952-10-1715-5
- No:32 Sami Berghäll. 2004. A comparison between relationship marketing and social psychological concepts of commitment. 21 p. ISBN 952-10-171-7
- No:33 Ibrahim M. Kaikai, Jari Kuuluvainen and Jussi Uusivuori. 2004. Optimal Timber Stock in Finnish Nonindustrial Private Forests. 30 p. ISBN 952-10-1948-4.
- No:34 Kuuluvainen, Jari. 2004. Structural Change in US Newsprint Demand: GDP and Price Elasticities. 19 p. ISBN 952-10-2217-5
- No:35 Lehtonen, Emmi, Jari Kuuluvainen, Ville Ovaskainen, Eija Pouta and Mika Rekola. 2005. Influence of logit model assumptions on estimated willingness to pay for forest conservation in southern Finland. 14 p. ISBN 952-10-2291-4
- No:36 Mustonen, Juha. 2005. Measuring return and risk of a joint implementation of bioenergy project by using portfolio approach. 29 p. ISBN 952-10-2362-7.

- No:37 Lehtonen, Emmi, Jari Kuuluvainen, Chuan-Zhong Li, Eija Pouta and Mika Rekola. 2005. Preference uncertainty in contingent valuation: the case of forest conservation in southern Finland. 21 p. ISBN 952-10-2462-3.
- No:38 Uusivuori, Jussi, Jari Kuuluvainen and Jia Lin. 2006. Forest Taxation in Multiple-Stand Forestry with in Situ Preferences. p. 35 ISBN 952-10-2952-8
- No:39 Lauri Valsta, Anssi Ahtikoski, Paula Horne, Kalle Karttunen, Kai Kokko, Eriika Melkas, Jyri Mononen, Kim Pingoud, Johanna Pohjola ja Jussi Uusivuori. 2006. Puu ilmastonmuutoksen hillitsijänä. LOPPURAPORTTI, Ympäristöklusterin tutkimusohjelman konsortio ”Suomen metsät ja puutuotteet ilmastonmuutoksen torjunnassa – nielut ja substitootit sekä niiden taloudellinen ja oikeudellinen ohjaus”. 57 s. ISBN 952-10-3022-4