

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU  
Kemiantekniikan koulutusohjelma  
Ympäristötekniikka

Tutkintotyö

Heli Raiskinmäki

**MAASTOSSA KÄYTETTÄVIEN CO<sub>2</sub> -MITTAUSKAMMIOIDEN KALIBROINTI**

Työn ohjaaja  
Työn teettäjä  
Tampere 2005

Lehtori Eeva-Liisa Viskari  
Helsingin yliopisto, Metsäekologian laitos, valvojana FM Mika Yli-Petäys

# TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Kemiantekniikka

Ympäristötekniikka

Raiskinmäki, Heli Maastossa käytettävien CO<sub>2</sub>-mittauskammioiden kalibrointi

Tutkintotyö 25 sivua

Työn ohjaaja Lehtori Eeva-Liisa Viskari

Työn teettäjä Helsingin yliopisto, Metsäekologian laitos, valvojana FM Mika Yli-Petäys

Toukokuu 2005

Hakusanat Hiilidioksidi, kammiomenetelmä, kasvihuonekaasu, turvesuo

## TIIVISTELMÄ

Ilmaston lämpenemisen vaikutuksista turvemaiden hiilivirtoihin on esitetty monenlaisia teorioita. Soiden on ennustettu jopa muuttuvan hiilen nieluista hiilen lähteiksi ilmakehään. YK:n kansainvälisen ilmastopimuksen ja Kioton puitesopimuksen myötä tiedontarve turvemaiden hiilen virroista ja hiilitaseista on edelleen kasvanut. Suomi on muiden maiden joukossa sitoutunut arvioimaan kasvihuonekaasupäästöjään.

Turvemaiden hiilivirtoja voidaan mallintaa suorien mittausten avulla. Hiiltä sitoutuu turpeeseen ilmakehän hiilidioksidista suokasvien fotosynteesissä ja poistuu hajotustoiminnan seurauksena hiilidioksidin muodossa takaisin ilmakehään. CO<sub>2</sub>:n nettovaihtoa voidaan mitata suon pinnalta kammiomenetelmän avulla. Luotettavien mittaustulosten saamiseksi on mittauslaitteiden aiheuttama mittavirhe selvitettävä. Tutkintotyön tarkoituksena oli tutkia maastomittauksissa käytettävien CO<sub>2</sub>-mittauskammioiden mittavirhettä kalibroimalla kolme erikokoista kammiota. Kalibrointi suoritettiin vertaamalla CO<sub>2</sub>-pitoisuuden maastomittauskammiolla mitattua muutosta tunnettuun, erityisen kalibrointitankin avulla aikaansaatuun CO<sub>2</sub>-virtaukseen.

Kalibroinnin tuloksena saatiin kalibrointisuorat kolmelle mittauskammiolle ja korjauskertoimet kolmen eri mittauskammion antamalle CO<sub>2</sub>-virtaukselle. Kalibrointisuorien perusteella voitiin päätellä maastomittauskammioiden toimivan, mutta aiheuttavan melko suuren yliarvion CO<sub>2</sub>-vuohon. Hyvin pienissä ja suurissa pitoisuuksissa osa mittauskammiosta ei toiminut luotettavalla tavalla.

TAMPERE POLYTECHNIC

Chemical Engineering

Environmental Engineering

Raiskinmäki, Heli

Engineering Thesis

Thesis supervisor

Commissioning Institution

Calibration of chambers for measurement of soil CO<sub>2</sub> efflux  
25 pages

Senior Lecturer Eeva-Liisa Viskari

University of Helsinki, Department of Forest Ecology.

Supervisor: Mika Yli-Petäys, M.Sc.

May 2005

Keywords

Carbon dioxide, chamber technique, greenhouse gas, peatland

## ABSTRACT

Global warming has been assumed to affect carbon cycling of peatlands. Peatlands have been estimated to change from sink to source of atmospheric carbon dioxide (CO<sub>2</sub>). According to the United Nation's Framework Convention on Climate Change and Kyoto protocol Finland is also compelled to assess its greenhouse gas emissions.

Carbon fluxes of peatlands can be estimated by measuring soil respiration. Carbon is photosynthesized by plants and returned to the atmosphere as CO<sub>2</sub> in the maintenance and growth respiration of the plants. Soil CO<sub>2</sub> efflux can be measured using chamber technique. In order to get reliable results, errors of the measurement system have to be studied. Aim of this study was to test the errors of chambers. Testing was done by calibrating three chambers of different volume. Chambers were compared against known CO<sub>2</sub> fluxes generated by a specially developed calibration tank.

As a result calibration curves and correction factors for three chambers was received. Based on results chambers appeared to work but overestimate the real CO<sub>2</sub> fluxes.

## ALKUSANAT

Tämä työ on tehty tutkintotyönä Helsingin yliopiston Metsäekologian laitokselle.

Työn aiheen sain ollessani työharjoittelussa kesällä 2004 Parkanon Metsäntutkimuslaitoksella. Helsingin yliopiston ja Metsäntutkimuslaitoksen yhteishankkeen parissa työskennellessäni pääsin tutustumaan yliopiston tutkimuksiin ja tekemään kasvihuonekaasumittauksia. Tutkintotyön tekeminen mittauskammioiden kalibroinnista tuntui luontevalta, koska mittaustekniikkaan ehti perehtyä hyvin kesän aikana mittauksia tehdessä.

Työn onnistumisen kannalta tutkijoiden, Jukka Pumpasen, Terhi Riutan ja Mika Yli-Petäyksen apu oli korvaamaton, siitä kiitokset heille. Kiitokset myös Pirita Soinille, joka oli mukana kalibroimassa kammioita. Eeva-Liisa Viskaria ja Mika Yli-Petäystä kiitän asiantuntevasta ohjauksesta.

Tampereella 16.5.2005

Heli Raiskinmäki

## SISÄLLYSLUETTELO

### TIIVISTELMÄ

### ABSTRACT

### ALKUSANAT

<b>SISÄLLYSLUETTELO.....</b>	<b>5</b>
<b>1 JOHDANTO .....</b>	<b>6</b>
<b>2 KASVIHUONEKAASUTUTKIMUKSET.....</b>	<b>6</b>
2.1 Kammiomenetelmä.....	7
2.2 Aitonevan tutkimuskohde.....	8
2.3 Hyytiälän tutkimuskohde.....	12
<b>3 MITTAUSKAMMIOIDEN KALIBROINTI.....</b>	<b>13</b>
3.1 Menetelmät ja välineet.....	14
3.2 Kalibroinnin suoritus .....	15
<b>4 AINEISTON KÄSITTELY .....</b>	<b>16</b>
4.1 Mittauskammion CO <sub>2</sub> -virtauksen laskeminen.....	17
4.2 Kalibroititankin CO <sub>2</sub> -virtauksen laskeminen.....	18
<b>5 TULOKSET .....</b>	<b>19</b>
5.1 Kalibroitisuorat.....	19
5.2 Korjauskertoimet .....	21
<b>6 TULOSTEN TARKASTELU .....</b>	<b>22</b>
<b>LÄHTEET .....</b>	<b>24</b>

## 1 JOHDANTO

Ilmaston lämpenemisen ja maankäytön muutosten on ennustettu muuttavan hiilen virtoja turvemaidella. On arvioitu soiden muuttuvan hiilen nieluista hiilen lähteiksi ilmakehään. YK:n kansainvälisen ilmastopöytäkirjan, Kioton pöytäkirjan hyväksymisen myötä tiedon tarve hiilen virroista ja hiilitaseista on edelleen kasvanut. Suomi, kuten muutkin Kioton pöytäkirjan allekirjoittaneet maat, ovat sitoutuneet arvioimaan kansallisia päästöjään. /1/

Helsingin yliopisto on yksi niistä tahoista, jotka ovat ryhtyneet tutkimaan turvemaiden kasvihuonekaasu- ja hiilitaseita. Aiheesta on tehty jo monia laajoja tutkimuksia, mutta tietoa tarvitaan lisää. Turvemaiden hiilivirtoja voidaan mallintaa suorien mittausten avulla. Hiiltä sitoutuu ilmakehän hiilidioksidista (CO<sub>2</sub>) turpeeseen suokasvien fotosynteesin kautta ja poistuu kasvillisuuden hengityksen sekä turpeen hajoamisesta aiheutuvan maahengityksen kautta hiilidioksidina takaisin ilmakehään. CO<sub>2</sub>:n nettovaihtoa voidaan mitata suon pinnalta käyttämällä kammiomenetelmää. /1/ Tutkimusten perusteella tehtävien merkittävien laskelmien ja mallien vuoksi mittaustulosten on oltava tarkkoja ja luotettavia. Tutkimuksissa käytettävien mittaustulosten aiheuttama mittavirhe on selvitettävä luotettavan tutkimustiedon saamiseksi. Aikaisemmissa tutkimuksissa vertailtaessa CO<sub>2</sub>-mittauksissa käytettyjä kammiotekniikoita ja eri kammiotyyppisiä on havaittu mittaustulosten yliarvioineen CO<sub>2</sub>-vuota jopa useita kymmeniä prosentteja /3/.

Tutkintotyön tarkoituksena oli tutkia maastomittauksissa käytettävien, uusien CO<sub>2</sub>-mittauskammioiden mittavirhettä kalibroimalla kolme erikokoista kammiota. Kalibroinnissa seurattiin Pumpasen ym.(2004) käyttämää menetelmää, jolloin saatuja tuloksia voitiin verrata aikaisempiin tutkimustuloksiin /2/.

## 2 KASVIHUONEKAASUTUTKIMUKSET

Kalibroitavia CO<sub>2</sub>-mittauskammiota on käytetty Helsingin yliopiston metsäekologian laitoksen tutkimuksissa Kihniön Aitonevalla ja Hyytiälässä Juupajoella. Tutkimusalueilla tehdään kasvihuonekaasumittauksia (hiilidioksidi- ja metaanimittaukset) ja tutkitaan suon ennallistamisen vaikutuksia hiilen virtoihin ja hiilitaseisiin.

## 2.1 Kammiomenetelmä

CO<sub>2</sub>-virtauksen mittaamisessa käytetty kammiomenetelmä perustui CO<sub>2</sub>-pitoisuuden mittaamiseen suljetun kammion avulla. Mittauskammiot asetettiin mitattavan kohteen päälle mittauksen ajaksi siten, että ilmaa ei päässyt kammioon muualta kuin mittauskohteesta. Tällöin kaasuvirtauksen muutokset ajan suhteen tiedettiin mittauskohteesta johtuviksi.

Mittausjärjestelmä koostui mittauskammiosta, infrapuna-CO<sub>2</sub>-analysointilaitteesta (PP Systems, EGM 2) sekä jäähdytysjärjestelmästä, joka pyrki pitämään kammioilman lämpötilan samalla tasolla koko mittauksen ajan. Jäähdytysjärjestelmä oli tarpeen erityisesti kesällä, jolloin kammioilman lämpötila saattoi helposti kohota useita asteita muutaman minuutin aikana auringon lämmittäessä läpinäkyvää kammiota. Lämpötilan oli pysyttävä melko tasaisena ja suunnilleen ympäröivän ilman tasolla noin 2 - 3 min kestävän mittauksen ajan, sillä lämpötila (keskiarvo mittausajalta) oli tärkeä muuttuja laskettaessa hiilidioksidin massavirtauksia (kaava 2).

Tutkittava ilma kiersi kammiosta letkujen kautta jäähdyttimeen ja sieltä takaisin mittauskammioon. Jäähdyttimestä kulki ohut letku CO<sub>2</sub>-analysointilaitteeseen, josta ilma palasi jälleen letkun kautta kammioon. Analysointilaitteisto mittasi CO<sub>2</sub>:n pitoisuusvirtaa jatkuvatoimisesti.

Mittauskammioita olivat läpinäkyviä, kovasta muovista valmistettuja sylintereitä. Eri kammioiden koot näkyvät taulukosta 1. Mittauskammioita näkyvät myös kuvassa 1.

Taulukko 1. Mittauskammioiden koot.

kammio	halk. (cm)	korkeus (cm)	tilavuus (cm <sup>3</sup> )
pieni	20	15	4712
keskikok.	20	40	12566
suuri	31,5	40	31172

Tutkimuskohteissa suokasvit oli istutettu putkiin (luku 2.2), jotka olivat halkaisijaltaan 14 cm, eli pienempiä kuin mittauskammion pohja. Tämän vuoksi mittauksen ajaksi putken ympärille asetettiin ns. mittauskaulus, levy, jossa oli urat erikokoisille kammioille (kuva 5, luku 2.2). Mittauskohteeseen valittiin käytettävä kammio aina sen mukaan, kuinka runsas kasvillisuus kohteessa oli.



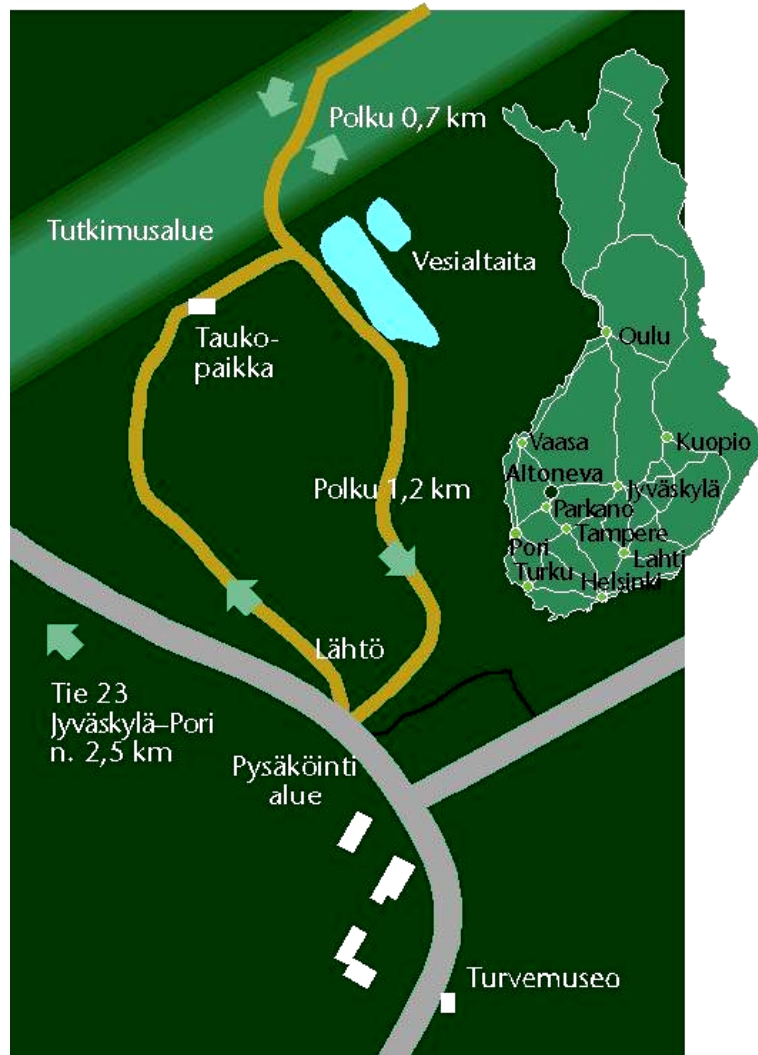
Kuva 1. Etualalla maastomittauksissa käytettävät CO<sub>2</sub>-mittauskammiot, niiden takana kannettava infrapuna- CO<sub>2</sub>-analysointilaitteisto kytkettynä jäähdytysjärjestelmään.

/7/

## 2.2 Aitonevan tutkimuskohde

Kihniön Aitonevan tutkimus oli osa EU:n rahoittamaa yhteiseurooppalaista Recipe-projektia, jonka yhtenä tarkoituksena oli selvittää miten ennallistetun suon hiilensidonta ja mikrobisto kehittyvät soistumisen alkuvaiheessa. Projektin yhteistyökumppaneihin kuului yliopistoja ja tutkimuslaitoksia eri Euroopan maista. Projekti jakaantui useisiin tutkimuksiin ja tutkimuskohteisiin. /10/ Aitonevalla tutkittiin eri suokasvilajien ja vedenpinnan vaikutusta ennallistetun suon kasvihuonekaasutaseisiin (hiilidioksidi, metaani) ja mikrobilajistoon. Samanlainen tutkimus käynnistettiin neljällä muulla kohteella eri puolilla Eurooppaa. /7/





Kuva 2. Aitonevan tutkimusalue. /11/

Kihniön kunnan alueella sijaitsevalla Aitonevalla (kuva 2.) on tehty monia erilaisia turvemaihin liittyviä tutkimuksia. Aitonevalla on nostettu turvetta 1940-luvulta lähtien ja turpeenostosta vapautuneita alueita on paljon./11/ Tutkimustoimintaa on ollut vaihtelevasti 1950-luvulta lähtien Metsäntutkimuslaitoksen ja yliopistojen toimesta./4/

Kesällä 2004 ollessani työharjoittelussa Metsäntutkimuslaitoksen ja Helsingin yliopiston yhteishankkeen parissa, Aitonevalla otettiin käyttöön uusi koeala, jota varten uudet mittauskammiot oli hankittu. Koealalta korjattiin turvetta vielä vuonna 2001. Vuoden 2003 lokakuussa entisen tuotantosaran ojat padottiin, jolloin vedenpinnan tasoa kyettiin nostamaan suokasvillisuudelle sopivaksi. Eräälle saran osalle oli perustettu suokasvien kasvatuskoe, jossa soistumisen alkuvaiheessa suolle leviäviä suokasvilajeja oli istutettu viistoon penkereeseen eri etäisyyksille

pohjaveden pinnasta (kuvat 3 ja 4). Koealueelle istutettiin luhtavillaa (*Eriophorum angustifolium*), tupasvillaa (*Eriophorum vaginatum*), pullosaraa (*Carex rostrata*) sekä rahkasammalta (*Sphagnum*).



Kuva 3. Aitonevan koeala entisellä tuotantosaralla.

Koealan suokasvit oli istutettu häiriintymätöntä turvetta sisältäviin putkiin (kuva 4). Istutetun suokasvin olosuhteiden tuli vastata mahdollisimman tarkkaan soistumisen alkuvaiheessa vallitsevaa tilannetta. Kokeen päätyttyä oli tarkoitus nostaa putket ylös ja tutkia turpeen mikrobisto.



Kuva 4. Koealan suokasvit oli istutettu häiriintymätöntä turvetta sisältäviin putkiin.

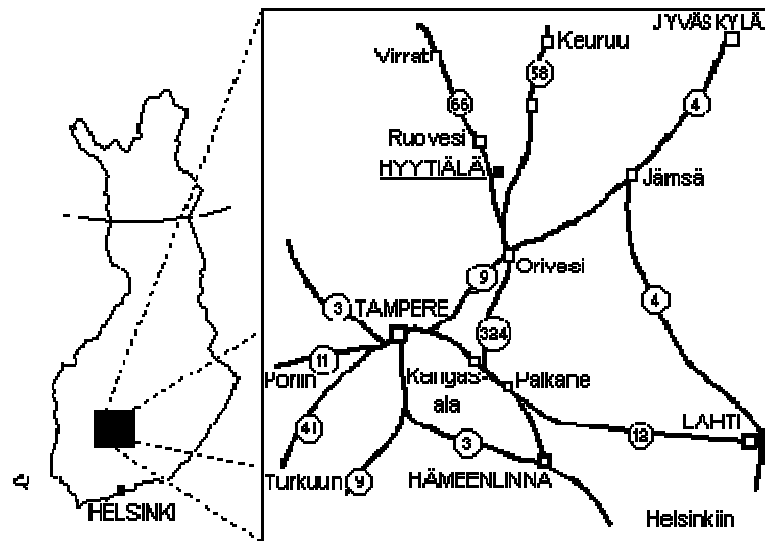
Hiilidioksidimittauksissa käytetyt kammiot olivat siis valon läpäiseviä, mikä mahdollisti kasvien normaalin valossa tapahtuvan fotosynteesin eli yhteyttämisen mittaamisen (kuva 5). Fotosynteesimittaukset tehtiin pääasiassa kasvipeitteellisistä ruuduista, mutta mukana oli myös ns. mustia ruutuja, jotta voitiin erottaa pelkkä maahengitys ja kasvillisuuden hengitys toisistaan. Valoa läpäisevistä kammioista kasvillisuuden yhteyttämistä mitattiin seuraamalla hiilidioksidipitoisuuden vähenemistä. Valomittauksen jälkeen kammio pimennettiin hupulla, jotta kasvillisuuden omaa hengitystä ja turpeen hajoamisesta aiheutuvaa maahengitystä kyettiin mittaamaan. Valomittauksissa saatu nettofotosynteesi ja hengityksen osuus lasketaan myöhemmin yhteen, jolloin maastomittausten perusteella voidaan arvioida kasvillisuuden kokonaistuotantoa.



Kuva 5. Kammiomittaus maastossa.

### 2.3 Hyytiälän tutkimuskohde

Juupajoen kunnassa sijaitsevassa Hyytiälässä, Helsingin yliopiston metsäaseman välittömässä läheisyydessä (kuva 6) käynnistettiin kesällä 2004 hieman samantyyppinen koe kuin Aitonevalla (luku 2.2). Suokasveja oli istutettu eri etäisyyksille veden pinnan tasosta ja tarkoituksena oli tutkia eri suokasvilajien sekä vedenpinnan vaikutusta kasvihuonekaasutaseisiin (hiilidioksidi, metaani)./6/



Kuva 6. Hyytiälän metsäaseman sijainti. /9/

Hyytiälän tutkimuskohde erosi Aitonevan tutkimuksesta siinä, että suokasvien kasvualustana kokeella toimi kvartsihiekkä. Vedenpinnan tasot pystyttiin koejärjestelyn ja suovedellä kastelun ansiosta pitämään hyvin tasaisena koko kasvukauden ajan, joten Hyytiälän koe oli kasvuolosuhteiltaan muutoinkin kontrolloidumpi kuin Aitonevan koe./6/

Koealueelle siirrettiin läheiseltä Lakkasuolta jouhisaraa (*Carex lasiocarpa*), pullosaraa (*Carex rostrata*), tupasvillaa (*Eriophorum vaginatum*), sekä vaivaiskoivua (*Betula nana*). Koska siirretyt suokasvit oli istutettu hiekkää sisältäviin putkiin, voitiin kaikki mitatut kaasuvirtaukset päätellä kasviperäisiksi./6/ CO<sub>2</sub>-virtausta mitattiin samoilla mittauskammioilla ja mittaustekniikalla kuin Aitonevalla.

### 3 MITTAUSKAMMIOIDEN KALIBROINTI

Ryhmä tutkijoita kalibroi erilaisia maastomittauksissa käytettäviä CO<sub>2</sub>-mittauskammioita syksyllä 2002 ja kirjoitti tuloksien pohjalta artikkelin (Pumpanen ym. 2004). Tutkintotyöhön liittyvä kalibrointi suoritettiin artikkelissa esitetyn menetelmän mukaisesti.

### 3.1 Menetelmät ja välineet

Mittauskammiot kalibroitiin Hyytiälän metsäasemalla, Juupajoella. Kalibrointi tehtiin suuressa hallissa, jossa oltiin suojassa tuulen vaikutukselta. Käytössä oli sama kalibrointivälineistö, jota Pumpanen ym. (2004) käyttivät.

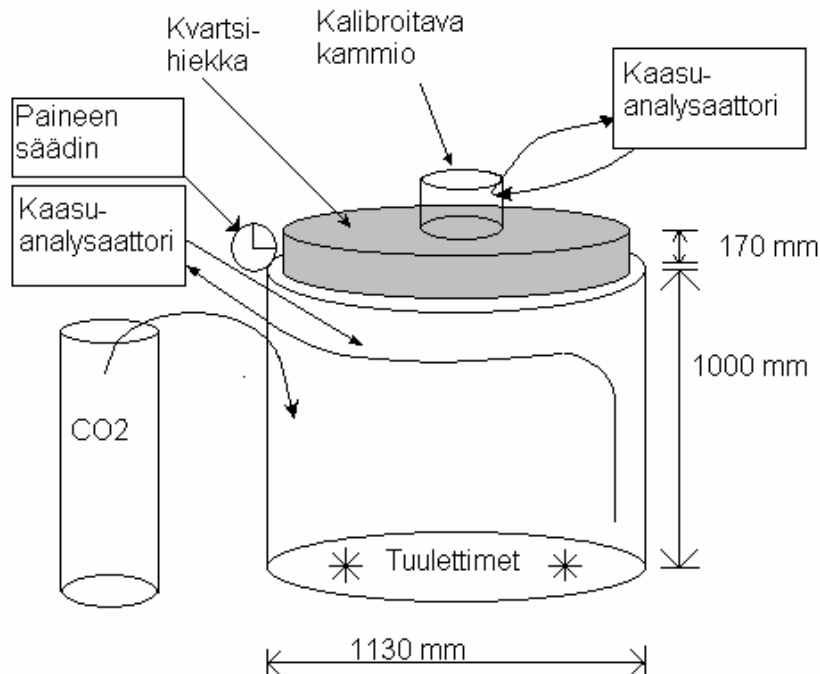
Kalibroinnissa CO<sub>2</sub>-pitoisuuden maastomittauskammiolla mitattua muutosta verrattiin tunnettuun, odotettuun muutosnopeuteen. Tunnettu CO<sub>2</sub>-virtaus saatiin aikaan erityisen kalibrointitankin avulla. Lähes puhdasta CO<sub>2</sub> syötettiin tankkiin, josta se pyrki kvartsihiekkakerroksen läpi ylöspäin, pienempään pitoisuuteen. Hiekka toimi kalibroinnissa ikään kuin maakerroksena. CO<sub>2</sub>-pitoisuuden muutosta mitattiin kannettavalla infrapuna-CO<sub>2</sub>-analysointilaitteella (PP Systems, EGM 2), seitsemässä eri pitoisuudessa (taulukko 2). /2/

Taulukko 2. Kalibrointitankin tavoitellut CO<sub>2</sub>-pitoisuustasot

	tavoiteltu CO <sub>2</sub> - pitoisuustaso (ppm)
1	700
2	1600
3	3000
4	5000
5	6000
6	7600
7	10000

Kalibrointitankki oli sylinterin muotoinen, ruostumattomasta teräksestä valmistettu, tilavuudeltaan 1 m<sup>3</sup>:n kokoinen säiliö (kuva 7). Tankkiin liitettiin paineen säädin ja infrapuna- CO<sub>2</sub>-analysointilaitte (PP Systems, EGM 4). Tankin sisälle oli asetettu toinen, erityyppinen CO<sub>2</sub>-pitoisuusanturi (Vaisala, CARBOCAP GMP343), joka oli kytketty myös tietokoneeseen. Tankin yläosassa oli 20 mm paksuinen, polyetyleenistä (HDPE) valmistettu kansi, jossa oli halkaisijaltaan 7 mm kokoisia reikiä noin 12 mm välein. Ennen kalibroinnin aloittamista kannen päälle levitettiin noin 150 mm paksu kerros kvartsihiekkaa. Kvartsihiekkä on suhteellisen tasalaatuista ja se levittyy tasaisesti, näin saadaan aikaan väliaine, jonka läpäisevyys on sama joka mittauskohdassa /5/. Kalibroinnissa käytettiin kvartsihiekkää, joka oli raekooltaan 0,05 – 0,2 mm. Sama hiekka oli kannen päällä koko kolme päivää kestäneen kalibroinnin ajan. Hiekan ja kannen väliin asetettiin kaksi kerrosta ohutta harsokangasta, jotta hiekkää ei pääse säiliöön ja ilma kulkee

vapaasti hiekan ja tankin välillä. Kalibrointisäiliön pohjalla olleet tuulettimet sekoittivat säiliön ilmaa pitäen hiilidioksidipitoisuuden tasaisena. /2/



Kuva 7. Kalibrointivälineistö (piirretty Pumpasen ym.(2004) mukaan)

Tutkijaryhmä teki mittaukset kahdella eri raekokoa olevalla kuivalla hiekalla sekä kostealla hiekalla. Tutkintotyöhön liittyvässä kalibroinnissa käytettiin vain yhtä, kuivaa hiekkalaatua, koska ei ollut tarvetta tehdä kalibrointia useammalla hiekkalaadulla. Yhtä hiekkalaatua käyttäen saadut kalibrointitulokset riittivät työn teettäjän tarpeisiin.

### 3.2 Kalibroinnin suoritus

Hiekkakerroksen päälle asetettiin vastaavanlaiset putket ja mittauskaulukset kuin maastossa mitattaessakin. Tankin päälle mahtuneet kolme putkea ja kaulusta olivat paikoillaan koko kolmepäiväisen kalibroinnin ajan.

Ennen mittausten aloittamista kalibrointitankkiin syötettiin 97,5 % hiilidioksidia. CO<sub>2</sub>-pitoisuus tankin sisällä nostettiin aina yli halutun pitoisuustason (taulukko 2), koska virtauksen oli aina annettava tasaantua tunnin ajan ennen mittausten aloittamista, ja pitoisuus ehti laskea melko paljon sinä aikana /5/.

CO<sub>2</sub>-pitoisuutta mitattiin siis seitsemällä eri pitoisuustasolla. Mittaukset aloitettiin pienimmästä pitoisuudesta ja edettiin järjestyksessä aina suurempaan.

CO<sub>2</sub>-pitoisuuden mittausta suoritettiin samalla tavalla kuin maastossakin. CO<sub>2</sub>-analysointilaitteeseen ja ilmaa kierrättävään jäähdytysjärjestelmään liitetty mittauskammio asetettiin mittauskauluksen uriin (kuva 8). Pitoisuus kirjattiin ylös 30 sekunnin välein, viiden minuutin ajan. Yhdellä kammiolla tehtiin kolme mittausta pitoisuustasoa kohti. Kauluksen kohdan oli annettava tasaantua 10 minuuttia mittausten välillä /5/.



Kuva 8. CO<sub>2</sub>-pitoisuuden mittausta kalibrointitankin hiekan päältä. /7/

#### 4 AINEISTON KÄSITTELY

CO<sub>2</sub>-analysointilaitteella CO<sub>2</sub>-pitoisuuden muutosta mitattaessa saatiin tuloksiksi CO<sub>2</sub>-pitoisuudet (ppm) tiettyinä ajanjaksoina. Tuloksista oli edelleen laskettava CO<sub>2</sub>:n virtausnopeudet ja muunnettava ne milligrammoiksi neliometriä ja tuntia kohti.



Kalibrointitankin CO<sub>2</sub>-virtaus oli myös määritettävä ja muunnettava kammionmittausten tuloksia vastaaviin yksiköihin, jotta kalibrointisuora voitaisiin myöhemmin laskea.

#### 4.1 Mittauskammion CO<sub>2</sub>-virtauksen laskeminen

Mittaustuloksina saatiin mittauskammion CO<sub>2</sub>-pitoisuus mittausajan suhteen. CO<sub>2</sub>:n virtausnopeus laskettiin lineaarisena pitoisuuden muutoksena ajan suhteen, mistä edelleen saatiin muutokselle kulmakerroin (b):

$$b = \frac{n \sum xy - (\sum x)(\sum y)}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \quad (1)$$

n = pitoisuushavaintojen määrä

y = mitattu kammion CO<sub>2</sub>-pitoisuus

x = pitoisuushavaintojen määrä sekunneissa mittauksen aloittamisesta lähtien.

Pitoisuusvirtauksen perusteella voitiin laskea massavirtaus (m):

$$m = b \cdot \frac{M}{V_m} \cdot \frac{V_{kammio}}{A_{kammio}} \cdot \frac{T_0}{T_0 + T_{kammio}} \quad (2)$$

b = pitoisuuden muutoksen kulmakerroin

M = moolimassa (CO<sub>2</sub>)

V<sub>m</sub> = moolitilavuus (CO<sub>2</sub>)

V<sub>kammio</sub> = kammion tilavuus

A<sub>kammio</sub> = kammion pohjan pinta-ala

T<sub>0</sub> = 273,15 K

T<sub>kammio</sub> = ilman keskimääräinen lämpötila kammiossa mittauksen aikana.

/8/

Kammion tilavuutta laskiessa otettiin huomioon mittauskammion ja putken pohjan pinta-alojen ero. Lisäksi tilavuutta laskiessa huomioitiin CO<sub>2</sub>-analysointilaitteen ja mittauskammion välillä olevien ilmaletkujen sekä jäähdytysjärjestelmän mittaussysteemiin tuoma lisätilavuus.

#### 4.2 Kalibrointitankin CO<sub>2</sub>-virtauksen laskeminen

Niissä pitoisuuksissa, jotka oli mitattu tankin sisältä EGM4 -analysaattorilla, oli analysaattorin epälineaarinen vaste CO<sub>2</sub>-pitoisuuteen korjattava. Analysaattorin antama tulos on hieman epälineaarinen erityisesti pitoisuusalueella 4000 - 5000 ppm. Tällä pitoisuusalueella käytettiin kuitenkin toista hiilidioksidimittaria (Vaisala, CARBOCAP GMP343), jonka antama tulos on lineaarinen 5000 ppm asti /5/. Pitoisuusalueella 3000 ppm ja 6000 - 10000 ppm sen sijaan käytettiin EGM 4 – analysaattoria. Korjaus näihin pitoisuuksiin tehtiin erityisten korjauskertoimien avulla, jotka ovat taulukossa 3.

Taulukko 3. Korjauskertoimet EGM4-analysaattorin epälineaarisen vasteen korjaamiseksi. /5/

pitoisuusväli	korjauskerroin
10000 - 8500	0,988103594
8500 - 7000	1,07278843
7000 - 5600	1,058477741
5600 - 4900	0,989362515
4900 - 3900	0,898062966

Korjauskertoimet oli saatu laboratorioissa tehtyjen mittausten perusteella.

Laboratoriossa EGM-4 kaasuanalysaattoriin oli syötetty massavirtasäätimillä eri pitoisuuksia koko mittausalueelta 0 – 10000 ppm. Saaduista tuloksista piirrettyssä kuvaajassa x-akselilla oli massavirtasäätimillä säädetty CO<sub>2</sub>-virtaus ja y-akselilla EGM-4:n antama arvo. Saatuun pisteparveen oli sovitettu 3. asteen polynomifunktiot, joista edelleen oli laskettu derivaatat eri pitoisuusalueille. Derivaattoja oli verrattu lineaariseen suoraan, joka oli saatu tekemällä lineaarinen sovitus koko mittausalueen pitoisuuksiin. Korjauskertoimet oli saatu jakamalla lineaarisen suoran kulmakerroin ko. pitoisuusalueelle lasketulla derivaatalla. /5/

Kalibrointitankin CO<sub>2</sub>-pitoisuuden muutos oli myös korjattava lineaarisesti.

Eksponenttifunktio sovitettiin pitoisuuteen ajan suhteen seuraavasti:

$$C_f(t_i) = C_0 \exp(-\alpha t_i) \quad (3)$$

$C_f(t_i)$  = korjattu CO<sub>2</sub>-pitoisuus tankin sisällä ajan hetkellä  $t_i$

$C_0$  = mitattu pitoisuus tankissa mittausjakson aloitushetkellä

$\alpha$  = eksponenttifunktion parametri

Eksponenttifunktio saatiin sovittamalla eksponentiaalinen käyrä pisteparveen, jossa oli tankin sisältä mitatut CO<sub>2</sub>-pitoisuudet ajan funktiona. Käyrän sovittaminen tehtiin käyttämällä kerrallaan aina yhden mittausajanjakson (noin 70-120 min) arvoja. /2/

Lineaariseksi korjatut CO<sub>2</sub>-pitoisuuden muutosarvot täytyi muuntaa edelleen ppm:stä milligrammoiksi neliömetrillä tunnissa (mg CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>). Tankin CO<sub>2</sub>-virtaus laskettiin seuraavan kaavan avulla:

$$F = \frac{V(C_f(t_1) - C_f(t_2)) + V_s((C_f(t_1) + C_{amb}(t_1))/2 - (C_f(t_2) + C_{amb}(t_2))/2)}{(t_2 - t_1)A} \quad (4)$$

V = tankin tilavuus (1m<sup>3</sup>)

V<sub>s</sub> = hiekan huokostilavuus (0,038 m<sup>3</sup>)

A = hiekkakerroksen pinta-ala (0,77 m<sup>2</sup>)

C<sub>f</sub> = pitoisuus ajan hetkellä t

C<sub>amb</sub> = ympäröivän ilman pitoisuus

Ympäröivän ilman pitoisuutta käytettiin kaavassa vakiona ja näin ollen hiilidioksidivirtauksen kaava supistui muotoon:

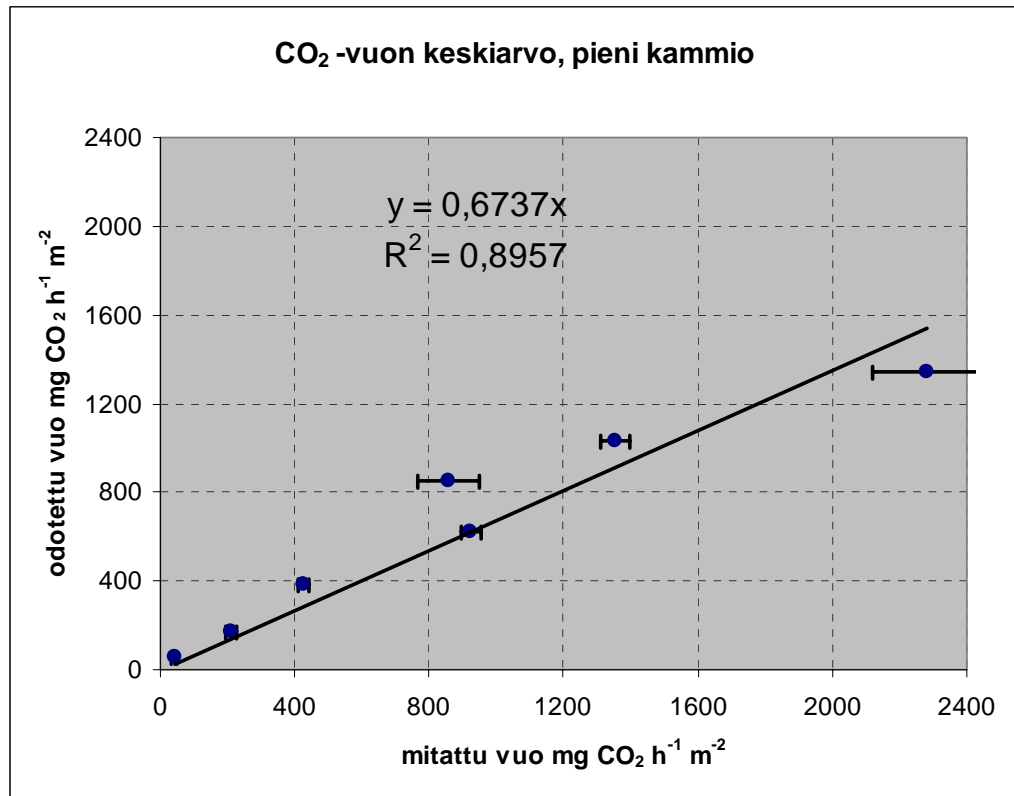
$$F = \frac{V(C_f(t_1) - C_f(t_2)) + V_s((C_f(t_1) - C_f(t_2))/2)}{(t_2 - t_1)A} \quad (5)$$

/2/

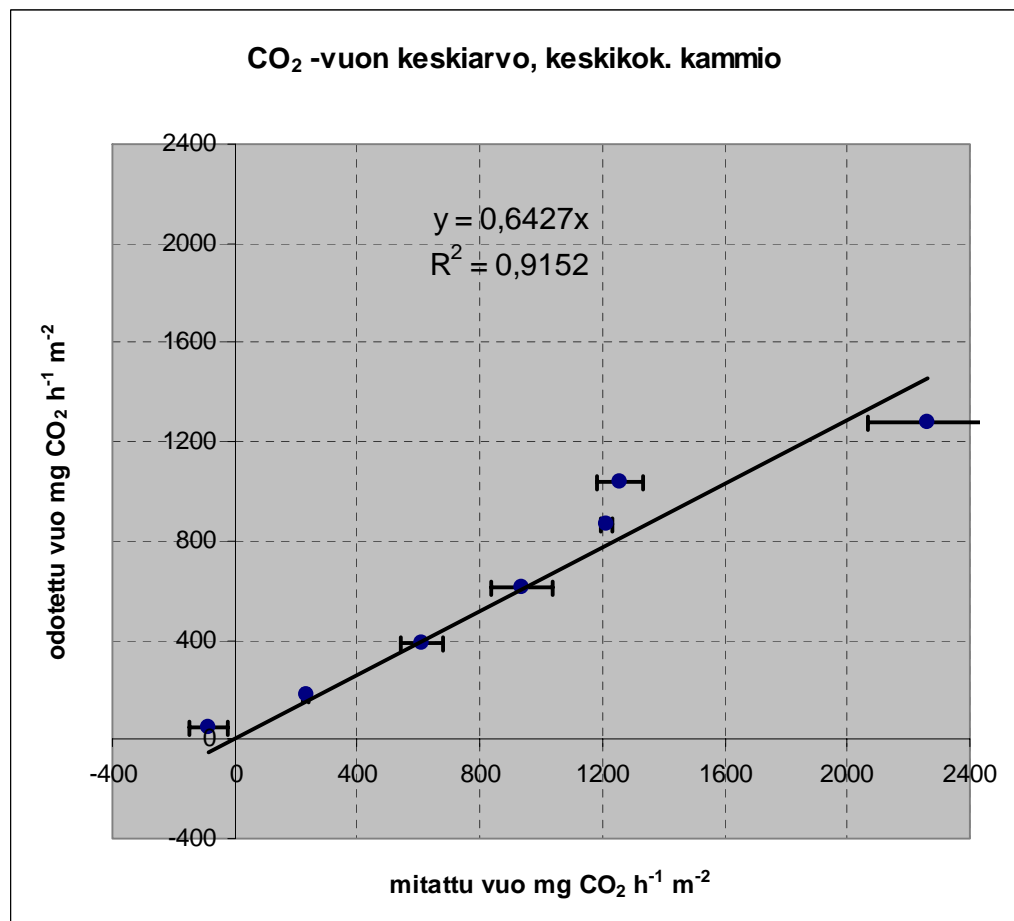
## 5 TULOKSET

### 5.1 Kalibrointisuorat

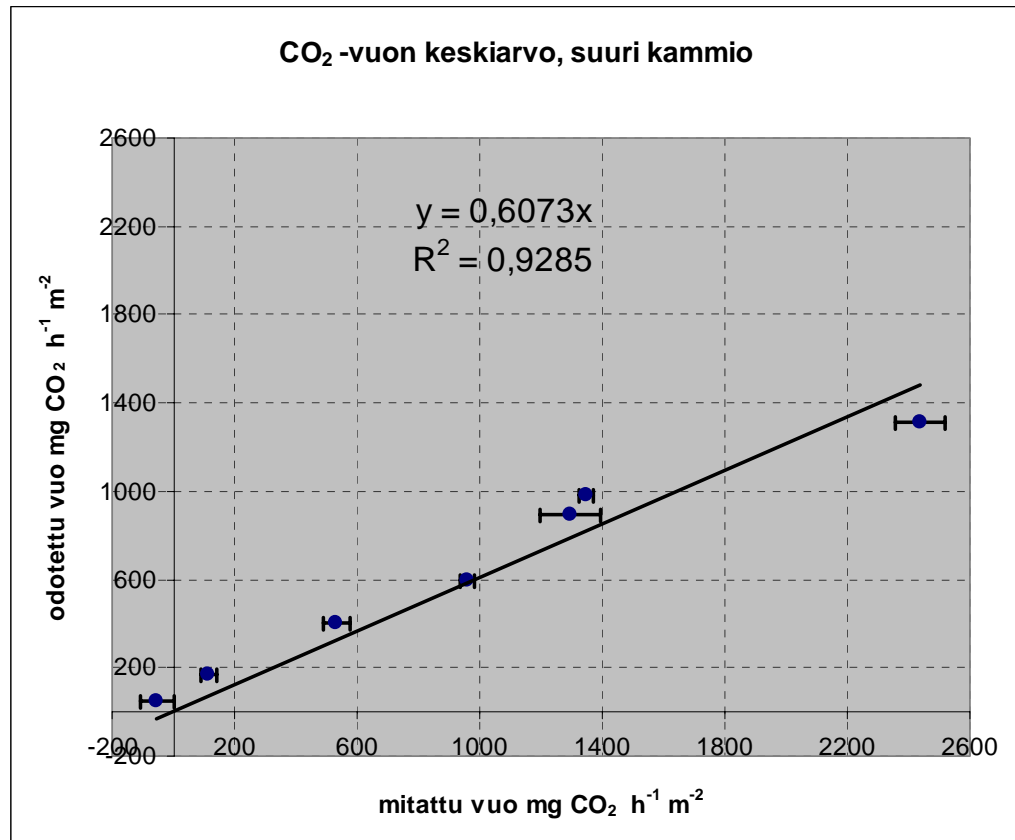
Kalibrointisuorat (kuvat 9 – 11) mittauskammioille saatiin vertaamalla kalibrointitankin odotettuja CO<sub>2</sub>-pitoisuusarvoja mittauskammioilla mitattuihin pitoisuusarvoihin. Kalibrointisuorat piirrettiin mitattujen toistojen keskiarvojen mukaan. Kalibrointisuorien kuvaajissa on mukana myös vuon arvoille lasketut keskivirheet.



Kuva 9. Kalibrointisuora pienimmälle mittauskammiolle ( $V = 4712 \text{ cm}^3$ ).



Kuva 10. Kalibrointisuora keskipokoiselle mittauskammiolle ( $V = 12566 \text{ cm}^3$ ).



Kuva 11. Kalibrintisuora suurimmalle kammionle (V = 30191 cm<sup>3</sup>).

Varianssianalyysin (1-suuntainen anova) avulla verrattiin mittauskammiolla mitattujen tulosten keskiarvoja kalibrintitankista saatujen tulosten keskiarvoihin. Merkitsevyytasoksi (alpha) valittiin 5 %. Analyysin tuloksena saadut P-arvot ovat taulukossa 4.

Taulukko 4. Varianssianalyysin tuloksena saadut P-arvot verrattaessa mittauskammiolla mitattujen tulosten keskiarvoja kalibrintitankista saatujen tulosten keskiarvoihin.

Mittauskammio	P-arvo
pieni	0,0033
keskikok.	0,0040
suuri	0,0065

## 5.2 Korjauskertoimet

Mitatun vuon ollessa kalibrintisuoran (luku 5.1, kuvat 9 – 11) x-akselilla ja odotetun vuon y-akselilla saadaan kalibrintisuoran yhtälöstä korjauskerron mitatulle hiilidioksidivirtaukselle. Kalibrintisuora on siirretty alkavaksi origosta,

jolloin yhtälön vakiotermi jää pois ja kulmakerroin on korjauskerroin, jolla mitatun vuon arvo kerrotaan. Korjauskertoimet eri mittauskammioille ja korjauskertoimille lasketut 95 % luottamusvälit on koottu taulukkoon 5.

Taulukko 5. CO<sub>2</sub>-vuon korjauskertoimet ja niiden luottamusvälit eri mittauskammioille.

mittauskammio	korjauskerroin	95% luottamusväli
pieni	0,67	0,60 - 0,75
keski	0,64	0,59 - 0,69
suuri	0,61	0,57 - 0,65

## 6 TULOSTEN TARKASTELU

CO<sub>2</sub>-pitoisuuden mittauksissa käytettäville mittauskammioille lasketut kalibroitaisuorat kuvaavat hyvin kammioiden toimivuutta ja niiden aiheuttamaa mittavirhettä. Mittauskammioiden kalibroitaisuorien selitettävyydet olivat melko hyviä; R<sup>2</sup>-arvot olivat > 0,895. Kalibroinnissa ei kuitenkaan päästy aivan samaan tarkkuuteen kuin Pumpanen ym. (2004), joiden tutkimuksissa kalibroitaisuorien selitettävyydet olivat > 0,995 /2/. Kalibroitaisuorista on kuitenkin nähtävissä, että mittausjärjestelmä toimii. Pienimmissä pitoisuuksissa (700 ppm) jotkut kammiot eivät toimi aivan toivotulla tavalla. Suurimmalla (V = 30191 cm<sup>3</sup>) ja keskikokoisella (V = 12566 cm<sup>3</sup>) kammioilla mitattaessa saatiin tulokseksi negatiivinen pitoisuuden muutos, jonka ei pitäisi olla mahdollista. Samoin suurimmissa pitoisuuksissa (10000 ppm) mittavirhe oli suurimmillaan.

Mittauskammioiden kalibroitaisuorista on selvästi nähtävissä, että mittauskammiolla tehdyt mittaukset aiheuttavat melko suuren yliarvion CO<sub>2</sub>-vuohon. Mittauskammiolla mitattaessa CO<sub>2</sub>-virtauksen yliarvio voi enimmillään olla jopa 50 %. Verrattaessa kammioilla mitattujen tulosten keskiarvoja kalibroititankin tulosten keskiarvoihin varianssianalyysin avulla, voitiin jälleen todeta niissä olevan eroja. Testin tulos oli (tilastollisesti) melkein merkitsevä, koska kaikilla kammioilla testin P-arvo oli < 0,05. Kalibroitaisuorien mukaan saadaan kuitenkin hiilidioksidivuolle korjauskertoimet, joilla mittausvirhettä voidaan korjata. Korjauskertoimille lasketut luottamusvälit eivät myöskään yllä samaan tarkkuuteen kuin Pumpasen ym. (2004) vastaavat tulokset.

Tulosten luotettavuutta arvioitaessa on syytä miettiä mittauskaulusten vaikutusta kalibrointiin. Mittauskaulusten ollessa hiekan päällä koko kalibroinnin ajan ilma ei päässykään kaulusten kohdalta kalibrointitankista tullessaan poistumaan vapaasti ylöspäin. Ilmiön vaikutusta kalibroinnin onnistumiseen ei voida varmasti tietää. Myös hiekan epätasainen jakautuminen on saattanut vaikuttaa hiilidioksidivirtaukseen kalibrointitankista.

Varmasti ei myöskään voida tietää mittauskammion ilmaa kierrättävän jäähdytysjärjestelmän vaikutusta CO<sub>2</sub>-vuohon. Voimakkaalla ilmavirralla ja mahdollisilla paineen muutoksilla voi olla vaikutusta CO<sub>2</sub>-virtaan kalibrointitankista kammioon.

## LÄHTEET

### Painetut lähteet

- 1 Crill, P. - Hargreaves, K. - Korhola, A., Turpeen asema Suomen kasvihuonekaasutaseissa. Kauppa- ja teollisuusministeriön tutkimuksia ja raportteja 20/2000. Oy Edita Ab, 2000. 70 s.
- 2 Pumpanen, J. - Kolari, P. - Ilvesniemi, H. - Minkkinen, K. - Vesala, T. - Niinistö, S. - Lohila, A. - Larmola, T. - Morero, M. - Pihlatie, M. - Janssens, I. - Yuste, J.C. - Grünzweig, J.M. - Reth, S. - Subke, J.-A. - Savage, K. - Kutsch, W. - Østreg, G. - Ziegler, W. - Anthoni, P. - Lindroth, A. - Hari, P., Comparison of different chamber techniques for measuring soil CO<sub>2</sub> efflux. Agricultural and Forest Meteorology 123 (2004) 159-176.
- 3 Pumpanen, J. - Ilvesniemi, H. – Perämäki, P. – Hari, P., Seasonal patterns of soil CO<sub>2</sub> efflux and soil air CO<sub>2</sub> concentration in a Scotts pine forest: comparison of two chamber techniques. Global Change Biology (2003) 9, 371-382.
- 4 Sipilä, A. – Kortesuoma, S., Aitoneva – työtä, turvetta ja elämää. Pirkanmaan museorautatie ry. Otavan kirjapaino Oy. Keuruu 2004. 232 s.

### Painamattomat lähteet

- 5 Pumpanen, Jukka, tutkija, MMT. Keskustelut 2004. Helsingin yliopisto. Metsäekologian laitos. Helsinki.
- 6 Riutta, Terhi, tutkija, MMM. Keskustelut 2004 – 2005. Helsingin yliopisto. Metsäekologian laitos. Helsinki.
- 7 Yli-Petäys, Mika, tutkija, FM. Keskustelut 2004 – 2005 ja kaksi valokuvaa. Helsingin yliopisto. Metsäekologian laitos. Helsinki.
- 8 Yli-Petäys, Mika, Ennallistuneiden turvealaiden kasvillisuus ja hiilidynamiikka. Pro gradu-tutkielma. Helsingin yliopisto. Ekologian ja systematiikan laitos. Helsinki 2004.

### Sähköiset lähteet

- 9 Hyytiälän metsäasema. [www-sivu]. Helsingin yliopisto. [viitattu 13.4.2005]  
Saatavissa: [http://honeybee.helsinki.fi/HYYTIALA/esittely\\_sijainti.htm](http://honeybee.helsinki.fi/HYYTIALA/esittely_sijainti.htm)



- 10 Recipe. [www-sivu]. The Macaulay Institute.[viitattu 30.3.2005] Saatavissa :  
<http://www.macaulay.ac.uk/recipe>.
- 11 Vapo Oy. [www-sivu]. [viitattu 30.3.2005] Saatavissa:  
[http://www.vapo.fi/fin/ymparisto\\_\\_ja\\_yhteiskunta/ymparistopolut/aitoneva/](http://www.vapo.fi/fin/ymparisto__ja_yhteiskunta/ymparistopolut/aitoneva/)