

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Teknillinen tiedekunta

Ympäristötekniikan koulutusohjelma

*Laura Lakanen*

**LUONNON KASVIHUONEKAASULÄHTEIDEN JA –NIELUJEN  
LASKENTA MAAKUNNALLISELLA TASOLLA**

Työn tarkastajat: TkT, professori Lassi Linnanen

DI, nuorempi tutkija Sanni Väisänen



## **TIIVISTELMÄ**

Lappeenrannan teknillinen yliopisto  
Teknillinen tiedekunta  
Ympäristötekniikan koulutusohjelma

Laura Lakanen

### **Luonnon kasvihuonekaasulähteiden ja –nielujen laskenta maakunnallisella tasolla**

Diplomityö

2011

87 sivua, 14 kuvaa ja 26 taulukkoa.

Tarkastajat: TkT, professori Lassi Linnanen  
DI, nuorempi tutkija Sanni Väisänen

Hakusanat: ilmastonmuutos, kasvihuonekaasu, hiilinielu  
Keywords: climate change, green house gas, carbon sink

Kiihtyvän kasvihuoneilmion aiheuttama maailmanlaajuinen ilmastonmuutos on yksi aikamme suurimmista haasteista. Kasvihuoneilmion voimistuminen on ihmistoiminnan seurausta, mutta myös luonnon omat prosessit toimivat kasvihuonekaasujen lähteinä ja nieluina. Tässä työssä on selvitetty luonnon kasvihuonekaasulähteiden ja –nielujen määrää ja merkitystä maakunnallisella tasolla. Lisäksi työssä on esitetty maakunnallisia toimenpide-ehdotuksia kasvihuonekaasunielujen ylläpitämiseksi ja lisäämiseksi. Esi-merkkinä työssä on käytetty Keski-Suomen maakuntaa ja laskenta on kohdistettu vuoteen 2008.

Keski-Suomessa luonnon prosessit toimivat vuonna 2008 nettoinieluna, jonka suuruus oli 1 813 701 tonnia hiilidioksidiekvivalenttia. Eniten kasvihuonekaasuja sitoi puusto 3 019 360 hiilidioksidiekvivalenttitonnin nielulla. Laskennassa huomioitiin hiilidioksidi, metaani ja dityppioksidi. Laskenta suoritettiin soveltuvilta osin kansallisen kasvihuonekaasuraportoinnin periaatteiden mukaisesti sekä tutkimuskirjallisuuteen perustuvien päästö- ja nielukertoimien avulla.

Tämä työ osoittaa luonnon nielujen olevan tärkeässä roolissa ilmastonmuutoksen hillitsemisessä. Nielujen säilyttämiseen ja lisäämiseen tähtäävillä toimenpiteillä ilmakehän kasvihuonekaasupitoisuuksiin voidaan vaikuttaa kustannustehokkaasti sekä maailmanlaajuisella että alueellisella tasolla.



## **ABSTRACT**

Lappeenranta University of Technology  
Faculty of Technology  
Degree Programme of Environmental Technology

Laura Lakanen

### **Calculation of Natural Greenhouse Gas Emissions and Sinks at Regional Level**

Master's Thesis

2011

87 pages, 14 figures and 26 tables.

Examiners: Professor, D.Sc. Lassi Linnanen  
Junior Researcher, M.Sc. (Tech.) Sanni Väisänen

Keywords: climate change, greenhouse gas, carbon sink

Global climate change, driven by accelerating greenhouse effect, is one of the major challenges of our time. Strengthened greenhouse effect is due to human activities, but there are also natural processes, which function as sources and sinks of greenhouse gases. This study investigated the amount and importance of natural greenhouse gas sources and sinks at regional level. Furthermore, the study gives regional proposals for action to maintain and increase natural sinks. The calculation is based on the data from the region of the Central Finland for the year 2008.

In Central Finland natural processes were a net sink of 1 813 701 tonnes of carbon dioxide equivalents in 2008. The major sink was the biomass of the forests with the sink of 3 019 360 tonnes of carbon dioxide equivalents. Carbon dioxide, methane and nitrous oxide were included in calculation. Calculation was done according to guidelines of national greenhouse gas reporting and besides, emission and sink factors based on research literature were used.

This thesis shows that natural sinks have an important role in climate change mitigation. Protecting the carbon sinks and increasing them are cost-effective means to reduce greenhouse gases from atmosphere both globally and regionally.



## ALKUSANAT

Tämä on Lappeenrannan teknillisessä yliopistossa toteutettu diplomityö, joka on tehty Keski-Suomen elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksen toimeksiannosta. Työn tarkastajina ovat toimineet tekniikan tohtori, professori Lassi Linnanen ja diplomi-insinööri, nuorempi tutkija Sanni Väisänen Lappeenrannan teknillisestä yliopistosta. Ohjaajina toimivat professori Lassi Linnanen sekä suunnittelija Hannu Onkila Keski-Suomen elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksesta.

Kiitokset Hannulle tuesta ja avusta työn aikana. Suuret kiitokset myös kaikille niille henkilöille sekä yritysten ja yhteisöjen edustajille, jotka ovat antaneet tietojaan laskennassa käytettäväksi, vastanneet lukuisiin kysymyksiini ja antaneet kullannarvoisia kommentteja.

Kiitos Jonnelle kärsivällisyydestä sekä erityiskiitokset Empalle, joka ei ole välittänyt työstäni tuon taivaallista vaan on kuitannut sen lukuisilla hännänheilutuksilla.

Jyväskylässä 29.3.2011

Laura Lakanen





## SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

ALKUSANAT

KUVALUETTELO

TAULUKKOLUETTELO

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

<b>1 JOHDANTO .....</b>	<b>12</b>
1.1 Työn tausta .....	12
1.2 Työn tavoitteet .....	14
1.3 Työn rajaukset ja rakenne .....	15
<b>2 ILMASTONMUUTOS JA KASVIHUONEKAASUT .....</b>	<b>16</b>
2.1 Ilmastonmuutoksen periaate .....	16
2.2 Merkittävimmät kasvihuonekaasut .....	17
2.3 Ilmastonmuutoksen vaikutukset .....	18
2.4 Kansainväliset ilmastopöytäkirjat .....	20
2.4.1 Niihet Kioton pöytäkirjassa .....	22
2.4.2 LULUCF .....	23
2.4.3 Suomen päästöt ja päästövähennysvelvoite .....	24
<b>3 LUONNON KASVIHUONEKAASULÄHTEET JA -NIIHET .....</b>	<b>26</b>
3.1 Hiilen kierto .....	26
3.2 Typen kierto .....	27
3.3 Metsät ja metsämaa .....	28
3.4 Suot .....	30
3.5 Vesistöet .....	32
3.6 Viljelys- ja ruohikkomaat .....	34
<b>4 TUTKIMUSMENETELMÄ .....</b>	<b>35</b>
4.1 Kasvihuonekaasujen arviointijärjestelmä .....	35
4.2 Aikaisemmat tutkimukset .....	36

4.3 Laskennan perustiedot.....	36
<b>5 LUONNON KASVIHUONEKAASULÄHTEET JA -NIELUT KESKI-SUOMESSA.....</b>	<b>38</b>
5.1 Tutkimusalueen kuvaus .....	38
5.2 Metsät ja metsämaa .....	40
5.3 Luonnontilaiset suot .....	46
5.4 Turvetuotantoalueet .....	49
5.4 Vesistöt .....	50
5.5 Viljelysmaat.....	53
5.6 Ruohikkomaat .....	58
<b>6 KASVIHUONEKAASUTASE KESKI-SUOMESSA .....</b>	<b>60</b>
6.1 Luonnon kasvihuonekaasutase Keski-Suomessa .....	60
6.2 Keski-Suomen kasvihuonekaasutase .....	65
6.3 Laskentaan liittyviä epävarmuustekijöitä.....	66
<b>7 NIELUJEN TULEVAISUUS.....</b>	<b>69</b>
7.1 Toimenpiteitä nielujen säilyttämiseksi ja lisäämiseksi.....	69
7.2 Kansalliset ohjauskeinot.....	71
7.3 Nielusta lähteeksi - ilmastonmuutoksen palautekytkennät .....	72
<b>8 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET .....</b>	<b>74</b>

## LÄHDELUETTELO

## KUVALUETTELO

- Kuva 1** Havaittuja muutoksia vuoden 1850 jälkeen ilmaistuna suhteessa kauden 1961–1990 keskiarvoon: a) maapallon keskilämpötila, b) valtamerien pinnankorkeus ja c) pohjoisen pallonpuoliskon maaliskuun lumipeitteen laajuus
- Kuva 2** Kasvihuonekaasupäästöt ja -poistumat maankäyttö, maankäytön muutos ja metsätalous (LULUCF)-sektorilla Suomessa 1990–2008
- Kuva 3** Suomen kasvihuonekaasupäästöt vuosina 1990–2008
- Kuva 4** Metsien hiilipäästöt ja -nielut Suomessa vuonna 2006
- Kuva 5** Keski-Suomen kunnat ja asukasluvut
- Kuva 6** Luonnon kasvihuonekaasulähteet ja -nielut Keski-Suomessa vuonna 2008
- Kuva 7** Eri kasvihuonekaasujen päästöt ja nielut sektoreittain Keski-Suomessa vuonna 2008
- Kuva 8** Metsien kasvihuonekaasutase Keski-Suomessa vuonna 2008
- Kuva 9** Metsien kasvihuonekaasulähteet ja nielut
- Kuva 10** Järvien kasvihuonekaasutase Keski-Suomessa vuonna 2008
- Kuva 11** Luonnontilaisten soiden kasvihuonekaasutase Keski-Suomessa vuonna 2008
- Kuva 12** Viljelys- ja ruohikkomaiden kasvihuonekaasutase Keski-Suomessa vuonna 2008
- Kuva 13** Keski-Suomen kasvihuonekaasutase vuonna 2008
- Kuva 14** Kasvihuonekaasulähteet ja -nielut Keski-Suomessa vuonna 2008

## TAULUKKOLUETTELO

<b>Taulukko 1</b>	Kioton pöytäkirjan kasvihuonekaasujen elinikä ja lämmitys-potentiaali
<b>Taulukko 2</b>	Keski-Suomen kulutusperusteiset kasvihuonekaasupäästöt vuonna 2008 päästölähteittäin
<b>Taulukko 3</b>	Keski-Suomen kokonaismaa-ala ja metsätalousmaan pinta-ala maatyypeittäin
<b>Taulukko 4</b>	Puuston vuotuinen kasvu, tilavuus ja poistuma puulajeittain metsä- ja kitumaalla
<b>Taulukko 5</b>	Ojitettujen soiden hiilidioksidi- ja dityppioksidipäästöjen laskennassa käytetyt päästökertoimet
<b>Taulukko 6</b>	Keski-Suomen ojitetut suot turvekangastyypeittäin
<b>Taulukko 7</b>	Keski-Suomen metsien ja metsämaan kasvihuonekaasupäästöt ja -nielut vuonna 2008
<b>Taulukko 8</b>	Luonnontilaisten soiden kasvihuonekaasupäästöt
<b>Taulukko 9</b>	Keski-Suomen soiden ravinteisuus ja puustoisuus
<b>Taulukko 10</b>	Luonnontilaisten soiden kasvihuonekaasutase Keski-Suomessa vuonna 2008
<b>Taulukko 11</b>	Turvetuotantoalueiden päästökertoimet
<b>Taulukko 12</b>	Turvetuotantoalueiden kasvihuonekaasutase Keski-Suomessa vuonna 2008
<b>Taulukko 13</b>	Järvien metaanipäästöt
<b>Taulukko 14</b>	Järvien hiilidioksidipäästöt ja sedimentaationopeus
<b>Taulukko 15</b>	Keski-Suomen järvien pinta-alat ja rantaviivan pituudet
<b>Taulukko 16</b>	Keski-Suomen järvien metaanipäästöt
<b>Taulukko 17</b>	Keski-Suomen järvien kokojakauma, hiilidioksidipäästöt ja sedimentaatio
<b>Taulukko 18</b>	Keski-Suomen järvien kasvihuonekaasutase
<b>Taulukko 19</b>	Maatalousmaan käyttömuodot Keski-Suomessa vuonna 2008
<b>Taulukko 20</b>	Tärkeimpien viljelyskasvien viljelypinta-alat Keski-Suomessa vuonna 2008
<b>Taulukko 21</b>	Omenan ja viinimarjojen viljelyalat Keski-Suomessa vuonna

	2008
<b>Taulukko 22</b>	Laskentakertoimet omenapuille ja viinimarjapensaille
<b>Taulukko 23</b>	Päästöt orgaanisilta viljelymailta
<b>Taulukko 24</b>	Keski-Suomen viljelymaiden kasvihuonekaasutase
<b>Taulukko 25</b>	Keski-Suomen ruohikkomaiden kasvihuonekaasutase
<b>Taulukko 26</b>	Luonnon kasvihuonekaasupäästöt ja -nielut Keski-Suomessa vuonna 2008

## SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

### Yhdisteet

C	hiili
CH <sub>4</sub>	metaani
CO	hiilimonoksidi
CO <sub>2</sub>	hiilidioksidi
H	vety
N <sub>2</sub>	typpi
N <sub>2</sub> O	dityppioksidi eli typpioksiduuli eli ilokaasu
NH <sub>3</sub>	ammoniakki
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	ammoniumtyppi
NO <sub>x</sub>	typen yhdisteet
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	nitriitti
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	nitraatti
O <sub>3</sub>	otsoni
SF <sub>6</sub>	rikkiheksafluoridi

### Lyhenteet

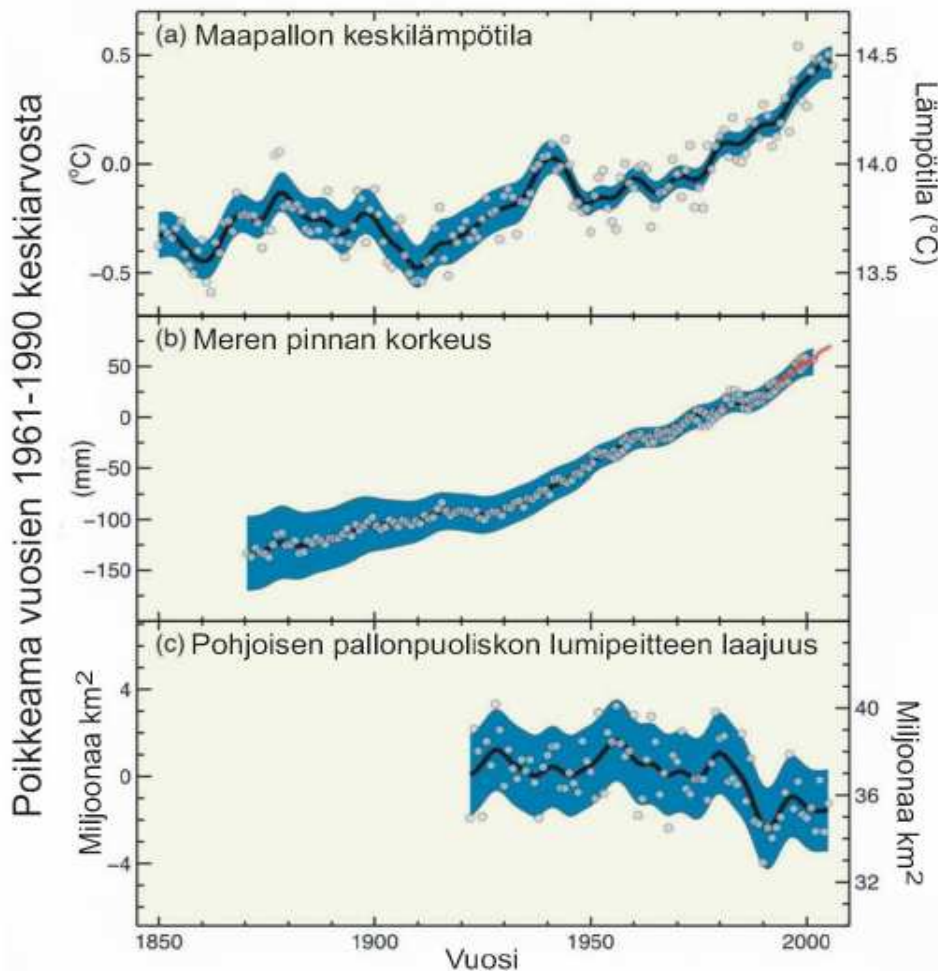
a	Vuosi
°C	Celciusaste
CDM	Clean Development Mechanism; puhtaan kehityksen mekanismi
CLC	Corine Land Cover; Ympäristöhallinnon ylläpitämä paikkatietoaineisto, joka kuvaa maankäyttöä ja maanpeitettä
CO <sub>2</sub> -ekv.	Hiilidioksidiekvivalentti
DIC	Dissolved inorganic carbon; liuennut epäorgaaninen hiili
ECCP	European Climate Change Programme; Euroopan ilmastonmuutosohjelma
ELY	Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus
ET	Emission Trading; päästökauppa
EU	Euroopan Unioni

EU-15	Euroopan Unionin 15 alkuperäistä jäsenmaata (Alankomaat, Belgia, Espanja, Irlanti, Iso-Britannia, Italia, Itävalta, Kreikka, Luxemburg, Portugali, Ranska, Ruotsi, Saksa, Suomi, Tanska)
F-kaasut	Yhteinen nimitys HFC-yhdisteille, PFC-yhdisteille ja rikkiheksafluoridille
GWP100	Global warming potential; globaalisen lämmityspotentiaalin kerroin, jossa tarkastelujakso 100 vuotta. CO <sub>2</sub> = 1
HFC	Fluorihiihivety
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change; hallitustenvälinen ilmastonmuutospaneeli
JI	Joint Implementation; yhteistoteutus
KEMERA	Kestävän metsätalouden rahoituslaki
LULUCF	Land Use, Land Use Change and Forestry; maan käyttö, maan käytön muutos ja metsätalous –sektori
METLA	Metsätalouden tutkimuslaitos
NMVOG	Non-methane volatile organic compounds; muut haihtuvat orgaaniset yhdisteet (ei metaani)
PFC	Perfluorihiihivety
Pg	Petagramma (10 <sup>9</sup> tonnia)
ppm	Parts per million; miljoonasosa
SRES	Special Report on Emission Scenarios; IPCC:n päästöskenaarioraportti
Tg	Teragramma (10 <sup>6</sup> tonnia)
Tike	Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus
UNEP	United Nations Environment Programme; Yhdistyneiden kansakuntien ympäristöohjelma
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change; YK:n ilmastonmuutosta koskeva puitesopimus
VAHTI	Ympäristönsuojelun tietojärjestelmä
VMI10	Valtakunnan metsien kymmenes inventointi, toteutettu vuosina 2004 – 2006
VOC	Volatile organic compound; haihtuvat orgaaniset yhdisteet
WMO	World Meteorological Organization; Maailman ilmatieteen järjestö
YK	Yhdistyneet kansakunnat

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Työn tausta

Maapallon lämpötila muuttuu nykyään nopeammin kuin luonnollisesti olisi mahdollista. Ihminen on toimillaan lisännyt niin kutsuttujen kasvihuonekaasujen määrää ilmakehässä ja voimistanut näin maapallon lämpenemistä kiihdyttävää kasvihuoneilmiötä. Ihmisen toiminnasta johtuvat maailmanlaajuiset kasvihuonekaasupäästöt ovat kasvaneet esiteollisesta ajasta lähtien ja esimerkiksi vuosien 1970 ja 2004 välillä niiden määrä kasvoi 70 %. Hallitustenvälisen ilmastopaneelin (IPCC) uusimman arviointiraportin mukaan maapallon keskilämpötila on kohonnut 0,74 astetta viimeisimmän sadan vuoden aikana ja samalla esimerkiksi merenpinta on noussut ja jää- ja lumipeitteet ovat vähentyneet (kuva 1). (IPCC 2007a, s. 5)





**Kuva 1.** Havaittuja muutoksia vuoden 1850 jälkeen ilmaistuna suhteessa kauden 1961–1990 keskiarvoon: a) maapallon keskilämpötila, b) valtameren pinnankorkeus (mustalla vedenkorkeuden mittausasemien tiedoista, punaisella satelliittihavainnoista) ja c) pohjoisen pallonpuoliskon maaliskuun lumipeitteen laajuus. Tasoitetut käyrät kuvaavat vuosikymmenten välistä vaihtelua, vaaleat ympyrät yksittäisten vuosien arvoja ja sinisellä varjostettu alue kertoo kunkin aikasarjan arvioidun epävarmuusvälin. (Ruosteenoja 2007, s. 8)

Kasvihuoneilmiö on luonnollinen ja maapallon elämälle välttämätön prosessi, sillä ilman kasvihuoneilmiötä maapallon pintalämpötila olisi noin -18 astetta nykyisen 15 asteen sijasta. Kasvihuoneilmiö syntyy, kun kasvihuonekaasut päästävät auringosta tulevaa lyhytaaltoista säteilyä maan pinnalle, mutta pidättävät maapallolta säteilevää pitkäaaltoa lämpösäteilyä. Kasvihuonekaasuiksi kutsutaan sellaisia ilmakehän kaasuja, jotka aiheuttavat kasvihuoneilmiön. Merkittävin maapalloa lämmittävä kaasu on vesihöyry, mutta sen pitoisuuksiin eivät ihmisen toimet suoranaisesti vaikuta. Merkittävimmät ihmisen toiminnasta aiheutuvat kasvihuonekaasut ovat hiilidioksidi ( $\text{CO}_2$ ), metaani ( $\text{CH}_4$ ), dityppioksidi ( $\text{N}_2\text{O}$ ) sekä halogenoidut hiilivedyt (ns. F-kaasut) eli HFC-yhdisteet, PFC-yhdisteet ja rikkiheksafluoridi ( $\text{SF}_6$ ). (Lyytimäki & Hakala 2008, s. 88, 89)

Fossiilisten polttoaineiden käytön ja metsien hävittämisen aiheuttamista hiilidioksidipäästöistä alle puolet jäävät ilmakehään ja toimivat kasvihuoneilmiötä vahvistaen. Loput päästöistä sitoutuvat meriin, maaekosysteemien biomassaan ja maaperään erilaisilla aikaskaaloilla. (Le Quéré ym. 2009) YK:n ilmastomuutosta koskevan puitesopimuksen mukaan nieluilla tarkoitetaan mitä tahansa prosessia, toimintoa tai mekanismia, joka sitoo tai poistaa kasvihuonekaasua, aerosolia tai kasvihuonekaasun esiastetta ilmakehästä (UNFCCC 1992, s. 4). Suomessa metsät ovat suurin hiilinielu, jonka vaikutus perustuu pääasiassa elävän biomassan yhteyttämisessä tapahtuvaan hiilidioksidin sitoutumiseen. Myös kuolleen orgaanisen aineksen varastoituminen ja metsien mineraalimaaperä sitovat hiilidioksidia. (Pipatti ym. 2009, s. 78, 79) Muita tärkeitä luonnon kasvihuonekaasunieluja ovat vesistöt ja luonnontilaiset suot. Soiden nieluvaikutus riippuu suo- ja kasvillisuustyypistä sekä vallitsevista sääoloista, sillä etenkin kuivien jaksojen esiinty-

minen on merkittävä hiilen varastoitumista turpeeseen säätelevä tekijä. (Riutta 2008, s. 11; Saarnio ym. 2007, s. 21) Myös vesistöjen kohdalla hiilen sitoutuminen riippuu vesistön ominaisuuksista, kuten pinta-alasta, ravinteisuudesta ja valuma-alueelta tulevien ravinteiden määrästä (Rantakari 2010, s. 32).

Luonnon omat prosessit toimivat nieluvaikutustensa lisäksi kasvihuonekaasujen lähteenä. Suurimmat päästöt vapautuvat kuivatettujen turvemaiden maaperästä sekä maatalousmailta ja laidunalueilta. Pienempiä päästöjä vapautuu myös turvetuotantoalueilta, metsäpaloissa sekä metsien lannoituksen ja viljelysmaiden kalkituksen yhteydessä. Myös orgaaninen metsämaa on päästölähde. (Pipatti ym. 2009, s. 79)

Maa- ja metsätaloudessa luonnon hiilinielujen merkitys on huomattava. Vuosien 2000–2008 välisenä aikana fossiilisten polttoaineiden poltosta ja maankäytön muutoksista on vapautunut hiilidioksidipäästöjä ilmakehään keskimäärin 9,1 Pg vuodessa. Vastaavasti metsien, muun kasvillisuuden, maaperän ja merten sitoma hiilen määrä on ollut noin 5,1 Pg hiiltä vuodessa, mikä vastaa 56 % päästöistä. (Le Quéré ym. 2009) Nieluihin kohdistuvilla toimenpiteillä voidaan vaikuttaa merkittävästi ilmakehän kasvihuonekaasupitoisuuksiin, minkä vuoksi nielut on sisällytetty osaksi ilmastonmuutoksen hidastamiseen pyrkivää kansainvälistä toimintaa.

## **1.2 Työn tavoitteet**

Tämän työn tavoitteena on selvittää luonnon kasvihuonekaasulähteiden ja -nielujen merkitys maakunnallisella tasolla. Esimerkkinä toimii Keski-Suomen maakunta, josta selvitetään luonnon kasvihuonekaasulähteet ja -nielut sekä määritetään niiden vapauttamien ja sitomien kasvihuonekaasujen määrät. Keski-Suomen ihmisperäisiä kasvihuonekaasupäästöjä on aiemmin tarkasteltu Keski-Suomen ympäristökeskuksen toteuttamassa maakunnallisessa ympäristöanalyysissä (Onkila ym. 2008) sekä Huikurin (2010) pro gradu-työssä. Tämän työn tarkoituksena on täydentää päästöinventaarioita ja mahdollistaa kokonaiskäsityksen muodostamisen alueen kasvihuonekaasupäästöjen määrästä. Tavoitteena on myös koota yhteen ajantasaista tutkimustietoa luonnon kasvihuonekaasulähteistä ja -nieluista sekä tuoda luonnon nieludynamiikkaa esille osana

ilmastonmuutoksen hillintää. Lisäksi työssä esitetään maakunnallisia toimenpide-ehdotuksia kasvihuonekaasunielujen ylläpitämiseksi ja lisäämiseksi sekä pohditaan nielujen merkitystä tulevaisuudessa.

Diplomityö toteutetaan yhteistyössä Keski-Suomen elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksen (ELY) kanssa maakunnalliseen kasvihuonekaasuinventaarioon liittyen. Työn ohjaajina ovat toimineet professori Lassi Linnanen Lappeenrannan teknillisestä yliopistosta sekä suunnittelija Hannu Onkila Keski-Suomen ELY-keskuksesta. Työn tarkastajina toimivat professori Lassi Linnanen ja nuorempi tutkija Sanni Väisänen.

### **1.3 Työn rajaukset ja rakenne**

Kasvihuonekaasujen osalta tarkastelu on rajattu hiilidioksidiin, metaaniin ja dityppioksidiin. Keski-Suomen luonnon kasvihuonekaasupäästöjen ja -nielujen laskennassa on käytetty vuoden 2008 lähtötietoja, jotta vertailu aiempiin tutkimuksiin olisi mahdollista. Laskenta on tehty hallitusten välisen ilmastonmuutospaneelin IPCC:n ohjeistuksen mukaisesti noudattaen soveltuvilta osin kansallisia kasvihuonekaasuraportoinnin periaatteita (IPCC 2003, IPCC 2006, Statistics Finland 2010). Puuston, metsämaan ja turvetuotantoalueiden osalta laskennassa on käytetty kansallisen kasvihuonekaasulaskennan mukaisia kertoimia, jotka ovat yhdenmukaiset IPCC:n ohjeistuksen kanssa. Ojittamattomien soiden ja järvien osalta on käytetty tutkimuskirjallisuuteen perustuvia kertoimia.

Työ koostuu laajasta taustoittavasta teoriaosuudesta sekä soveltavasta tutkimusosasta. Teoriaosassa luodaan perusta tutkimukselle perehtymällä ilmastonmuutokseen ja luonnon kasvihuonekaasulähde- ja nielumekanismeihin. Kappaleessa 2 käsitellään kasvihuoneilmiötä ja ilmastonmuutosta sekä niiden maailmanlaajuisia vaikutuksia ja hillitsemiskeinoja. Kappaleessa kolme luodaan katsaus hiilen ja typen kiertoihin luonnossa ja perehdytään luonnon kasvihuonekaasulähteisiin ja –nieluihin, sekä niiden merkitykseen ilmastonmuutoksessa. Työn soveltava osuus alkaa kappaleesta neljä, jossa esitellään yleisiä kasvihuonekaasujen arviointimenetelmiä, aiheeseen liittyviä aikaisempia tutkimuksia ja laskennassa käytettyä aineistoa. Kappale viisi sisältää varsinaisen laskennallisen osan, jossa tarkastellaan Keski-Suomen luonnon lähteitä ja nieluja eri maankäyttö-

muodoittain. Laskennan tulosten yhteenveto esitetään kappaleessa kuusi, jossa tarkastellaan myös laskennan epävarmuustekijöitä. Kappaleessa seitsemän pohditaan nielujuen tulevaisuutta ilmaston muuttuessa ja esitetään sekä maakunnallisia että kansallisia ohjauskeinoja ja toimenpiteitä nielujuen säilyttämiseksi ja lisäämiseksi. Työn yhteenveto ja johtopäätökset esitetään kappaleessa kahdeksan.

## **2 ILMASTONMUUTOS JA KASVIHUONEKAASUT**

### **2.1 Ilmastonmuutoksen periaate**

Ilmastonmuutoksella viitataan mihin tahansa ilmaston muuttumiseen ajan myötä joko luonnollisten vaihteluiden tai ulkoisten tekijöiden seurauksena. Ulkoiset tekijät voivat olla joko luonnollisia, kuten tulivuorten purkaukset ja auringon säteily määrän muutokset, tai ihmisen aiheuttamia esimerkiksi metsänhävityksen tai fossiilisten polttoaineiden poltossa vapautuvien hiilidioksidipäästöjen muodossa (IPCC 2007a, s. 943, 945). Viimeisen viidenkymmenen vuoden aikana kiihtynyt ilmaston lämpeneminen on hyvin todennäköisesti seurausta ihmisen toiminnan aiheuttamista lisääntyneistä kasvihuonekaasupäästöistä (IPCC 2007a, s. 10).

Kasvihuonekaasujen lisääntyminen ilmakehässä muuttaa maapallon säteilytasapainoa. Tasapainotilassa maan pinnalle tulee yhtä paljon säteilyenergiaa, kuin sieltä lähtee. Ilmakehän kasvihuonekaasut pidättävät maapallolta lähtevää pitkäaaltoista lämpösäteilyä, mutta eivät estä auringosta tulevaa säteilyä, mikä aiheuttaa lämpötilan nousua maapallolla. (IPCC 2007a, s. 97) Säteilytasapainoon vaikuttavat kasvihuonekaasujen lisäksi useat tekijät, joiden toimintamekanismit ja vaikutukset ovat vielä osin epäselviä. Pilvet, stratosfäärin otsonikato ja aerosoli- eli pienhiukkaset heikentävät kasvihuoneilmiötä pidättämällä ja heijastamalla säteilyä takaisin avaruuteen. Alailmakehän otsoni ja nokihiukkaset sen sijaan lämmittävät ilmakehää. (Lyytimäki & Hakala 2008, s. 99, 100)

Kasvihuonekaasupäästöjen vaikutusta ilmastoon tulevaisuudessa voidaan arvioida erilaisten ilmastomallien avulla. IPCC:n laatimat ilmastoskenaariot perustuvat erilaisiin sosioekonomisiin lähtöolettamuksiin sekä ympäristö- ja ilmastotekijöihin, mikä johtaa

hyvin vaihteleviin tulevaisuudennäkymiin. Kaikkien mallien perusteella on kuitenkin varmaa, että ilmasto tulee lämpenemään jo seuraavien vuosikymmenien aikana, joskin muutoksen suuruus on hyvin epävarmaa ja riippuu monista eri tekijöistä. Viimeisimmät, niin sanotut SRES-skenaariot (Special report on Emission Scenarios) ennakoivat ilmaston lämpenevän seuraavan kahden vuosikymmenen aikana noin 0,2 °C vuosikymmenessä. Vaikka kaikkien kasvihuonekaasujen ja pienhiukkasten pitoisuudet olisi vakautettu vuoden 2000 tasolle, ilmasto lämpenisi yhä noin 0,1 °C vuosikymmentä kohti. Vuoden 2030 jälkeen lämpenemisennuste riippuu yhä selvemmin päästöskenaarion valinnasta. Vuoteen 2100 mennessä maailma keskilämpötilan ennustetaan nousevan 1,1–6,4 °C. Pitkällä aikavälillä maaekosysteemien ja valtamerien hiilidioksidin sidonta pienenee lämpenemisen myötä, jolloin ilmakehään päätyvien ihmisperäisten päästöjen osuus kasvaa. (IPCC 2007a, s. 12, 13)

## **2.2 Merkittävimmät kasvihuonekaasut**

Kasvihuonekaasuja ovat kaikki kaasumaiset yhdisteet, jotka vaikuttavat kasvihuoneilmiöön. Merkittävin kasvihuonekaasu on vesihöyry, jonka pitoisuuksiin ihminen vaikuttaa lähinnä välillisesti. Tärkeimmät ihmisen toiminnasta aiheutuvat kasvihuonekaasut ovat hiilidioksidi (CO<sub>2</sub>), metaani (CH<sub>4</sub>), dityppioksidi (N<sub>2</sub>O) sekä halogenoidut hiilivedyt (ns. F-kaasut) eli HFC-yhdisteet, PFC-yhdisteet ja rikkiheksafluoridi (SF<sub>6</sub>). (Lyytimäki & Hakala 2008, s. 88)

Kasvihuonekaasun vaikutus ilmastoon riippuu sen pitoisuudesta ja eliniästä ilmakehässä sekä voimakkuudesta eli globaalisesta lämmityspotentiaalista. Globaalinen lämmityspotentiaali (ns. GWP100-kerroin) kuvaa kasvihuonekaasun sadan vuoden aikana aiheuttamaa lämmitysvaikutusta verrattuna hiilidioksidiin, jonka GWP-kerroin on 1. Metaanin GWP100-kerroin on 25 ja dityppioksidin 298. Voimakkain kasvihuonekaasu on rikkiheksafluoridi, jonka globaalinen lämmityspotentiaali on 22 800. (IPCC 2007a, s. 212) Ihmisperäisistä kasvihuonekaasuista hiilidioksidi on kuitenkin merkittävin kasvihuonekaasu huolimatta sen pienestä lämmityspotentiaalista, sillä hiilidioksidia on ilmakehässä yli sata kertaa enemmän kuin muita kasvihuonekaasuja yhteensä (IPCC 2007a, s. 141). Kioton pöytäkirjassa mainittujen kasvihuonekaasujen eliniät ja lämmityspotentiaalit on

esitetty taulukossa 1. Globaalisen lämmityspotentiaalikerroimen avulla kasvihuonekaasut voidaan muuttaa hiilidioksidiekvivalenteiksi (CO<sub>2</sub>-ekv.) ja saada näin helposti yhteenlaskettavaan ja vertailtavaan muotoon (IPCC 2007a, s. 210).

**Taulukko 1.** Kioton pöytäkirjan kasvihuonekaasujen elinikä ja lämmityspotentiaali (mukaillen IPCC 2007a, s. 212, 213)

Kaasu	Elinikä (vuosia)	GWP 100 vuotta
Hiilidioksidi	50–200	1
Metaani	12	25
Dityppioksidi	114	298
HFC-yhdisteet	1,4–270	124–14 800
PFC-yhdisteet	1000–50 000	7390–12 200
Rikkiheksafluoridi	3 200	22 800

Useat yhdisteet vaikuttavat epäsuorasti kasvihuoneilmiön voimistumiseen esimerkiksi otsonin (O<sub>3</sub>) muodostuksen tai hajottamisen kautta sekä vesihöyryn vaikutuksia vahvistamalla. Tärkeimmät epäsuorasti vaikuttavat kasvihuonekaasut ovat hiilimonoksidi (CO), muut kuin metaania sisältävät haihtuvat orgaaniset yhdisteet (NMVOC), typen oksidit (NO<sub>x</sub>), halonit ja vety (H<sub>2</sub>). (IPCC 2007a, s. 214, 215)

## 2.3 Ilmastonmuutoksen vaikutukset

Ilmaston lämpeneminen aiheuttaa monitahoisia muutoksia maapallon sääilmiöissä ja fysikaalisissa prosesseissa vaikuttaen samalla muun muassa ekosysteemeihin, ravinnon ja puhtaan veden saatavuuteen sekä ihmisten terveyteen. Suurin osa vaikutuksista vaihtelee alueellisesti ja monet vaikutukset ovat yhä epäselviä erilaisten palautekytkentöjen takia. Myös tulevaisuudessa vapautuvien kasvihuonekaasujen määrän epävarmuus, ilmaston luonnollinen vaihtelu ja ilmastomallien epätarkkuus vaikuttavat tulevaisuuden ilmastoennusteisiin (Pipatti ym. 2009, s. 159). Tässä luvussa käsitellään Hallitustenvälisen ilmastopaneelin IPCC:n viimeisimmässä ilmastonmuutosta koskevassa raportissa esitettyjä vaikutuksia (IPCC 2007a, s. 5-17, IPCC 2007b).

Uusimmat skenaariot ennakoivat ilmaston lämpenevän seuraavan kahden vuosikymmenen aikana noin 0,2 astetta vuosikymmenessä. Jos kasvihuonekaasujen päästöt jatkuvat nykytasolla tai sen yläpuolella, lämpeneminen kiihtyy entisestään. Ihmisen aiheuttama lämpeneminen ja merenpinnan nousu tulevat jatkumaan vuosisatoja, vaikka kasvihuonekaasujen pitoisuudet vakautettaisiin johtuen ilmastoprosessien aikaskaaloista ja palautemekanismeista. (IPCC 2007a, s. 12)

Lumen ja jään peittämät alueet pienenevät ilmaston lämpenemisen myötä. Myös iki-roudan sulavan pintakerroksen paksuuntuminen ja merijään kutistuminen jatkuvat. Useissa tulevaisuuden skenaarioissa arvioidaan, että Pohjoisen jäämeren jääpeite sulaa tämän vuosisadan jälkipuoliskolla kesäisin lähes kokonaan. (IPCC 2007a, s. 15, 44, 45)

Kuivuus sekä tulvat tulevat lisääntymään maapallolla ilmastonmuutoksen myötä. Sademäärät tulevat hyvin todennäköisesti kasvamaan korkeilla leveysasteilla, kun taas subtrooppisilla manneralueilla ne todennäköisesti pienenevät. Myös sään ääri-ilmiöt yleistyvät. Hyvin korkeat lämpötilat, kylmät jaksot, helleaallot, rankkasateet ja myrskyt yleistyvät suurella todennäköisyydellä ja trooppiset hirmumyrskyt voimistuvat. (IPCC 2007a, s. 15, 16, 52)

Ilmaston lämpeneminen muuttaa ekosysteemejä ja niiden toimintaa. Jopa 30 prosentilla lajeista on kohonnut sukupuuton riski, mikä johtaa luonnon monimuotoisuuden vähenemiseen. Myös elinalueiden siirtymät lisääntyvät, metsäpalojen riski kasvaa ja tulokaslajit uhkaavat paikallisia ekosysteemejä. Pohjois-Atlantin kiertoliike tulee hyvin todennäköisesti hidastumaan tämän vuosisadan aikana, mikä aiheuttaa muutoksia ekosysteemeissä ja niiden tuottavuudessa. Myös merten happamoituminen ja happipitoisuuksien muutokset vaikuttavat ekosysteemitasolla. (IPCC 2007b)

Merenpinta tulee nousemaan vuosisadan loppuun mennessä 0,18–0,59 metriä. Merenpinnan nousu aiheuttaa tulvia, myrskyjä, rannikon eroosiota ja matalien rannikkoalueiden menettämistä. Lisäksi se lisää hyökyaaltojen todennäköisyyttä, meriveden tunkeutumista sisämaahan päin sekä vaarantaa rannikkoekosysteemejä. Myös maatalousmaan rajua väheneminen ja pohjavesien suolaantuminen ovat uhkia, jotka johtavat merkittäviin sosiaalisiin ja taloudellisiin vaikutuksiin. (IPCC 2007b)

Lämpötilan kohoaminen parantaa maatalouden tuotanto-olosuhteita niillä alueilla, missä kylmyys ja kasvukauden lyhyys rajoittavat viljelymahdollisuuksia. Toisaalta sään ääri-ilmiöt, kuivuus, helleaallot sekä lisääntynyt tuhoeläinten ja kasvitautien määrä aiheuttavat satojen pienentymistä. Vesivarantojen määrän ja laadun muuttuminen uhkaavat puhtaan veden saatavuutta. (IPCC 2007b)

Vaikutuksia ihmisten terveyteen aiheutuu muun muassa äärevistä sääoloista ja tarttuvien tautien lisääntymisestä. Helleaaltojen, tulvien ja kuivuuden aiheuttama sairastavuus ja kuolleisuus kasvavat ja tartuntataudeista lisääntyvät etenkin suolisto- ja hengitystiesairaudet. Joidenkin taudinvälittäjien esiintymisalueet muuttuvat ja terveystieteiden kuormitus kasvaa. (IPCC 2007b)

Ilmastonmuutos johtaa myös konfliktien, pakolaisuuden ja köyhyyden lisääntymiseen. Eniten kärsivät kehitysmaat, joissa talouden kehitys on epävakaata ja ihmisten riippuvuus maaperän tuottavuudesta korkea. (IPCC 2007b)

Suomessa ilmaston lämpenemisen arvioidaan olevan 1,5-kertainen maailmanlaajuiseen keskilämpötilan nousuun verrattuna, mikä tarkoittaa vuoteen 2100 mennessä 3–6 asteen nousua keskilämpötiloissa. Samalla pakkaspäivät vähenevät, lumipeitteisen ajan kesto lyhenee ja lumen määrä pienenee. Sademäärät nousevat huomattavasti etenkin talvella ja kokonaisuudessaan kasvun arvioidaan olevan vuoteen 2100 mennessä 10–25 %. Myös pilvisyys lisääntyy ja sään ääri-ilmiöt, kuten helleaallot ja rankkasateet, yleistyvät. (Pipatti ym. 2009, s. 160)

## **2.4 Kansainväliset ilmastopimukset**

Ilmastonmuutosta käsittelevä tutkimus alkoi yleistyä 1960-luvulta lähtien ja vähitellen aihe nousi myös kansainvälisen poliittisen keskustelun kohteeksi. Merkittävä askel ilmastonmuutoksen kannalta otettiin vuonna 1988, kun Maailman ilmatieteen järjestö (WMO) ja YK:n ympäristöjärjestö (UNEP) perustivat poliittisen päätöksenteon tueksi Hallitustenvälisen ilmastonmuutospaneelin (IPCC, Intergovernmental Panel on Climate



Change). Sen tehtävänä on saada koottua luotettavaa tietoa ilmastomuutoksesta, sen vaikutuksista ja lieventämismahdollisuuksista. (Nevanlinna 2008, s. 221, 222)

Yhdistyneiden kansakuntien (YK) ilmastomuutosta koskeva puitesopimus (UNFCCC, United Nations Framework Convention on Climate Change) hyväksyttiin vuonna 1992 Rio de Janeiron ympäristö- ja kehityskonferenssissa. Ilmastosopimus astui voimaan vuonna 1994, ja sen on tammikuuhun 2011 mennessä ratifioinut 194 osapuolta. Suomi ratifioi sopimuksen vuonna 1994. (UNFCCC 2011) Ilmastosopimuksen perimmäisenä tavoitteena on ilmakehän kasvihuonekaasupitoisuuksien vakauttaminen sellaiselle tasolle, ettei ihmisen toiminta vaikuta haitallisesti ilmastojärjestelmään. Teollisuusmaiden ensimmäisen vaiheen tavoitteena oli kasvihuonekaasupäästöjen palauttaminen vuoden 1990 tasolle vuoteen 2000 mennessä, mutta tämä tavoite ei ollut sitova. Kehitysmailla ei asetettu päästörajoitustavoitteita. (Ympäristöministeriö 2003, s. 13)

Ilmastosopimuksen täydentämiseksi ja sitovuuden lisäämiseksi hyväksyttiin vuonna 1997 Kioton pöytäkirja, joka sisältää sitovia velvoitteita teollisuusmailla. Euroopan Unionin jäsenmaat Suomi mukaan lukien ratifioivat pöytäkirjan vuonna 2002 ja se astui voimaan 16.2.2005. Tammikuuhun 2011 mennessä pöytäkirjan oli ratifioinut 193 maata (UNFCCC 2011). Kioton sopimus velvoittaa teollisuusmaita vähentämään kuuden kasvihuonekaasun (hiilidioksidi, metaani, dityppioksidi, fluorihiiilivedyt, perfluorihiiilivedyt ja rikkiheksafluoridi) päästöjä vähintään yhteensä 5,2 prosenttia vuoden 1990 tasosta velvoitekaudella 2008–2012. Kioton pöytäkirjassa Euroopan unionin (EU-15) yhteinen päästövähennysvelvoite vuoden 1990 päästötasosta on 8 prosenttia. Määrä on edelleen jaettu EU:n sisäisen taakanjakosopimuksen mukaisesti maakohtaisiksi velvoitteiksi. Suomen velvoitteena on pitää kasvihuonekaasujen päästöt ensimmäisellä velvoitekaudella 2008–2012 keskimäärin vuoden 1990 tasolla. (Ympäristöministeriö 2009a)

Kioton pöytäkirjan sitovien velvoitteiden piirissä olevat maat voivat itse päättää, millä keinoilla ne täyttävät päästövähennysvelvoitteensa. Maat voivat kansallisten olojensa mukaan suorittaa vähennystoimenpiteitä esimerkiksi energia- ja liikennesektoreilla sekä jätehuollossa, tai erilaisia ohjauskeinoja, kuten säädöksiä tai verotusta käyttäen. (Ympäristöministeriö 2009a) Kansallisia päästövähennystoimia on mahdollista täydentää niin kutsuttujen joustomekanismien avulla, joita ovat yhteistoteutus (JI, Joint Implementati-

on), puhtaan kehityksen mekanismi (CDM, Clean Development Mechanism) ja kansainvälinen päästökauppa (ET, Emission Trading). Tärkeänä päästövähennysmahdollisuutena Kioton pöytäkirjassa on myös valinnaisten hiilinieluhankkeiden toteuttaminen. Erillisistä nielutoimenpiteistä saadut päästövähennykset voidaan lukea rajoitetusti hyväksi maan kokonaisvelvoitteen saavuttamisessa. (Ympäristöministeriö 2009b)

Kioton pöytäkirjan tavoitteiden saavuttamiseksi käynnistettiin Euroopan Unionissa vuonna 2000 Euroopan ilmastonmuutosohjelma (ECCP, European Climate Change Programme). Ohjelman tavoitteena on rajoittaa lämpötilan nousu enintään 2 °C:seen esiteolliseen aikaan verrattuna ja selvittää uusia kustannustehokkaita päästövähennystoimia. (Ympäristöministeriö 2008) Kansallisella tasolla ilmastotavoitteisiin pyritään pitkän aikavälin ilmasto- ja energiastrategian avulla. Siinä määritellään Suomen ilmasto- ja energiapolitiikan keskeiset tavoitteet osana EU:n tavoitteita ja määritellään päästöjä rajoittavia toimenpiteitä. Uusin strategia on hyväksytty valtioneuvostossa 2008 ja se käsittelee toimenpiteitä yksityiskohtaisesti vuoteen 2020 ja viitteenomaisesti aina vuoteen 2050 asti. Myös kansallista tasoa pienemmän mittakaavan toimilla on suuri merkitys ilmastonmuutoksen torjunnassa ja valtioneuvosto edellyttääkin maakuntia ja kaupunkiseutuja laatimaan omat ilmasto- ja energiastrategiansa sekä niiden toteutusohjelmat valtakunnallisen strategian pohjalta. (TEM 2008, s. 84, 85)

#### **2.4.1 Nielut Kioton pöytäkirjassa**

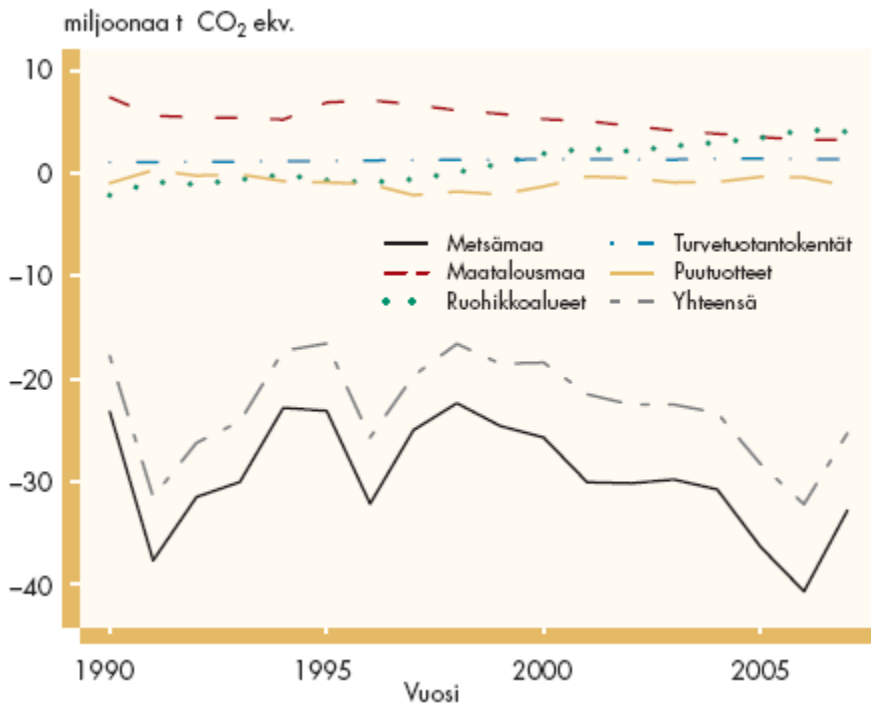
Ilmakehän kasvihuonekaasuja sitovien nielujen vaikutus huomioidaan Kioton pöytäkirjan velvoitteiden täyttymistä arvioitaessa. Arviointi päästöjen vähenemisestä tehdään kansallisen kasvihuonekaasutaseen pohjalta, johon lasketaan sekä kasvihuonekaasupäästöt että metsien ja maaperän hiilivaraston suuruutta muuttavien toimien vaikutukset. Pöytäkirjan 3.3 artiklan mukaan kasvihuonekaasutaseeseen on sisällytettävä kolme nieluihin vaikuttavaa toimenpidettä, jotka ovat metsitys, uudelleen metsittäminen ja metsänhävitys. Osa päästövähennyksistä voidaan korvata nieluilla, mutta mikäli nämä toimenpiteet aiheuttavat päästöjen nettolähteen, on osapuolen sallittua päästömäärää vähennettävä tämän nettolähteen verran. Pöytäkirjan 3.4 artikla tarjoaa osapuolille mahdollisuuden sisällyttää taseeseen myös muita nielutoimia. Tällaisia nielutoimenpiteitä ovat kasvillisuuden palauttaminen kohteissa, jotka eivät täytä metsittämisen ja uudel-

leen metsityksen ehtoja, metsien hoito ja käyttö sekä viljelymaan ja laidunmaan hoito. Osapuoli voi itse valita ne 3.4 artiklan toimenpideluokat, jotka se haluaa sisällyttää kasvihuonekaasutaseeseen. Toimenpiteet tulee valita ja ilmoittaa ennen velvoitekauden alkua, jonka jälkeen päätöksiä ei voi muuttaa. (United Nations 1998, s. 3; UNFCCC 2008, s. 14) Maakohtaisessa raportoinnissa maankäyttö, maankäytön muutos ja metsätaloussektorin nieluvaikutusta ei lasketa mukaan kokonaispäästöihin vaan se ilmoitetaan erikseen. (Tilastokeskus 2010b, s. 2)

#### **2.4.2 LULUCF**

Maankäyttö, maankäytön muutos ja metsätaloussektorilla (LULUCF, Land Use, Land-Use Change and Forestry) on tärkeä rooli kasvihuonekaasutaseiden laskennassa, sillä sektorin toiminnot toimivat sekä päästöinä että nieluina. Suomessa sektori on ollut selkeästi nettonielu, jonka suuruus vuonna 2008 oli 35,4 miljoona tonnia CO<sub>2</sub>-ekvivalenttia. LULUCF-sektori ei ole sellaisenaan mukana Kioton pöytäkirjan päästöjen rajoitusvelvoitteessa, vaan ainoastaan metsän hävityksen, metsityksen sekä metsänhoidon päästöt ja nielut vaikuttavat Suomen velvoitteeseen. (Tilastokeskus 2010, s. 5.)

LULUCF-sektorin kasvihuonekaasupäästöt ja -poistumat Suomessa vuosina 1990–2008 on esitetty kuvassa 2. Maatalouden päästöt ja nielut seuraavat pinta-alojen kehitystä, kun taas metsämaan nielun suuruus riippuu pääasiassa hakkuiden tasosta (Lehtonen 2009, s. 275).



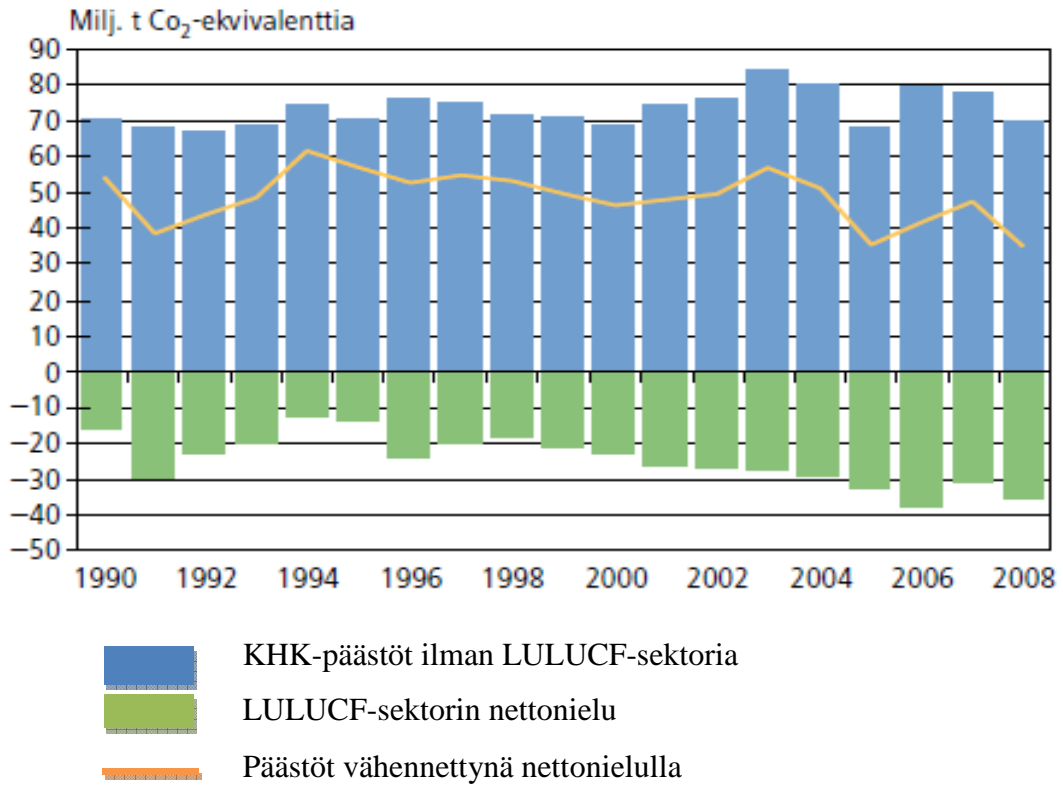
**Kuva 2.** Kasvihuonekaasupäästöt ja -poistumat maankäyttö, maankäytön muutos ja metsätalous (LULUCF)-sektorilla Suomessa 1990–2008 (milj. tonnia CO<sub>2</sub>-ekv.). Positiiviset arvot ovat päästöjä ja negatiiviset nieluja. (Lehtonen 2009, s. 275)

### 2.4.3 Suomen päästöt ja päästövähennysvelvoite

Suomen päästövähennysvelvoite Kioton pöytäkirjan ensimmäiselle velvoitekaudelle 2008–2012 on rajoittaa kasvihuonekaasupäästöt perusvuoden tasolle. Suomen Kioton pöytäkirjan perusvuosi on 1990 lukuun ottamatta F-kaasuja, joilla perusvuotena pidetään vuotta 1995. Perusvuoden päästöjen perusteella laskettu Suomen sallittu päästö määrä kaudella 2008–2012 on 355 017 545 t CO<sub>2</sub>-ekv. eli vuotta kohti laskettuna noin 71 miljoona t CO<sub>2</sub>-ekv. (Tilastokeskus 2010b, s. 5)

Suomen kasvihuonekaasupäästöt vuonna 2008 olivat 70,1 miljoonaa tonnia hiilidioksidiekvivalentteina (Kuva 3). Päästöjen määrä väheni 10 % vuoteen 2007 verrattuna ja oli noin 1,2 % alle Kioton pöytäkirjan velvoitetason. Eniten kasvihuonekaasupäästöjä syntyi energiasektorilla, jonka osuus kaikista päästöistä oli 78 %. Merkittävin kasvihuonekaasu Suomessa on hiilidioksidi, jonka osuus päästöistä on vaihdellut 80–85% välillä vuosien 1990–2008 aikana. Suurin osa hiilidioksidipäästöistä syntyy fossiilisten poltto-

aineiden ja turpeen poltosta energian tuotannossa. (Tilastokeskus 2010a, s. 10, 11)



**Kuva 3.** Suomen kasvihuonekaasupäästöt vuosina 1990–2008 (milj. tonnia CO<sub>2</sub>-ekv.) ilman LULUCF-sektoria (siniset pylväät) ja LULUCF-sektori huomioituna (oranssi viiva). Vihreä pylväs kuvaa nettopoistuman suuruutta. (Tilastokeskus 2010a, s. 12)

Suomen vuosittaiset päästömäärät vaihtelevat merkittävästi sähkön tuonnin ja fossiilisen lauhdesähkön tuotannon mukaan, joiden määrät puolestaan ovat sidoksissa vesivoiman saatavuuteen pohjoismaisilla sähkömarkkinoilla. Lisäksi päästöjen määrään vaikuttavat kulloisenkin vuoden taloudellinen tilanne energiaintensiivisillä teollisuuden aloilla, vuoden keskimääräiset sääolot sekä uusiutuvilla energialähteillä tuotetun energian määrät. (Tilastokeskus 2010a, s. 12)

## 3 LUONNON KASVIHUONEKAASULÄHTEET JA -NIELUT

### 3.1 Hiilen kierto

Hiilidioksidin määrä ilmakehässä on kasvanut viime vuosikymmenien aikana huomattavasti. Vuonna 2005 pitoisuus oli noin 380 ppm, mikä on tutkimusten mukaan suurin hiilidioksidipitoisuus ilmakehässä viimeisten 650 000 vuoden aikana (IPCC 2007a, s. 2, 3). Kuitenkin vain pieni osa maapallolla olevasta hiilestä on ilmakehässä. Eniten hiiltä on sitoutunut karbonaateina maa- ja kallioperään sekä sedimentteihin ja fossiilisiin polttoaineisiin. Suomessa suoturve on merkittävin hiilivarasto, johon arvioidaan olevan sitoutunut noin 5,7 miljardia tonnia hiiltä (Sarkkola 2007, s. 6). Myös valtameren vesimassat ovat merkittävä hiilivarasto, jonne hiili päätyy pintavesistä vajoavien vesimassojen ja eloperäisen aineksen mukana. Virtausten mukana hiiltä siirtyy syvänteiden vesimassoista pintakerrokseen ja pohjan sedimentteihin. (Lyytimäki & Hakala 2008, s. 91–94)

Hiiltä esiintyy kaikissa elävissä organismeissa. Ilmakehässä hiilen pitoisuus on kuitenkin pieni (noin 0,03 %) ja suuren tarpeen vuoksi hiilen kierto on hyvin nopeaa. (Campbell ym. 1999, s. 1140) Osa maapallon hiilestä kiertää eri varastojen välillä biologisten prosessien ohjaamana niin kutsussa nopeassa kierrossa. Yhteyttämisessä viherhiukkasia sisältävät eliöt, kuten kasvit ja plankton, sitovat ilmakehän hiiltä. Hiiltä palautuu ilmakehään soluhengityksessä, jossa eliöt käyttävät hiiliyhdisteisiin sitoutunutta energiaa hyväkseen vapauttaen samalla hiilidioksidia. Hiilidioksidia vapautuu myös orgaanisen aineksen hajotessa joko anaerobisesti tai aerobisesti sekä palamisreaktioissa. Viileissä ja anaerobisissa oloissa hajoamisprosessi hidastuu ja hiiltä varastoituu eloperäisen aineen mukana erityisesti soihin ja järvien pohjiin. (Lyytimäki & Hakala 2008, s. 91–94)

Maaekosysteemien biomassan lisäksi nopeassa kierrossa olevaa hiiltä on valtameren pintavesissä. Hiilidioksidia liukenee pintaveteen, jossa sitä esiintyy hiilidioksidina tai liuenneina epäorgaanisia yhdisteinä (DIC, dissolved inorganic carbon). (IPCC 2007a, s. 514) Kasviplanktonin ja vesikasvien yhteyttämisreaktioiden lisäksi veden eliöt käyttävät hiiltä kalsiumkarbonaattina kuorikerroksensa ja tukirunkonsa rakennusaineena. Eliöiden kuoltua kalsiumkarbonaatti liukenee takaisin veteen, ja osa siitä saostuu merenpohjan

sedimentteihin poistaen samalla hiiltä biogeokemiallisesta kierrosta. (Feely ym. 2004)

### 3.2 Typen kierto

Typpi on eläimille ja kasveille välttämätön alkuaine, joka kuitenkin on yleensä rajoittavana tekijänä kasvien kasvussa. Ilmakehän kaasutilavuudesta noin 78 % on typpeä, mutta suurin osa ilman typestä on kasveille käyttökelvottomassa molekylaarisen typen ( $N_2$ ) muodossa. Typen kiertoon osallistuu monia eri typpiyhdisteitä, jotka muuntuvat ilmakehän, kasvien ja maaperän biologisissa, kemiallisissa ja fysikaalisissa prosesseissa. (Campbell ym. 1999, s. 1141, 1142)

Ekosysteemeihin typpeä kulkeutuu luontaisesti kahden eri prosessin kautta. Biologisessa typensidonnassa symbioottiset ja vapaana elävät typensitobakteerit sekä sinilevät sitovat ilmakehän typpeä ( $N_2$ ) ja pelkistävät sitä ammoniakiksi ( $NH_3$ ). Happamassa maaperässä ammoniakki muodostaa vetyionien ( $H^+$ ) kanssa ammoniumtyppeä ( $NH_4^+$ ), joka on suoraan kasvien käytettävissä. Nitrifikaatiossa bakteerit hapettavat ammoniumioneita nitriitiksi ( $NO_2^-$ ) ja edelleen nitraatiksi ( $NO_3^-$ ). Typen epäorgaaniset muodot ammonium, nitriitti ja nitraatti ovat kasvien ja mikro-organismien hyödynnettävissä. Kasvien kannalta hyödyntämiskelpoista typpeä tulee maaperään luontaisesti myös salamoinnin kautta sekä kuiva- ja märkälasseumana. (Campbell ym. 1999, s. 1141, 1142)

Typpeä palaa maaperään kuolleiden eliöiden hajoamisprosesseissa sekä eläinten ulosteiden mukana. Denitrifikaatiossa anaerobisissa oloissa toimivat bakteerit pelkistävät nitraatti- ja nitriitti-ioneja energianlähteekseen, jolloin vapautuu typen oksideja tai täydellisesti etenevän reaktion kautta typpikaasua. Denitrifikaatio on tärkein biologinen prosessi, joka vapauttaa ilmakehästä sidottua typpeä takaisin kaasumaiseen muotoon ja sen merkitys typen kierrossa onkin suuri. (Campbell ym. 1999, s. 1142) Ammoniakki voi myös kaasumaisen olomuotonsa takia haihtua maaperästä suoraan ilmakehään muodostaen siellä ammoniumia vetyionien kanssa. Ammonium sitoutuu hiukkasiin sekä sadepisaroihin, ja palaa näin maaperään kuiva- ja märkälasseumana. Paikallisen typenkierron merkitys korostuu erityisesti alueilla, joissa on intensiivistä maataloutta tai muutoin runsasta typpilannoitusta. (Campbell ym. 1999, s. 1141, 1142)

### 3.3 Metsät ja metsämaa

Metsissä hiiltä on sitoutunut puustoon, pintakasvillisuuteen ja maahan. Pintakasvillisuuden osuus metsäekosysteemin hiilivaroista on pieni, sillä suurin osa hiilestä on karikkeessa, humuksessa sekä kivennäismaassa. Puustossa hiiltä on eniten runkokuussa, mutta lisäksi myös sitoutuneena juuristoon, oksiin ja lehtiin sekä neulasiin. Puuston hiilisisältö riippuu kasvuolosuhteista ja puuston rakenteesta, kun taas karikkeen, humuksen ja maaperän hiilivarastoon vaikuttaa ensisijaisesti karikkeen määrä ja laatu. (Kellomäki 1996, s. 97, 98; Savolainen 1996, s. 186)

Metsämaan hiilivarasto vaihtelee alueittain kasvuolosuhteista riippuen. Kariketuotos ohjaa maaperän hiilivaraston kehitystä ja etenkin mineraalimailla suurin osa hiilestä on maaperän pintakerroksissa. Yleistäen voidaan sanoa, että hiiltä sitoutuu eniten ravinteikkailla alueilla, missä vuoden keskilämpötila on korkea. (Kellomäki 1996, s. 100)

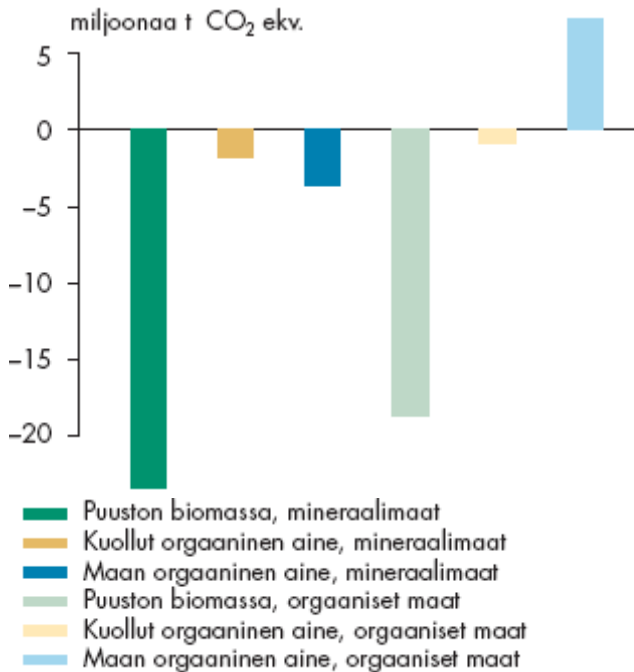
Kangasmetsien maaperä toimii metaanin nieluna. Maaperässä elää aerobisia mikrobeja, jotka hapettavat metaania hiilidioksidiksi maaperän pintaosissa. Kaasujen diffuusionopeus maaperässä vaikuttaa merkittävästi metaaninielun tehokkuuteen. Diffuusionopeus taas on riippuvainen maaperän ominaisuuksista ja hydrologiasta, jotka vaikuttavat maan huokoisuuteen ja kaasujen vaihtoon. Metaanin hapettumistehokkuuteen vaikuttavat eniten maaperän vesipitoisuus ja lämpötila sekä hapettumista hidastavasti typpipitoisuuden nousu. Erilaisten tekijöiden yhteisvaikutukset ja esimerkiksi ilmaston lämpenemisen aiheuttamien muutosten vaikutukset metaaninielun tehokkuuteen ovat monilta osin vielä epäselviä. (Curry 2009, Savolainen 1996, s. 188)

Maaperässä muodostuu dityppioksidia nitraattien pelkistyessä ja ammoniumin hapettumissa. Luonnontilaisessa metsäekosysteemissä typpi kiertää lähes kokonaan ekosysteemin sisällä ja ammoniumin vähäisen saatavuuden takia dityppioksidin syntyminen onkin vähäistä. Keskimäärin Suomessa luonnontilaisten metsämaiden dityppioksidipäästöjen arvioidaan olevan noin 0,05-0,1 kg N<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> vuodessa. Metsämaan dityppioksidipäästöt voivat kuitenkin moninkertaistua typpilaskeuman, avohakkuiden tai ilmaston lämpenemiseen liittyvien metsämaan ravinnekiertojen nopeutumisen myötä. (Savolainen 1996, s. 187, 188)



Metsäekosysteemeissä esiintyy myös kasvillisuuden hiilenkiertoon verrattuna mittakaavaltaan vähäisempiä hiilen virtoja, kuten eläinten jätökset ja karike. Lisäksi metsien hiilibudjetti käsittää hiilidioksidi-, metaani- ja dityppioksidivirtojen ohella muun muassa hiilimonoksidin ja haihtuvien orgaanisten yhdisteiden prosesseja (VOC, isopreeni, halettuneet hiilivedyt), joiden merkitys on kuitenkin verrattain pieni. Alueellisella tasolla hiilen kierto sisältää myös lateraalisia virtoja (välittäjinä esimerkiksi tuuli, vesi, eläimet), jotka siirtävät hiiltä eri maantieteellisten alueiden välillä. Näiden virtojen merkitys on pieni, mutta on tärkeää huomioida että useat erilaiset prosessit muokkaavat ekosysteemejä useilla eri tasoilla. (Peltoniemi 2007, s. 11)

Metsissä puustobiomassa on suurin yksittäinen hiilinielu. Suurimmat päästöt vapautuvat orgaanisen maaperän orgaanisen aineksen hajotuksen yhteydessä. Metsien kokonaistase Suomessa on esitetty kuvassa 4.



**Kuva 4.** Metsien hiilipäästöt ja -nielut Suomessa vuonna 2006. Positiiviset arvot ovat päästöjä ja negatiiviset nieluja. (Lehtonen 2009, s. 274)

### 3.4 Suot

Kasvihuonekaasujen siirtymiseen suon ja ilmakehän välillä vaikuttavat suon hydrologia, ravinteet, kasvillisuus ja maaperän biologia, minkä vuoksi suoekosysteemiä on tarkasteltava kokonaisvaltaisesti. Suot vapauttavat ja sitovat biologisissa prosesseissaan kasvihuonekaasuja, joista tärkeimmät ovat hiilidioksidi, metaani ja dityppioksidi. (Laine 2000, s. 115) Luonnontilaisina suot ovat hiiltä varastoivia ekosysteemejä. Viimeisen jääkauden jälkeen Suomen soihin on arvioitu kertyneen hiiltä noin 5,7 miljardia tonnia ja ne muodostavat Suomessa suurimman hiilivaraston. (Sarkkola 2007, s. 6)

Soiden biomassassa sitoo yhteyttämisessä ilmakehän hiilidioksidia, josta se joutuu karikkeena suon pinnalle ja vähitellen myös yhä syvemmälle turpeeseen. Pohjoisilla soilla orgaanisen aineksen hajoaminen on hidasta, sillä hapellisen turvekerroksen osuus on pieni, lämpötilat ovat suuren osan vuodesta alhaisia ja orgaaninen aines on pääosin vaikeasti hajotettavaa. (Riutta 2008, s. 11) Kasvillisuuden nettoperustuotanto onkin hajotusta suurempaa, jonka vuoksi osa kuolleesta biomassasta kerääntyy turpeeksi varastoiden samalla ilmakehän hiilidioksidia. Turpeen muodostuminen on hidasta, sillä soiden pintaosiin kertyvästä kasvimassasta vain murto-osa varastoituu pitkällä aikavälillä turpeeksi. Osa kasvillisuuden sitomasta hiilidioksidista vapautuu ilmaan kasvien ylläpito- ja kasvuhengityksessä sekä mikrobitoiminnan kautta. Myös turpeen hapellisissa pintakerroksissa tapahtuva hajotustoiminta vapauttaa hiilidioksidia ilmakehään. (Crill ym. 2000, s. 12) Soiden hiilidioksidipäästöt sekä nieluvaikutus riippuvat suo- ja kasvillisuustyyppistä sekä vallitsevista sääoloista. Etenkin kuivien jaksojen esiintyminen on merkittävä hiilen varastoitumista turpeeseen säätelevä tekijä. (Riutta 2008, s. 11; Saarnio ym. 2007, s. 21)

Metaania muodostuu orgaanisen aineksen hajotessa hapettomissa olosuhteissa. Suot ovat yleensä metaanin lähteitä, sillä hapettomissa turvekerroksissa elävien metanogeenisten bakteerien hajotustoiminnassa orgaanisesta tai kaasumaisesta hiilestä syntyy metaania. (Crill ym. 2000, s. 13) Metaani vapautuu ilmakehään turpeesta diffuntoitumalla, märiltä pinnoilta kuplimalla sekä pitkin suokasvien aerenkymisolukkoa. Osa metaanista hapettuu turpeen aerobisissa pintakerroksissa hiilidioksidiksi. (Crill ym. 2000, s. 13; Laine 1996, s. 116) Erot metaanipäästöjen suuruudessa ovat huomattavia eri suotyyppe-

en ja jopa saman suon eri pinnanmuotojen välillä. Vuotuisten metaanipäästöjen on havaittu olevan suurimpia märillä, runsaasti putkilokasveja kasvavilla soilla (Saarnio ym. 2007, s. 18).

Luonnontilaisista soista ainoastaan korvet tuottavat dityppioksidia, mutta niissäkin vuosipäästöt jäävät alle  $0,005 \text{ g/m}^2$ . Märillä soilla dityppioksidin muodostuminen on erittäin vähäistä, sillä nitraatteja ei synny vähähappisessa turpeessa. Eräät suot voivat toimia jopa dityppioksidinieluina kun anaerobisissa oloissa toimivat bakteerit pelkistävät dityppioksidia typpikaasuksi. (Laine 1996, s. 117)

### **Soiden maankäytön muutosten vaikutukset kasvihuonekaasutaseisiin**

Maankäytön muutokset vaikuttavat merkittävästi soiden kasvihuonekaasutaseisiin. Ojituksen jälkeen suon vedenpinta laskee, pintaturvekerrokset tiivistyvät ja hapellisen pintakerroksen paksuus kasvaa (Crill ym. 2000, s. 15). Ojituksen jälkeen orgaanisen aineksen hajotusnopeus kasvaa hapen määrän lisääntyessä ja myös kasvillisuus muuttuu suolajien korvautuessa vähitellen kangasmaiden lajistolla. Hapellisuuden kasvu pintaturvekerroksessa kiihdyttää turpeen hajotustoimintaa, mikä johtaa hiilidioksidipäästöjen ja ravinteikkailla soilla mahdollisesti myös dityppioksidipäästöjen lisääntymiseen. Hapettomissa oloissa hajotustuotteena syntyvän metaanin päästöt sen sijaan vähenevät ja usein loppuvat kokonaan, kun pintaturve hapettuu ja kuivumis- ja kasvillisuussukkessio etenevät. Kun huomioidaan ojista vapautuvat metaanipäästöt, pysyvät ojitetut suot yleensä heikkoina metaanin lähteinä. Se, muuttuuko suo ojituksen jälkeen hiilen lähteeksi vai säilyykö nieluvaikutus myös ojitetulla suolla, riippuu muutoksista hajotuksen ja biomassan kasvun suhteessa. Prosessit ovat yhä huonosti tunnettuja, mutta keskeisessä asemassa ovat ainakin ojitetun suon maantieteellinen sijainti, ekohydrologinen tilanne ennen ojitusta sekä ojituksen intensiteetti. (Minkkinen ym. 2007, s. 22; Crill ym. 2000, s. 15)

Soiden muokkaaminen viljelysmaaksi muuttaa suon ekologiaa ja kasvihuonekaasutasetta. Ojituksen ja viljelyn myötä turpeen pinta laskee tiivistymisen seurauksena ja turpeen hajoamisnopeus kiihtyy hapellisen pintakerroksen paksuuntuessa. Myös maan muokkaus, lannoitus ja kalkitus kiihdyttävät turpeen hajoamista ja vähitellen turvemaa muuttuu

multamaaksi ja lopulta kivennäismaaksi. Turpeen hajoamisen seurauksena suo muuttuu hiilinielusta hiilen lähteeksi ja dityppioksidipäästöt kasvavat. Viljeltyjen turvemaiden metaanipäästöt sen sijaan ovat hieman pienempiä kuin luonnontilaisilla soilla hapen lisääntymisestä johtuen. (Laine 1996, s. 121)

Suon ottaminen turvetuotantoon sisältää puuston ja kasvillisuuden poiston sekä suon kuivattamisen ojittamalla. Turvetuotantoalueiden hiilitaseiden arviointi on kasvillisuuden puuttumisen vuoksi yksinkertaisempaa kuin luonnontilaisilla soilla tai muiden käyttömuotojen taseita arvioitaessa. Turvetuotantoalueet ovat hiilen lähteitä, sillä hiilidioksidia vapautuu turpeen hajotessa ja varastointivaiheessa aumojen lämmitessä ja mikrobitoiminnan tehostuessa. Lisäksi alue menettää tuotannon päättymiseen saakka hiilensidontakykynsä. Turvetaloudesta poistettu alue voi jälkikäytöstä riippuen alkaa jälleen sitomaan hiiltä pääasiassa kasvillisuuden kautta. Metaanin ja dityppioksidin päästöjä turvetuotanto vähentää verrattuna luonnontilaisiin soihin. (Laine 1996, s. 122, 123)

### **3.5 Vesistöt**

Hiili esiintyy järvissä sekä orgaanisessa että epäorgaanisessa muodossa. Hiiltä sitoutuu vesiekosysteemiin sekä kasvien, levien ja syanobakteerien perustuotannossa että bakteeritoiminnoissa. Orgaanista hiiltä huuhtoutuu järveen myös ympäröivän valuma-alueen kasvillisuudesta ja maaperästä. Epäorgaaninen hiili esiintyy järvessä joko liuenneina karbonaateina, bikarbonaateina tai kaasumaisessa muodossa hiilidioksidina ja metaanina. Bikarbonaatti on peräisin maaperässä tapahtuvasta rapautumisesta, mutta hiilidioksidi muodostuu pääosin orgaanisen aineen hajoamisen seurauksena. (Savolainen 1996, s. 189; Rantakari 2010, s. 9) Järvistä vapautuu hiiltä ilmakehään hiilidioksidina hengityksen ja hajotustoiminnan yhteydessä. Borealisilla alueilla järvien hiilen määrä on niin suuri, että hiilidioksidia siirtyy usein ilmakehään enemmän kuin mitä perustuotannossa kulutetaan. Yleensä järvet ovatkin hiilidioksidin lähteitä. (Huttunen ym. 2003)

Osa järvessä muodostuvasta ja ympäröivältä valuma-alueelta tulevasta orgaanisesta hiilestä poistuu järvestä hajotusprosessien yhteydessä tai menovirtaamien mukana. Osa

varastoituu järvien pohjasedimenttiin. (Savolainen 1996, s. 189) Järvien sedimenttikerrostumat ovat yksi pysyvimmistä hiilinieluista boreaalisella alueella ja ne ovat kolmanneksi suurin luonnon hiilivarasto Suomessa soiden ja metsämaiden jälkeen. Viime jääkauden jälkeen Suomessa järvisedimentteihin arvioidaan olevan varastoitunut hiiltä noin 0.62 Pg. (Rantakari 2010, s. 33)

Tyypillisesti vesistöissä ainoastaan sedimentin pintaosa on hapellinen. Hapettomassa sedimentissä syntyy orgaanisen aineksen hajotessa hiilidioksidin ohella metaania, minkä vuoksi järvet ovat metaanin lähde. (Savolainen 1996, s. 189) Boreaalisella ja arktisella alueella suhteellisesti suurimmat metaanipäästöt on raportoitu ravinteikkaista, kalkkipitoisista järvistä, jotka ovat matalia ja pinta-alaltaan pieniä (Juutinen ym. 2008). Lisäksi syntyvän metaanin määrä riippuu vesistön perustuotannosta, valuma-alueelta tulevan orgaanisen aineksen määrästä, veden lämpötilasta ja happitilanteesta sekä veden kerrostuneisuudesta ja kausittaisista täyskierroista (Bastviken ym. 2004; Savolainen 1996, s. 189). Järvistä vapautuvat metaanipäästöt ovat kasvaneet sekä alueellisella että paikallisella tasolla viime vuosien aikana. Euroopassa suurten järvien metaanipäästöjen arvioidaan olevan 24 % kaikista kosteikkoalueiden metaanipäästöistä. (Saarnio ym. 2009) Maailmalaaajuisesti päästöt kattavat arviolta 8-48 Tg eli 6-16 % kaikista luonnon metaanipäästöistä (Bastviken ym. 2004).

Vesiekosysteemit ovat dityppioksidin lähteitä. Sedimentin hapellisessa osassa muodostuu nitraattia, joka voi siirtyä sedimentin hapettomaan osaan ja pelkistyä denitrifikaatiossa dityppioksidiksi. Dityppioksidin muodostumista edesauttaa veden selkeä happikerrostuneisuus, alhainen lämpötila, pH sekä typpikuormitus. (Savolainen 1996, s. 190) Dityppioksidia muodostuukin pääasiassa järvien rantavyöhykkeillä, sillä avovesillä nitraattien saatavuus on vähäistä ja nitrifikaatioaktiivisuus alhaista. Järvien dityppioksidipäästöjen merkitys ilmakehän kasvihuonekaasutasapainon kannalta on melko pieni. (Huttunen ym. 2003)

Järvien biogeokemialliset prosessit, kuten kasvihuonekaasujen tuotanto ja kulutus, ovat kiinteästi yhteydessä ympäröiviin maaekosysteemeihin, sillä järviin tulee valuma-alueelta orgaanista ainesta ja ravinteita. Rantakari (2010) tarkasteli tutkimuksessaan järvien roolia hiilikaasujen lähteenä ja hiilen varastona. Tutkimustulosten perusteella järvien

valuma-alueella ja sen ominaisuuksilla on suuri merkitys vesistöjen orgaanisen hiilen pitoisuuksiin. Lisäksi tutkimuksessa ilmeni, että rehevöityminen lisää järvien luontaisia hiilidioksidi- ja metaanipäästöjä. Orgaanisen aineen hajotus tehostuu, kun ravinteita on riittävästi saatavilla ja lisäksi rehevät järvet tuottavat runsaasti helposti hajoavaa orgaanista ainetta. Rehevimmät järvet ovat usein pieniä ja matalia, mikä tehostaa myös pohjalietteestä vapautuvien kaasujen pääsyä ilmakehään. Toisaalta myös hiilen pysyvä varastoituminen järvisedimenttiin todettiin pinta-alaan suhteutettuna suurimmaksi pienissä järvissä. Koska valuma-alue on tiiviissä yhteydessä järveen, on siellä tapahtuvilla häiriöillä ja maankäytön muutoksilla suuri vaikutus järven kasvihuonekaasutaseisiin.

### **3.6 Viljelys- ja ruohikkomaat**

Viljelys- ja ruohikkomaat voivat toimia hiilidioksidin lähteinä ja nieluina sekä dityppioksidin lähteenä olosuhteista riippuen. Viljelysmaa sisältää viljelyskäytössä olevat maat, pysyvät puutarhaviljelmät, kotitarvepuutarhat ja kesantoalueet (Statistics Finland 2010, s. 280). Ruohikkoalueisiin luetaan yli 5-vuotiaat nurmet ja laitumet sekä hylätyt, metsityksessä olevat pellot, jotka eivät ole vielä muuttuneet metsiksi (Statistics Finland 2010, s. 289).

Viljelys- ja maatalousmaat ovat merkittäviä dityppioksidin lähteitä. Suoria dityppioksidipäästöjä syntyy orgaanisten maiden viljelystä, pelloille levitetyistä keinotekoisista lannoitteista, eläinten lannasta ja jätevesilietteistä sekä typpeä sitovista viljelykasveista. Epäsuorat päästöt johtuvat pääasiassa huuhtoutuman kautta tulleesta typpikuormituksesta sekä ammoniakkinä ilmaan vapautuvista typpipäästöistä. (Statistics Finland 2010, s. 232)

Sekä viljelysmaat että ruohikkoalueet voivat toimia hiilidioksidin lähteenä tai nieluna olosuhteista riippuen. Maaperän hiilidynamiikkaan vaikuttavat muun muassa lisätyn orgaanisen aineksen määrä ja tyyppi, maaperän ominaisuudet sekä ilmastotekijät. Myös viljelymenetelmät sekä kalkkilannoitus vaikuttavat päästöihin. Yleensä mineraalimaaperällä sijaitsevat viljelysmaat toimivat hiilidioksidin nieluina ja orgaanisen maan viljelysalueet lähteinä. (Statistics Finland 2010, s. 232, 280)

Viljelysmaat ovat Suomessa hiilidioksidin nettolähde, jossa mineraalimaat ovat olleet nieluja ja orgaaniset maat alati kasvavia lähteitä (Statistics Finland 2010, s. 280). Ruohikkoalueiden hiilinielu on Suomessa pienentynyt vuoden 1990 jälkeen, sillä metsiä on muutettu aiempaa enemmän ja viljelysmaita aiempaa vähemmän ruohikkoalueiksi (Statistics Finland, s. 289).

## **4 TUTKIMUSMENETELMÄ**

### **4.1 Kasvihuonekaasujen arviointijärjestelmä**

Kioton sopimus velvoittaa sopimuksen allekirjoittaneita valtioita raportoimaan säännöllisin väliajoin toteutuneista kasvihuonekaasupäästöistä. Kansallisen kasvihuonekaasujen arviointijärjestelmän tarkoituksena on taata, että raporttien tiedot täyttävät laatuvaatimukset ja ovat virallisesti hallitusten hyväksymiä. Tavoitteena on samalla varmistaa tutkimuksen läpinäkyvyys, johdonmukaisuus, vertailtavuus, kattavuus, tarkkuus ja oikea-aikaisuus. Suomessa kasvihuonekaasuinventarioiden vastuuorganisaationa toimii Tilastokeskus, joka huolehtii vuosittaisen päästöinventaarion valmistelusta ja laadunhallinnasta. Lisäksi Tilastokeskus toimii asiantuntijalaitoksena tuottamalla inventaarioon energiasektorin ja teollisuusprosessien päästötiedot. Kasvihuonekaasulaskennassa mukana ovat useat eri asiantuntijalaitokset, joista tärkeimpiä ovat Metsäntutkimuslaitos, Maa- ja elintarviketalouden tutkimuslaitos sekä Suomen ympäristökeskus. Keskeisiä muita osapuolia ovat ilmastopolitiikan valmisteluun osallistuvat vastuuministeriöt Ympäristöministeriö, Maa- ja metsätalousministeriö, Työ- ja elinkeinoministeriö ja Liikenne- ja viestintäministeriö. (Tilastokeskus 2010c)

YK:n ilmastopimuksen mukaisessa raportoinnissa ei huomioida luonnollisiin prosesseihin kuuluvia kasvihuonekaasutaseita, sillä ne kuuluvat globaaliin ilmastojärjestelmään. Päästöistä ja nieluista huomioidaan vain se osa, joka aiheutuu ihmistoiminnasta. (SVT 2009) Tässä työssä on luonnon kokonaistaseen hahmottamiseksi laskettu myös kansallisen raportoinnin ulkopuolella olevien soiden ja vesistöjen kasvihuonekaasutaseet.

## 4.2 Aikaisemmat tutkimukset

Kansallisen kasvihuonekaasuraportoinnin periaatteet ovat olleet soveltuvilta osin pohjana tässä tutkimuksessa. Aiemmin maakunnallisia kasvihuonekaasutaselaskelmia, joissa myös luonnon lähteet ja nielut ovat huomioitu, on tehty Suomessa ainakin Pohjois-Karjalassa (Mustonen 2010), Pohjois-Pohjanmaalla (Bionova Engineering 2009), Etelä-Karjalassa (Paalanen 2009) sekä Etelä-Savossa (Mäkelä 2008). Lisäksi kunta- ja seututason tarkasteluja on tehty useita (muun muassa Huttula 2007). Laskentamenettelyt ovat kuitenkin olleet vaihtelevia, eivätkä käytetyt laskenta-arvot ole olleet yhtenäisiä. Tutkimuksissa käytettyjen menetelmien epäyhtenäisyys vaikeuttaa tulosten vertailua ja voi johtaa epäluotettaviin johtopäätöksiin. Lisäksi tutkimustulokset ovat antaneet viime vuosina uutta tietoa esimerkiksi päästökertoimista, jonka vuoksi laskentatavat vaativat päivitystä.

## 4.3 Laskennan perustiedot

Luonnon kasvihuonekaasunielujen tai -lähteiden laskentaan ei ole olemassa kattavaa ja toimivaa mallia, joten laskenta suoritetaan kirjallisuudesta saatavien päästö- ja nielukertoimien avulla. Laskenta on tehty soveltuvilta osin hallitusten välisen ilmastonmuutospaneelin IPCC:n ohjeistuksen mukaisesti noudattaen kansallisia kasvihuonekaasuraportoinnin periaatteita (IPCC 2003, IPCC 2006, Statistics Finland 2010). Puuston, metsämaan ja turvetuotantoalueiden osalta laskennassa on käytetty kansallisen kasvihuonekaasulaskennan mukaisia kertoimia, jotka ovat yhdenmukaiset IPCC:n ohjeistuksen kanssa. Ojittamattomien soiden ja järvien osalta on käytetty tutkimuskirjallisuuteen perustuvia kertoimia. Kertoimien ja saatujen tulosten kohdalla on huomioitava, että tässä työssä kasvihuonekaasupäästöjä kuvataan positiivisilla arvoilla ja nieluja negatiivisilla. Laskennassa ei ole huomioitu maankäyttöluokkien muutoksesta aiheutuvia päästöjä eikä metsäpalojen, kulituksen tai metsälannoituksen päästöjä. Myöskään vuosittain kertyvien puutuotteiden aiheuttamaa hiilinielua ei ole huomioitu.

Metsien kasvihuonekaasutaselaskennan perustana käytetään Valtakunnan metsien 10. inventoinnin (VMI10) (Metla 2009) tietoja. Vesistö tiedot sekä tiedot metsäalueiden suo-

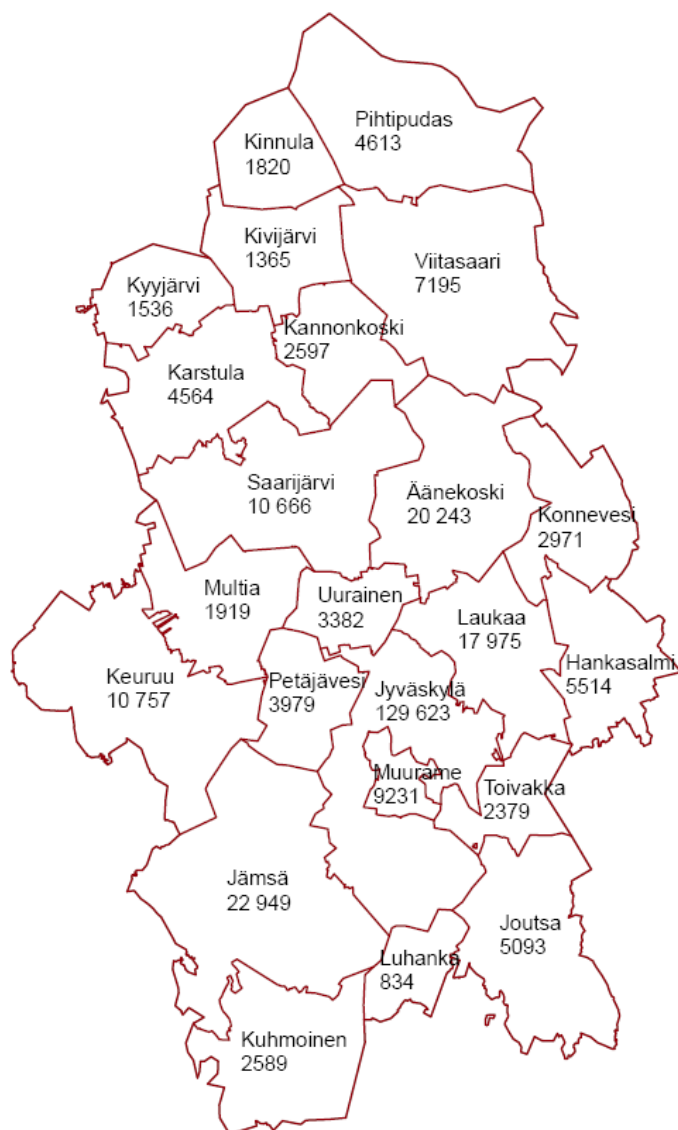


jelusta on saatu Ympäristöhallinnon ylläpitämästä Corine Land Cover 2006 (CLC 2006) aineistosta. Turvetuotantoalueiden tiedot on hankittu Ympäristöhallinnon VAHTI-tietokannasta. Viljelys- ja ruohikkomaiden osalta laskennassa käytetyt lähtötiedot ovat pääosin peräisin Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskuksen (Tike) aineistoista.

## 5 LUONNON KASVIHUONEKAASULÄHTEET JA -NIELUT KESKI-SUOMESSA

### 5.1 Tutkimusalueen kuvaus

Keski-Suomi on 23 kunnan muodostama maakunta-alue keskellä eteläistä Suomea. Keski-Suomessa oli vuoden 2010 lopussa 273 642 asukasta, joista 47,7 % asuu Jyväskylässä (Tilastokeskus 2011). Alueen kunnat ja niiden väestömäärät on esitetty kuvassa 5. Keski-Suomen pinta-ala on 19 950 km<sup>2</sup>, josta vesistöalueita on 3244 km<sup>2</sup>. (Maanmittauslaitos 2010).



**Kuva 5.** Keski-Suomen kunnat ja asukasluvut (mukaiillen Tilastokeskus 2011, Keski-Suomen liitto 2006, s. 7).

Keski-Suomen väestökasvu keskittyy voimakkaasti Jyväskylään ja Jyväskeskuudulle, mikä näkyy maakunnan keskusalueella täydennysrakentamisen ja urbanisoitumisen lisääntymisenä sekä taajama-alueiden kasvuna (Keski-Suomen liitto 2006, s. 5). Keski-Suomen luonto käsittää runsaasti metsää, jota massa- ja paperiteollisuus sekä puutavateollisuus hyödyntävät ja näillä aloilla osuus maakunnan työpaikoista onkin noin kaksinkertainen verrattuna koko maan vastaavaan osuuteen. Merkittäviä tuotantoaloja ovat myös kone- ja laitteollisuus. (Keski-Suomen liitto 2006, s. 45) Keski-Suomi sijaitsee nimensä mukaisesti logistisessa solmukohdassa keskellä Suomea ja maakuntaa halkoo kattavaa liikenneväyläverkosto (Keski-Suomen liitto 2006, s. 10).

Ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi Keski-Suomessa keskeisinä lähtökohtina ovat valtioneuvoston selonteko pitkän aikavälin ilmasto- ja energiastrategiasta sekä siihen liittyvä tulevaisuusselonteko ilmasto- ja energiapolitiikasta (Keski-Suomen liitto 2010a, s. 11). Lisäksi ilmastonmuutos on huomioitu maakuntasuunnitelmaan ja maakunnan kehittämiseksi laadittuihin erillisstrategioihin perustuvassa maakuntaohjelmassa. Keskeisenä hankkeena on EU:n osarahoittama BalticClimate-hanke, jossa Keski-Suomen liitto on mukana. Hankkeen tärkeimpänä tavoitteena on sisällyttää ilmastonmuutoksen hillitseminen ja ilmastonmuutokseen sopeutuminen osaksi aluekehittämistä ja alueiden käyttöä. Ilmastonmuutokseen liittyen tavoitellaan tiivistä yhdyskuntarakennetta, uusiutuvia energialähteitä sekä kiirehditään raideliikenteen investointeja. Lisäksi liikennesuunnittelun merkitystä korostetaan ja suositetaan ratkaisuja, jotka edistävät työmatkaliikenteessä kevyenliikenteen hyödyntämistä. (Keski-Suomen liitto 2010b, s. 23, Keski-Suomen Liitto 2010c)

Keski-Suomen ihmisperäisiä kasvihuonekaasupäästöjä on tarkasteltu Keski-Suomen ympäristöanalyysissä (Onkila ym. 2008) sekä Huikurin pro gradu-tutkielmassa (2010). Vuonna 2008 maakunnan kasvihuonekaasupäästöt olivat noin 2,8 miljoonaa tonnia CO<sub>2</sub>-ekv. Merkittävimmät päästösektorit ovat 2000-luvulla olleet liikenne, teollisuus ja työkonet, rakennusten lämmitys sekä sähkön kulutus, jotka edustavat noin 91 % kokonaispäästöistä (taulukko 2). (Huikuri 2010)

**Taulukko 2.** Keski-Suomen kulutusperusteiset kasvihuonekaasupäästöt vuonna 2008 päästölähteittäin.

<b>Päästölähde</b>	<b>CO<sub>2</sub>-ekv. (1000 t)</b>	<b>%</b>
Liikenne	763,1	27,6
Teollisuus ja työkoneet	703,9	25,4
Rakennusten lämmitys	558,3	20,2
Sähkön kulutus	482,5	17,4
Maatalous	226,9	8,2
Jätehuolto	34,3	1,2
<b>Yhteensä</b>	<b>2769,1</b>	<b>100</b>

## 5.2 Metsät ja metsämaa

Metsien sekä metsämaan osalta tarkastellaan biomassan hiilivarastoa sekä vuositasolla ilmakehästä sitoutuvan hiilen määrää. Puustobiomassan hiilitasetarkastelussa ei eroteta toisistaan orgaanisten ja kivennäismaiden puustoa, vaan ne käsitellään yhtenä kokonaisuutena. Lisäksi arvioidaan metsien kivennäismaaperän dityppioksidipäästöjen määrä sekä metaani- ja hiilidioksidinielun suuruus. Orgaanisten, ojitettujen turvekankaiden osalta arvioidaan hiilidioksidi-, metaani- ja dityppioksidipäästöt.

Suomen maapinta-ala jaetaan maaluokkiin käyttötarkoituksensa perusteella. Metsätalouksmaaksi luokitellaan maa, joka ei ole maatalousmaata tai rakennettua maata ja siihen sisältyy puuntuotantoon käytettävissä olevan maan lisäksi tuotannon ulkopuolelle jäävät suojelualueet. Muu maa on metsätalouksmaahan kuulumatonta maata, jonka luokkia ovat maatalousmaa, rakennettu maa, liikenneväylät ja voimansiirtolinjat. Metsätalouksmaa luokitellaan puuntuotoskyvyn perusteella metsä-, kitu- ja joutomaahan sekä muuhun metsätalouksmaahan. Edelleen metsä-, kitu- ja joutomaa voidaan jakaa maapohjan perusteella kankaisiin ja soihin. (Metla 2009, s. 33)

Taulukossa 3 on esitetty Keski-Suomen kokonaismaa-ala ja metsätalousmaan pinta-ala maatyypeittäin jaoteltuna metsä-, kitu- ja joutomaahan sekä muihin alueisiin (Metla 2009, s. 45). Keski-Suomessa on puuntuotannon ulkopuolelle jääviä suojelualueita yhteensä 19 660 hehtaaria. Tästä yksityisten maalla olevia suojelualueita on 7 625 ha ja valtion mailla olevia 12 035 ha. (CLC 2006) Metsätalousmaan kokonaispinta-ala on 1 451 000 hehtaaria.

**Taulukko 3.** Keski-Suomen kokonaismaa-ala ja metsätalousmaan pinta-ala maatyypeittäin (Metla 2009, s. 45).

<b>Keski-Suomi</b>	<b>Pinta-ala (1000 ha)</b>
<b>Kokonaismaa-ala</b>	1671
<b>Metsätalousmaa</b>	1451
- <b>Metsämaa</b>	1376
- <b>Kitumaa</b>	32
- <b>Joutomaa</b>	29
- <b>Muu</b>	14

### **Biomassa**

Valtakunnan metsien 10. inventoinnin (VMI10) mukaan Keski-Suomessa puuston kokonaistilavuus metsä- ja kitumaalla on 172 milj. m<sup>3</sup>, josta mäntyä on 79 milj. m<sup>3</sup> (46 %), kuusta 60 milj. m<sup>3</sup> (35 %), koivua 28 milj. m<sup>3</sup> (16 %) ja muita lehtipuita 7 milj. m<sup>3</sup> (3 %) (taulukko 4). Tästä määrästä suurin osa, 97,1 % on niin sanotun puuntuotannon maalla. (Metla 2009) Puuston runkotilavuus (m<sup>3</sup>) on muunnettu puustobiomassan sisältämäksi hiilimääräksi (t) seuraavilla kansallisilla kertoimilla: mänty 0,3091, kuusi 0,3715 ja lehtipuut 0,4152. 1 kg hiiltä vastaa 3,67 kg hiilidioksidia. (Karjalainen & Kellomäki 1996) Puustoon on Keski-Suomessa sitoutunut yhteensä 61,2 milj. tonnia hiiltä, mikä on hiilidioksidiksi muutettuna 224,7 milj. tonnia.

**Taulukko 4.** Puuston vuotuinen kasvu, tilavuus ja poistuma puulajeittain metsä- ja kitumaalla (Metla 2009, s. 62, 69, 74).

<b>Puulaji</b>	<b>Kasvu milj. m<sup>3</sup>/a</b>	<b>Tilavuus milj. m<sup>3</sup>/a</b>	<b>Tilavuus- %</b>	<b>Poistuma milj. m<sup>3</sup>/a</b>
Mänty	3,62	79	46	2,32
Kuusi	2,79	60	35	2,35
Koivu	1,62	28	16	1,40
Muu lehtipuu	0,41	7	3	
<b>Yhteensä</b>	<b>8,44</b>	<b>172</b>	<b>100</b>	<b>6,07</b>

Puustoon sitoutuvan hiilen nettomäärä saadaan, kun kasvusta vähennetään hakkuut, luonnonpoistuma ja metsätähde. Nettomäärä vaihtelee vuosittain kasvun ja hakkuiden suhdetta noudattaen. Keski-Suomen alueella vuonna 2008 puubiomassa kasvoi 8,44 milj. m<sup>3</sup> vuodessa (Metla 2009, s. 69) ja kokonaispoistuma vastaavana aikana oli 6,07 milj. m<sup>3</sup> (Metla 2009, s. 74). Puubiomassan nettokasvu oli 2,37 milj. m<sup>3</sup>. Männyn puubiomassa kasvoi 1,3 milj. m<sup>3</sup>, kuusen 0,44 milj. m<sup>3</sup> ja lehtipuiden 0,62 milj. m<sup>3</sup> (taulukko 4). Yhteensä puubiomassan kasvu sitoi hiiltä 822 714 tonnia, mikä vastaa 3 019 360 tonnia hiilidioksidia.

Metsien pintakasvillisuuteen sitoutuneen hiilen määrä on arvioitu olevan noin 5 % puustoon sitoutuneen hiilen määrästä (Liski ym. 2006), jolloin se Keski-Suomessa olisi 3,06 milj. tonnia hiiltä. Pintakasvillisuuteen vuosittain sitoutuvan hiilen määrää ei tunneta, mutta sen arvioidaan olevan hyvin pieni verrattuna muihin metsäekosysteemin hiilen virtoihin (Kolari 2010, s. 27).

## Maaperä

Maaperään sitoutuu hiiltä karikkeen ja kuolleen puuaineksen muodossa. Suurin osa maahan kulkeutuvasta hiilestä vapautuu kuitenkin hiilidioksidina ilmaan maaperän hajotustoiminnan kautta. Kansallisessa laskennassa metsien kivennäismaiden hiilivaraston muutosta arvioidaan Yasso-maamallilla, joka laskee maan hiilivaraston muutoksen

maahan tulevan karikkeen määrän ja laadun sekä lämpötilan ja sadannan perusteella. (Lehtonen 2009) Mallia voidaan käyttää ainoastaan valtakunnallisella tasolla, jonka vuoksi tässä työssä kivennäismaan hiilitasetta arvioidaan kirjallisuudesta saatavien kertoimien avulla.

Kivennäismaalla maaperään ja karikkeeseen on sitoutunut hiiltä keskimäärin 6,279 kg/m<sup>2</sup> (Liski ym. 2006). Keski-Suomessa kivennäismaalla olevan metsätalousmaan pinta-ala on noin 1 097 000 hehtaaria (Metla 2009, s. 46), jolloin maaperään ja karikkeeseen olisi sitoutunut noin 68,88 milj. tonnia hiiltä eli 252,79 milj. tonnia hiilidioksidia. Vuositasolla maaperään ja karikkeeseen arvioidaan sitoutuvan lisää hiiltä keskimäärin 0,011 kg/m<sup>2</sup> (Liski ym. 2006), mikä tarkoittaa arviolta noin 120 670 tonnia hiiltä ja vastaa 442 859 tonnia hiilidioksidia.

Suomessa luonnontilaisten metsämaiden dityppioksidipäästö on noin 0,05-0,1 kg N<sub>2</sub>O/ha/a. Ravinteikkaassa metsämaassa päästö voi olla hakkuuta seuraavana vuotena noin 1 kg/ha/a, mutta laskee sen jälkeen nopeasti. Keskimääräisen dityppioksidipäästön kivennäismaalla voidaan olettaa olevan 0,1 - 0,3 kg N<sub>2</sub>O/ha/a. (Savolainen 1996, s. 186, 188) Metsämaan dityppioksidipäästöjen laskennassa käytetään keskiarvoa 0,2 kg N<sub>2</sub>O/ha/a. Keski-Suomessa kivennäismaan vuosittainen dityppioksidipäästö on noin 219 400 kg. Kerrottuna dityppioksidin GWP100-kertoimella 298 saadaan kivennäismaan dityppioksidipäästöiksi noin 65 381 t CO<sub>2</sub>-ekv. vuodessa.

Kivennäismaan metaaninielun suuruus on 1-3 kg CH<sub>4</sub>/ha/a. (Savolainen 1996, s. 188) Keski-Suomen metsämaan metaaninielun laskennassa käytetään keskiarvoa 2 kg CH<sub>4</sub>/ha/a. Kivennäismaan eli kangasmetsien pinta-alan ollessa 1 097 000 hehtaaria saadaan metsämaan kokonaismetaaninieluksi 2 194 t. Kerrottuna metaanin GWP100-kertoimella 25 saadaan metaanin nieluksi 54 850 t CO<sub>2</sub>-ekv. vuodessa.

### **Metsäojitetut turvemaat**

Metsä-, kitu- tai joutomaa luokitellaan suoksi, jos maata peittää turvekerros tai jos pintakasvillisuudesta yli 75 prosenttia on suokasvillisuutta. Metsäojitetuilla soilla voidaan erottaa kolme ravinteisuustasoa kuvaavaa kuivatusvaihetta, jotka ovat ojikko, muuttuma

ja turvekangas. Ojikko on äskettäin (yleensä alle 10 vuotta aiemmin) ojitettu suo, jossa ojitus ei ole vielä vaikuttanut aluskasvillisuuteen ja puuston kasvuun. Myös suot, joilla ojien tukkeutuminen on palauttanut suon ojitusta edeltävään tilaan, lasketaan ojikoiksi. Muuttumassa ojituksen kuivattava vaikutus on ehtinyt vaikuttaa puustoon, mutta alkuperäinen suokasvillisuus on vielä leimaa-antavaa. Turvekankaalla kasvillisuus on vaihtunut suokasvillisuudesta kangaskasveihin, eikä puusto kärsi enää veden vaikutuksista. Ojitusalueilla vanhan turpeen hajotus toimii kasvihuonekaasulähteenä aiheuttaen sekä hiilidioksidi-, metaani- että dityppioksidipäästöjä. (Metla 2009, s. 47, Päivänen 2007, s. 138) Ojitetuista soista puhuttaessa on huomioitava, että nimitystä "turvekangas" käytetään kahdessa eri merkityksessä. Toisaalta se on kuivatussukcession viimeinen kehitysvaihe eli turvekangasvaihe ja toisaalta metsäojitettujen soiden luokittelusysteemissä ojitetun suon ravinteisuustasoa kuvaava kasvupaikkaluokka eli turvekangastyyppi. (Päivänen 2007, s. 142)

Metsäojitettujen soiden hiilidioksidi- ja dityppioksidipäästöt riippuvat suon rehevyystasosta, jota voidaan kuvata turvekangastyypijaottelulla. Hiilidioksidipäästöjen laskennassa on käytetty kansallisen inventaarion mukaisia kertoimia (Statistics Finland 2010, s. 268) ja dityppioksidipäästöt on laskettu kirjallisuudesta saatujen, uusimpien kertoimien perusteella (Ojanen ym. 2010) (taulukko 5). Metaanipäästöt ovat pääasiassa riippuvaisia suon märkydestä, jonka vuoksi metaanipäästöt lasketaan erikseen ojikoille ja muuttumille sekä turvekankaille. Ojikkojen ja muuttumien osalta käytetään päästökerrointa  $1,16 \text{ g/m}^2/\text{a}$  ja turvekankaiden osalta  $-0,28 \text{ g/m}^2/\text{a}$ . (Ojanen ym. 2010)

**Taulukko 5.** Ojitettujen soiden hiilidioksidi- ja dityppioksidipäästöjen laskennassa käytetyt päästökertoimet.

Turvekangastyyppi	C g m <sup>2</sup> /a	N <sub>2</sub> O g/m <sup>2</sup> /a
Ruohoturvekangas (Rhtkg)	425,7	0,185
Mustikkaturvekangas (Mtkg)	312,1	0,142
Puolukaturvekangas (Ptkg)	242,3	0,05
Varputurvekangas (Vatkg)	218,9	0,029
Jäkäläturvekangas (Jätkg)	185,2	0



Vuonna 2008 Keski-Suomessa oli metsäojitettuja soita 270 000 hehtaaria. Ojikkojen osuus oli 3000 ha, muuttumien 127 000 ha ja turvekankaitten 140 000 ha. Eri turvekangastyyppien osuudet on esitetty taulukossa 6.

**Taulukko 6.** Keski-Suomen ojitetut suot turvekangastyypeittäin.

<b>Turvekangastyyppi</b>	<b>Pinta-ala (ha)</b>	<b>%</b>
Ruohoturvekangas	38 070	14,1
Mustikkaturvekangas	77 760	28,8
Puolukkaturvekangas	92 880	34,4
Varputurvekangas	55 620	20,6
Jäkäläturvekangas	5 670	2,1
<b>Yhteensä</b>	<b>270 000</b>	<b>100</b>

Ojitettujen soiden hiilidioksidipäästöt olivat 2 796 739 t CO<sub>2</sub>-ekv, dityppioksidipäästöt 72 539 t CO<sub>2</sub>-ekv. ja metaanipäästöt 27 900 t CO<sub>2</sub>-ekv. Ojitettujen soiden kasvihuonekaasupäästöt olivat yhteensä 2 897 178 t CO<sub>2</sub>-ekv.

Ojitetut turvemaat sitovat hiilidioksidia karikkeen ja muun kuolleen orgaanisen aineksen tullessa maaperään. Turvemaalla maaperään sitoutuu vuosittain hiilidioksidia keskimäärin 0,83 kg/m<sup>2</sup> (Statistics Finland 2010, s. 268). Ojitettujen maiden hiilidioksidivarasto kasvaa siten vuosittain noin 2 241 000 tonnia.

Keski-Suomen metsien ja metsämaan kasvihuonekaasupäästöt ja -nielut vuonna 2008 on esitetty taulukossa 7. Positiiviset arvot ovat päästöjä ja negatiiviset nieluja. Keski-Suomen metsien kokonaisnieluvaikutus on 2 795 510 t CO<sub>2</sub>-ekv.

**Taulukko 7.** Keski-Suomen metsien ja metsämaan kasvihuonekaasupäästöt ja -nielut vuonna 2008 (t CO<sub>2</sub>-ekv.)

	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	Yhteensä
Puusto	-3 019 360			-3 019 360
Kivennäismaaperä	-442 859	-54 850	65 381	-432 328
Ojitettu, orgaaninen maa	555 739	27 900	72 539	656 178
<b>Yhteensä</b>	<b>-2 906 480</b>	<b>-26 950</b>	<b>137 920</b>	<b>-2 795 510</b>

### 5.3 Luonnontilaiset suot

Luonnontilaisten soiden osalta lasketaan hiilidioksidinielun suuruus sekä metaani- ja dityppioksidipäästöjen määrät. Soiden puuston hiilinielu sisältyy metsien puustobio-massaan (kappale 5.2), sillä aineistosta johtuen luonnontilaisilla soilla kasvavaa puustoa ei voida erottaa kivennäismaan tai ojitetun turvemaan puustosta. Luonnontilaisilla soilla puustoon sitoutuvaa hiilidioksidimäärää on kuitenkin pyritty arvioimaan soiden kokonaisuuteen muodostamiseksi. Ojitettujen soiden kasvihuonekaasutase on tarkasteltu kokonaisuudessaan metsien yhteydessä, sillä suurin osa ojitetusta turvemaasta on puuntuotannon piirissä.

Luonnontilaiset suot kerryttävät hiilidioksidia turpeeseen keskimäärin 75,3 g/m<sup>2</sup>/a. Metaania vapautuu soista keskimäärin 13,5 g/m<sup>2</sup>/a, kun taas dityppioksidipäästöt ovat melko pieniä, keskimäärin vain noin 0,005 g/m<sup>2</sup>/a. Soiden kasvihuonekaasutaseita laskettaessa huomioidaan suon ravinteisuustaso sekä puuston tiheys (taulukko 8). (Crill ym. 2000, s. 20)

**Taulukko 8.** Luonnontilaisten soiden kasvihuonekaasupäästöt ( $\text{g/m}^2/\text{a}$ ). Luvut ovat pinta-alalle painotettuja keskiarvoja jokaiselle suotyypiryhmälle. (Crill ym. 2000)

Ravinteisuustaso	Puusto	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
Eutrofia	tiheä	- 85,6	0,07	0,014
Mesotrofia	tiheä	- 92,2	0,07	0,014
Mesotrofia	puuton	- 62,1	12,00	0,014
Mesotrofia	harva	- 62,2	29,78	0,014
Oligotrofia	tiheä	- 95,6	6,47	0
Oligotrofia	puuton	- 61,8	29,78	0
Oligotrofia	harva	- 61,8	29,78	0
Ombrotrofia	tiheä	- 94,6	7,64	0
Ombrotrofia	puuton	- 65,9	16,58	0
Ombrotrofia	harva	- 68,2	6,94	0
Kaikki luonnontilaiset		- 75,3	13,51	0,005

Keski-Suomen maapinta-alasta noin neljäsosa eli 5000 km<sup>2</sup> on turvemaata. Runsaimmin soita on Suomenselän itäisellä reunalla Kyyjärvellä ja Kinnulassa, jossa pinta-alasta yli 60 % on turveperäisiä maalajeja. Eteläisessä Keski-Suomessa ja suurten järvien ympäristöissä soiden osuus on alle 10 %. Keski-Suomessa suot voidaan jakaa karkeasti pohjoisessa sijaitseviin Suomenselän aapasoihin sekä keskisiin ja eteläisiin Sisä-Suomen vietto- ja rahkakeitaisiin. (Keski-Suomen ympäristökeskus 2006) Keski-Suomessa ojitamattomia soita on 70 000 hehtaaria eli 20,6 % turvemaista (Metla 2009, s. 47). Soiden pinta-alat ravinteisuustasojen ja puuston määrän mukaan on taulukossa 9.

**Taulukko 9.** Keski-Suomen soiden ravinteisuus ja puustoisuus.

Ravinteisuustaso	Puusto	%-osuus	Pinta-ala (ha)
Eutrofia	tiheä	1,2	840
Mesotrofia	tiheä	6,1	4270
Mesotrofia	puuton	5,5	3850
Mesotrofia	harva	5,4	3780
Oligotrofia	tiheä	27,2	19040
Oligotrofia	puuton	11,5	8050
Oligotrofia	harva	4,7	3290
Ombrotrofia	tiheä	9,8	6860
Ombrotrofia	puuton	9,8	6860
Ombrotrofia	harva	18,8	13160

Luonnontilaiset suot kerryttivät hiilidioksidia turpeeseen 54 594 t. Metaanipäästöt olivat 219 375 t CO<sub>2</sub>-ekv. ja dityppioksidipäästöt 532 t CO<sub>2</sub>-ekv.

Puustoon sitoutuvaa hiilen määrää luonnontilaisilla soilla voidaan arvioida soiden puuston keskimääräisen kasvun perusteella. Laskennassa käytetään koko valtakunnan keskiarvoa, sillä maakunnallisia tietoja ei ole saatavilla. Puuston tilavuus lisääntyy soilla keskimäärin 3,5 m<sup>3</sup>/ha vuodessa, mikä tarkoittaa Keski-Suomessa 245 000 m<sup>3</sup> (Korhonen ym. 2007). Keskimääräinen luonnonpoistuma metsätalousmaalla on 0,215 m<sup>3</sup>/ha, mutta soilla määrän arvioidaan olevan vähintään puolet pienempi eli 0,1075 m<sup>3</sup>/ha (Ihalainen & Mäkelä 2009). Näin ollen poistuma luonnontilaisilla soilla on noin 7 525 m<sup>3</sup> vuodessa ja kokonaiskasvu 237 475 m<sup>3</sup>. Puuston runkotilavuus (m<sup>3</sup>) voidaan muuntaa puustobiomassan sisältämäksi hiilimääräksi (t) kertoimella 0,365, joka on eri puulajien keskiarvo (Karjalainen & Kellomäki 1996). Vuositasolla luonnontilaisten soiden puustoon sitoutuu 86 678 tonnia hiiltä eli 318 108 tonnia hiilidioksidia. Määrä sisältyy aiemmin esitettyyn puustobiomassan hiilinielun laskentaan.

Yhteensä luonnontilaiset suot sitoivat kasvihuonekaasuja -152 795 t CO<sub>2</sub>-ekv., kun puustobiomassan sitoma hiili huomioidaan (taulukko 10). Jos puusto jätetään tarkastelun ulkopuolelle, luonnontilaiset suot toimivat nettolähteenä vapauttaen kasvihuonekaasuja ilmakehään 165 313 t CO<sub>2</sub>-ekv.

**Taulukko 10.** Luonnontilaisten soiden kasvihuonekaasutase Keski-Suomessa vuonna 2008.

Yhdiste	Kasvihuonekaasupäästöt t CO <sub>2</sub> -ekv.
CO <sub>2</sub>	
– turve	-54 594
– puusto	- 318 108
CH <sub>4</sub>	219 375
N <sub>2</sub> O	532
<b>Yhteensä</b>	<b>-152 795</b>

## 5.4 Turvetuotantoalueet

Turvetuotantoalueiden kohdalla lasketaan hiilidioksidi-, metaani ja dityppioksidipäästöt. Turvetuotantoalueiden kasvihuonekaasupäästöjen laskennassa käytettiin kansallisia kertoimia, jotka ovat taulukossa 11 (Statistics Finland 2010, s. 298). Hiilidioksidipäästöt lasketaan erikseen etelä- ja keskiboreaalisella kasvillisuusvyöhykkeellä sijaitseville turvetuotantoalueille.

**Taulukko 11.** Turvetuotantoalueiden päästökertoimet.

Kasvihuonekaasu	Päästökerroin (kg CO <sub>2</sub> -ekv/ha/a)
CO <sub>2</sub>	
- eteläboreaalinen	14 615
- keskiboreaalinen	14 250
CH <sub>4</sub>	468
N <sub>2</sub> O	895

Vuonna 2008 Keski-Suomessa oli turvetuotannon piirissä yhteensä 6 664 hehtaaria suota (VAHTI 2010). Varsinaisessa tuotannossa soista oli 5 522 hehtaaria (VAHTI 2010, tuotantomuodot: kunnostusvaiheessa, tuotannossa, tuotantokunnossa, mutta ei tuotannossa). Tuotannosta poistuneena kasvittomana alana oli 1 063 hehtaaria suota (VAHTI 2010). Kasvihuonekaasulaskennassa huomioidaan kunnostusvaiheessa, tuotannossa, tuotantokunnossa, mutta ei tuotannossa sekä tuotannosta poistuneena kasvittomana alana olevat turvetuotantoalueet (Statistics Finland 2010, s. 298), joita Keski-Suomessa vuonna 2008 oli 6 585 hehtaaria. Eteläborealisella kasvillisuusvyöhykkeellä sijaitsee 30 % ja keskiborealisella vyöhykkeellä 70 % turvetuotantoalueista (ArcMap 2011).

Vuonna 2008 turvetuotantoalueiden hiilidioksidipäästöt olivat 94 557 t CO<sub>2</sub>-ekv. Metaanipäästöt olivat 3 082 t CO<sub>2</sub>-ekv. ja dityppioksidipäästöt 5 894 t CO<sub>2</sub>-ekv. Yhteensä turvetuotantoalueilta vapautui kasvihuonekaasuja 103 533 t CO<sub>2</sub>-ekv. (Taulukko 12).

**Taulukko 12.** Turvetuotantoalueiden kasvihuonekaasutase Keski-Suomessa vuonna 2008.

Yhdiste	Kasvihuonekaasupäästöt t CO <sub>2</sub> -ekv.
CO <sub>2</sub>	94 557
CH <sub>4</sub>	3 082
N <sub>2</sub> O	5 894
<b>Yhteensä</b>	<b>103 533</b>

## 5.4 Vesistöt

Järvien kasvihuonekaasupäästöt tai -nielut eivät kuulu ilmastopimuksen piiriin, mutta myös niiden merkitys huomioidaan tässä työssä. Järvien osalta selvitetään metaani- ja hiilidioksidipäästöt sekä hiilen sedimentaation määrä vuodessa. Dityppioksidipäästöjen on havaittu olevan hyvin pieniä (Huttunen ym. 2003), eikä niiden osuutta järvien kasvihuonekaasupäästöistä huomioida laskelmissa.

Vesistöjen kasvihuonekaasupäästöt vaihtelevat järven trofiatason sekä koon mukaan ja

lisäksi metaanin vapautuminen on erilaista pelagiaali- eli avoveden alueella sekä litoraali- eli rantavyöhykkeellä (taulukko 13).

**Taulukko 13.** Järvien metaanipäästöt (mukaillen Juutinen ym. 2003, Juutinen ym. 2009).

Trofiataso	CH <sub>4</sub> -päästö (g/m <sup>2</sup> /a)	
	litoraali	pelagiaali
Eutrofia	18,1	1,6
Mesotrofia	11,0	0,3
Oligotrofia	0,4	0,3

Järvien hiilidioksidipäästöt sekä vuosittainen hiilidioksidin sedimentaatio lasketaan järvien kokoluokitukseen perustuvien kertoimien avulla, jotka löytyvät taulukosta 14.

**Taulukko 14.** Järvien hiilidioksidipäästöt ja sedimentaationopeus (Kortelainen ym. 2006).

Järven koko (km <sup>2</sup> )	0,01–0,1	0,1–1	1–10	10–100	>100
CO <sub>2</sub> -päästö (g CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> /a)	374	242	206	136	92
Sedimentaatio (g CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> /a)	8,8	14,7	11,4	6,6	3,5

Keski-Suomen järvien ja lampien yhteenlaskettu pinta-ala on 3197 km<sup>2</sup>, josta järvien ala 3188 km<sup>2</sup>. Järven vähimmäispinta-alaksi on määritetty 0,01 km<sup>2</sup>. Rantaviivaa Keski-Suomessa on yhteensä 17 349 km, josta järvien rantaviivaa on 16 575 km. Granbergin (2004) tutkimuksesta johdettujen tietojen mukaan Keski-Suomen järvistä suurin osa eli 46,8 % on oligotrofisia eli karuja. Mesotrofisia, lievästi reheviä järviä on 19,1 % ja eutrofisia eli reheviä 34 %. Rantavyöhykkeen eli litoraalialueen pinta-ala on laskettu kertomalla järvien rantaviivan pituus 3 metrillä. Keski-Suomen järvien pinta-alat ja rantaviivan pituudet on esitetty taulukossa 15.

**Taulukko 15.** Keski-Suomen järvien pinta-alat ja rantaviivan pituudet.

	<b>Eutrofia</b>	<b>Mesotrofia</b>	<b>Oligotrofia</b>	<b>Yhteensä</b>
%-osuus	34	19,2	46,8	100
Pinta-ala (km <sup>2</sup> )	1052	594	1449	3095
Rantaviiva (km)	4821	2722	6636	14 179
Litoraalin pinta-ala (km <sup>2</sup> )	15	8	20	43

Keski-Suomen järvien vuosittaiset metaanipäästöt ovat noin 65 800 tonnia hiilidioksidiekvivalentteina (taulukko 16).

**Taulukko 16.** Keski-Suomen järvien metaanipäästöt (t CO<sub>2</sub>-ekv/a).

	<b>Eutrofia</b>	<b>Mesotrofia</b>	<b>Oligotrofia</b>	<b>Yhteensä</b>
Litoraali	6 800	2 200	200	9200
Pelagiaali	41 475	4 400	10 725	56 600
<b>Yhteensä</b>	<b>48 275</b>	<b>6 600</b>	<b>10 925</b>	<b>65 800</b>

Keski-Suomen järvien vuosittaiset hiilidioksidipäästöt ovat noin 470 100 tonnia ja sedimentaatio 22 400 tonnia hiilidioksidia vuodessa (taulukko 17).

**Taulukko 17.** Keski-Suomen järvien kokojakauma, hiilidioksidipäästöt ja sedimentaatio.

<b>Järven koko (km<sup>2</sup>)</b>	<b>0,01–0,1</b>	<b>0,1–1</b>	<b>1–10</b>	<b>10–100</b>	<b>&gt;100</b>	<b>Yhteensä</b>
<b>Lukumäärä</b>	2636	986	169	37	5	<b>3828</b>
<b>Pinta-ala (km<sup>2</sup>)</b>	93	288	491	1168	1148	<b>3188</b>
<b>CO<sub>2</sub>-päästö (t CO<sub>2</sub>/a)</b>	34 780	69 670	101 150	158 850	105 620	<b>470 070</b>
<b>Sedimentaatio (t CO<sub>2</sub>/a)</b>	818	4234	5597	7709	4018	<b>22 376</b>

Keski-Suomen järvistä vapautuu vuosittain kasvihuonekaasupäästöjä yhteensä 535 888 tonnia hiilidioksidiekvivalentteina ja sedimentaatio on 22 400 tonnia hiilidioksidia.



Keski-Suomen järvien nettopäästö on näin ollen 513 500 t CO<sub>2</sub>-ekv. (Taulukko 18)

**Taulukko 18.** Keski-Suomen järvien kasvihuonekaasutase (t CO<sub>2</sub>-ekv.).

	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	Yhteensä
<b>Päästöt</b>	65 800	470 088	535 888
<b>Sedimentaatio</b>		- 22 376	-22 376
<b>Yhteensä</b>	65 800	447 712	513 512

## 5.5 Viljelysmaat

Viljelysmaat ovat Suomessa olleet yleisesti hiilidioksidin nettolähde. Viljelysmaiden kasvihuonekaasutaselaskennassa otetaan huomioon orgaanisen viljelysmaan hiilidioksiidi- ja dityppioksidipäästöt sekä kivennäismaaperän hiilidioksidinielu. Lisäksi arvioidaan biomassaan sitoutuvan hiilen määrä. Viljelysmaa sisältää viljelyskäytössä olevat maat, pysyvät puutarhaviljelmät, kotitarvepuutarhat ja kesantoalueet (Statistics Finland 2010, s. 280).

### **Biomassa**

Käytössä olevan maatalousmaan pinta-ala vuonna 2008 Keski-Suomessa oli 99 700 hehtaaria (Tike 2009, s. 99). Maatalousmaan käyttömuodot pinta-aloittain on esitetty taulukossa 19.

**Taulukko 19.** Maatalousmaan käyttömuodot Keski-Suomessa vuonna 2008 (Tike 2009, s. 99).

Käyttömuoto	Pinta-ala 1000 ha
Viljelty ala	87,1
Kesanto	11,4
- Yhteensä	98,5
Nurmet väh. 5 vuotta	0,8
Monivuotiset puutarhakasvit	0,3
Kotitarvepuutarha	0,1
<b>Käytössä oleva maatalousmaa yhteensä</b>	<b>99,7</b>

Keski-Suomessa tärkeimmät viljelyskasvit pinta-alan perusteella ovat nurmikasvit, jotka sisältävät kuivaheinän, säilörehun, tuorerehun ja siemenheinän. (Tike 2009, s. 96–98, 113) Viljoista ohra ja kaura ovat merkittävimmät. Tärkeimpien viljelyskasvien pinta-alat Keski-Suomessa vuonna 2008 on listattuna taulukkoon 20.

**Taulukko 20.** Tärkeimpien viljelykasvien viljelypinta-alat Keski-Suomessa vuonna 2008.

Viljelykasvi	Viljelyala, ha
Syysvehnä	100
Kevätvehnä	2000
Ruis	600
Ohra	17500
Kaura	17700
Seosvilja	900
Nurmikasvit	34400
Peruna	200
Rypsi ja rapsi	1100
Ruokohelpi	5000
Puutarhakasvit	200
Avomaan vihannekset	44
<b>Yhteensä</b>	<b>82384</b>

Viljelysmaiden hiilitasetta arvioitaessa huomioidaan omena- ja viinimarjapensaiden kasvihuonekaasutase. Omenapuiden ja viinimarjapensaiden viljelyalat Keski-Suomessa vuonna 2008 on taulukossa 21.

**Taulukko 21.** Omenan ja viinimarjojen viljelyalat Keski-Suomessa vuonna 2008 (Tike 2009, s. 114).

Viljelykasvi	Viljelyala, ha
Musta- ja viherherukka	128,6
Punaherukka	20,2
Valkoherukka	31,8
- Yhteensä	180,6
Omena	14,3

Vuosittain biomassaan sitoutuneen hiilivaraston muutos voidaan laskea vähentämällä vuosittaisesta biomassan määrän lisääntymisestä samana ajanjaksona tapahtunut biomassan poistuma. Laskennassa käytetään Suomen kansallisesta raportoinnista sovellettuja kertoimia, jotka ovat taulukossa 22 (Statistics Finland 2010, s. 281).

**Taulukko 22.** Laskentakertoimet omenapuille ja viinimarjapensaille.

	<b>Maanpäälliseen biomassaan sitoutunut hiili, t C/ha</b>	<b>Biomassan kasvu, t C/ha/a</b>	<b>Hakkuuväli a</b>
<b>Omenapuut</b>	19,5	0,8405	25
<b>Viinimarjapensaat</b>	4,02	0,236	17

Omenapuiden osalta vuosittainen hiilivaraston kasvu on 12,02 tonnia hiiltä vuodessa, mikä vastaa 44,1 tonnia hiilidioksidia. Omenapuut uusitaan keskimäärin 25 vuoden välein, jolloin vuosittainen poistuma on 0,57 hehtaaria. Hiilen poistuma vuodessa on 11,12 tonnia eli 40,8 tonnia hiilidioksidia. Vuonna 2008 biomassaan maanpäälliseen biomassaan sitoutunut hiilivarasto kasvoi omenanviljelyssä 0,9 tonnia. Luku vastaa 3,3 tonnia hiilidioksidia.

Viinimarjapensaat sitoivat vuonna 2008 hiiltä 42,6 tonnia, mikä on hiilidioksidiksi muutettuna 156,4 tonnia. Herukkapensaiden uusimisväli on noin 17 vuotta, mikä vuoden 2008 viljelyalaan suhteutettuna tarkoittaa 10,62 hehtaaria vuodessa. Biomassan mukana menetettiin 42,7 tonnia hiiltä eli 156,7 tonnia hiilidioksidia. Herukkapensaat olivat siten vuonna 2008 hiilen lähde, sillä hiiltä vapautui 0,1 tonnia eli hiilidioksidiksi muutettuna 0,367 tonnia.

Kokonaisuudessaan omena- ja marjapensaat sitoivat hiilidioksidia 2,93 tonnia.

## **Maaperä**

Orgaanisia maita ovat turve- ja multamaat. Suomen maalajiluokituksen mukaan turvemaita ovat maat, joiden orgaanisen aineksen pitoisuus on vähintään 40 % ja multamaita maat, joiden orgaanisen aineksen pitoisuus on 20–39,9 % kuivamassasta. Kansainväli-

sissä maalajiluokituksissa turve- ja multamaat luokitellaan samaan orgaanisten maiden luokkaan. Keski-Suomessa turvemaiden osuus viljelyssä olevista maista on 3 % ja multamaiden 10,2 %. (Myllys & Sinkkonen 2004) Oletetaan suhteen olevan sama myös kaikkien maatalousmaiden osalta. Siten Keski-Suomen 87 100 viljelysmaahehtaaria turvemaita on 2 613 hehtaaria ja multamaita 8 884 hehtaaria. Yhteensä Keski-Suomessa orgaanisia maatalousmaita on 11 497 hehtaaria.

Orgaanisten viljelysmaiden hiilidioksidipäästöjen laskennassa käytetään kansallisia kertoimia, jotka vaihtelevat viljeltävän kasvilajin mukaan. Nurmenviljelyalueilla päästökerroin on 4,1 t C/ha/a ja muiden viljelykasvien osalta käytetään päästökerrointa 5,7 t C/ha/a. (Statistics Finland 2010, s. 284)

Keski-Suomen maaperän ominaispiirteisiin kuuluvat runsaat suovarot pohjois- sekä luoteisosissa ja mineraalimaat etelässä ja kaakossa. Maatalouden kasvintuotantosuunnat ovat jakautuneet maantieteellisesti siten, että viljanviljely painottuu etelään ja nurmentuotanto pohjoiseen eli orgaanisilla mailla nurmen viljely on vallitsevaa. Laskennassa arvioidaan orgaanisten viljelysmaiden olevan viljelty 60 % nurmella ja 40 % viljalla. (Onkila 2006) Orgaanisilla mailla nurmentuotannossa vuonna 2008 oli 6 898 hehtaaria ja viljanviljelyssä 4 599 hehtaaria.

Hiilidioksidipäästöt nurmentuotannossa olevilta viljelymailta vuonna 2008 olivat 28 282 tonnia hiiltä ja viljanviljelyalueilta 26 214 tonnia hiiltä. Hiilidioksidiksi muutettuna nurmialueilta vapautui päästöjä 103 795 tonnia ja viljanviljelyalueilta 96 205 tonnia. Yhteensä orgaanisten viljelysmaiden päästöt olivat 200 000 tonnia hiilidioksidia. Päästöt orgaanisilta viljelymailta Keski-Suomessa vuonna 2008 on esitetty taulukossa 23.

**Taulukko 23.** Päästöt orgaanisilta viljelymailta (tonnia).

	C	CO <sub>2</sub>
Nurmi	28 282	103 795
Muut viljelykasvit	26 214	96 205
<b>Yhteensä</b>	54 496	200 000

Maakunnallisten tietojen puuttuessa kivennäismaiden peltojen hiilivaraston muutoksia ei ole arvioitu tässä työssä. Vuonna 2005 kivennäismaan hiilinielun viljelymailla arvioitiin olevan noin 26 800 t CO<sub>2</sub>-ekv (Onkila ym. 2008). Määrän voidaan olettaa pysyneen suunnilleen samana, sillä viljelymaiden pinta-aloissa ja viljelymenetelmissä ei ole tapahtunut suuria muutoksia.

Orgaaninen viljelysmaa on dityppioksidin lähde. Dityppioksidipäästöille päästökertoimet ovat 4 kg N<sub>2</sub>O/ha/a nurmikasvien viljelyalueille ja 11,7 kg N<sub>2</sub>O/ha/a muiden viljelykasvien alueille (Statistics Finland 2010, s. 247). Suorat dityppioksidipäästöt orgaanisilta mailta, joilla viljellään nurmikasveja, olivat vuonna 2008 Keski-Suomessa 27 592 kg ja viljan viljelyalueilta 53 808 kg. Hiilidioksidiekvivalentteina nurmentuotantoalueilta vapautui päästöjä 8 222 416 kg CO<sub>2</sub>-ekv ja viljanviljelyalueilta 16 034 784 kg CO<sub>2</sub>-ekv. Yhteensä orgaanisten maiden dityppioksidipäästöt olivat 24 257,2 t CO<sub>2</sub>-ekv.

Keski-Suomessa viljelymailta vapautui vuonna 2008 kasvihuonekaasupäästöjä yhteensä 197 454 tonnia hiilidioksidiekvivalentteina (taulukko 24). Dityppioksidin osuus päästöistä on 24 257 t CO<sub>2</sub>-ekv. Taulukossa positiiviset arvot ovat päästöjä ja negatiiviset arvot kuvaavat nieluvaikutusta.

**Taulukko 24.** Keski-Suomen viljelymaiden kasvihuonekaasutase (t CO<sub>2</sub>-ekv.).

	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> O	Yhteensä
Biomassa	- 2,9		- 2,9
Kivennäismaa	- 26 800		- 26 800
Orgaaninen maa	200 000	24 257	224 257
<b>Yhteensä</b>	<b>173 197,1</b>	<b>24 257</b>	<b>197 454,1</b>

## 5.6 Ruohikkomaat

Orgaaniset ruohikkomaat ovat hiilidioksidin lähteitä ja kivennäismaalla olevat nieluja. Ruohikkoalueiden osalta tarkastellaan ainoastaan maaperän hiilitasetta ja biomassan osuus jätetään huomioimatta. (Statistics Finland 2010, s. 289, 290) Ruohikkomaihin

lasketaan yli 5-vuotiaat nurmialueet, laidunmaa ja hylätty maatalousmaa. Keski-Suomessa oli vuonna 2008 yli 5-vuotiaita nurmialueita 800 hehtaaria ja laidunmaita 5 600 hehtaaria (Tike 2009, s. 97). Hylättyjen maatalousmaiden pinta-alaa ei Keski-Suomen alueelta ole saatavilla, mutta arvion mukaan niiden osuus on pieni. Yhteensä ruohikkoalueiden pinta-ala on 6 400 hehtaaria.

Ruohikkomaiden kasvihuonekaasupäästöt lasketaan erikseen kivennäis- ja orgaaniselle maaperälle kansallisten päästökertoimien avulla. Päästökertoimet ovat kivennäismaaperälle 0,06 t C/ha/a ja orgaanisille maille on 0,25 t C/ha/a (Statistics Finland 2010, s. 292). Maalajisuhteen oletetaan olevan sama kuin viljelysmaiden kohdalla, jolloin ruohikkomaista kivennäismaalla on 86,8 % eli 5 555 hehtaaria ja orgaanisella maaperällä 13,2 % eli 845 hehtaaria.

Kivennäismailla olevilta ruohikkoalueilta vapautui hiiltä 333 tonnia, mikä vastaa 1 223 t hiilidioksidia. Orgaanisten ruohikkoalueiden päästöt olivat 211 tonnia hiiltä eli 774 t hiilidioksidia. Yhteensä Keski-Suomessa ruohikkoalueilta vapautui vuonna 2008 kasvihuonekaasupäästöjä 1 997 t CO<sub>2</sub>-ekv (taulukko 25).

**Taulukko 25.** Keski-Suomen ruohikkomaiden kasvihuonekaasutase.

	t CO <sub>2</sub>
Kivennäismaa	1 223
Orgaaninen maa	774
<b>Yhteensä</b>	<b>1 997</b>

## 6 KASVIHUONEKAASUTASE KESKI-SUOMESSA

### 6.1 Luonnon kasvihuonekaasutase Keski-Suomessa

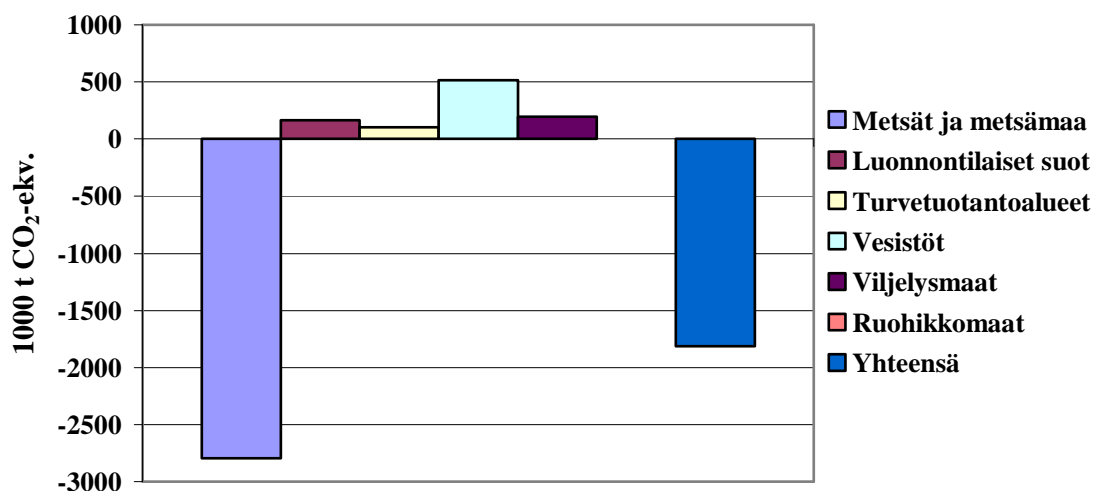
Keski-Suomessa luonnon kasvihuonekaasulähteiden ja -nielujen kokonaistase oli vuonna 2008 negatiivinen eli sektori toimi nettonieluna. Nettonielun suuruus oli -1 813 701 tonnia CO<sub>2</sub>-ekvivalenttia. Tulokset on esitetty taulukossa 26.

**Taulukko 26.** Luonnon kasvihuonekaasupäästöt ja -nielut Keski-Suomessa vuonna 2008.

	<b>Kasvihuonekaasupäästöt t CO<sub>2</sub>-ekv.</b>
Metsät ja metsämaa	-2 795 510
Luonnontilaiset suot	165 313
Turvetuotantoalueet	103 533
Vesistöt	513 512
Viljelysmaat	197 454
Ruohikkomaat	1 997
<b>Yhteensä</b>	<b>-1 813 701</b>

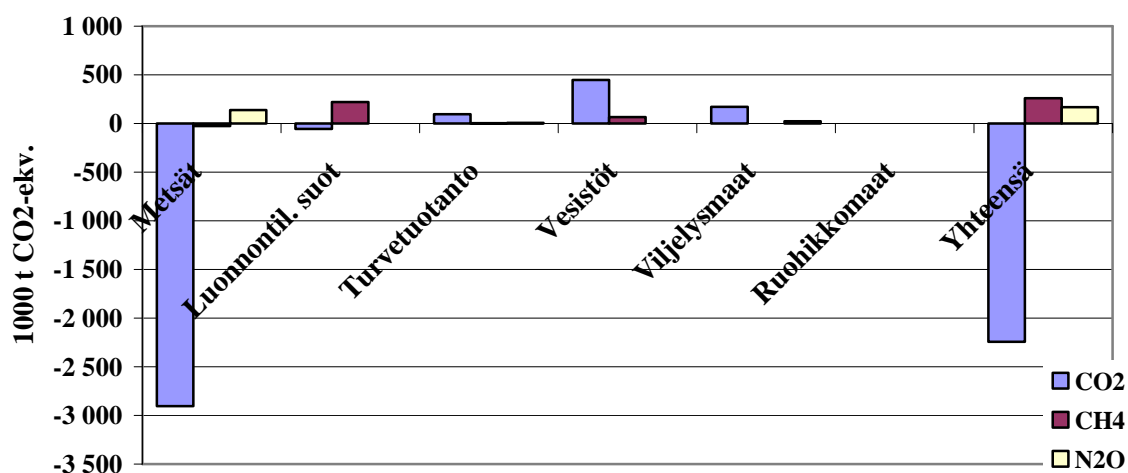
Metsät ovat Keski-Suomessa merkittävä hiilinielu -2 795 510 CO<sub>2</sub>-ekvivalenttitonnin nettonielullaan, kun taas vesistöt ovat suurin luonnollinen kasvihuonekaasujen lähde 513 512 CO<sub>2</sub>-ekvivalenttitonnin päästöillä. Pienempiä päästöjä vapautuu luonnontilaisilta soilta, turvetuotantoalueilta sekä viljelys- ja ruohikkomailta. (Kuva 6) Luonnontilaisten soiden puuston hiilinielu sisältyy metsien nielulaskentaan.





**Kuva 6.** Luonnon kasvihuonekaasulähteet ja -nielut Keski-Suomessa vuonna 2008.

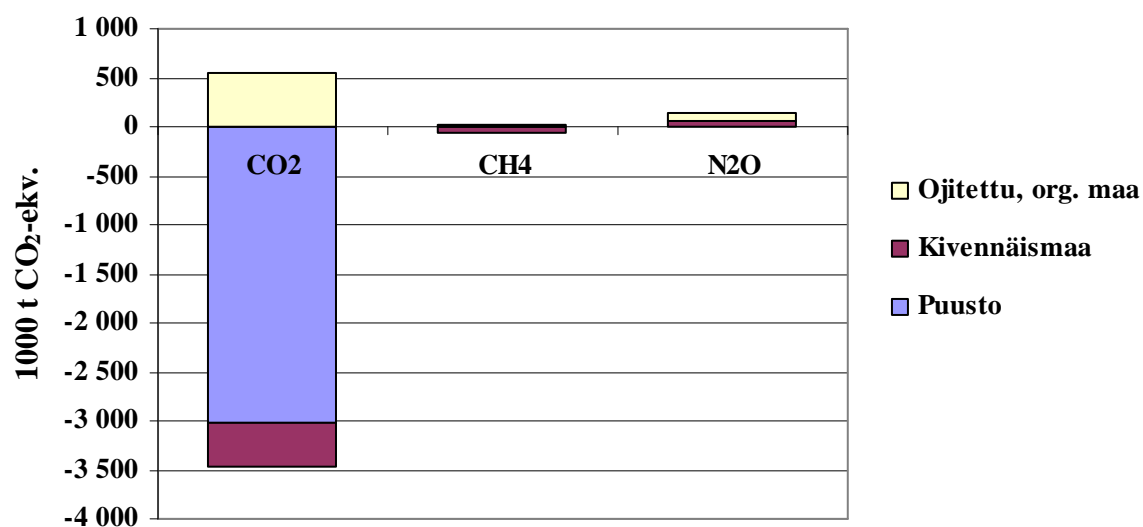
Hiilidioksidi on luonnon prosesseissa määrällisesti suurin kasvihuonekaasu, kun tarkastellaan sekä sitoutuvia että vapautuvia kasvihuonekaasuja. Hiilidioksidin osuus kasvihuonekaasuvirroista oli 84 %, metaanin osuus 10 % ja dityppioksidin 6 %. Myös päästöjen kohdalla hiilidioksidin osuus oli suurin, 62 %. Metaanin osuus päästöistä oli 24 % ja dityppioksidin 14 %. Eri kasvihuonekaasujen määrät päästölähteittäin on esitetty kuvassa 7.



**Kuva 7.** Eri kasvihuonekaasujen päästöt ja nielut sektoreittain Keski-Suomessa vuonna 2008.

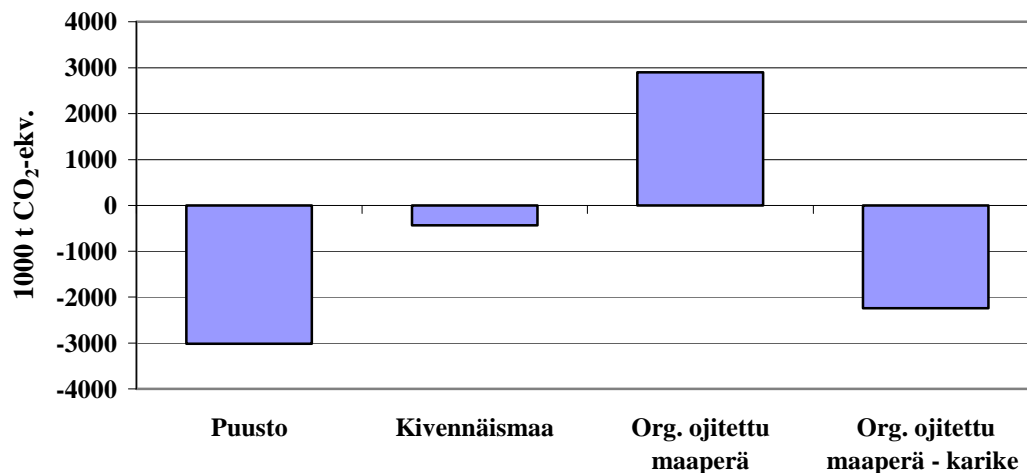
Keski-Suomessa luonnon nettonieluvaikutus selittyy pääasiassa metsien hiilidioksidinielulla, joka johtuu puustobiomassan tilavuuden kasvusta. Puuston lisäksi hiilidiok-

sidia sitoutuu maahan karikkeen ja muun orgaanisen aineksen tullessa maaperään. Kivennäismaaperä toimii metaanin nieluna, mutta aiheuttaa myös suunnilleen samansuuriset dityppioksidipäästöt. Ojitettujen turvemaiden maaperä vapauttaa ilmakehään hiilidioksidia sekä dityppioksidia. Metsien kasvihuonekaasutase on esitetty kasvihuonekaasuittain kuvassa 8.



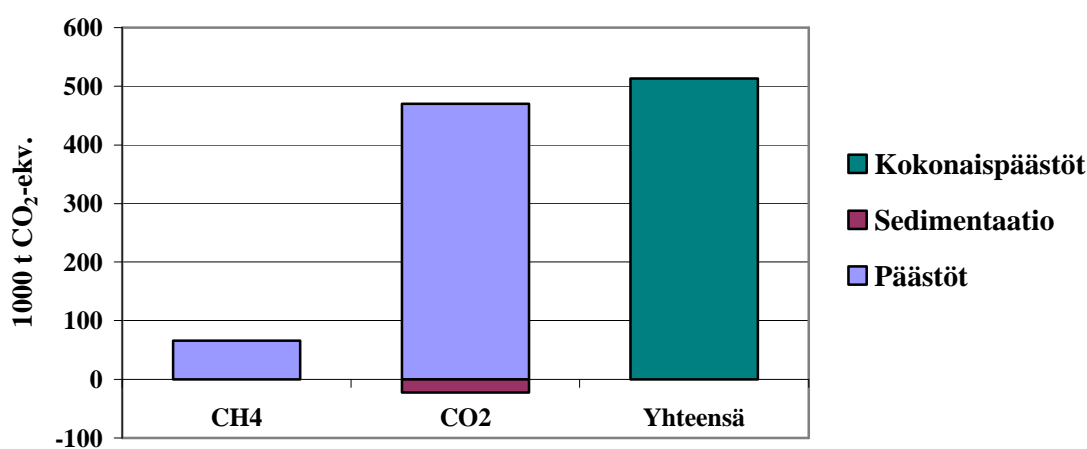
**Kuva 8.** Metsien kasvihuonekaasutase Keski-Suomessa vuonna 2008.

Ojitetut turvemaat ovat merkittävä kasvihuonekaasujen lähde, joka kuitenkin suurelta osin kompensoituu karikkeen ja muun kuolleen orgaanisen aineksen muodostaman nieluvaikutuksen ansiosta (kuva 9).



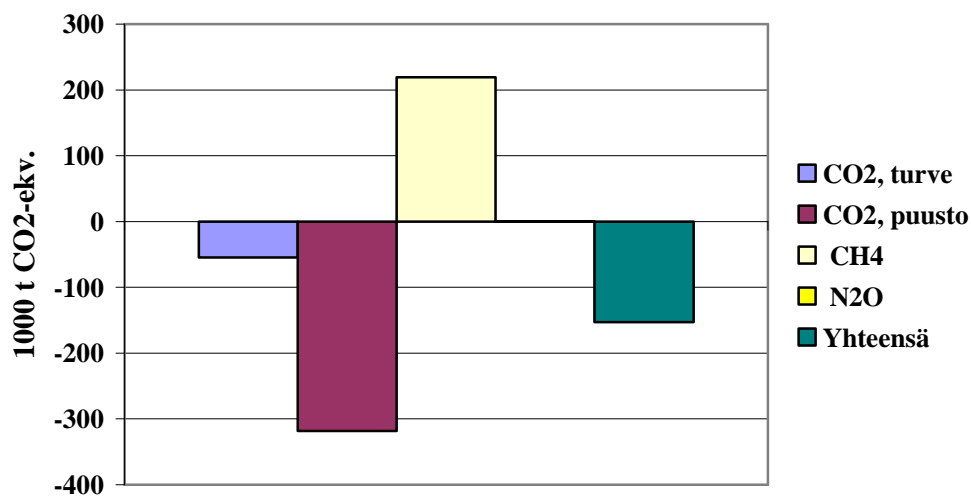
**Kuva 9.** Metsien kasvihuonekaasulähteet ja nielut.

Vesistöt ovat suurin luonnollinen kasvihuonekaasulähde Keski-Suomessa. Kansallisessa kasvihuonekaasuinventaariossa oletetaan, ettei ihminen ole toimillaan vaikuttanut vesistöjen hiilitaseeseen, jolloin niitä ei myöskään huomioida laskennassa. Vesistöjen valuma-alueilla tapahtuvilla häiriöillä ja maankäytön muutoksilla on kuitenkin suuri vaikutus järvien kasvihuonekaasutaseisiin erityisesti rehevöitymisen kautta. Näin ihminen vaikuttaa välillisesti järvien kasvihuonekaasupäästöjä lisäävästi. Vesistöjen kasvihuonekaasutase on esitetty kuvassa 10.



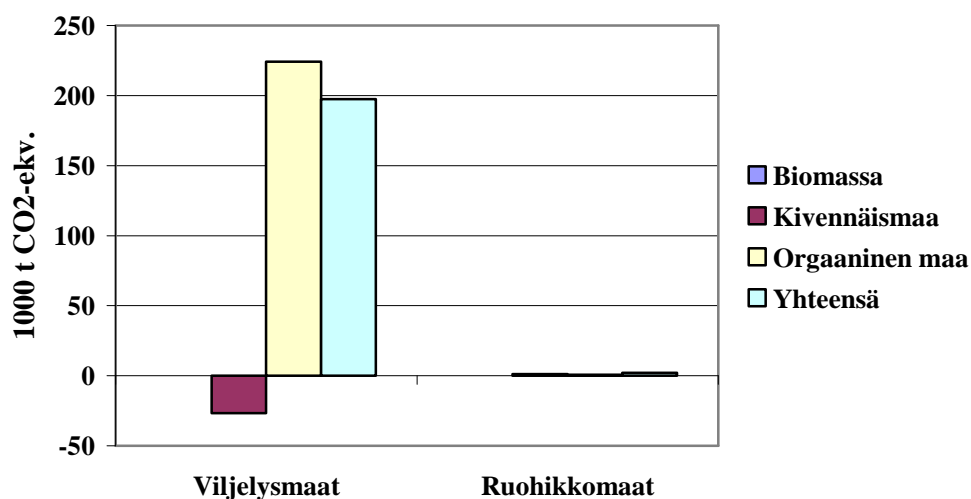
**Kuva 10.** Järvien kasvihuonekaasutase Keski-Suomessa vuonna 2008.

Luonnontilaisilta soilta vapautuu merkittäviä määriä metaania. Soiden kokonaistase on kuitenkin negatiivinen, sillä hiilidioksidia sitoutuu sekä turpeeseen että puustobiomas-  
saan. Luonnontilaisten soiden kokonaistase on esitetty kuvassa 11 ja siinä on huomioitu myös puuston sitoman hiilidioksidin määrä.



**Kuva 11.** Luonnontilaisten soiden kasvihuonekaasutase Keski-Suomessa vuonna 2008.

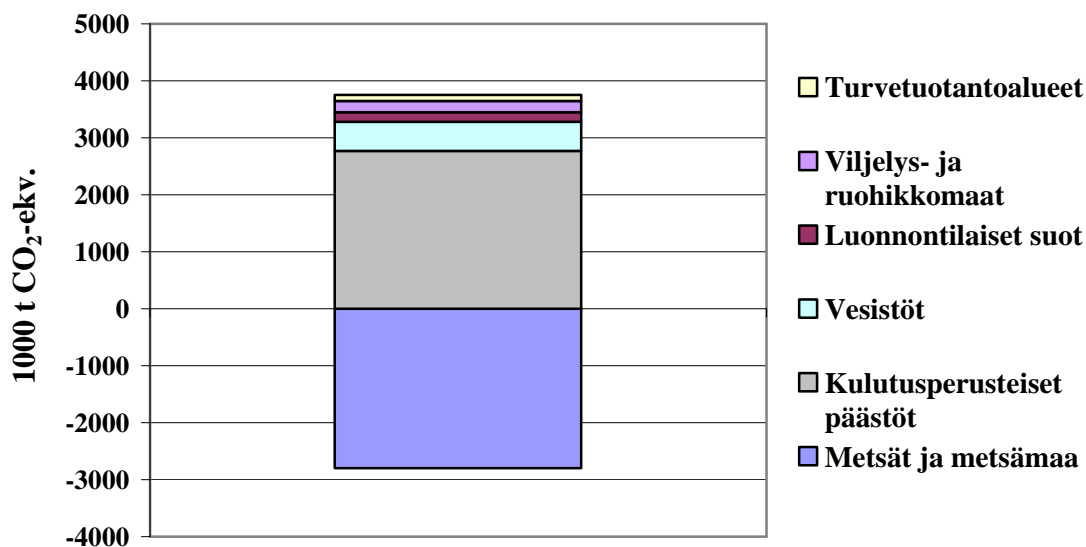
Keski-Suomessa viljelysmaat ovat kasvihuonekaasujen nettolähde orgaanisen maaperän suurten päästöjen takia. Viljelysmailla biomassa ja kivennäismaaperä toimivat hiilen nieluina. Ruohikkomailla sekä orgaaninen että kivennäismaaperä ovat kasvihuonekaasujen lähteitä, mutta määrät ovat viljelysmaihin verrattuna pieniä. (Kuva 12)



**Kuva 12.** Viljelys- ja ruohikkomaiden kasvihuonekaasutase Keski-Suomessa vuonna 2008.

## 6.2 Keski-Suomen kasvihuonekaasutase

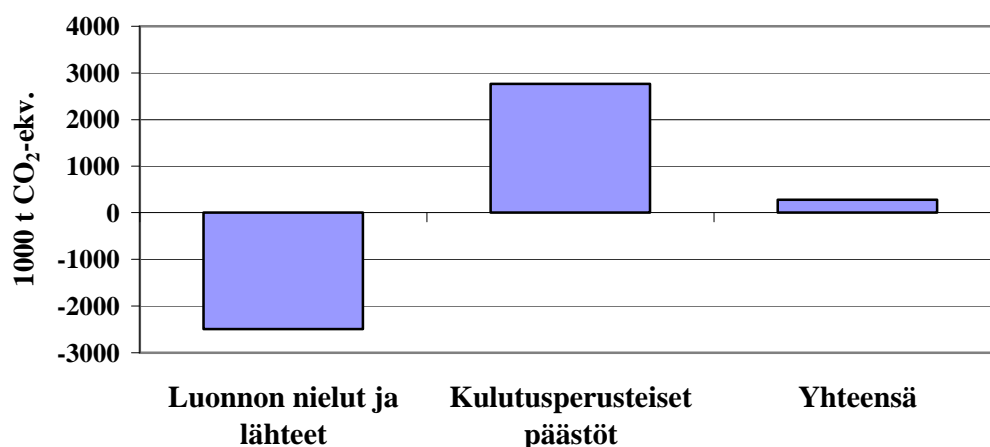
Keski-Suomessa metsien merkitys ihmisperäisten kasvihuonekaasujen nieluna on suuri. Vuonna 2008 luonnon kasvihuonekaasutase oli -1,8 milj. t. CO<sub>2</sub>-ekv. samalla kun ihmisperäisten päästöjen määrä oli 2,8 miljoonaa tonnia CO<sub>2</sub>-ekv. (Huikuri 2010, s. 40). Luonnon nieluvaikutus vastasi 64,3 % ihmisperäisistä päästöistä. Vastaavana aikana Suomessa LULUCF-sektorin nettonielun suuruus oli 35,4 miljoonaa tonnia CO<sub>2</sub>-ekvivalentteina, mikä vastasi noin puolta ihmisperäisistä päästöistä (Statistics Finland 2010, s. 249). Ihmisperäisiä päästöjä tarkasteltaessa on huomioitava, että vuonna 2008 päästöjen määrä oli edellisvuosia pienempi talouden taantumana takia (Huikuri 2010, s. 40). Lisäksi on huomioitava, että kulutus- ja tuotantoperusteisten päästöjen laskeminen on huomattavasti tarkempaa kuin luonnon kasvihuonekaasutaseiden arvioiminen. Luonnon lähteiden ja nielujen suuruudet sekä kulutusperusteisten päästöjen määrä vuonna 2008 on esitetty kuvassa 13.



**Kuva 13.** Keski-Suomen kasvihuonekaasutase vuonna 2008.

Keski-Suomessa kasvihuonekaasupäästöt ovat suurempia kuin luonnon nieluvaikutus. Vuonna 2008 maakunnan nettopäästö oli 955 399 tonnia CO<sub>2</sub>-ekv. Kun kasvihuonekaasutasetta tarkastellaan kansallisen inventaarion mukaisesti eli vesistöjen ja luonnontilaisten soiden taseet jätetään ulkopuolelle, on Keski-Suomen nettopäästö 276 574 tonnia

CO<sub>2</sub>-ekv. (kuva 14).



**Kuva 14.** Kasvihuonekaasulähteet ja -nielut Keski-Suomessa vuonna 2008.

### 6.3 Laskentaan liittyviä epävarmuustekijöitä

Luonnon kasvihuonekaasutaseiden määrittämiseen liittyy suuria epävarmuustekijöitä. Kansallisessa kasvihuonekaasuinventaariossa päästö- ja nieluarvioiden epävarmuudet ovat vaihdelleet eri kaasujen osalta hiilidioksidin 35 % ja dityppioksidin 150 % välillä, kun on tarkasteltu havaintoarvojen suhteellista hajontaa (SVT 2009). Tässä työssä laskenta suoritettiin kirjallisuudesta saatujen ja kansallisten päästökertoimien avulla, ja epävarmuuksien voidaan arvioida olevan vähintään samansuuruisia kuin kansallisessa raportoinnissakin. Tarkkojen virhemarginaalien määrittäminen vaatisi tulosten tilastollista tarkastelua ja tietokonesimulaatioihin perustuvia analyysejä (SVT 2009).

Tässä työssä puuston hakkuusta aiheutunut hiilivaraston muutos on määritelty päästökseen silloin, kun puu on poistettu metsästä. Ihmisperäisiä päästöjä laskettaessa puun energiankäyttö oletetaan yleensä hiilidioksidivapaaksi, sillä päästö on laskettu mukaan jo hakkuuvaiheessa. Todellisuudessa kyseinen tarkastelutapa antaa todellisuutta vastaavan tuloksen vain silloin, kun puu poltetaan hakkuuvuonna tai kun puuta poltetaan keskimäärin yhtä paljon kuin sitä poistuu metsistä. Kun puuta käytetään muuhun tarkoitukseen kuin energiantuotantoon, esimerkiksi rakentamiseen, varastoituu hiili pitkäksi aikaa, ja päästö vapautuu vasta sitten kun puu poltetaan tai se hajoaa lahoamisen kautta.

Kyseinen lähestymistapa mahdollistaa kuitenkin luonnon nieluvaikutuksen ja ihmisperäisten päästöjen vertailun.

Maaperän hiilivarastojen muutoksien määrittämiseen liittyy monia ongelmia. Maahan tulevaa karikkeen ja orgaanisen aineksen määrää on vaikeaa arvioida luotettavasti, sillä määrä riippuu alueen kasvillisuudesta, puustosta ja hakkuujätteen määrästä. Lisäksi maaperän hajotustoiminta vaihtelee vuosittainen vallitsevien lämpö- ja kosteusolojen takia. (Liski ym. 2006) Maaperän hiilitaseen arvioimiseksi on kehitetty viime vuosina useita tilastollisia malleja, joiden soveltaminen maakunnalliselle tasolle on kuitenkin hankalaa. Toisaalta esimerkiksi pintakasvillisuuden muodostaman karikkeen tai sitoman hiilen määriin vaikuttavia tekijöitä ei edes tunneta vielä kunnolla. Tässä työssä laskelmat on tehty riittävän tarkkojen maakunnallisen aineistojen ja mallien puuttuessa viimeisimpien tutkimustulosten perusteella tai kansallisista tuloksista johdettuina arvioina. Kansallisessa raportoinnissa vuonna 2008 maaperän hiilitaseen suhteellinen keskivirhe oli kivennäismaiden osalta 92 % ja orgaanisten maiden osalta 78 %, joten oletettavasti myös tässä työssä virhemarginaaleja voidaan pitää huomattavina (Statistics Finland 2011, s. 274).

Vesistöjen päästölaskennassa päästökertoimien valinnalla on suuri merkitys tulosten kannalta. Sedimentaation suuruuteen vaikuttaa ennen kaikkea käytetty tarkastelujakso. Viime jääkauden jälkeen sedimentaationopeus on ollut keskimäärin  $2 \text{ g C/m}^2$  vuodessa (Kortelainen ym. 2006), kun taas kolmen viikon mittausjakson perusteella sedimentaation suuruudeksi on saatu jopa  $55 \pm 44 \text{ g C/m}^2$  vuodessa (von Wachenfeldt & Tranvik 2008). Eroista voidaan päätellä, että hajotustoiminta jatkuu sedimentissä pitkään sedimentaatioprosessin jälkeenkin, ja että sedimentistä vapautuu ilmakehään näin ollen sekä hiilidioksidi- että metaanipäästöjä (Rantakari 2010, s. 27). Tässä työssä hiilen sedimentaationopeutena on käytetty pitkän ajan keskiarvoja, sillä tällöin sedimentteihin sitoutuvan hiilen voidaan olettaa päätyvän pysyvään hiilen varastoon. Vesistöjen kasvihuonekaasutaseessa päästöt korostuvat laskentatavasta johtuen, vaikka todellisuudessa niiden merkitys hiilen varastoina on suuri.

Luonnontilaisten soiden hiilitasetta ei huomioida kansallisessa kasvihuonekaasuinventaarissa, sillä soiden hiilen sidonnan ja päästöjen oletetaan olevan tasapainotilassa (Sta-

tistics Finland, s. 267). Tämän työn tulosten mukaan luonnontilaiset suot voivat toimia jopa hiilinieluinä, kun puuston vaikutus huomioidaan. Puusto- ja muun biomassan sitoman hiilen määrän määrittäminen tarkasti on kuitenkin vaikeaa, sillä tietoa ei ole riittäväällä tarkkuudella saatavissa. Tässä työssä soiden puustobiomassan sitoma hiili on sisällytetty metsien biomassan hiilinieluun, kuten valtakunnallisessa metsien inventoimissakin. VMI:ssä suot lasketaan kuuluvaksi metsätalousmaahan eikä soilla olevan puuston osuutta voida erottaa kokonaismäärästä. Toisaalta suot, joilla puuston vuotuinen kasvu jää alle 0,1 kuutiometriin lasketaan joutomaaksi, eikä niiden biomassan kasvua näin ollen sisällytetä lainkaan VMI:hin. Luonnontilaisten soiden hiilitaseen epävarmuutta lisää oikeiden päästökertoimien määrittäminen, sillä päästöt ja nielut riippuvat lukuisista eri tekijöistä. Käytännössä jokainen suo on yksilöllinen kokonaisuus, jonka vesi- ja ravinnetalous, pintakasvillisuus ja puusto määrittävät sen päästö- tai nieluvaikutuksen. Laskelmat antavatkin vain raakoja arvioita kasvihuonekaasuvirroista ja sisältävät aina suuren virhemarginaalin.

Viljelys- ja ruohikkomaiden päästölaskennassa epävarmuudet johtuvat pääosin maaperän hiilivaraston muutosten arvioimisen hankaluudesta. Lisäksi ruohikkomaiden osalta pinta-alatiedot olivat puutteellisia ja perustuivat arvioihin. Kansallisessa laskennassa ei vielä huomioida ruohikkomaiden biomassan hiilinielua ja se jätettiin tarkastelun ulkopuolelle myös tässä työssä. Ruohikkomaiden kasvihuonekaasupäästöjen voidaan olettaa olevan todellisuudessa pienempiä kuin tuloksista käy ilmi, sillä kasvibiomassa ja sen synnyttämä karike toimivat hiilinieluinä.



## 7 NIELUJEN TULEVAISUUS

### 7.1 Toimenpiteitä nielujen säilyttämiseksi ja lisäämiseksi

Metsien hiilinieluja on mahdollista lisätä kasvattamalla metsien pinta-alaa ja tiheyttä sekä lisäämällä metsien monimuotoisuutta. Nykysuositusten mukainen metsätalous ei edistä hiilen varastoitumista metsiin parhaalla mahdollisella tavalla, vaan metsänhoitotoisuuksiin tarvittaisiin tältä osin päivitystä. Suositeltavia toimenpiteitä ovat muun muassa metsien kiertoajan pidentäminen, ensiharvennusten lykkääminen sekä hakkuiden aiheuttamien vaurioiden ja maanmuokkauksen vähentäminen. (IPCC 2007c) Lisäksi tehokas metsien uudistaminen, ennestään puuttomien alueiden metsittäminen ja maankäytön muutoksista johtuvan hiilivarastojen häviämisen estäminen ovat keskeisiä toimenpiteitä (KMO 2010, s. 26). Kansallisessa metsäohjelmassa 2015 (KMO 2010, s. 25, 26) arvioidaan, että metsien ja metsämaan hiilinielu tulee lähivuosina pienentymään kasvavien hakkuiden seurauksena, joten muutoksia metsätaloudessa tulisi tehdä ilmastomuutoksen hillitsemiseksi mahdollisimman pian.

Ilmastomuutoksen hillitsemiseksi on esitetty puutuotteiden käytön ja puun energiakäytön lisäämistä (KMO 2010, s. 26). Hakkuutähteiden ja kantojen korjuulla bioenergiaksi on kuitenkin suuri merkitys metsien hiilitaseeseen. Perinteisesti puubioenergian on ajateltu olevan hiilineutraalia (poltossa vapautunut hiili sitoutuu kasvavaan puubiomasaan), jolloin fossiilisten polttoaineiden korvaaminen bioenergialla hillitsee ilmastonmuutosta (Lattimore ym. 2009, Wihersaari 2005). Tutkimustulosten perusteella hakkuutähteiden ja kantojen energiakäyttö aiheuttaa kuitenkin merkittävän hiilidioksidipäästön ilmakehään metsän hiilivaraston pienenemisen vuoksi. Metsään jätetyt hakkuutähteet lahoavat hakkuualoilla hitaasti ja muodostavat pitkäikäisen hiilivaraston, kun taas poltettaessa hiili vapautuu ilmaan heti. Esimerkiksi kannon hiilimäärästä on jäljellä luonnossa 20 vuoden lahoamisen jälkeen vielä 40–70 % ja oksien hiilimäärästä 20–40 % prosenttia. Oksia tulisikin suosia bioenergiana kantojen sijaan, sillä kantojen poltossa syntyvät epäsuorat hiilidioksidipäästöt ovat noin 1,5–2 kertaiset oksiin verrattuna. (Repo ym. 2010) Vaikka hakkuutähteiden energiakäyttöä ei voida pitää suoriin päästövähennyksiin verrattavissa olevana ilmastonmuutoksen hillintäkeinona, voi puubioener-

gian käyttö oikein toteutettuna olla kokonaisuudessaan melko vähäpäästöinen energiantuotantomuoto (Lattimore ym. 2009).

Nielujen lisäämiseen tai ylläpitoon vaikuttavien keinojen ajatellaan usein olevan ristiriidassa puuntuotannon taloudellisten tavoitteiden kanssa, mutta tutkimusten mukaan oikeanlaisilla metsänhoitotoimenpiteillä voidaan samanaikaisesti tehostaa sekä hiilen sidontaa että lisätä puuntuotantoa ja siten metsistä saatavaa taloudellista hyötyä (Pussinen ym. 2002, Thornley & Cannell 2000). Pohjola ym. (2006) tarkastelivat hiilivaraston muutosta suhteessa metsikön kiertoajan pidentämiseen, tiheyden lisäämiseen ja pohjapinta-alan kasvattamiseen. Suurimmat hiilivaraston lisäykset muodostuivat samanaikaisesti toteutetuilla pohjapinta-alan nostolla ja kiertoaikojen pidentämisellä. Taloudellisesti kannattavimmaksi keinoksi suhteessa saavutettuihin hiilivarastoihin osoittautui metsien nykyistä tiheämpi kasvattaminen, kun taas kiertoajan pidentäminen todettiin kalliiksi keinoksi lisätä nieluja. Taloudellisten intressien ohella on muistettava, että nielujen lisäämiseen tähtäävät toimenpiteet vaikuttavat positiivisesti luonnon monimuotoisuuteen eli biodiversiteettiin ja virkistysarvoihin (IPCC 2007c). Hiilinieluja ja monimuotoisuutta lisää muun muassa vanhojen metsien säilyttäminen, sillä vanhat metsät ovat kerryttäneet suuren hiilivaraston ja toisaalta hiiltä sitoutuu jatkuvasti eläviin puukudoksiin ja hitaasti hajoavaan orgaaniseen ainekseen. (Luyssaert ym. 2008)

Järvien metaani- ja hiilidioksidipäästöihin voidaan vaikuttaa ehkäisemällä rehevöitymistä. Etenkin valuma-alueen päästöjä vesistöihin tulisi tarkkailla ja rajoittaa entistä tarkemmin. Soiden osalta tärkeää on luonnontilaisuuden säilyminen ja erilaisten maanmuokkaustoimien minimoiminen. Ojitusten, kunnostusojitusten ja turvetuotannon myötä suon turve alkaa hajota ja siihen varastoitunut hiili vapautuu ilmakehään. Metsäojitus lisää puuston kasvua ja lisää siten elävän biomassan hiilensidontaa. Luonnontilaisen suon turpeen jatkuvasti kasvava ja pysyvä hiilivarasto on kuitenkin ratkaisevasti tärkeämpi kuin ojitetun suon puuston hiilensidonta, sillä turpeen hiilivarastot ovat moninkertaiset metsien puuston hiilivarantoihin verrattuna (Tapio 2009). Ojitettujen soiden ennallistaminen luonnontilaiseksi on keskeinen toimenpide, jolla voidaan melko nopeasti palauttaa suon luontainen kasvihuonekaasutalous ja hiilinielu (Soini ym. 2010, Tuitila ym. 1999). Turvetuotantoalueiden kohdalla kasvihuonekaasupäästöjä voidaan alen-

taa käytöstä poistuneiden suopohjien ripeällä jälkikäyttöön otolla esimerkiksi metsittä-  
misen tai ennallistamisen kautta. Lisäksi uusien turvetuotantoalueiden perustamista tuli-  
si ohjata suopelloille sekä metsäojitetuille soille.

## 7.2 Kansalliset ohjauskeinot

Ilmastonmuutoksen hillinnässä ilmastopolitiikka on ensi arvoisen tärkeää, sillä lainsäädännöllä ja erilaisilla ilmastostrategioilla sekä -ohjelmilla kehitystä voidaan ohjata ilmasto-  
masto vähemmän kuormittavaan suuntaan. Nykyään ympäristöllisten ohjauskeinojen  
valikoima on kattava, mutta hiilinielusaantelyn kohdalla asia ei ole yksiselitteinen. Eni-  
ten hankaluuksia aiheuttaa nielumekanismi, joka poikkeaa muista ohjauskeinojen alai-  
sista toiminnoista. Sitomalla ilmakehästä kasvihuonekaasuja nielut hillitsevät ihmistoi-  
minnan aiheuttaman ympäristöongelman etenemistä, ja siksi myös ohjauskeinojen tulisi  
olla enemmänkin resursseihin kuin päästöihin vaikuttavia. (Melkas 2004)

Taloudellisista ohjauskeinoista erilaiset tuet sekä verot ja maksut ovat yleisimmin käy-  
tettyjä välineitä (Luukkanen ym. 2009, s. 15). Hiilensidonnan tehostamisessa olisi mah-  
dollista hyödyntää jo olemassa olevaa lainsäädäntöä, kuten kestävän metsätalouden ra-  
hoituslakia (KEMERA, KMRL, 12.12.1996/1094), jolla rahoitetaan metsien kestävä  
hoitoa ja käyttöä edistäviä toimenpiteitä (Koistinen 2011). Tukea voitaisiin maksaa ta-  
loudellisista tappioista, joita syntyy hiilen sidontaa lisäävien toimenpiteiden suorittami-  
sesta metsissä. Tällaisia toimenpiteitä ovat esimerkiksi metsänuudistaminen, metsien  
kiertoajan pidentäminen ja tiheämpi kasvattaminen harvennusten frekvenssiä muutta-  
malla. Toinen taloudellisiin kannustimiin perustuva vaihtoehto voisi olla tuen maksami-  
nen metsään sitoutuneen hiilen mukaan, jolloin taloudellinen kannattavuus laskisi vä-  
hemmän kuin aiemmin kuvatussa systeemissä. Hiilen sidontaa olisi mahdollista edistää  
myös niin kutsutun luonnonarvokaupan avulla, jolla metsien monimuotoisuuden ja suo-  
jelman määrää voitaisiin lisätä (Melkas 2004). Luonnonarvokaupassa metsäkeskus tai  
alueellinen ympäristöviranomainen solmivat maanomistajan kanssa sopimuksen määrä-  
ajaksi luontoarvon säilyttämiseksi tai lisäämiseksi ja maksavat siitä sopimuksen mukai-  
sen korvauksen. (Maa- ja metsätalousministeriö 2007) Näin olisi mahdollista säilyttää  
olemassa olevia nieluja ja lisätä nieluvaikutusta myös talousmetsissä. Lisäksi olisi en-

siarvoisen tärkeää kehittää nykymetsätaloutta kokonaisvaltaisesti kohti nieluvaikutusta ja biodiversiteettiä suosivaan suuntaan.

Ympäristönsuojelussa keskeinen ohjauskeino on ympäristövaikutusten arviointi (YVA), jonka tarkoituksena on varmistaa että ympäristövaikutukset selvitetään riittävällä tarkkuudella silloin, kun hanke aiheuttaa merkittäviä ympäristövaikutuksia. Hiilinielujen sisällyttäminen YVA-selvityksiin olisi mahdollinen keino lisätä nielujen tunnistettavuutta, määrän lisäämistä tai vähintään ennallaan säilyttämistä. (Melkas 2004) Kansallisella sekä maakunnallisella tasolla hiilinieluja edistäviä keinoja voisivat olla myös esimerkiksi päätöksenteon tietoperustan parantaminen, kuluttajien käyttäytymiseen ja asenteisiin vaikuttaminen sekä erilaiset ekomerkinnot ja sertifiointijärjestelmät.

### **7.3 Nielusta lähteeksi - ilmastonmuutoksen palautekytkennät**

Nielumeکانismit ovat tiiviissä yhteydessä vallitsevaan ilmastoon ja siksi ilmaston lämpenemisellä ja ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden kasvulla voi olla suuria vaikutuksia luonnon hiilinielujen toimintaan. Muutokset kasvihuonekaasupitoisuuksissa eivät vaikuta suoraviivaisesti ilmastoon tai nieluihin, vaan erilaisilla palautekytkennöillä tulee olemaan huomattava merkitys ilmastonmuutoksen kehittymisessä. Palautekytkennöillä tai –mekanismeilla tarkoitetaan ilmastonmuutoksen aiheuttamia muutoksia nielujen toiminnassa, jotka vaikuttavat ilmastoon joko lämmittävästi (positiiviset palautekytkennät) tai viilentävästi (negatiiviset palautekytkennät). (IPCC 2007a)

Borealisissa metsissä tuottavuus tulee todennäköisesti kasvamaan lämpötilan ja ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden noustessa ja kasvukauden pidentyessä, mikä lisää myös hiilen sidontaa. Myös metsien levittäytyminen pohjoisemmaksi lisää nieluvaikutusta lisääntyvän biomassan myötä. Paikalliset ilmasto-olot sekä puulajien ja niiden suhteiden muutokset voivat kuitenkin aiheuttaa paljon alueellista vaihtelua nieluissa. (Kellomäki ym. 2007) Ilmastonmuutoksella on metsiin palautekytkentöjen lisäksi muitakin vaikutuksia. Tuholaisten määrä lisääntyy, tulokaslajit uhkaavat alkuperäisiä ekosysteemejä ja lajien levinneisyysalueet muuttuvat sekä eläinten että kasvien osalta. Näiden vaikutusten arvellaan olevan suurimpia juuri boreaalisten metsien kohdalla. Lisäksi on huomioi-

tava, että esimerkiksi trooppisten metsien muuttuminen aavikoksi aiheuttaa hiilidioksidin nettovirran ilmakehään. (IPCC 2007a)

Ilmaston lämmitessä maaperän hajotustoiminta kiihtyy ja ravinteita vapautuu enemmän kasvien käyttöön. Samalla hiilidioksidipäästöt maaperästä lisääntyvät. Useat tutkimukset ovatkin osoittaneet, että keskimääräistä lämpimämpien vuosien aikana maaperän hiilivarasto muuttuu herkästi nielusta lähteeksi. Maaperän nieludynamiikkaan ja ravinnekiertojen muutoksiin liittyy kuitenkin paljon epävarmuustekijöitä, joten yksiselitteisiä arvioita asiasta ei nykytiedolla pystytä tekemään. (IPCC 2007a)

Soiden kasvihuonekaasutaseet ovat sidoksissa lämpötilaan, sademäärään ja pohjaveden tasoon (Limpens ym. 2008). Pitkät kuivat jaksot edistävät turpeen hajoamista ja hiilidioksidin vapautumista ilmakehään. Poikkeuksellinen vesipinnan aleneminen kuivuuden seurauksena pienentää metaanipäästöä soilla, joissa metaanintuotanto on normaalisti suurta ja kompensoi näin lisääntyviä hiilidioksidipäästöjä. Toisaalta märkä kesä voi lisätä turpeen kertymistä, mutta samalla tilapäisetkin lämpöjaksot voimistavat metaanipäästöjä. Pohjavesipintojen pysyvä lasku merkitsisi metsien kasvun ja siten kariketuotannon kiihtymistä, jolloin hiiltä sitoutuisi sekä elävään biomassaan että maaperään. (Alm 1997) Myös soiden kohdalla palautekytkennät ja niiden voimakkuus riippuu lukuisista tekijöistä, jotka eivät ole riittävällä tarkkuudella tunnettuja (Limpens ym. 2008).

Palautekytkentöjen ennustaminen on epävarmaa ja alueelliset erot tulevat olemaan todennäköisesti suuria (IPCC 2007a). Palautekytkennöistä tehtyjen mallien perusteella maalla olevien nielujen nettosidonta vähenee vähitellen ja muuttuu jo 2000-luvun puolivälissä nettolähteeksi. Vuoteen 2100 mennessä tämän lähteen oletetaan olevan yhtä suuri kuin merten nettosidonta, jonka jälkeen ilmakehän hiilidioksidipitoisuus kasvaa yhdenmukaisesti kasvihuonekaasupäästöjen kanssa. (Cox ym. 2000)

## 8 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä työssä selvitettiin luonnon kasvihuonekaasulähteiden ja -nielujen merkitystä maakunnallisella tasolla. Esimerkkinä toimii Keski-Suomen maakunta, josta selvitettiin luonnon kasvihuonekaasulähteet ja -nielut sekä määritettiin niiden vapauttamien ja sitomien kasvihuonekaasujen määrät.

Keski-Suomessa luonnon nieluvaikutus vuonna 2008 oli -1 813 701 tonnia CO<sub>2</sub>-ekvivalenttia, mikä vastaa noin 65 prosenttia ihmisperäisistä päästöistä. Eniten hiilidioksidia sitoi puustobiomassa, jonka nieluvaikutus oli yli 3 miljoonaa tonnia CO<sub>2</sub>-ekvivalenttia. On kuitenkin muistettava, että puuston nieluvaikutus vaihtelee vuositasolla merkittävästi hakkuumääristä riippuen. Vuonna 2008 hakkuiden määrä laski edellisvuosista ja esimerkiksi Keski-Suomessa hakkuukertymä oli noin 11 % pienempi kuin vuonna 2007 (Metla 2009, s.176; Metla 2008, s. 185). Mikäli Keski-Suomen metsien hakkuuta lisättäisiin suunnitellut 549 000 m<sup>3</sup> vuodessa (Keski-Suomen Liitto 2010d, s. 6), pienenesi puuston hiilinielu 705 000 tonnia CO<sub>2</sub>-ekvivalenttia ollen noin 2,3 miljoonaa tonnia CO<sub>2</sub>-ekvivalenttia vuodessa. Lisäksi on huomioitava, että hakkuiden lisäksi metsien nielun suuruuteen vaikuttavat puuston ikä ja puulajisuhteet.

Ilmastonmuutoksen maailmanlaajuiset vaikutukset tulevat heijastumaan maakuntaan toimintaympäristön muutoksina, mikä on huomioitava alueellisessa suunnittelussa ja strategioiden laatimisessa. Keski-Suomessa ilmastonmuutosta pyritään tulevana vuosina hillitsemään tiivistämällä yhdyskuntarakennetta, lisäämällä uusiutuvien energialähteiden käyttöä, parantamalla energiatehokkuutta ja kehittämällä raideliikennettä (Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus 2010, s. 67, Keski-Suomen liitto 2010b, s. 23). Maakunnassa on silti useita ilmastonmuutoksen kannalta keskeisiä, mutta yhä ratkaisemattomia kysymyksiä. Muun muassa maakunnan turpeeseen perustuva energiaomavaraisuus ja siihen liittyvät turvetuotannon lisäspaineet ovat ristiriidassa ilmastonsuojelullisten tavoitteiden kanssa.

Kasvihuonekaasutaseita tarkasteltaessa on syytä erottaa toisistaan hiilen varastot ja hiilen virrat eri varastojen välillä. Tässä työssä on tarkasteltu hiilen virtoja ilmakehän ja eri varastojen välillä. Luonnontilaisten soiden turve ja järvien pohjasedimentit ovat tärkeitä

hiilen varastoja, vaikka niistä myös vapautuu kasvihuonekaasuja, kuten tämän työn tulokset osoittavat. Maankäytön muutokset ja muu ihmistoiminta voivat aiheuttaa näiden pysyvien hiilen varastojen nopean vapautumisen ilmakehään, mikä osaltaan nopeuttaa ilmaston lämpenemistä. Tämän takia muun muassa luonnontilaisten soiden ojittaminen tai turpeen nosto johtaa hiilivaraston vähittäiseen vapautumiseen, joka taas osaltaan nopeuttaa ilmaston lämpenemistä.

Maailmanlaajuinen ilmastonmuutos on yksi aikamme suurimmista haasteista. Ihmistoiminnan seurauksena vapautuvat kasvihuonekaasut voimistavat luonnollista kasvihuoneilmiötä, millä on laajamittaisia vaikutuksia ekosysteemeihin, ihmisten terveyteen, elinkeinoihin ja talouteen. Tämä työ osoittaa luonnon nielujen olevan tärkeässä roolissa ilmastonmuutoksen hillitsemisessä. Tulosten perusteella on selvää, että maakunnallisissa kasvihuonekaasutaselaskelmissa tulee huomioida ihmisperäisten päästöjen ohella myös luonnon lähteet ja nielut kokonaisuuden ymmärtämiseksi. Ihmisen toimet muuttavat luonnon nieludynamiikkaa ja voivat johtaa kasvaviin kasvihuonekaasupäästöihin tai pientyntyneeseen hiilen sidontaan. Toisaalta nielujen lisäämisen avulla ilmakehän kasvihuonekaasupitoisuuksiin voidaan vaikuttaa kustannustehokkaasti ja pienin investoinnein.

Ilmastonmuutoksen tehokkaan hillinnän ja sopeuttamisen kannalta kasvihuonekaasupäästöihin tulee puuttua sekä alueellisella, kansallisella että maailmanlaajuisella tasolla. Kasvihuonekaasujen päästöjen kasvun taittaminen ja kääntäminen laskuun on pitkän aikavälin haaste ja tavoite. Ilmastonmuutoksen torjunnan kannalta kuitenkin juuri seuraavat vuosikymmenet ovat kriittisiä ja siksi ongelmiin olisi reagoitava mahdollisimman nopeasti.

## LÄHTEET

Alm, J. 2007. CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> fluxes and carbon balance in the atmospheric interaction of boreal peatlands. Summary of Ph.D thesis. University of Joensuu Publications in Sciences. N:o 44. 34 p. + App.

ArcMap 2011. Ympäristöhallinnon paikkatieto-ohjelma.

Bastviken, D., Cole, J., Pace, M. & Tranvik, L. 2004. Methane emissions from lakes: dependence of lake characteristics, two regional assessments, and a global estimate. *Global Biogeochemistry* 18. 12 s.

Bionova Engineering 2009. Pohjois-Pohjanmaan kasviuonekaasutase. Pohjois-Pohjanmaan liitto. Saatavissa: [http://www.bionova.fi/files/ppliitto\\_kasviuonekaasutase.pdf](http://www.bionova.fi/files/ppliitto_kasviuonekaasutase.pdf)

Campbell, N.A., Reece, J.B & Mitchell, L.G. 1999. *Biology*. 5 ed. Menlo Park: Benjamin Cummins.

CLC 2006. CORINE Land Cover. Ympäristöhallinto. Paikkatietoaineisto.

Cox, P.M., Betts, R.A., Jones, C.D., Spall, S.A & Totterdell, I.J. 2000. Acceleration of global warming due to carbon-cycle feedbacks in a coupled climate model. *Nature* 408: 184-187.

Crill, P., Hargreaves, K. & Korhola, A. 2000. Turpeen asema Suomen kasviuonekaasutaseissa. Kauppa- ja teollisuusministeriön tutkimuksia ja raportteja 20/2000. 70 s. Helsinki: Oy Edita Ab.

Curry, C. L. 2009. The consumption of atmospheric methane by soil in a simulated future climate. *Biogeosciences* 6: 2355–2367.



Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus 2010. Sanoista tekoihin. Keski-Suomen ympäristöohjelma 2015. 72 s. PDF-dokumentti. Saatavissa: <http://www.ely-keskus.fi/fi/ELYkeskukset/KeskiSuomenELY/Ajankohtaista/Julkaisut/Sivut/default.aspx>

Feely, R.A., Sabine, C.L., Lee, K., Berelson, W., Kleypas, J., Fabry, V.J. & Millero, F.J. 2004. Impact of Anthropogenic CO<sub>2</sub> on the CaCO<sub>3</sub> System in the Oceans. *Science* 305: 362–366.

Granberg, K. 2004. Arvio eräiden Keski- ja Väli-Suomen järvien tuotantotyypistä ja kuormitussiedosta. Keski-Suomen ympäristökeskus. Monistesarja 50.

Huikuri, S. 2010. Keski-Suomen maakunnan kasvihuonekaasupäästöt ja niiden kehitys 2000-luvulla. Pro gradu-tutkielma. Jyväskylän yliopisto. Bio- ja ympäristötieteiden laitos, ympäristötiede ja teknologia. 56 s.

Huttula, J. 2007. Kasvihuonekaasupäästölaskenta kunnassa. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Ympäristötekniikan koulutusohjelma. 95 s.

Huttunen, J.T., Alm, J., Liikanen, A., Juutinen, S., Larmola, T., Hammar, T., Silvola, J. & Martikainen, P.J. 2003. Fluxes of methane, carbon dioxide and nitrous oxide in boreal lakes and potential anthropogenic effects on the aquatic greenhouse gas emissions. *Chemosphere* 52: 609–621.

Ihalainen, A. & Mäkelä, H. 2009. Kuolleen puuston määrä Etelä- ja Pohjois-Suomessa 2004–2007. *Metsätieteen aikakauskirja* 1/2009: 35–56.

IPCC 2003. Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. Penman, J., Gytarsky, M., Hiraishi, T., Krug, T., Kruger, D., Pipatti, R., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K. and Wagner, F. (toim.). Hayama: IGES.

IPCC 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Eggleston, S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T. & Tanabe, K. (toim.). Hayama: IGES

IPCC 2007a. Climate change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M. & Miller, H.L. (toim.). Cambridge: Cambridge University Press.

IPCC 2007b. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., van der Linden, P.J. & Hanson, C.E. (toim.). Cambridge : Cambridge University Press.

IPCC 2007c. Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Metz, B., Davidson, O.R., Bosch, P.R., Dave, R. & Meyer, L.A. (toim.). Cambridge: Cambridge University Press.

Juutinen s., Alm J., Larmola t., Huttunen J.T., Morero M., Martikainen P.J. & Silvola J. 2003. Major implication of the littoral zone for methane release from boreal lakes. *Global Biogeochemical Cycles* 17(4).

Juutinen, S., Rantakari, M., Kortelainen, P., Huttunen, J.T., Larmola, T., Alm, J., Silvola, J. & Martikainen, P.J. 2008. Methane dynamics in different boreal lake types. *Biogeosciences Discussions* 5: 3457–3496.

Karjalainen, T. & Kellomäki, S. 1996. Greenhouse gas inventory for land use changes and forestry in Finland based on international guidelines. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Climate* 1: 51–71.

Kellomäki, S. (toim.) 1996. Metsät. Teoksessa: Kuusisto, E., Kauppi, L. & Heikinheimo, P. *Ilmastonmuutos ja Suomi*. S. 71–106. Helsinki: Yliopistopaino.

Keski-Suomen liitto 2006. Keski-Suomi 2005 – katsaus maakunnan fyysiseen rakentamiseen ja aluekehitykseen. PDF-dokumentti. 67 s. Saatavissa:

<http://www.keskisuomi.fi/filebank/1363-ks-katsaus.pdf>

Keski-Suomen liitto 2010a. Yhteistyön, yrittäjyyden ja osaamisen Keski-Suomi. Keski-Suomen maakuntasuunnitelma 2030. Keski-Suomen liitto A28/2010.

Keski-Suomen liitto 2010b. Keski-Suomen maakuntaohjelma 2011–2014. Keski-Suomen kasvuohjelma. Keski-Suomen liitto A29/2010.

Keski-Suomen liitto 2010c. BalticClimate-hanke. Sisältödokumentti. [Viitattu 21.12.2010] Saatavissa <http://www.keskisuomi.fi/fin/haku/index.php?id=310>

Keski-Suomen liitto 2010d. Keski-Suomen maakuntaohjelma 2011–2014.

Ympäristöselostus. 17 s. Saatavissa PDF-muodossa:

[http://www.keskisuomi.fi/filebank/11830-mao2010\\_ympselv\\_www.pdf](http://www.keskisuomi.fi/filebank/11830-mao2010_ympselv_www.pdf)

Keski-Suomen ympäristökeskus 2006. Keski-Suomi. Metsät ja suot. Sisältödokumentti.

Päivitetty 14.7.2006. [viitattu 10.12.2010] Saatavissa:

<http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=19196&lan=fi>

KMO 2010. Kansallinen metsäohjelma 2015. Metsäalasta biotalouden vastuullinen edelläkävijä. Valtioneuvoston periaatepäätös 2010. 51 s. Saatavissa PDF-muodossa: [http://www.mmm.fi/attachments/kmo/5v0zOh2vb/Kansallinen\\_metsaohjelma\\_2015\\_16.12.2010.pdf](http://www.mmm.fi/attachments/kmo/5v0zOh2vb/Kansallinen_metsaohjelma_2015_16.12.2010.pdf)

Koistinen, A. 2011. Valtion tuet yksityismetsätaloudelle - kestävän metsätalouden rahoitustuki 2011. Sisältödokumentti. Päivitetty 11.1.2011. [Viitattu 12.1.2011] Saatavissa: [http://www.metsavastaa.net/valtioruokinta\\_tuetyksityismetsataloudelle](http://www.metsavastaa.net/valtioruokinta_tuetyksityismetsataloudelle)

Korhonen, K.T., Ihalainen, A., Heikkinen, J., Henttonen, H. & Pitkänen, J. 2007. Suomen metsävarat metsäkeskuksittain 2004–2006 ja metsävarojen kehitys 1996–2006. Metsätieteen Aikakauskirja 2B/2007: 149–213.

Kortelainen, P., Rantakari, M., Huttunen, J.T., Mattson, T., Alm, J., Juutinen, S.,

Larmola, T., Silvola, J. & Martikainen, P.J. 2006. Sediment respiration and lake trophic state are important predictors of large CO<sub>2</sub> evasion from small boreal lakes. *Global Change Biology* 12: 1554–1567.

Laine, J. (toim.) 1996. Suot. Teoksessa: Kuusisto, E., Kauppi, L. & Heikinheimo, P. *Ilmastonmuutos ja Suomi*. S. 109–126. Helsinki: Yliopistopaino.

Lattimore, B., Smith, C.T., Titus, B.D., Stupak, I. & Egnell, G. 2009. Environmental factors in woodfuel production: Opportunities, risks, and criteria and indicators for sustainable practices. Review. *Biomass and Bioenergy* 33: 1321–1342.

Lehtonen, A. 2009. Suomen kasvihuonekaasuinventaario ja metsien merkitys hiilitaseelle. *Metsätieteen aikakauskirja* 3/2009. S. 272–277.

Le Quéré, C., Raupach, M.R., Canadell, J.G., Marland, G., Bopp, L., Ciais, P., Conway, T.J., Doney, S.C., Feely, R.A., Foster, P., Friedlingstein, P., Gurney, K., Houghton, R.A., House, J.I., Huntingford, C., Levy, P.E., Lomas, M.R., Majkut, J., Metzler, N., Ometto, J.P., Peters, G.P., Prentice, I.C., Randerson, J.T., Running, S.W., Sarmiento, J.L., Schuster, U., Sitch, S., Takahashi, T., Viovy, N., van der Werf, G.R. & Woodward, F.I. 2009. Trends in the sources and sinks of carbon dioxide. *Nature Geoscience* 2:831 – 836.

Limpens, J., Berendse, F., Blodau, C., Canadell, J.G., Freeman, C., Holden, J., Roulet, N., Rydin, H. & Schaepman-Strub, G. 2008. Peatlands and the carbon cycle: from local processes to global implications – a synthesis. *Biogeosciences Discussion* 5:1379–1419.

Liski, J., Lehtonen, A., Palosuo, T., Peltoniemi, M., Eggers, T., Muukkonen, P. & Mäkipää, R. 2006. Carbon accumulation in Finland's forests 1922-2004 – an estimate obtained by combination of forest inventory data with modeling of biomass, litter and soil. *Annales Forest Science* 63: 687–697.

Luukkanen, J., Vehmas, J., Karjalainen, A. & Panula-Ontto, J. 2009. Energiaskenaarioita vuoteen 2050. Katsaus energia-alan haasteisiin, mahdollisuuksiin ja vaikutuskeinoihin.

Tulevaisuuden tutkimuskeskus ja Turun kauppakorkeakoulu. 63 s. Saatavissa PDF-muodossa: <http://www.energia.fi/fi/julkaisut/visiot2050>

Luyssaert, S., Schulze, E.D., Börner, A., Knohl, A., Hessenmöller, D., Law, B.E., Ciais, P. & Grace, J. 2008. Old-growth forests as global carbon sinks. *Nature* 455: 213-215.

Lyytimäki, J. & Hakala, H. 2008. Ympäristön tila ja suojeleminen Suomessa. 2 p. Helsinki: Gaudeamus.

Maa- ja metsätalousministeriö 2007. Luonnonarvokauppa. Sisältödokumentti. Päivitetty 12.12.2007. [Viitattu 12.1.2011] Saatavissa:

[http://wwwb.mmm.fi/metsa/uudet\\_suojelun\\_keinot/luonnonarvokauppa/](http://wwwb.mmm.fi/metsa/uudet_suojelun_keinot/luonnonarvokauppa/)

Maanmittauslaitos 2010. Suomen pinta-ala kunnittain 1.1.2010. PDF-dokumentti. 8 s. Saatavissa:

[http://www.maanmittauslaitos.fi/sites/default/files/pinta\\_alat\\_kunnittain\\_01012010.pdf](http://www.maanmittauslaitos.fi/sites/default/files/pinta_alat_kunnittain_01012010.pdf)

Melkas, E. 2004. Ohjauskeinoista hiilinielujen edistämiseksi metsissä. *Ympäristöjuriidikka* 1/2004: 7-26.

Metla 2008. Metsätilastollinen vuosikirja 2008. Metsäntutkimuslaitos. Peltola, A. (toim.). Vammala: Vammalan Kirjapaino Oy. 417 s. Saatavissa PDF-muodossa: <http://www.metla.fi/julkaisut/metsatilastollinenvsk/tilastovsk-sisalto.htm>

Metla 2009. Metsätilastollinen vuosikirja 2009. Metsäntutkimuslaitos. Peltola, A. (toim.). Sastamala: Vammalan Kirjapaino Oy.

Minkkinen, K., Laine, J. & Penttilä, T. 2007. Raportissa: Turpeen ja turvemaiden käytön kasvihuonevaikutukset Suomessa. Tutkimusohjelman loppuraportti. Maa- ja metsätalousministeriö. Saatavissa PDF-muodossa:

[http://www.mmm.fi/attachments/mmm/julkaisut/julkaisusarja/2007/5vg23dSGp/korjattu\\_11\\_2007\\_Hiiliraportti\\_netiversio.pdf](http://www.mmm.fi/attachments/mmm/julkaisut/julkaisusarja/2007/5vg23dSGp/korjattu_11_2007_Hiiliraportti_netiversio.pdf)

Mustonen, A. 2010. Pohjois-Karjalan kasvihuonekaasupäästöt ja -nielut vuonna 2007. Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulu. Ympäristötekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. 54 s.

Myllys, M. & Sinkkonen, M. 2004. Viljeltyjen turve- ja multamaiden pinta-ala ja alueellinen jakauma Suomessa. *Suo* 55, 3-4: 53–60.

Mäkelä, L. 2008. Etelä-Savon kasvihuonekaasutase 2005. Etelä-Savon ympäristökeskuksen raportteja 3/2008. Etelä-Savon ympäristökeskus.

Nevanlinna, H. (toim.) 2008. Muutamme ilmastoa. Ilmatieteen laitoksen tutkijoiden katsaus ilmastonmuutokseen. Helsinki: Karttakeskus.

Ojanen, P., Minkkinen, K., Alm, J. & Penttilä, T. 2010. Soil-atmosphere CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O fluxes in boreal forestry-drained peatlands. *Forest Ecology and Management* 260: 411–421.

Onkila, H., Tenhunen, J., Korppinen, A. & Hiekkavirta, J. 2008. Keski-Suomen ympäristöanalyysi - loppuraportti. Keski-Suomen ympäristökeskuksen raportteja 6/2008. Keski-Suomen ympäristökeskus. Saatavissa PDF-muodossa: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=95265&lan=fi>

Onkila 2010. Maatalouden kasvihuonekaasupäästöt. Henkilökohtainen tiedonanto. 30.11.2010. Keski-Suomen ELY-keskus.

Paalanen, E. 2009. Kasvihuonekaasutase Etelä-Karjalan maakunnassa. Kandidaatintyö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. 35 s.

Peltoniemi, M. 2007. Country-scale carbon accounting of the vegetation and mineral soils of Finland. *Dissertationes Forestales* 50. 46 s. Academic dissertation. University of Helsinki. Saatavissa PDF-muodossa: <http://www.metla.fi/dissertationes/df50.htm>

Pipatti, R., Esala, M., Jääskeläinen S., Kolttola, L., Kuusisto, E., Luhtala, S., Mikkonen, I., Niinioja, M., Niinistö, S., Nummelin, M., Perälä, M., Pingoud, K., Seitsonen, H., Stenborg, M., Tervo, M., Tolonen-Kivimäki, O., Tuomenvirta, H., Uusivuori, J., Raittinen, L., Skoglund, K. & Kimpanpää, M. (toim.) 2009. Finland's Fifth National Communication Under the United Nations Framework Convention on Climate Change. Ministry of the Environment and Statistics Finland. Helsinki. 280 s. ISBN 978-952-244-185-0. Saatavissa PDF-muodossa: [http://www.stat.fi/tup/khkinv/fin\\_fifth\\_nc.pdf](http://www.stat.fi/tup/khkinv/fin_fifth_nc.pdf)

Pohjola, J., Valsta, L. & Mononen, J. 2006. Metsät hiilinieluinä. Raportissa: Valsta, L., Ahtikoski, A., Horne, P., Karttunen, K., Kokko, K., Melkas, E., Mononen, J., Pingoud, K., Pohjola, J. & Uusivuori, J. Puu ilmastonmuutoksen hillitsijänä. Loppuraportti. Ympäristöklusterin tutkimusohjelman konsortio ”Suomen metsät ja puutuotteet ilmastonmuutoksen torjunnassa – nielut ja substitootit sekä niiden taloudellinen ja oikeudellinen ohjaus”. S. 4-10. Helsinki: Yliopistopaino.

Pussinen, A., Karjalainen, T., Mäkipää, R., Valsta, L. & Kellomäki, S. 2002. Forest carbon sequestration and harvests in Scots pine stand under different climate and nitrogen deposition scenarios. *Forest Ecology and Management* 158: 103–115.

Päivänen, J. 2007. Suot ja suometsät - järkevän käytön perusteet. Helsinki: Metsäkustannus.

Rantakari, M. 2010. The role of lakes in carbon cycling in boreal catchments. *Monographs of the Boreal Environment Research* 35. 40 s. Saatavissa PDF-muodossa: <http://www.environment.fi/download.asp?contentid=117984&lan=en>

Repo, A., Tuomi, M. & Liski, J. 2010. Indirect carbon dioxide emissions from producing bioenergy from forest harvest residues. *GCB Bioenergy*. doi: 10.1111/j.1757-1707.2010.01065.x.

Riutta, T. 2008. Fen ecosystem carbon gas dynamics in changing hydrological conditions. *Dissertationes Forestales* 67. 46 s. Saatavissa PDF-muodossa: <http://www.metla.fi/dissertationes/df67.pdf>

Ruosteenoja, K. 2007. Hallitustenvälinen ilmastonmuutospaneeli (IPCC). Ilmastonmuutos v. 2007. Luonnontieteellinen perusta. Yhteenveto päätöksentekijöille. Ensimmäisen työryhmän osuus Hallitustenvälisen ilmastonmuutospaneelin neljännessä arviointiraportissa. Ilmatieteenlaitos. Saatavissa:

[http://ilmatieteenlaitos.fi/c/document\\_library/get\\_file?uuid=f5fa6e34-a467-43cb-b5f8-93240b286441&groupId=30106](http://ilmatieteenlaitos.fi/c/document_library/get_file?uuid=f5fa6e34-a467-43cb-b5f8-93240b286441&groupId=30106)

Saarnio, S., Morero, M., Mäkilä, M. & Alm, J. 2007. Luonnontilaiset suot kasvihuonekaasujen sitoijina ja päästäjinä. Raportissa: Turpeen ja turvemaiden käytön kasvihuonevaikutukset Suomessa. Tutkimusohjelman loppuraportti. Maa- ja metsätalousministeriö. ISBN 978-952-453-349-2. Saatavissa PDF-muodossa:

[http://www.mmm.fi/attachments/mmm/julkaisut/julkaisusarja/2007/5vg23dSGp/korjattu\\_11\\_2007\\_Hiiliraportti\\_netiversio.pdf](http://www.mmm.fi/attachments/mmm/julkaisut/julkaisusarja/2007/5vg23dSGp/korjattu_11_2007_Hiiliraportti_netiversio.pdf)

Saarnio, S., Winiwarter, W. & Leitão, J. 2009. Methane release from wetlands and watercourses in Europe. *Atmospheric Environment* 43: 1421-1429.

Sarkkola, S. (toim.) 2007. Turpeen ja turvemaiden käytön kasvihuonevaikutukset Suomessa. Tutkimusohjelman loppuraportti. Maa- ja metsätalousministeriö. Saatavissa PDF-muodossa:

[http://www.mmm.fi/attachments/mmm/julkaisut/julkaisusarja/2007/5vg23dSGp/korjattu\\_11\\_2007\\_Hiiliraportti\\_netiversio.pdf](http://www.mmm.fi/attachments/mmm/julkaisut/julkaisusarja/2007/5vg23dSGp/korjattu_11_2007_Hiiliraportti_netiversio.pdf)

Savolainen, I. (toim.) 1996. Suomen kasvihuonekaasujen päästöt ja nielut. Teoksessa: Kuusisto, E., Kauppi, L. & Heikinheimo, P. Ilmastonmuutos ja Suomi. S. 179–196. Helsinki: Yliopistopaino.

Soini, P., Riutta, T., Yli-Petäys, M. & Vasander, H. 2010. Comparison of Vegetation and CO<sub>2</sub> Dynamics Between a Restored Cut-Away Peatland and a Pristine Fen: Evaluation of the Restoration Success. *Restoration Ecology* 18: 894–903.



Statistics Finland 2010. Greenhouse Gas Emissions in Finland 1990-2008. National Inventory Report under the UNFCCC and the Kyoto Protocol. 470 s. Saatavissa PDF-muodossa: [http://tilastokeskus.fi/tup/khkinv/fin\\_nir\\_20100525.pdf](http://tilastokeskus.fi/tup/khkinv/fin_nir_20100525.pdf)

SVT 2009. Laatuseloste: Kasvihuonekaasut. Helsinki: Tilastokeskus. Sisältödokumentti. Päivitetty 10.12.2010. [viitattu 22.1.2011] Saatavissa: [http://www.stat.fi/til/khki/2009/khki\\_2009\\_2010-12-10\\_laa\\_001\\_fi.html](http://www.stat.fi/til/khki/2009/khki_2009_2010-12-10_laa_001_fi.html).

Tapio 2009. Suot. Metsävastaa.net. Sisältödokumentti. Päivitetty 16.11.2009. [viitattu 8.2.2011] Saatavissa: <http://www.metsavastaa.net/suot>

TEM 2008. Pitkän aikavälin ilmasto- ja energiastrategia. Työ- ja elinkeinoministeriö. PDF-dokumentti. Saatavissa: [http://www.tem.fi/files/20585/Selontekoehdotus\\_311008.pdf](http://www.tem.fi/files/20585/Selontekoehdotus_311008.pdf)

Thornley, J.H.M & Cannell, M.G.R. 2000. Managing forests for wood yield and carbon storage: a theoretical study. *Tree Physiology* 20: 477–484.

Tike 2009. Maatilatilastollinen vuosikirja 2009. Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus. Helsinki: Edita Oy. 268 s. Saatavissa PDF-muodossa: [www.maataloustilastot.fi/sites/default/files/maatilatilastollinen\\_vuosikirja\\_2009.pdf](http://www.maataloustilastot.fi/sites/default/files/maatilatilastollinen_vuosikirja_2009.pdf)

Tilastokeskus 2010a. Suomen kasvihuonekaasupäästöt 1990–2008. 3. korj. painos. Helsinki.

Tilastokeskus 2010b. Suomen 2008 kasvihuonekaasupäästöt. 16 s. PDF-dokumentti. Saatavissa: [http://www.stat.fi/til/khki/2008/khki\\_2008\\_2010-04-23\\_fi.pdf](http://www.stat.fi/til/khki/2008/khki_2008_2010-04-23_fi.pdf)

Tilastokeskus 2010c. Kasvihuonekaasuinventaario. Kansallinen järjestelmä. Sisältödokumentti. Päivitetty 20.8.2010. [Viitattu 3.12.2010] Saatavissa: [http://www.stat.fi/tup/khkinv/khkaasut\\_kansallinen\\_seurantajarjestelma.html](http://www.stat.fi/tup/khkinv/khkaasut_kansallinen_seurantajarjestelma.html)

Tilastokeskus 2011. Väestön ennakkotilasto. Ennakkoväkiluku alueittain, joulukuu

2010. Tilastokeskuksen PX-Web-tietokannat. Päivitetty 20.1.2011. [Viitattu 3.2.2011]  
Saatavissa: [http://pxweb2.stat.fi/database/statfin/vrm/vamuu/vamuu\\_fi.asp](http://pxweb2.stat.fi/database/statfin/vrm/vamuu/vamuu_fi.asp)

Tuittila, E-S., Komulainen, V-M., Vasander, H. & Laine, J. 1999. Restored cut-away peatland as a sink for atmospheric CO<sub>2</sub>. *Oecologia* 120: 563-574.

UNFCCC 1992. United Nations Framework Convention on Climate Change. 24 s.  
Saatavissa PDF-muodossa: <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/conveng.pdf>

UNFCCC 2008. United Nations Framework Convention on Climate Change. Kyoto protocol reference manual on accounting of emissions and assigned amount. 127 s.  
PDF-dokumentti. Saatavissa:  
[http://unfccc.int/resource/docs/publications/08\\_unfccc\\_kp\\_ref\\_manual.pdf](http://unfccc.int/resource/docs/publications/08_unfccc_kp_ref_manual.pdf)

UNFCCC 2011. Status of Ratification of the Convention. (United Nations Framework Convention on Climate Change) [Viitattu 10.1.2011]. Saatavissa:  
[http://unfccc.int/essential\\_background/items/2877.php](http://unfccc.int/essential_background/items/2877.php)

United Nations 1998. Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change. 20 s. PDF-dokumentti. Saatavissa:  
<http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>

VAHTI 2010. Ympäristöhallinnon ympäristönsuojelun tietojärjestelmä.

Von Wachenfeldt, E. & Tranvik, L.J. 2008. Sedimentation in boreal lakes – The role of flocculation of allochthonous dissolved organic matter in the water column. *Ecosystems* 11: 803–814.

Wihersaari, M. 2005. Greenhouse gas emissions from final harvest fuel chip production in Finland. *Biomass and Bioenergy* 28: 435-443.

Ympäristöministeriö 2003. Kioton pöytäkirjan toimeenpanon säännöt. Suomen ympäristö 607. Edita Prima Oy: Helsinki.

Ympäristöministeriö 2008. Euroopan ilmastonmuutosohjelma (EPCC). Valtion ympäristöhallinto. Sisältödokumentti. Päivitetty 1.12.2008. [Viitattu 12.1.2011]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=8152&lan=fi>

Ympäristöministeriö 2009a. Kioton pöytäkirja. Valtion ympäristöhallinto. Sisältödokumentti. Päivitetty 29.12.2009. [Viitattu 4.10.2010] Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=1885&lan=fi>

Ympäristöministeriö 2009b. Kioton mekanismit. Valtion ympäristöhallinto. Sisältödokumentti. Päivitetty 29.12.2009. [Viitattu 4.10.2010]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=1887&lan=fi>