

LUONNIKAS – LASKENTATYÖKALU KUNNILLE LUONTOPERÄISTEN KASVIHUONEKAASUJEN NIELUJEN JA LÄHTEIDEN ARVIOINTIIN

Tiina Haaspuro



LUONNIKAS – LASKENTATYÖKALU KUNNILLE LUONTOPERÄISTEN KASVIHUONEKAASUJEN NIELUJEN JA LÄHTEIDEN ARVIOINTIIN

TIINA HAASPURO

ABSTRACT

An application was developed at the Research- and Development Institute Aronia to create a simple, systematic way of calculating carbon budgets for different ecosystems on municipal level. With the LUONNIKAS calculation tool, municipalities can easily produce an estimate of the natural environments' role in a municipal level carbon budget and use this information in their climate work. The LUONNIKAS calculation tool consists of simplified calculation methods in order to make it easy to use and to ensure that data needed for the calculations is easily available at the municipal level. The tool is intended as a complement to the KASVENER calculation model, which is a model for calculating anthropogenic greenhouse gas emissions on the municipal level.

LUONNIKAS calculates the carbon budget for a one year time period. In addition to carbon gases (CO₂ and CH₄), calculation also includes nitrous oxide (N₂O) emissions from forest fertilization. Final results are presented as CO₂ equivalents.

The calculation methods for the carbon budgets of forests, peat extraction sites and croplands on organic soils follow the methodology used in Finland's national inventory of greenhouse gases. For other parts the calculation methods are based on published research. The calculations were developed in cooperation with experts in the fields of national emission inventory calculations and ecosystems' carbon dynamics.

The calculations are based on many estimates and average values. Therefore, LUONNIKAS only gives a rough estimate of the carbon budgets. These estimates are used because on municipal level there are often no resources for performing more complicated calculations. The results are however useful as a basic estimate of the environments' role in municipal level greenhouse gas budgets.

The LUONNIKAS calculation tool can be found via this hyperlink: http://www.novia.fi/assets/filer/Publikationer/Resurser/LUONNIKAS3_webb_9-2013.xlsm

Utgivare/julkaisija: Yrkeshögskolan Novia, Fabriksgatan 1, Vasa, Finland
© Tiina Haaspuro & Yrkeshögskolan Novia
Novia publikation och produktion, serie/sarja A: Artiklar/Artikkelit 2/2013
ISSN: 1799-4187
ISBN: 978-952-5839-75-3

Layout/ulkoasu: Jessica Taipale / Kommunikatören

RAPORTISSA KÄYTETTYJÄ KÄSITTEITÄ JA LYHENTEITÄ

Ekosysteemi

Ekosysteemi on luonnon kokonaisuus, johon kuuluvat sekä elollinen luonto (kasvit, eläimet, sienet ja mikrobit) että eloton luonto (maaperä, ilmasto jne.). Esim. järvi ja metsä ovat ekosysteemejä.

Hiilitase

Hiilitaseella kuvataan ekosysteemin hiilivaroja ja ekosysteemiin kertyvän ja siitä poistuvan hiilen määrää

IPCC

(The Intergovernmental Panel on Climate Change) Hallitustenvälisen ilmastomuutospaneeli, jonka päätehtävä on valmistella ilmastomuutosta koskevia tieteellisiä raportteja. Raporteissa arvioidaan ilmaston tilaa ja sen kehityssuuntaa sekä arvioituja ilmastomuutoksen vaikutuksia. Raportteja käytetään taustamateriaalina kansainvälisessä ilmastopolitiikassa. <http://www.ipcc.ch/> (7.5.2013)

Kansallinen kasvihuonekaasuinventaariorio

Kansainvälisten ilmastopöimusten mukaisesti Kansallisessa kasvihuonekaasuinventaarioriossa arvioidaan ja raportoidaan ihmistoiminnasta peräisin olevat kasvihuonekaasupäästöt ilmakehään ja poistumat ilmakehästä eli ns. nielut. Raportointi sisältää päästötietojen ohella kuvaukset päästölaskennassa käytetyistä menetelmistä. Kasvihuonekaasuinventaariorio laskentaa ohjaavat hallitusten välisen ilmastopöimelin (IPCC) ohjeet. Kasvihuonekaasujen vuosittainen

inventaariorio ja tulosten kansainvälinen raportointi antavat tiedollisen perustan ilmastopolitiikan suunnitteluun ja seurantaan.

KASVENER-laskentamalli

Kuntatason kasvihuonekaasu- ja energiatasemalli, jolla voidaan laskea kunnan tai muun rajatun alueen, esimerkiksi maakunnan, vuotuiset kasvihuonekaasupäästöt sekä energiantuotanto ja -kulutus.

LULUCF-sektori

(Land Use, Land-Use Change and Forestry) Kansalliseen kasvihuonekaasuinventaariorioon kuuluva maankäyttö, maankäytön muutos ja metsätaloussektori, jolla raportoidaan sekä kasvihuonekaasupäästöt että -nielut.

Metsäkeskus

Valtiollinen metsien kestävää hoitoa ja käyttöä, niiden monimuotoisuuden säilyttämistä ja metsäelinkeinojen edistämistä koskevia tehtäviä hoitava kehittämis- ja toimeenpano-organisaatio, joka on jaettu alueellisiin metsäkeskuksiin.

Valtakunnan metsien inventointi (VMI)

Metsäntutkimuslaitoksen hallinnoima Valtakunnan metsien inventointi on metsien ja metsävarojen seurantajärjestelmä, joka tuottaa ajantasaista tietoa alueittaisista ja koko Suomen metsävaroista. Inventointi toteutetaan nykyisin viiden vuoden välein. <http://www.metla.fi/ohjelma/vmi/> (7.5.2013)

1. JOHDANTO

Forsknings- och utvecklingsinstitutet Aroniassa kehitettiin vuosien 2011–2012 aikana Koneen Säätiön rahoituksella LUONNIKAS-laskentatyökalu eri luontoympäristöihin varastoituvan ja niistä vapautuvan hiilen ja joissakin tapauksissa myös typpioksiduulin (N₂O) ilmastovaikutuksen määrittämiseksi paikallistasolla. Mallin avulla voidaan laskea kunnan tai muun rajatun alueen luontoympäristöjen hiilitase. Mallin avulla voidaan täydentää kuntatason päästölaskentoihin käytettävällä KASVENER-laskentamallilla (Suomen Kuntaliitto 2013) laskettuja päästötuloksia, jolloin voidaan arvioida luontoympäristöjen osuutta alueen koko hiilitaseesta. Laskentatyökalua päivitettiin ja paranneltiin vielä vuoden 2013 alussa Suomen ympäristökeskuksessa Suomen Akatemian rahoittamassa CLIMES-hankkeessa (Impacts of Climate Change

on Multiple Ecosystem Services: Processes and Adaptation Options at Landscape Scales). Tämä artikkeli kuvaa LUONNIKAS-laskentatyökalun taustoja ja sitä, miten siinä olevat laskentamenetelmät on muodostettu. Itse laskentatyökalu sisältää käyttöä varten tarvittavat ohjeet.

Alueen tai ekosysteemin vaikutus ilmaston lämpenemiseen määräytyy sen mukaan, kuinka paljon hiiltä alueelta poistuu ja kuinka paljon sinne sitoutuu. Alueelta biomassan hajotuksen ja hengityksen tuloksena vapautuvat kasvihuonekaasut, joista tärkeimpiä ovat hiilikaasut hiilidioksidi (CO₂) ja metaani (CH₄), lämmittävät maapallon ilmastoa estäen maanpinnan ja ilmakehän lämpöä poistumasta takaisin avaruuteen. Ilmakehän kasvihuonekaasupitoisuuksien nousu on vii-

me vuosikymmeninä johtanut ilmaston merkittävään lämpenemiseen (IPCC 2007). Alueen biomassaan sitoutunut hiili puolestaan vähentää ilmaston lämmittävää vaikutusta. Jos alueelta, ekosysteemistä tai sen osasta poistuu enemmän hiiltä kuin sinne sitoutuu, sen sanotaan olevan hiilen lähde, jos sinne taas sitoutuu enemmän hiiltä kuin sieltä poistuu, se on ns. hiilinielu. LUONNIKAS-laskentatyökalu arvioi alueen metsä- tai maatalouskäytössä olevien tai luonnontilaisten maa- ja vesiympäristöjen hiilitasetta. Kun myös näiden ympäristöjen osuus sisällytetään kuntatason tarkasteluun, ymmärretään niiden merkitys paremmin, ja myös niiden hiilitaseiden hallinnointia voidaan käyttää apuna työssä ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi.

LUONNIKAS-laskentatyökalua kehitettiin maa-alueiden osalta yhteistyössä Metsäntutkimuslaitoksen (Metla) Kasvihuonekaasupäästöjen laskenta ja raportointi -hankkeen kanssa (Metsäntutkimuslaitos 2013) ja Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksen (MTT) asiantuntijoiden avulla. Suomi raportoi vuosittain kansainvälisten ilmastopöytäkirjojen mukaisesti ihmisen toiminnasta aiheutuneet kasvihuonekaasupäästöt YK:n ilmastopöytäkirjalle ja Euroopan komissiolle. Suomen kansallisena kasvihuonekaasujen inventaarion vastuuyksikkönä toimii Tilastokeskus. Metla ja MTT tuottavat maankäyttö-, maankäytön muutos- ja metsätalouselämyksen (ns. LULUCF-sektori) tiedot kansallista raportointia varten (Tilastokeskus 2012).

Kansallisessa kasvihuonekaasuinventaariossa laskeaan LULUCF-sektorilla metsätaloukseen, maataloukseen ja turvetuotannon hiilitaset. Metsille laskeaan kasvu-poistuma-menetelmällä puustobiomassan hiilitase sekä erikseen maaperän vaikutus. Laskennassa ovat mukana kaikki metsät kivennäis- ja turvemaidella sekä maaperän hiilitaset kivennäismailla ja ojittuilla turvemaidella. Ojittamattomien soiden maaperäpäästöt jäävät laskennan ulkopuolelle. Lisäksi inventaariossa laskeaan metsän typpilannoituksen päästöt, kulotuksen ja metsäpalojen aiheuttamat päästöt ja

puutuotteisiin sitoutunut hiili. Maatalousmaista laskeaan biomassan, maaperän ja kalkituksen ilmastovaiikutukset sekä esim. uuden pellon raivauksesta syntyvät N₂O-päästöt (Tilastokeskus 2012)

Suomen ympäristökeskuksessa kehitetty KASVENER-laskentamalli on tarkoitettu ihmisen toiminnasta aiheutuvien kasvihuonekaasupäästöjen määrittämiseen rajatuille alueille. Edellä mainittu LULUCF-sektori puuttuu KASVENER-laskentamallista, joka muuten käyttää Kansallisen kasvihuonekaasuinventaarion menetelmiä. Myös muiden ekosysteemien päästöt ja nielut jäävät tarkastelun ulkopuolelle. Lähtökohdiana KASVENER-mallin kehittämiseksi ja kuntatason päästökartoituksille on ollut Kuntaliiton vuonna 1997 käynnistämä kuntien ilmastokampanja, jonka tavoitteena oli edistää ilmastotyötä kunnissa. Kampanjassa mukana olevien kuntien tehtävänä oli kartoittaa alueensa kasvihuonekaasupäästöt, mutta mallia on käytetty myös muissa kunnissa ilmastotyön tueksi, esim. Länsi-Uudellamaalla (Haaspuro ja Fortelius 2010). LUONNIKAS-laskentatyökalu täydentää KASVENER-laskentamallia laskemalla LULUCF-sektorin ja sen ulkopuolelle jäävien ekosysteemien hiilitaset. Joitakin osa-alueita on myös LUONNIKAS-työkalusta jouduttu jättämään tarkastelun ulkopuolelle tarvittavan kuntatason tiedon puutteen vuoksi. Tällaisia ovat metsäpalojen ja kulotuksen päästöt ja pellon raivauksesta syntyvät N₂O-päästöt sekä puutuotteisiin sitoutuva hiili. Myös maaperässä luontaisesti syntyvät N₂O -päästöt on jätetty tarkastelun ulkopuolelle niiden arvioinnin vaikeuden vuoksi.

LUONNIKAS-laskentatyökalua käytetään Microsoft Excel -laskentataulukko-ohjelmistolla (Microsoft Office Excel 2007 ja sitä uudemmat versiot). Laskentataulukko on tämän raportin verkkoversion liitteenä ja saatavilla seuraavan linkin kautta: http://www.novia.fi/assets/filer/Publikationer/Resurser/LUONNIKAS3_webb_9-2013.xlsm. LUONNIKAS-laskentatyökalua saa vapaasti kopioida ja käyttää, kun lähde mainitaan.

2. LUONNIKAS-LASKENTATYÖKALUN KUVAUS

2.1. YLEISTÄ

LUONNIKAS-työkalun laskentamenetelmissä sovelletaan hallitustenvälisen ilmastomuutospaneelin IPCC:n laskentaohjeita ja kansallisen kasvihuonekaasuinventaarion menetelmiä, kuten KASVENER-laskentamallissakin on tehty. LUONNIKAS-työkalua

kehittäessä näin meneteltiin em. LULUCF-sektoriin kuuluvien metsien, maatalousmaidien ja turvetuotannon osalta. Työkaluun haluttiin kuitenkin kehittää laskentamenetelmiä myös muille ekosysteemeille, kuten vesistöille ja luonnontilaisille soille, jotka eivät kuulu ilmastopöytäkirjojen mukaiseen päästörapor-

tointiin. Näin saadaan kattavampi kuva hiilen nieluista ja hiilikaasujen päästölähteistä paikallistasolla. Vesi- tai luonnontilaisten soiden hiilitaseiden arviointiin ei ole vakiintuneita laskentarutiineja, joten laskentata- poja haettiin tieteellisistä julkaisuista pyrkien käyttä- mään parasta ja uusinta saatavilla olevaa tietoa. Las- kentoja suunniteltiin yhteistyössä Kansallisen kasvi- huonekaasuinventaarion laskentojen ja eri ekosysteemien hiilidynamiikan asiantuntijoiden kanssa. Kan- sallisten laskentojen ja KASVENER-laskentamal- lin mukaisesti myös LUONNIKAS-laskentatyökalun tarkastelujakso on yksi vuosi. Lopulliset tulokset esi- tetään mallin tulossivulla hiilidioksidiekvivalentteina, jolloin eri kaasujen ilmastoa lämmittävät vaikutukset saadaan yhteismitallisiksi ja vertailukelpoisiksi.

Jotta laskenta kuntatasolla olisi mahdollista, laskenta- menetelmien kehittämisen ohessa varmistuttiin siitä, että tarvittavia tietoja on saatavilla kunnittain. Mene- telmät pidettiin laskennan lähtötietojen osalta mah- dollisimman yksinkertaisina, jotta laskentamalli olisi helpokäyttöinen ja tiedot helposti saatavilla.

Suuri osa malliin kootuista laskentatiedoista on riip- pumatonta tarkasta laskenta-ajankohdasta, sillä tiedot on koostettu useiden vuosien aikana tehdyistä mittaus- tuloksista. Metsien osalta joitakin kertoimia/paramet- reja on laskettu vuosittain muuttuvilla tiedoilla, käyt- täen lähtökohtana tietoja vuosilta 2009, 2010 ja 2011. Vuoden voi valita LUONNIKAS-työkalun valikosta, jolloin malli käyttää automaattisesti kyseisen vuo- den tietoja. Jos laskennassa halutaan käyttää jonkun muun vuoden tietoja, virhemarginaali kasvaa. Metsi- en laskennassa jotkin Valtakunnan metsien inventoi- tiin (VMI) perustuvat tiedot ovat vuosilta 2009–2011.

Laskentapohja on suunniteltu käyttäen Excel-tauluk- kolaskentaohjelmaa (Excel 2007) siten, että kaikki tar- kasteltavaa aluetta koskevat lähtötiedot, joita käyttäjä tarvitsee laskentaa varten, syötetään yhdellä taulukko- sivulla ja tulokset esitetään omalla taulukkosivullaan. Taulukon soluissa, joihin tietoja syötetään, on annettu ohjeita siitä, mistä tarvittavat tiedot ovat saatavissa. Laskentapohja sisältää myös yksityiskohtaisen ohjesi- vun, jossa annetaan tietoja mm. mallin käytöstä, las- kentaan tarvittavan tiedon alkuperäislähteistä ja las- kentojen taustaoletuksista. Ohjeen avulla laskenta- pohjaa on helppo käyttää ja ymmärtää laskentamallin tarkoitus ja taustat.

2.2. METSÄT

Metsiä koskevat kuntatason laskentamenetelmät on toteutettu samalla tavalla kuin kansallisen tason me- netelmät Kansallisessa kasvihuonekaasuinventaarios- sa, mutta yksinkertaistaen niitä siten, että ne soveltuvat kuntatasolle. Laskennassa käytettävät kertoimet ovat

peräisin Suomen kansallisesta kasvihuonekaasuinven- taariosta (Tilastokeskus 2012) ja perustuvat pääosin Valtakunnan metsien 11. inventoinnin (VMI11) tie- toihin. Lisäksi on käytetty Metlan julkaisuista saatavia VMI11:n tietoja (Metsäntutkimuslaitos 2010, Sevola ja Suihkonen 2010). Osa metsien hiilitaseen lasken- nassa käytetyistä kertoimista on metsäkeskuskohtaisia ja osa koko Etelä- tai Pohjois-Suomea koskevia. Met- säbiomassan hiilitase lasketaan koko metsäalalle, kun taas maaperän hiilitaseessa ovat mukana vain kiven- näismaat ja ojitetut turvemaat. Ojittamattomien tur- vemaiden hiilitase lasketaan erikseen kohdassa Luon- nontilaiset suot (kpl. 2.4.). Kuten Kansallisessa kasvi- huonekaasuinventaariossa, myös tässä kaikki orgaaniset maat oletetaan turvemaiksi. Maa luokitellaan tur- vemaaksi, jos mineraalimaata peittävä orgaaninen ker- ros on turvetta tai jos aluskasvillisuudesta yli 75 % on suokasvillisuutta (Metsäntutkimuslaitos 2009, Tilas- tokeskus 2012). Metsät-osion laskentatiedot on koot- tu LUONNIKAS-työkalun välilehdille, jotka on ni- metty metsäkeskusten mukaan, kunkin metsäkeskuk- sen tiedot omalle välilehdelleen.

Biomassa

LUONNIKAS-laskentatyökalussa metsien biomas- san nieluvaikutuksen laskentaan käytetään kasvu- poistuma-menetelmää, jossa lasketaan puuston vuo- sikohtainen biomassan kasvu ja vähennetään siitä vuo- sikohtainen puuston kokonaispoistuma. Kun kasvun hiilimäärästä vähennetään poistuman hiilimäärä, saa- daan biomassan hiilitase eli puustoon sitoutuneen (ne- gatiivinen luku) ja siitä poistuneen (positiivinen luku) hiilimäärän erotus.

Metlan aineisto on jaoteltu alueellisen metsäkeskusja- on mukaan. LUONNIKAS-työkalun valikosta voi va- lita sen metsäkeskuksen, jonka alueella laskentakun- ta sijaitsee. Laskentatyökalu käyttää silloin automaat- tisesti kyseisen alueen kertoimia.

LUONNIKAS-työkalua käytettäessä tarvitaan puus- ton kasvun laskentaa varten kunnan metsäpinta-ala (ha) jaoteltuna metsämaahan, kitumaahan ja jouto- maahan, sekä kunnan alueen kaikkien metsien jakau- tuminen kivennäis- ja turvemaille (ha). Tiedot ovat saatavissa Metlan julkaisuista ja metsävarakartoista. Tarkemmat ohjeet tietojen hankkimiseen löytyvät las- kentatyökalun syöttösivulta.

LUONNIKAS laskee kasvun metsäkeskuskohtaisil- la kasvukertoimilla (puuston keskikasvu ($m^3/ha/v$)), ja kuntakohtaisten metsäpinta-alojen perusteella. Ker- toimet on jaoteltu puulajeittain (mänty, kuusi, koi- vu, muu lehtipuu), sekä erikseen metsä- ja kitumaal- le. Kunnan metsä- ja kitumaan pinta-alat kerrotaan kasvukertoimella. Näin saatu kunnan alueen puuston

vuotuinen kasvu tilavuutena (m^3) metsä- ja kitumaal-la jaetaan kivennäis- ja turvemaille käyttäjän antaman kuntakohtaisen kivennäis-turvemaa-jakauman perusteella. Työkalu muuttaa annetut jakauman hehtaari-määrät kivennäismaiden ja turvemaiden suhteelliseksi osuuksiksi koko metsäalasta. Lasketut kasvutilavuudet (m^3) kivennäis- ja turvemaille muutetaan biomassan kasvun laajennuskertoimilla (Biomass Expansion Factor, BEF) biomassatonneiksi. Kertoimet on annettu erikseen metsä- ja kitumaalle, turve- ja kivennäismaalle, puulajeittain, sekä erikseen maanpinnan alaja yläpuoliseen biomassaan. Saadut biomassatonnit on muutettu hiileksi kertoimella 0,5 ja edelleen hiilidioksidiksi kertoimella 44/12 (Tilastokeskus 2012).

Puuston poistuman osalta LUONNIKAS-laskennassa käytetään syötettävänä lähtötietona kuntatason yksityismetsien markkinahakkuumäärää, joka on saatavissa Metlan Metsätilastollisesta tietopalvelusta. Kuntatason kokonaispoistuman laskemiseksi mallissa on suhteutettu metsäkeskustason yksityismetsien markkinahakkuut metsäkeskusten kokonaispoistumaan. Kun kunnittainen yksityismetsien hakkuumäärä kerrotaan tällä suhdeluvulla, saadaan arvio kokonaispoistumasta, johon kuuluu markkinahakkuiden lisäksi pientalokiinteistöjen käyttämä polttopuu ja vuokra- eli rahtisahaukseen mennyt puu, metsään hakkuutähteinä käyttämättä jäävät runkopuun osat (metsähukkapuu) ja luontaisesti kuollut puu (luonnonpoistuma). Metsään jäävän kuolleen puuaineksen hiili varastoituu maaperään tai siirtyy sen kautta hajotuksen tuloksena ilmakehään. Vuoden aikavälillä tarkasteltuna se ei laskentahetkellä enää ole osa nieluna toimivaa kasvavaa puustoa, eikä myöskään mukana maaperän hiilitaseessa. Siksi se on vähennettävä erikseen pois kasvavasta biomassasta.

Poistuma jakautuu eri tavalla eri alueilla, joten LUONNIKAS-laskentatyökalu jakaa kuntakohtaisen poistuman kivennäis- ja turvemaille metsäkeskustaisilla prosentilla (poistuman suhteellinen jakautuminen kivennäismaille ja turvemaille koko metsäkeskustan metsäalalla). Kunnittaiset poistumat jaetaan näillä prosenttiluvuilla eri maatyypeille, myös puulajeittain. Näistä poistuma-tilavuuksista on jaoteltu erikseen hakkuukertymän ja luonnonpoistuman osuus niin ikään metsäkeskustaisilla suhdeluvuilla (luonnonpoistuman suhde kokonaispoistumaan ja hakkuukertymän suhde kokonaispoistumaan). Kertomalla kunnan kokonaispoistumatilavuudet näillä luvuilla saadaan kokonaispoistuma jaettua hakkuukertymään ja luonnonpoistumaan. Näin on voitu käyttää kansallisessa inventaarioreportissa (Tilastokeskus 2012) olevia laajennuskertoimia (BEF), jotka ovat erilliset hakkuille ja luonnonpoistumalle, sekä maanpinnan ylä- ja alapuoliselle biomassalle, jaoteltuna puu- ja maalajeittain. BEF-kertoimet

muuttavat kuutiot biomassaksi, joka muutetaan edelleen hiileksi ja CO₂:ksi edellä mainituilla kertoimilla.

Metsämaaperä

Maaperän kasvihuonekaasupäästöt syntyvät orgaanisen aineksen hajotessa maaperässä. Metsämaaperän hiilitase lasketaan erikseen kivennäis- ja turvemaille. Yleensä kivennäismaihin kertyy hiiltä, eli ne ovat hiilen nieluja, kun taas ojitettut turvemaat toimivat pääosin hiilen lähteinä (Ojanen ym. 2010, Tilastokeskus 2012, Ojanen ym. 2013).

Metsämaan maaperän hiilitaselaskennassa käytetään edellä mainittuja kuntakohtaisia metsäpinta-aloja ja kivennäis- turvemaa-jakaumaa, sekä kansallisen kasvihuonekaasuinventaarion päästökertoimia (Tilastokeskus 2012). Kuntakohtainen kivennäismaiden pinta-ala kerrotaan laskentamallissa valmiina olevilla kertoimilla (muotoa $t\ C/ha$) ja näin saatu hiilimäärä muunnetaan hiilidioksidiksi. Kertoimet on määritelty erikseen Etelä- ja Pohjois-Suomelle.

Kuntakohtainen ojitettujen turvemaiden pinta-ala saadaan vähentämällä turvemaiden kokonaisalasta ojittamattomien turvemaiden ala, joka syötetään lähtötietona laskentatyökalun Suot-osiassa. Ojitettut turvemaat jaetaan edelleen eri kasvupaikkatyyppeihin, sillä eri turvemaatyypin päästökertoimet eroavat toisistaan paljon. Osa näistä turvemaatyypeistä toimii päästölähteenä, osa puolestaan hiilen nieluina (Tilastokeskus 2012). LUONNIKAS laskee eri turvemaatyypin jakautumisen viimeisimmästä Kansallisesta inventaarioreportista (Tilastokeskus 2012) saaduilla suhdeluvuilla, jotka antavat eri turvemaatyypin osuudet koko turvemaa-alasta. Luvut ovat laskentapohjassa valmiina. Kuntakohtaiset pinta-alat kerrotaan suhdeluvulla ja saadut turvemaatyypin osuudet (pinta-alat, ha) kunkin turvemaatyypin omalla päästökertoimella.

Metsien typpilannoitus

Metsien typpilannoituksesta aiheutuvat päästöt raportoidaan ilmastopöytäkirjan mukaisesti Kansallisessa kasvihuonekaasuinventaariossa. Laskenta tehdään käytetyn lannoitemäärän perusteella. Inventaarion laskentamenetelmää ei voi suoraan soveltaa LUONNIKAS-laskentatyökalussa, sillä käytetyn typpilannoituksen määrä perustuu lannoitemyöntimääriin, joita ei ole saatavilla kuntatasolla. Vuosittainen lannoitemäärä arvioidaan tässä käytämällä metsäkeskustaisista metsälannoitusalan ja koko metsämaan suhdelukua (lannoitusala jaettuna metsätalouden alalla -> lannoitusalan suhteellinen osuus) ja Yaran metsälannoitusoppaan Lannoituksen yleisohjetta (keskimäärin 15,63 kg N/ha/vuosi) (Yara 2012). Metsäkeskustaisella suhdeluvulla lasketaan kunnan metsälannoitusala ja se kerrotaan em. lannoitusmääräkertoimella.

mella. Lannoitemäärän typpioksiduulin päästön laskentaan käytetään Kansallisen kasvihuonekaasuinventaarion päästökerrointa (Tilastokeskus 2012).

2.3. MAATALOUSMAA

LUONNIKAS arvioi myös maatalousmaiden maaperän ja kalkituksen päästöt. Ne kuuluvat Kansallisessa päästöinventaariossa maankäyttösektoriin, eivätkä ole mukana KASVENER-laskentamallissa.

LUONNIKAS-työkalussa on sovellettu orgaanisten maatalousmaiden ja biomassan hiilitaselaskentaan Kansallisen kasvihuonekaasuinventaarion menetelmiä mutta laskentoja muunnettiin saatavilla olevia lähtötietoja vastaaviksi. Kivennäismaiden päästölaskennassa sovellettiin uusinta saatavilla olevaa tutkimustietoa (Heikkinen ym. 2013), sillä Kansallisessa inventaariossa käytettyä varastonmuutosmenetelmää ei voitu soveltaa kuntatasolla. Kansallisessa kasvihuonekaasuinventaariossa on mukana mm. uuden pelon raivauksesta syntyvä N_2O -päästö, mutta kuntatasolla ei ole saatavilla tietoa uusista raivatuista pelloista, joten tuo päästö jätettiin tarkastelun ulkopuolelle. Laskentatyökalun käyttäjä saa maatalousmaiden kuntakohtaiset pinta-alatiedot Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus Tiken (www.mmm-tike.fi) tilastoista. Maatalousmaan laskentatiedot on koottu LUONNIKAS-työkalun *Maatalousmaa*-välilehdelle.

Biomassaan sitoutuneen hiilen varaston muutos

IPCC:n laskentaohjeet edellyttävät, että maataloudessa biomassan hiilen varaston muutos lasketaan puuvartisille viljelykasveille. Suomen kansallisessa kasvihuonekaasuinventaariossa on näin ollen laskettu biomassaan varastoituvan ja sen mukana poistuvan hiilen määrä omenapuille ja viinimarjapensaille. Muiden viljelykasvien biomassan osalta oletetaan, että hiiltä sitoutuu ja poistuu suunnilleen sama määrä vuosittain. Tätä lähestymistapaa käytetään myös LUONNIKAS-laskentatyökalussa. Laskennassa käytettiin päästökerroina omenapuiden ja viinimarjapensaiden viimeisten kahdenkymmenen vuoden keskimääräisen hiilivarastomuutoksen arvoa ($kg\ C/ha/v$). Varaston muutoksessa ei ole ollut suuria vuosittaisia vaihteluita.

Päästöt maatalousmaiden maaperästä

Maatalousmaiden maaperän hiilitase lasketaan LUONNIKAS-työkalulla erikseen kivennäis- ja turvemaille. Jako kivennäis- ja turvemaihin tehdään kuntakohtaisilla suhdeluvuilla, jotka ovat saatavilla Viljavuuspalvelu Oy:n Tuloslaari-palvelun tilastotieto-osista (<http://www.tuloslaari.fi/index.php?id=41>). Maalajisuhteet perustuvat valitulla alueella maatalousmailta viiden vuoden aikana otettuihin näytteisiin. Käyttäjä syöttää laskentakunnan maalajisuhteet laskentatyökalun syöttösivulla.

Maatalouden kivennäismaiden laskenta perustuu uusiin maatalousmaiden hiilitaseesta saatuihin tutkimustuloksiin. Heikkinen ym. (2013) arvioivat artikkelissaan maatalousmaiden hiilivaraston muutoksia Suomessa. Tutkimuksen mukaan kivennäismailla sijaitsevien maatalousmaiden hiilivarasto on pienentynyt viimeisten n. 40 vuoden aikana, eli ne toimivat hiilen lähteenä. Tässä työssä käytettiin artikkelin aineistoa, jossa on määritetty maaperän hiilivarasto ja mittauksiin perustuva hiilivaraston muutosnopeus välillä 1998–2009. Muutosnopeuden perusteella muodostettiin hehtaarikohtaiset päästökertoimet (kiloa hiiltä vuodessa). Maaperän hiilivaraston muutos oletetaan tässä kokonaan päästökseen ilmaan, vaikka todellisuudessa osa hiilestä voi päätyä valunnan mukana vesistöihin.

Heikkisen ym. (2013) artikkelissa hiilivaraston muutokset on arvioitu erikseen Etelä-, Itä-, Länsi- ja Pohjois-Suomen maatalousmaille, sekä Länsi- ja Etelä-Suomelle myös maalajeittain (hienojakoiset ja karkeat kivennäismaat sekä savimaat) ja viljelymenetelmän mukaan (yksivuotiset kasvit, monivuotiset kasvit ja kiertoviljely). Kuntakohtaisia tietoja kiertoviljelyssä olevista pelloista ei ole käytettävissä, joten LUONNIKAS-laskentatyökalussa käytetään jakoa yksi- ja monivuotisiin. Kiertoviljelyn ja monivuotisten kertoimet ovat kuitenkin lähellä toisiaan. Lisäksi käytetään jakoa savimaihin ja karkeisiin kivennäismaihin koska hienojakoisia kivennäismaita on vaikeampi eritellä kuntatasolla. Kivennäismaa-alat jaetaan karkeisiin kivennäismaihin ja savimaihin edellä mainittujen Viljavuuspalvelusta saatavien kuntakohtaisten maalajisuhteiden avulla.

Orgaanisille maille on määritelty Kansallisessa inventaariossa päästökertoimet ($t\ C/ha/v$), joita myös LUONNIKAS käyttää (Tilastokeskus 2012). Kertoimet on määritelty Suomessa erikseen nurmelle ja muiden viljelykasvien viljelyaloille ja ne perustuvat Suomessa tehtyyn tutkimukseen. Nurmeksi määritellään tässä yhteydessä kaikki muut paitsi yksivuotisten kasvien viljelyalat. Hiilimäärät muutetaan CO_2 :ksi.

Edellä kuvattu maatalousmaiden maaperän hiilitaseen laskentamenetelmä on varsin yksinkertaistettu. Todellisuudessa päästöihin vaikuttavat maalajin ja viljelymenetelmän lisäksi mm. sääolosuhteet. Kansallisen inventaarion maaperälaskentaa ollaankin kehittämässä, ja jatkossa maatalousmaiden maaperälaskentaan tullaan luultavasti käyttämään Yasso-maaperämallia (Liski ym. 2005).

CO_2 -päästöt kalkituksesta

Päästökertoimet kalkituksesta aiheutuvan hiilidioksidipäästön laskemiseen löytyvät Kansallisesta inven-

taarioraportista (Tilastokeskus 2012). Eri kalkkityyppien (kalkkikivi, dolomiittikalkki, puristekalkki) päästökertoimet ovat hyvin lähellä toisiaan, joten LUONNIKAS-laskentatyökalu käyttää kertoimien keskiarvoa. Arvio vuosittain käytettävälle keskimääräiselle kalkkimäärälle saatiin Kalkitusyhdistyksen kalkitus-suosituksista (Kalkitusyhdistys 2007). Kalkitussuositus toimii ohjeena viljelijöille. Suosituksen mukaan tavanomaisessa viljelyssä ylläpitokalkituksen perusmääränä voidaan pitää 4 - 5 tonnia kalkkia hehtaaria kohden viiden vuoden välein levitettynä. Peruskalkituksessa määrä voi vaihdella 5-9 tonnin välillä maalajista riippuen. LUONNIKAS-työkalun laskentatiedoissa oletuksena käytetään ylläpitokalkituksessa 5 tonnia kalkkia hehtaarille viiden vuoden aikana, sekä peruskalkitus korkeintaan viiden vuoden välein 5 t/ha.

2.4. LUONNONTILAISET SUOT

Luonnontilaisten soiden hiilidynamiikka on monimutkaista ja erityisesti vuositasolla hiilen sitoutuminen ja kasvihuonekaasupäästöt vaihtelevat suotyypin, vesiolosuhteiden, ravinteisuustason ja vuosien välisen lämpötilan vaihteluiden mukaan hyvinkin runsaasti. Pitkällä aikavälillä soihin kertyvään turpeeseen kuitenkin myös varastoituu hiiltä (Tolonen ja Turunen 1996).

LUONNIKAS-laskennassa oletetaan, että ojittamat suot vastaavat luonnontilaista, vaikka todellisuudessa ojittamattomuus ei aina ole tae luonnontilaisuudesta. Suomen soiden ojitustilanteesta on kuitenkin saatavilla kattavasti tietoa, luonnontilaisuudesta huonommin. Ojittamattomien soiden hiilitaselasentaa käytetään tässä mallissa luonnontilaisilla soilla tehtyyn tutkimukseen perustuvia kertoimia. Soiden ja turvetuotantoalueiden laskentatiedot on koottu LUONNIKAS-työkalun *Suot*-välilehdelle.

LUONNIKAS-työkalun suo-osiossa käytettiin ojitettomien soiden vuosittaisen hiilitaseen tarkasteluun Saarnion ym. (2007) julkaisua, jossa on arvioitu julkaistujen tutkimusten perusteella keskimääräiset vuosittaiset hiilen sitoutumisen ja vapautumisen määrät, sekä metaanille että hiilidioksidille, ja erikseen minerotrofisille (runsasravinteisille ja ohutturpeisille) ja ombrotrofisille (niukkaravinteisille ja paksurpeisille) soille. Etelä-Suomessa suot ovat pääasiassa ombrotrofia. Hiilidioksidin kertoimet perustuvat pieneen määrään julkaisuja, joissa mittaustulosten vaihteluväli on suuri, joten epävarmuustekijät ovat hyvin suuria, eikä tulos välttämättä aivan luotettava. Todellisuudessa soiden hiilitase vaihtelee vuosittain todella paljon, esim. lämpiminä kuivina vuosina hiilidioksidin vapautuminen voi olla huomattavan suurta, kun suon vedenpinta on alhaalla ja turvekerrokses-

sa pääsee tapahtumaan hapellista hajoamista (Saarnio ym. 2007). Runsassateisena vuotena taas metaanin päästöt ovat suuremmat. Lisäksi päästöihin vaikuttaa suon ikä ja suotyyppi (Tolonen ja Turunen 1996). LUONNIKAS-työkalun avulla onkin tavoitteena antaa keskimääräinen arvio soiden nykyajan vuosittaisesta hiilitaseesta, mihin on pyritty käyttämällä Saarnion ym. (2007) esittämiä keskimääräisiä pohjoisissa oloissa lähivuosien aikana tehtyihin mittauksiin perustuvia hiilitasearvioita.

Yhden vuoden tilanne ei kuitenkaan kerro koko totuutta. Tolonen ja Turunen (1996) ovat arvioineet Suomen luonnontilaisten soiden pitkän aikavälin (menneen ajan) hiilen kertymän sekä minerotrofisille että ombrotrofisille soille. Kyseessä on keskimääräinen kertymä tuhansien vuosien ajalta, jolloin boreaaliset suot ovat toimineet kasvihuonekaasunieluina. Vuosittaiset hiilitaseet puolestaan lähestyvät riittävän pitkällä aikavälillä keskimääräistä kertymää ja kertovat nykyisestä vuosittaisesta keskimääräisestä vaihtelusta mittausvuosina. Riittävän pitkän aikavälin tarkastelu kertoo soiden toimimisesta hiilen sitojana ja hiilivarastona.

2.5. TURVETUOTANTO

Turvetuotannosta aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt raportoidaan Suomen kansallisessa kasvihuonekaasuinventaariossa osana LULUCF-sektoria. LUONNIKAS-työkalussa sovellettiin myös tältä osin kansallisen laskennan menetelmiä ja turvetuotantoalueiden päästökertoimet saatiin Kansallisesta inventaarioraportista (Tilastokeskus 2012). Mallissa käytetään kokonaispäästökerrointa, jossa on yhdistettyä varastojen, ojien ja turvekentän päästöt, sillä tarkempaa tietoa kuntien alueella sijaitsevien turvetuotantoalueiden jakautumisesta näihin eri osiin on vaikeaa saada.

2.6. JÄRVET

Vesistöjen ilmastovaikutuksen laskenta perustuu LUONNIKAS-työkalussa järvien hiilidynamiikkatutkimuksiin ja mm. Suomen järviä koskeviin laajoihin tutkimusaineistoihin, joissa on mukana lähes 200 alle 100 km² kokoista järveä (Kortelainen ym. 2006, Juutinen ym. 2009) sekä kaikki Suomen yli 100 km²:n suuruiset järvet (Rantakari ja Kortelainen 2005).

Järviin joutuu hiiltä valuma-alueen maaekosysteemeistä ja järven oman perustuotannon kautta. Se voi vapautua järvestä hiilikaasuina ja sitä myös sedimentoituu järveen ja kulkeutuu järven kautta muihin vesistöihin. Kun tarkastellaan järven ja ilmakehän välistä kaasuvaihtoa, valtaosa järvistä toimii hiilen nettolähteenä ilmakehään, sillä päästöt ovat yleensä suu-

rempia kuin perustuotannon sitoma hiilimäärä (Juutinen ym. 2003). Järvien päästöt ovat usein suhteutettavissa pinta-alaan, jota seikkaa käytetään hyväksi LUONNIKAS-laskentatyökalun järvien hiilitaseen laskennoissa. Suomen ympäristökeskus SYKE:n järvi-rekisterissä on saatavilla kattavasti kuntakohtaisia tietoja järvien pinta-aloista. Järvirekisteri on rekisteröitymisen jälkeen vapaasti käytettävissä ympäristöhallinnon Oiva-palvelun kautta (Valtion ympäristöhallinnon virastot 2013), joten malliin tarvittavat tiedot ovat sieltä helposti saatavilla. Järvien, jokien ja merenrantojen laskentatiedot on koottu LUONNIKAS-työkalun *Vesistöt*-välilehdelle.

Hiilidioksidi

Hiilidioksidin vapautuminen ja sitoutuminen järvissä on varsin suoraan suhteutettavissa järven pinta-alaan. LUONNIKAS-laskentatyökalussa käytetyt, pinta-alaluokittain lasketut kertoimet järven ja ilmakehän väliselle hiilidioksidin vaihdolle ($g\ C/m^2/v$) saatiin Korttelaisen ym. (2006) julkaisusta jossa kertoimet on valmiiksi laskettu kullekin järven pinta-alaluokalle erikseen. Mallissa jokaisen pinta-alaluokan kertoimella kerrotaan kyseisen luokan järvien yhteispinta-ala. Käyttäjä syöttää laskentaa varten tiedon kunnan alueella sijaitsevien kunkin kokoluokan järvien yhteenlasketuista pinta-aloista.

Metaani

Metaania vapautuu järvistä useilla eri tavoilla; haihtumalla suoraan järven pinnasta (vaihto vesistön ja ilmakehän välillä), kuplimalla järven pohjasta ja vesikasvillisuuden kautta (Bastviken ym. 2004). Myös metaanin vapautuminen on suhteessa järven pinta-alaan; pienten järvien päästöt ovat suhteellisesti suurempia kuin suurten (Juutinen ym. 2009). Päästöihin vaikuttavat myös muut tekijät, erityisesti ilman lämpötila (esim. Bergström ym. 2007). Myös ravinteisuustasolla voi olla merkitystä (Juutinen ym. 2003, Juutinen ym. 2009). LUONNIKAS-laskentatyökalun kertoimina on käytetty yleistettyjä, keskimääräisiä, useamman vuoden ja pitkän aikavälin mittausten perusteella laskettuja arvoja, jolloin edellä mainitut muut tekijät eivät vaikuta laskennallisen päästön suuruuteen, vaan muuttujana toimii järven pinta-ala.

Metaanin vapautumisen on havaittu olevan voimakainta matalilta, kasvillisuuden peittämiltä ranta-alueilta, joita on pienemmissä järvissä suhteellisesti enemmän kuin suurissa (Juutinen ym. 2003, Bergström ym. 2007). LUONNIKAS-laskentatyökalussa käytettävät metaanin haihdunnan kertoimet on laskettu samasta järvien tutkimusaineistosta (Juutinen ym. 2009) kuin hiilidioksidin kertoimet ja jaoteltu vastaaviin pinta-alaluokkiin (Juutinen, julkaisematon tieto).

Metaanin kuplinnan aiheuttama päästö arvioitiin LUONNIKAS-työkalun laskentatietoihin Bastvikenin ym. (2004) mukaan. Julkaisussa esitetty ruotsalaiseen aineistoon perustuva malliyhtälö on hyvä arvio metaanin kuplinnan aiheuttaman päästön laskentaan suomalaisissakin järvissä. Yhtälö laskee järvi-kohtaisen yhden vuoden aikaisen metaanin kuplinnan päästön, jonka määrä myös on suhteessa järven pinta-alaan. Bastvikenin ym. (2004) yhtälön perusteella muodostettiin LUONNIKAS-laskentatyökalussa käytettävälle järvikokoluokille kullekin metaanin kuplinnan kertoimet (vuosipäästö neliometriä kohden). Tarkempi kuvaus siitä, miten kertoimet muodostettiin, on nähtävillä tämän artikkelin liitteenä olevan LUONNIKAS-laskentatyökalun *Vesistöt*-välilehdellä. LUONNIKAS laskee metaanin kuplinnan aiheuttaman päästön automaattisesti käyttäjän malliin syöttämien järvipinta-alojen perusteella.

Ranta-alueilla kasvillisuuden vaikutus syntyviin metaanipäästöihin on huomattava, sillä metaania siirtyy suoraan ilmakehään ilmaversoisen kasvillisuuden kautta. Aikaisempien tutkimusten perusteella kasvilajeista suurin vaikutus päästöihin on kahdella maasamme yleisellä, usein laajoja kasvustoja muodostavalla ilmaversoisella vesikasvilla, järviruo'olla (*Phragmites australis*) ja järvikortteella (*Equisetum fluviatile*), joiden rinnalla muiden kasvilajien vaikutus päästöihin on hyvin pieni, vaikka ne voivat peittää järvessä suuriakin alueita (Bergström 2011).

LUONNIKAS-työkalun laskentatietojen muodostamisessa käytettiin Bergströmin ym. (2007) ehdottamaa malliyhtälöä ilmaversoisten vesikasvien peittävyden määrittämiseen. Yhtälö perustuu 50:llä Etelä-Hämeen järvellä tehtyihin mittauksiin. Kasvuston peittävyys on suhteessa järven pinta-alaan siten, että pienemmissä järvissä peittävyys on suurempi kuin suurissa järvissä. Yhtälön avulla muodostettiin mallissa käytettävälle järvikokoluokille kullekin kasvillisuuden peittävyden kerroin. Kokoluokko-kohtaiset kertoimet antavat laskettavien järvien kasvillisuuspeittaisen pinta-alan, kun järvien yhteenlaskettu ala kerrotaan kertoimella. Tarkempi kuvaus siitä, miten kertoimet muodostettiin, on nähtävillä LUONNIKAS-laskentatyökalun *Vesistöt*-välilehdellä. Kasvuston peittävästä pinta-alasta oletetaan Bergströmin ym. (2007) artikkelin perusteella 37 % olevan järviruokopeitteistä ja 45 % järvikortteiteistä. Metaanin päästökertoimet kummallekin lajille saatiin Juutisen ym. (2003) artikkelin aineistosta. Juutinen laskee erikseen aineistosta päästökertoimet järviruo'olle ja -kortteelle LUONNIKAS-työkalua varten (Juutinen, julkaisematon tieto). Metaanin päästökerroin ruo'olle on 60,74 $g\ CH_4/m^2/v$ ja kortteelle vastaavasti 15,28 $g\ CH_4/m^2/v$.

LUONNIKAS laskee automaattisesti rantakasvillisuuden kautta vapautuneen metaanin päästöt käyttäjän malliin syöttämien järvipinta-alojen perusteella. Tarkasteltaessa järvien hiilikaasupäästöjä yllä kuvatulla laskentamenetelmällä on huomioitava menetelmän alueelliset rajoitukset; päästökertoimet ja muut parametrit perustuvat eteläisessä Suomessa tehtyyn tutkimukseen, joten esim. pohjoisemmassa tilanne on todennäköisesti hyvin toisenlainen, ja saatujen tulosten epävarmuus on suuri.

2.7. JOET

Suuri osa joen kuljettamista kaasuista on alkujaan peräisin joen valuma-alueen maaekosysteemeistä lähtöisin olevista orgaanisista yhdisteistä. Joet toimivat aineksen kuljettajina, samalla luovuttaen osan hiilestä ilmakehään. Valuma-alueen maaperätyypin ja maankäytön vaikutus hiilivirtoihin on suuri (Silvennoinen ym. 2008).

Jokien hiilipäästöt voidaan laskea joen virtaamati-tojen ja veden hiilen pitoisuuksien perusteella (Borges ym. 2007). Laskenta on kuitenkin monimutkainen eikä epäorgaanisen hiilen mittaustuloksia ole saatavilla pienemmille joille, joten LUONNIKAS-laskentaan käytettiin eri lähestymistapaa. Humborg ym. (2010) määrittivät kaasunvaihtokertoimia erikokoisille ja eri jakoasteen (Strahler order) joille ja laskivat niille keskimääräisiä päästöarvioita. Aineistona oli yli sata jokea koko Ruotsin alueelta. LUONNIKAS käyttää näitä keskimääräisiä eri jakoasteen jokien päästöarvioita kertoimina ja joen keskimääräistä leveyttä muuttujana. Humborg ym. (2010) määrittivät eri jakoasteille jokien leveydet, joiden avulla muodostettiin LUONNIKAS-työkaluun jokien leveyden kokoluokat (Taulukko 1). Mallilla laskettaessa kuntatason lähtötietona käytetään kunnan alueen jokien yhteenlaskettuja pinta-aloja jaoteltuna näihin kokoluokkiin joen leveyden mukaan.

TAULUKKO 1: LUONNIKAS-työkalun käyttämät eri jakoasteen jokien leveysluokat sekä CO₂-päästökertoimet Humborgin ym. (2010) mukaan

JAKOASTE	JOEN LEVEYS (m)	CO ₂ -PÄÄSTÖ (g C m ⁻² v ⁻¹)
3	<5	2834
4	5-10	1786
5	10-30	1054
6	>30	473

2.8. MERENRANNAT

Merenrantojen veden ja ilman välinen kaasunvaihto jätetään usein huomiotta globaaleissa hiilitasearvioissa, vaikka merenrannat ovat biogeokemiallisesti erittäin aktiivisimpia alueita biosfäärissä ja niiden vaikutus hiilitaseissa voi olla hyvinkin merkittävä (Hopkinson ja Smith 2005). Kasvillisuuden metaanipäästöjä arvioidessa huomioitiin merenrantojen osalta vain järvi-ruokokasvustot, jotka ovat varsinkin Suomen etelärannikolla melko dominoivia. Lounais-Suomen ympäristökeskuksen johdolla vuosina 2005–2007 toteutetun EU-rahoitteisen Ruoko-projektin (Suomen ja Viron ruovikkostrategia – Ruovikon kestävä käyttö Suomessa ja Virossa (www.ruoko.fi (29.4.2013) yhteydessä kartoitettiin satelliittikuvien avulla Suomen etelärannikon järvi-ruokoosiintymien laajuus (ha). Tulokset on esitetty kunnittain (Pitkänen 2006), joten kartoituksen tuloksia voidaan käyttää laskettaessa kasvillisuuden päästöjä LUONNIKAS-laskentatyökalulla. Ruovikoiden metaanipäästökertoimena käytetään merenrantaruoikoille samaa arvoa kuin järvien metaanipäästöjen laskennassa. Suomen rannikoilla veden suolapitoisuus on hyvin alhainen, joten syntyvien päästöjen oletetaan tässä olevan samaa tasoa kuin järvissä.

2.9. BIOENERGIA

LUONNIKAS-laskentatyökalulla on mahdollista tarkastella myös bioenergian hiilidioksidipäästöjä. Päästöjen laskennassa käytetään Tilastokeskuksen biopolttoaineiden oletuspäästökertoimia hiilidioksidille sekä hapetuskertoimia. Kertomalla käytetyt bioenergiämäärät näillä kertoimilla saadaan poltossa syntyvä hiilidioksidipäästö. Bioenergian hiilipäästön laskenta puuttuu KASVENER-laskentamallista, sillä IPCC:n laskentaohjeissa hiilidioksidin päästökerroin on bioenergian osalta sovittu nollassi. LUONNIKAS-laskennassa haluttiin arvioida myös biomassan polton suoraa hiilidioksidipäästöjä samalla kun tarkastellaan hiilen sidontaa biomassaan. Bioenergian päästöt on kuitenkin jätetty laskentapohjan tulossivulla erillään muista tuloksista, eikä niitä huomioida taselaskelmassa. Puuston poistuma lasketaan suorana päästönä, vaikka poistuma voi todellisuudessa päätyä esim. rakennusmateriaaliksi. Kuitenkin osa poistuman puusta voisi päätyä bioenergiaksi ja vapauttaa hiiltä ilmakehään, jolloin käytetyn bioenergian hiilipäästön laskenta aiheuttaisi tässä kohtaa saman päästön laskennan kahteen kertaan. Kansallisessa kasvihuonekaasuinventaariossa puutuotteiden nieluvaikutus arvioidaan, mutta sen mukaan ottaminen LUONNIKAS-laskentaan osoittautui liian vaikeaksi toteuttaa.

3. POHDINTA

LUONNIKAS on ensimmäinen yksinkertaistettu laskentatyökalu, jolla voi yhdistetysti arvioida eri ekosysteemien hiilitaseita kuntatasolla. Aikaisemmin kaikkien ekosysteemien yhteisvaikutuksen laskemiseksi paikallistasolla ei ole ollut yhtenäistä toimivaa yksinkertaista menetelmää. Mallissa käytetty laskenta sisältää paljon epävarmuuksia ja tarkkuuden arviointi on vaikeaa. Lisäksi mallin maantieteellinen edustavuus järvien osalta huononee pohjoisilla alueilla, koska malliyhtälöiden kertoimet perustuvat eteläisempien alueiden aineistoihin. LUONNIKAS-työkalua käyttämällä saadaan kuitenkin kuva metsä-, maatalousmaa-, suo- ja vesiekosysteemien osuudesta kuntatason hiilitaseessa. Kun tase lasketaan samalla menetelmällä eri kunnissa, tulokset ovat keskenään vertailukelpoisia (huomaa vesiosion maantieteelliset virhelähteet, ks. 2.5.). Samassa kunnassa eri ekosysteemien hiilitaseita voidaan suhteuttaa kokonaispäästöihin ja toisiinsa, jolloin nähdään miten ekosysteemit vaikuttavat hiilitaseeseen kuntatasolla.

Tavoitteena LUONNIKAS-työkalua kehitettäessä on ollut tuottaa menetelmä, jolla saadaan kokonaiskuva hiilitaseista, käyttäen mahdollisimman hyvin dokumentoitua, julkaistua tutkimustietoa sen perustana. Tarkempia tasearvioita voitaisiin saada monimutkaisemmilla ja enemmän työtä vaativilla menetelmillä, mutta sellaisten käyttö ei yleensä ole kunnissa mahdollista, eikä tavoitetta ajatellen myöskään tarpeellista. Tärkeänä on pidetty, että LUONNIKAS olisi riittävän helppo käyttää ilman erityistietoja hiilitaselaskennasta, koska tavoitteena on tuottaa taustatietoa kunnalliseen ilmastotyöhön ja lisätä tietoa kasvihuonekaasuisuutta luonnossa ja hiilen kierrosta kokonaisuutena.

Laskentatyökalun kehitystyön yhteydessä tehtyjen testilaskelmien ja SYKEN CLIMES-hankkeessa tehtyjen alueellisten hiilitaselaskelmien perusteella vaikuttaa siltä, että metsien rooli on kunnissa ekosysteemitasolla keskeinen. Vaikka metsät toimivat yleensä hiilen nieluina, laajakaan metsäpinta-ala ei takaa kunnalle negatiivista hiilitasetta (hiilen nettosidontaa) tai edes hiilineutraaliutta. Mikäli laskentavuotena on tehty runsaasti hakkuita, metsä voi helposti muuttua hiilinielusta hiilen lähteeksi, kun luonnosta ei tule lainkaan kompensatiota päästöille. Tämä on seikka, joka olisi hyvä huomioida myös kuntatasolla. Usein maankäytön ulkopuolella olevilla ympäristöillä, kuten vesistöillä ja luonnontilaisilla soilla, on pienempi vaikutus kunnan hiilitaseeseen kuin metsillä ja maatalousmaila, mikä osaltaan kertoo siitä, että maankäytön rooli hiilitaseen säätelyssä on kunnissa oleellinen. Kokonai-

suutena eri ekosysteemit voivat jossakin määrin kompensoida kunnan kokonaispäästöjä, jos metsät saadaan pidettyä selkeästi nieluna, mutta esim. raskas teollisuus ja pieni metsäpinta-ala kunnassa voivat johtaa siihen, että vaikutus jää mitättömäksi.

Tuloksia tarkasteltaessa on muistettava, että LUONNIKAS-työkalulla lasketut tulokset kertovat pääosin ekosysteemien luonnollisesta hiilen kierrosta, jota ihminen muuttaa toiminnallaan. Mallilla lasketavien ekosysteemien hiilitaseisiin on metsiä lukuun ottamatta vaikea vaikuttaa ja esimerkiksi vesistöt toimivat väistämättä päästölähteenä ja niiden kokonaispäästöt riippuvat lähinnä luonnonolosuhteista ja vesistöjen pinta-alan suuruudesta kunnan alueella. Vaikka esim. ojittamattomista soista ja järvistä myös vapautuu hiiltä, prosessi on normaali osa hiilen luonnollista kiertoa. Päästöjen vähentämistä suunniteltaessa huomio onkin kohdistettava ihmisen aiheuttamiin päästöihin, jotka sekoittavat tätä luonnollista tilannetta. Metsät ovat selkeästi hiilinieluja, joten niiden osuutta hiilivirtojen hallinnassa kannattaa pohtia myös kuntien ilmastotyössä.

LUONNIKAS-laskentatyökalun yhtenä epävarmuustekijänä on tarkastelujakson lyhyys, yksi vuosi. Ympäristön hiilidynamiikka on hidaslukuisia; hiilen varastoituminen ja vapautuminen, kierto ilmakehän ja ekosysteemin välillä, voi kestää monissa ekosysteemin osissa vuosikymmeniä tai jopa vuosituhansia. Toisaalta vuosittainen sääolosuhteiden vaihtelu voi vaikuttaa joidenkin osien hiilen virtoihin merkittävästi. Tässä laskentatyökalussa on pyritty kompromissiin ja yhdistetty ilmastopolitiikan määrittelemä lyhyt tarkastelujakso ja ekosysteemien hiilen liikkeiden arviointi kuntamittakaavassa niin hyvin kuin mahdollista. Laskentatyökalu ja siinä käytetyt laskentamenetelmät on tehty avoimesti saatavilla olevaan tietoon perustuen ja varustettu asianmukaisesti lähdeviittauksin, jotta käyttäjä voi halutessaan tarkistaa tiedon alkuperän ja tehdä omat arvionsa mallin käyttökelpoisuudesta tarkoituksiinsa.

Ongelmia laskennassa aiheuttaa myös tarkasteltavien alueiden - kuntien - yleensä melko pieni pinta-ala. Joitakin jo olemassa olevia laskentamenetelmiä on LUONNIKAS-työkalua varten jouduttu yksinkertaistamaan ja soveltamaan pienemmille (kuntakokoisille) alueille, jolloin epävarmuudet kasvavat. Pienillä alueilla yleistävä laskentatapa voi antaa paljonkin todellisista olosuhteista poikkeavia tuloksia, sillä olosuhteet vaihtelevat suuresti paikallisesti. Myös laskenta-

tiedon saatavuus näin pienille alueille on varsin rajoitettua.

LUONNIKAS-laskentatyökalua on mahdollista edelleen parantaa ja tarkentaa jatkokehittelyllä. Tutkimus-

tiedon karttuessa ja menetelmien sekä laskentatarkkuuden kehittyessä päästään kuntienkin ekosysteemien hiilitasearvioissa yhä lähemmäksi todellisia olosuhteita.

4. KIITOKSET

LUONNIKAS-laskentatyökalun kehittäminen ei olisi ollut mahdollista ilman yhteistyötä useiden eri tahojen kanssa. Kiitokset avusta ja yhteistyöstä Metsäntutkimuslaitoksen Tarja Tuomaiselle, Paula Puolakalle ja Minna Rädylle sekä Suomen ympäristökeskus SYKEn ja Helsingin yliopiston vesien hiiliprosessien asiantuntijoille Pirkko Kortelaiselle, Irina Bergströmille, Sari Juutiselle ja Miitta Rantakarille. Kiitokset myös Juk-

ka Almille (Metla), Pekka Vanhalalle (SYKE), Wilhelm Forteliukselle (Aronia), Rainer Backmanille (Uumajan yliopisto), Klaus Hansenille (Yrkeshögskolan Novia), työssä auttaneille Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus MTT:n tutkijoille ja myös kaikille muille työssä auttaneille. Työ on rahoitettu pääosin Koneen Säätiön hankeapurahalla (2011 ja 2012).

KIRJALLISUUS

- Bastviken D., Cole J., Pace M. & Tranvik L. 2004. Methane emission from lakes: Dependence of lake characteristics, two regional assessments, and a global estimate. *Global Biogeochemical Cycles*, 18, No.4, doi:10.1029/2004GB002238.
- Bergström I. 2011. Carbon gas fluxes from boreal aquatic sediments. *Monographs of the Boreal Environment Research No. 38*. 41 p. (Academic dissertation).
- Bergström I., Mäkelä S., Kankaala P. & Kortelainen P. 2007. Methane efflux from littoral vegetation stands of southern boreal lakes: An upscaled regional estimate. *Atmospheric environment* 41: 339-351.
- Borges A.V., Vanderborcht J-P., Schiettecatte L-S., Gazeau F., Ferrón-Smith S., Delille B. & Frankignoulle M. 2004. Variability of the gas transfer velocity of CO₂ in a macrotidal estuary (the Scheldt). *Estuaries*, vol. 27 nr. 4: 593-603.
- Haaspuro T. & Fortelius W. 2010: Växthusgasutsläpp i västra Nyland – Kartläggning över år 2007. *Novia publikation och produktion, serie R: rapport*, 3/2010.
- Heikkinen J., Ketoja E., Nuutinen V. & Regina K. 2013. Declining trend of carbon in Finnish cropland soils in 1974–2009. *Global Change Biology*. (accepted)
- Hopkinson, C.S. & Smith, E.M. 2005. Estuarine respiration: an overview of benthic, plagic, and whole system respiration. Kirjassa: *Respiration in Aquatic Ecosystems*, toim.: Del Giorgio, P.A. ja Williams P.J. le B.
- Humborg C., Mörth C.-M., Sundbom M., Borg H., Blenckner T., Giesler R. & Ittekkot V. 2010. CO₂ supersaturation along the aquatic conduit in Swedish watersheds as constrained by terrestrial respiration, aquatic respiration and weathering. *Global Change Biology* 16: 1966–1978.
- IPCC, 2007. Summary for Policymakers. In: *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., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Juutinen S., Rantakari M., Kortelainen P., Huttunen J.T., Larmola T., Alm J., Silvola J. & Martikainen P.J. 2009. Methane dynamics in different boreal lake types. *Biogeosciences* 6: 209-233.
- Juutinen S., Alm J. & Larmola T. 2003. Major implication of the littoral zone for methane release from boreal lakes. *Global Biogeochemical Cycles*, 17, No. 4, 1117, doi:10.1029/2003GB002105.
- Kalkitusyhdistys 2007. Kalkitusopas. Saatavilla: http://www.kalkitusyhdistys.net/user_files/files/kalkitusopas_2007.pdf (29.4.2013).

- Kortelainen, P., Rantakari, M., Huttunen, J., Mattsson, T., Alm, J., Juutinen, S., Larmola, T., Silvola, J. & Martikainen, P. 2006. Sediment respiration and lake trophic state are important predictors of large CO₂ evasion from small boreal lakes. *Global Change Biology* 12: 1554-1567.
- Liski J., Palosuo T., Peltoniemi M. & Sievänen R. 2005. Carbon and decomposition model Yasso for forest soils. *Ecological Modelling* 189: 168-182.
- Metsäntutkimuslaitos 2009. VMI11 Maastotyöohje 2009, Koko Suomi, 2. painos. Saatavilla: <http://www.metla.fi/ohjelma/vmi/vmi11-maasto-ohje09-2p.pdf> (29.4.2013).
- Metsäntutkimuslaitos 2010. Metsätalastollinen vuosikirja 2010. Vammalan kirjapaino Oy, Sastamala.
- Metsäntutkimuslaitos 2013. Kasvihuonekaasujen laskenta ja raportointi. (Verkkosivu) Saatavilla: <http://www.metla.fi/ghg/index-su.htm> (29.4.2013).
- Ojanen, P., Minkkinen, K., Alm, J. & Penttilä, T. 2010. Soil-atmosphere CO₂, CH₄ and N₂O fluxes in boreal forestry-drained peatlands. *Forest Ecology and Management* 260: 411-421.
- Ojanen, P., Minkkinen, K. & Penttilä, T. 2013. The current greenhouse gas impact of forestry-drained boreal peatlands. *Forest Ecology and Management* 289: 201-208.
- Pitkänen, T. 2006. Missä järviruokoa kasvaa? – Järviruokoalueiden satelliittikartoitus Etelä-Suomen ja Viron Väinämeren rannikoilla, Turun ammattikorkeakoulu, Turun ammattikorkeakoulun puheenvuoroja 29.
- Rantakari, M. & Kortelainen, P. 2005. Interannual variation and climatic regulation of the CO₂ emission from large boreal lakes. *Global Change Biology* 11: 1368-1380.
- Saarnio S., Morero M., Shurpali N.J., Tuittila E.-S., Mäkilä M. & Alm J. 2007. Annual CO₂ and CH₄ fluxes of pristine boreal mires as a background for the lifecycle analyses of peat energy. *Boreal Env. Res.* 12: 101-113.
- Sevola Y. & Suihkonen V. 2010. Metsätalastotiedote 14/2010, Hakkuut ja puuston poistuma metsäkeskuksittain 2009. Metsäntutkimuslaitos. Saatavilla: <http://www.metla.fi/metinfo/tilasto/julkaisut/mtt/2010/hakpoi09.pdf> (7.5.2013).
- Silvennoinen H., Liikanen A., Rintala J. & Martikainen P.J. 2008. Greenhouse gas fluxes from the eutrophic Temmesjoki River and its Estuary in the Liminganlahti Bay (the Baltic Sea), *Biogeochemistry* 90, 193-208.
- Suomen kuntaliitto 2013. KASVENER-laskentamalli. (Verkkosivu) Saatavilla: <http://www.kunnat.net/fi/asiantuntijapalvelut/ymparisto/ilmastonmuutos/tyokaluja/kasvener/Sivut/default.aspx> (29.4.2013)
- Tilastokeskus 2012. Greenhouse gas emissions in Finland 1990-2010. National Inventory Report under the UNFCCC and the Kyoto Protocol. (chapter 7 LULUCF) 460 p.
- Tolonen K. & Turunen J. 1996. Accumulation rates of carbon in mires in Finland and implications for climate change. *The Holocene* 6, 2, pp. 171-178.
- Valtion ympäristöhallinnon virastot 2013. OIVA - Ympäristö- ja paikkatietopalvelu asiantuntijoille. Saatavilla: <http://www.wp2.ymparisto.fi/scripts/oiva.asp> (29.4.2013).
- Yara 2012. Metsälannoitusopas. Saatavilla: http://webtoprint.yara.com/kunder/yara/display_pages.php?pages_dir=yemark%2Fj2012%2Fm03%2Ft14%2F0014864_2%20pages&wi=100&he=95 (29.4.2013).

YRKESHÖGSKOLAN
NOVIA

Yrkeshögskolan Novia har ca 3500 studerande och personalstyrkan uppgår till ca 390 personer. Novia är den största svenskspråkiga yrkeshögskolan i Finland som har examensinriktad ungdoms- och vuxenutbildning, utbildning som leder till högre yrkeshögskoleexamen samt fortbildning och specialiseringsutbildning. Novia har utbildningsverksamhet i Vasa, Jakobstad, Raseborg och Åbo.

Yrkeshögskolan Novia är en internationell yrkeshögskola, via samarbetsavtal utomlands och internationalisering på hemmaplan. Novias styrka ligger i närvaron och nätverket i hela Svenskfinland.

Novia representerar med sitt breda utbildningsutbud de flesta samhällssektorer. Det är få organisationer som kan uppvisa en sådan kompetensmässig och geografisk täckning. Högklassiga och moderna utbildningsprogram ger studerande en bra plattform för sina framtida yrkeskarriärer.

YRKESHÖGSKOLAN NOVIA

Fabriksgatan 1, 65100 Vasa, Finland
Tfn +358 (0)6 328 5000 (växel),
www.novia.fi

ANSÖKNINGSBYRÅN

PB 6, 65201 Vasa, Finland
Tfn +358 (0)6 328 5555
ansokningsbyran@novia.fi

Yrkeshögskolan Novia upprätthåller en publikations- och produktionsserie för att sprida information och kunskap om verksamheten såväl regionalt, nationellt som internationellt. Publikations- och produktionsserien är indelad i fem kategorier:

R - Rapporter • P - Produktioner • A - Artiklar • L - Läromedel • S - Studerandes arbete

Läs våra senaste publikationer på www.novia.fi/FoU/publikation-och-produktion