

Juuso Rainne

Automaattikammiot ekosysteemin ja ilmakehän välisen kaasuvuon mittaamiseen

Laitteiston rakentaminen ja kehittäminen

Tekijä Otsikko	Juuso Rainne Automaattikammiot ekosysteemin ja ilmakehän välisen kaasuvuon mittaamiseen Laitteiston rakentaminen ja kehittäminen
Sivumäärä Aika	31 sivua 29.3.2012
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	sähkötekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	elektroniikka ja automaatio
Ohjaajat	vanhempi tutkija Annalea Lohila yliopettaja Matti Fischer
<p>Tämä insinöörityö on tehty Ilmatieteen laitoksen kasvihuonekaasujen tutkimusryhmälle. Työssä on rakennettu ekosysteemin ja ilmakehän välisen kaasuvuon mittaamiseen tarkoitettu automaattikammiojärjestelmä Lapin ilmatieteelliseen tutkimuskeskukseen Sodankylään ja tehty järjestelmälle kehitystyötä.</p> <p>Työn alussa on kerrottu lyhyesti Ilmatieteen laitoksesta, ilmastonmuutoksesta, kasvihuoneilmiöstä ja hiilen kierrosta ekosysteemissä. Tämän jälkeen työssä on tutustuttu erilaisiin kasvihuonekaasujen mittaamenetelmiin, kuten vuomittaukseen erilaisilla kammio- ja mikrometeorologisilla menetelmillä sekä pitoisuusmittauksiin.</p> <p>Teoriaosan jälkeen on käsitelty Sodankylään rakennettua automaattikammiojärjestelmää. Työssä on kerrottu mittauspaikasta, automaattikammioiden teknisestä toteutuksesta ja automaattikammioiden rakentamisprosessista.</p> <p>Lopussa on kerrottu automaattikammiojärjestelmälle tehdystä kehitystyöstä. Työssä on käsitelty mm. analysaattorin paine-ero-ongelmia sekä kammiojärjestelmän rakennetta.</p>	
Avainsanat	dynaaminen, suljettu, automaattinen, kammio, kasvihuonekaasu, hiilidioksidi, CO ₂ , vuo

Author Title	Juuso Rainne Automatic Chambers for Measuring Gas Flux between Ecosystem and the Atmosphere Building and Development of an Automatic Chamber System
Number of Pages Date	31 pages 29 March 2012
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Specialisation option	Electronics and Automation
Instructors	Annalea Lohila, Researcher Matti Fischer, Principle Lecturer
<p>This Bachelor's thesis was carried out for the research group on greenhouse gas at the Finnish Meteorological Institute. This thesis deals with the building and development of an automatic chamber system for measuring gas flux between ecosystem and the atmosphere. The automatic chamber system was built in Sodankylä, Finland.</p> <p>The thesis begins with a brief introduction to the Finnish Meteorological Institute and a presentation of the climate change, the greenhouse effect and the carbon cycle in the ecosystem. Different kinds of measuring methods for greenhouse gases are discussed in the theoretical part of the thesis. These include gas flux measurements with different kind of chamber and micrometeorological methods as well as concentration measurements.</p> <p>The automatic chamber system built to Sodankylä is reviewed after the theoretical part. The measurement site, the technical implementation and the building process of the system are discussed.</p> <p>Finally, the thesis examines the development of the automatic chamber system. The structure of the chamber system and the problems caused by pressure difference are considered in the final part of the thesis.</p>	
Keywords	dynamic, closed, automatic, chamber, greenhouse, gas, carbon, dioxide, CO ₂ , flux

Sisällys

Tiivistelmä

Abstract

Sisällys

Käsitteet

1 Johdanto	1
2 Ilmatieteen laitos	2
2.1 Ilmatieteen laitoksen organisaatio ja toiminnot	2
2.2 Ilmatieteen laitoksen historia	3
3 Kasvihuonekaasut ja ilmastonmuutos	4
4 Kasvihuonekaasujen mittausmenetelmät	7
4.1 Kasvihuonekaasujen vuomittaukset	7
4.1.1 Mikrometeorologiset vuomittaukset	7
4.1.2 Kammiomittaukset	8
4.2 Kasvihuonekaasujen pitoisuusmittaukset	10
5 Automaattikammioiden rakentaminen Sodankylään	11
5.1 Mittauspaikan valinta	11
5.2 Sodankylän automaattikammioiden tekninen toteutus	13
5.2.1 Kammioiden rakenne	14
5.2.2 Analysaattori	15
5.2.3 Sähkönsyöttö	17
5.2.4 Ohjausjärjestelmä ja datan keräys	17
5.2.5 Näytelinjat	18
5.3 Sodankylän automaattikammioiden rakentamisprosessi	19
6 Kammiomittausjärjestelmän kehittäminen	20
6.1 Kehikoiden ja akryylikammioiden parantaminen	20
6.2 Ohjaustaulun kehittäminen	23
6.3 Analysaattorin paine-erojen poistaminen	24
6.4 Muut muutokset	27
6.4.1 Näytelinjojen tilavuuden pinentäminen	27
6.4.2 Moottorikaapelien vaihtaminen	28
7 Yhteenveto	29
Lähteet	30

Käsitteet

Absorptio	sähkömagneettisen säteilyn absorptio; prosessi, jossa fotonin eli valokvantin energia siirtyy atomille, valenssielektronin siirtyessä korkeampaan energiatilaan
Albedo	pinnan kyky heijastaa siihen osuvaa säteilyä
Biosfääri	se osa maapallosta, jolla esiintyy elämää
CFC-yhdisteet	kemialliset kloori-fluori-hiili-yhdisteet (<i>Chlorine Fluorine Carbon</i>); käytetty mm. kylmäaineena kylmälaitteissa sekä ponnekaasuna spraypulloissa; kylmälaitteiden yhteydessä käytetään kaupanimeä freoni
CO ₂	hiilidioksidin kemiallinen kaava
H ₂ O	veden kemiallinen kaava; tässä työssä pääasiassa yhdisteen kaasumainen olomuoto, ts. vesihöyry
Kasvihengitys	kasvien maanalaisten ja -päällisten osien tuottama hiilidioksidi
Maahengitys	maaperän hajottajien tuottama hiilidioksidi
RS-232	tiedonsiirtostandardi; data siirtyy bitti kerrallaan sarjamuotoisena (<i>Recommended Standard 232</i>)
Termistori	vastus, jonka resistanssi riippuu voimakkaasti lämpötilasta; termistoria voidaan käyttää anturina lämpötilaa mitatessa
UPS	laite, jonka tehtävä on varmistaa tasainen ja keskeytymätön sähkönsyöttö sähkökatkoksissa ja syöttöjännitteen ollessa epätasaista (<i>Uninterruptible Power Supply</i>)
Vuo	yhdensuuntainen jonkin asian siirtyminen tiettyä reittiä pitkin; virta

1 Johdanto

Insinööriyössä oli tavoitteena rakentaa Lapin ilmatieteelliseen tutkimuskeskukseen Sodankylään ekosysteemin ja ilmakehän välisen kaasuvuon mittaamiseen tarkoitettu automaattinen kammiomittausasema sekä kehittää kammiomittausjärjestelmää paremmaksi. Sodankylän mittausaseman suunnittelu aloitettiin maaliskuussa 2011, ja se valmistui saman vuoden heinäkuussa. Samantyyppisiä automaattikammioita on aikaisemmin rakennettu Tammelan Lettosuolle ja Lopen Kalevansuolle.

Työn alussa esitellään Ilmatieteen laitosta ja sen toimintaa. Sitten kerrotaan lyhyesti ilmastonmuutoksesta, kasvihuoneilmiöstä ja hiilen kierrosta ekosysteemissä. Työssä tutustutaan erilaisiin kasvihuonekaasujen mittausmenetelmiin. Työn kannalta oleellista on tutustua erilaisiin kammiomittausmenetelmiin, mutta myös muiden menetelmien tuntemisesta on hyötyä.

Teoriaosan jälkeen käsitellään Sodankylään rakennettua automaattikammiojärjestelmää. Aluksi kuvaillaan mittauspaikkaa, minkä jälkeen käsitellään automaattikammioiden teknistä toteutusta. Sitten käydään läpi automaattikammioiden rakentamisprosessi. Lopuksi kerrotaan automaattikammiojärjestelmälle tehdystä kehitystyöstä.

2 Ilmatieteen laitos

2.1 Ilmatieteen laitoksen organisaatio ja toiminnot

Ilmatieteen laitos on liikenne- ja viestintäministeriön alainen valtion tutkimuslaitos, joka tuottaa sää-, meri- ja ilmastopalveluita. Ilmatieteen laitoksen organisaatio on jaettu kahteen osaan: sää ja turvallisuus sekä tutkimus ja menetelmäkehitys. Sää ja turvallisuus -osaan kuuluvat seuraavat osastot: sää- ja turvallisuuskeskus, kaupalliset palvelut, palvelukehitys, tietohallintopalvelut ja havaintopalvelut. Tutkimus ja menetelmäkehitys-osaan kuuluvat ilmastomuutos, ilmanlaatu, meteorologia, merentutkimus, uudet havaintomenetelmät, arktinen tutkimus, Kuopion yksikkö sekä konsultointipalvelut. [1.]

Tämä työ tehtiin Ilmatieteen laitoksen Ilmastomuutos-yksikön alaisessa Kasvihuonekaasut-nimisessä tutkimusryhmässä. Ilmatieteen laitos tutkii erilaisia ilmastoon vaikuttavia tekijöitä, kuten esimerkiksi kasvihuonekaasuja, pienhiukkasia, aurinkoa ja ilmastojärjestelmän sisäisiä vaihteluja. Ilmatieteen laitos ylläpitää useita kasvihuonekaasujen mittausasemia, joista suuri osa sijaitsee Pohjois-Suomessa mm. Sodankylässä ja Palaksella.

Ilmatieteen laitos on toiminut vuodesta 2005 lähtien Helsingissä Kumpulan kampusalueella, uudessa toimitalossa Dynamicumissa. Dynamicumissa toimii Ilmatieteen laitoksen lisäksi Suomen ympäristökeskuksen Merikeskus, joka syntyi, kun entisen Merentutkimuslaitoksen toiminnot jaettiin vuonna 2009 Ilmatieteenlaitoksen ja Suomen ympäristökeskuksen kesken. Myös Helsingin yliopistolla on tiloja Dynamicumissa. Ilmatieteen laitoksen pääjohtajana on toiminut vuodesta 2002 Petteri Taalas.

Helsingin lisäksi Ilmatieteen laitoksella on yksiköitä eri puolilla Suomea, kuten Lapin ilmatieteellinen tutkimuskeskus Sodankylässä ja ilmatieteellinen tutkimus yksikkö Kuopiossa. Ilmatieteenlaitoksen lento- ja sotilassääpalvelu -yksiköt ovat Helsingissä, Tampereella, Rovaniemellä ja Kuopiossa. Ilmatieteen laitoksen observatoriot ovat Jokioisilla, Nurmijärvellä ja Sodankylässä. [2.]

2.2 Ilmatieteen laitoksen historia

Ilmatieteen laitos perustettiin vuonna 1838 keisari Nikolai I:n päätöksellä. Aluksi laitoksen nimi oli Magneettinen Observatorio, mutta nimi kuitenkin muutettiin pian Magneettis-meteorologiseksi observatorioksi. Observatorion johtajaksi keisari Nikolai I nimitti Johan Jakob Nervanderin, joka toimi johtajana vuodesta 1838 vuoteen 1848 asti. Magneettis-meteorologisen observatorion päärakennus valmistui Kaisaniemeen vuonna 1841. Tuolloin ajateltiin, että maapallon magneettisuus on yhteydessä säätekijöihin, joten magneettisia ja meteorologisia havaintoja tehtiin samassa observatoriossa. Meteorologinen ja magneettinen tutkimus kuitenkin eriytyivät vähitellen omiksi tutkimusaloikseen.

Vuonna 1881 magneettis-meteorologinen observatorio siirtyi yliopistolta Suomen Tiedeseuralle, ja laitoksen nimeksi tuli Meteorologillinen Päälaitos. Laitos erotettiin vuonna 1919 Suomen Tiedeseurasta, ja siitä tuli itsenäinen valtion tutkimuslaitos, jolloin se sai nimekseen Valtion Meteorologinen Keskuslaitos. Vuonna 1966 valmistui uusi päärakennus Kaisaniemeen. Ilmatieteen laitos sai nykyisen nimensä vuonna 1968, jolloin astui voimaan laki, jossa määriteltiin mm. Ilmatieteen laitoksen tehtävät. [3.]

3 Kasvihuonekaasut ja ilmastonmuutos

Kasvihuoneilmiöksi kutsutaan ilmiötä, jossa ilmakehän kasvihuonekaasut päästävät läpi auringonsäteilyn, mutta estävät tehokkaasti maanpinnan sekä ilmakehän alimpien kerrosten lähettämää lämpösäteilyä karkaamasta avaruuteen. Tämä johtuu kasvihuonekaasujen kyvystä absorboida pitkäaaltoisempaa lämpösäteilyä ja näin lämmittää ilmakehää.

Kasvihuoneilmiön kannalta merkittävimmät kasvihuonekaasut ovat vesihöyry (H_2O) ja hiilidioksidi (CO_2). Muita kasvihuonekaasuja ovat metaani, otsoni ja dityppioksidi. Myös jotkin ihmisen kehittämät yhdisteet, kuten kloori-fluorihilivedyt (CFC-kaasut) ovat voimakkaita kasvihuonekaasuja. Toisaalta CFC-kaasut hajottavat toista kasvihuonekaasua, otsonia. Usein kasvihuonekaasuista puhuttaessa kiinnitetään huomiota erityisesti ihmisen aiheuttaman kasvihuoneilmiön voimistumiseen eli ilmastonmuutokseen. Ihminen ei merkittävästi vaikuta toiminnallaan suoraan ilmakehän vesihöyrypitoisuuteen, mutta välillisesti kylläkin. Esimerkiksi hiilidioksidipäästöjen vaikutus voimistuu, jos niiden seurauksena ilmasto lämpenee, sillä tällöin lämpimämpi ilma pystyy sitomaan enemmän vesihöyryä, ja ilmakehän kasvanut vesihöyrypitoisuus entisestään voimistaa kasvihuoneilmiötä. [4, s. 13–17.]

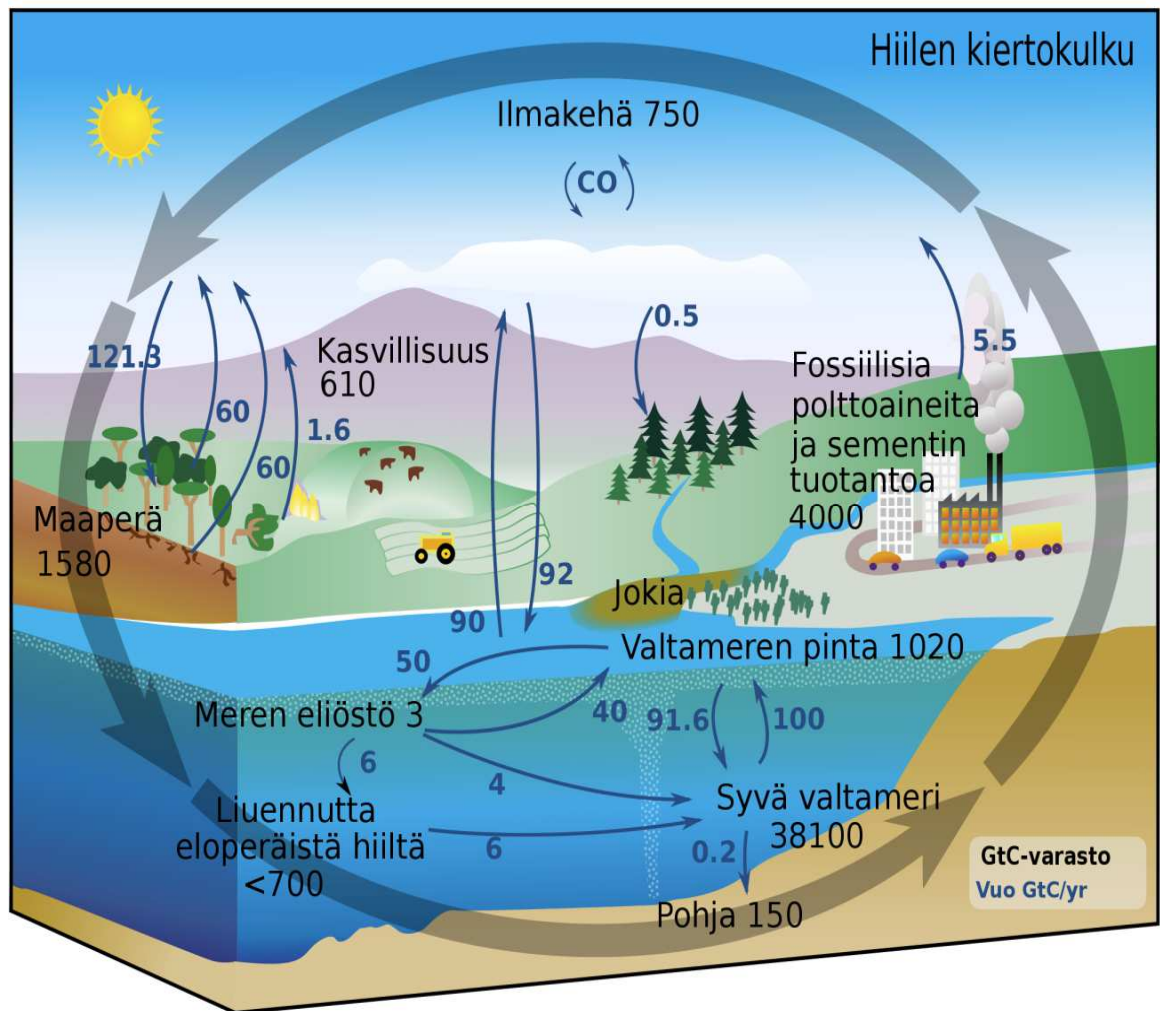
Hiilen kierto

Hiilen määrä maapallolla on vakio, mutta sen määrä biosfäärin eri osissa voi vaihdella, kun hiili kiertää ilmakehän, vesistöjen ja maaperän välillä. Kuvassa 1 (ks. seur. s.) on esitetty hiilen kiertokulku biosfäärissä sekä arvioidut maailmanlaajuiset hiilivarannot. Suurin osa hiilestä on varastoitunut valtameriin. Ilmakehässä hiiltä on hiilidioksidina ja muina yhdisteinä noin 750 gigatonnia, mutta sen määrä lisääntyy jatkuvasti. Syyinä lisääntymiseen on ihmisen toiminta. Erityisesti fossiilisten polttoaineiden polttaminen ja maankäytön muutokset lisäävät ilmakehän hiilidioksidipitoisuutta.

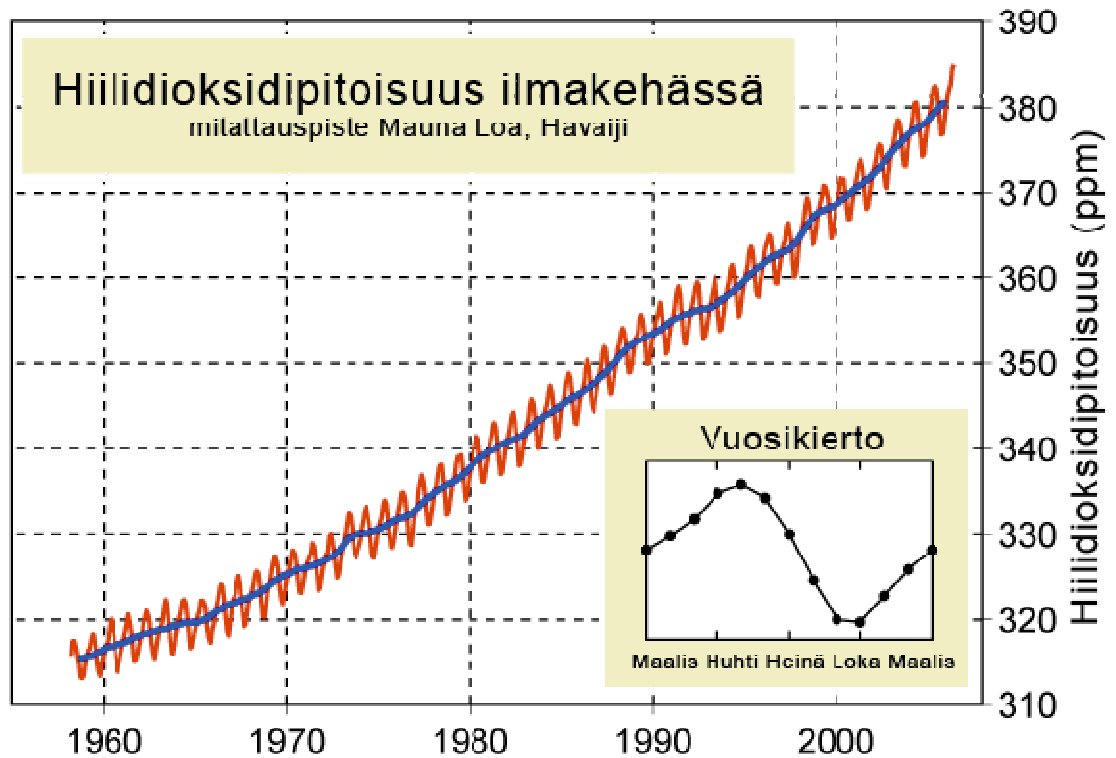
Hiilen määrä ilmakehässä on samaa luokkaa kuin mannerten kasvillisuuteen tai merien pintakerrokseen sitoutuneen hiilen määrä. Maaperässä ja valtamerissä hiiltä on moninkertainen määrä ilmakehään verrattuna. [4, s. 35–36.]

Sen jälkeen, kun jatkuvatoiminen mittaaminen 1950-luvun lopulla aloitettiin, ovat ilmakehän CO₂-pitoisuudet nousseet voimakkaasti (ks. kuva 2, seur. s.). Hiilidioksidimittausten aloittamista aiemmalta ajalta ilmakehän CO₂-pitoisuuksista saadaan tietoa jäätikkökairauksilla.

Kairaukset ja pitoisuusmittaukset osoittavat, että ilmakehän hiilidioksidipitoisuus on kasvanut voimistuvasti esiteollisesta ajasta lähtien fossiilisten polttoaineiden käytön yleistymisen myötä. Kaikkiaan CO₂-pitoisuus ilmakehässä on kohonnut noin 40 % esiteollisesta ajasta. Vuosittainen pitoisuuden kasvu on viime vuosina ollut noin 0,5 % vuodessa. [5; 6.]



Kuva 1. Hiilen kiertokulku biosfäärissä sekä arvioidut maailmanlaajuiset hiilivarannot; hiilen määrät ilmoitettu gigatonneina (10⁹ tonnia) [7.]



Kuva 2. Ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden kehitys 1950-luvun lopulta 2000-luvulle Mauna Loan mittauspisteellä Havaijilla; Punaisessa käyrässä näkyvä sykli on vuodenaikojen mukaan tapahtuvaa vaihtelua ilmakehän CO₂-pitoisuudessa. Vuosikiertoa on havainnollistettu kuvan oikeassa alalaidassa olevassa käyrässä. Kesällä ilmakehän hiilidioksidipitoisuus laskee, koska silloin kasvillisuus sitoo tehokkaasti hiilidioksidia, kun kasvien yhteyttäminen on voimakasta. Vastaavasti talvella, kun yhteyttäminen on heikompaa, ilmakehän CO₂-pitoisuus nousee. [8.]

4 Kasvihuonekaasujen mittausmenetelmät

Kasvihuonekaasujen mittaamiseen käytetään pitoisuus- ja vuomittausmenetelmiä. Näillä menetelmillä pyritään selvittämään sekä ilmakehän kasvihuonekaasujen pitoisuuden muutoksia että ekosysteemin ja ilmakehän välistä vuorovaikutusta, ts. kaasujen nieluja ja lähteitä.

Kasvihuonekaasujen nieluiksi kutsutaan ekosysteemejä tai yksittäisiä kasveja, jotka sitovat kasvihuonekaasuja enemmän kuin tuottavat. Kasvihuonekaasujen lähde on vastakohta kasvihuonekaasujen nielulle, se tuottaa kasvihuonekaasuja enemmän kuin sitoo. Lähteiden ja nielujen kokonaisuutta kutsutaan kasvihuonekaasujen taseiksi. Hiilidioksidin kannalta metsät ja luonnontilaiset suot ovat tyypillisesti nieluja ja ojitetut suot lähteitä. [4, s. 109–126.]

4.1 Kasvihuonekaasujen vuomittaukset

4.1.1 Mikrometeorologiset vuomittaukset

Mikrometeorologiset vuomittaukset perustuvat pitoisuuden ja ilmakehän pyörteilyn mittaamiseen. Pyörteilyn mittaamiseen käytetään kolmiulotteista tuulen nopeuden mitausta. Tunnetuimpia mikrometeorologisista menetelmistä ovat kovarianssimenetelmä (engl. *eddy covariance*) ja gradienttimenetelmä. Gradienttimenetelmässä mitataan kaasun pitoisuutta pidemmän ajan keskiarvona kahdella tai useammalla korkeudella ja vuo arvioidaan havaitusta pitoisuusgradientista. Menetelmää käytetään usein kaasuille, joiden mittaamiseen ei ole olemassa riittävän nopeavasteista laitetta.

Kovarianssimittauksissa mitataan kaasun pitoisuutta reaaliaikaisesti yksittäisissä ilman pyörteissä. Kovarianssimittauksissa vaaditaan analysaattorilta erittäin nopeaa vastetta (5–10 Hz). Kun alhaalta päin tulevan pyörteen pitoisuus on pienempi kuin ylhäältäpäin tulevan pyörteen, mitattavan kaasun vuo suuntautuu ilmakehästä kohti pintaa. Vastakkaisessa tapauksessa, jolloin alhaalta päin tulevan pyörteen pitoisuus on suurempi kuin ylhäältäpäin tulevan, sanotaan, että vuo on poispäin pinnasta. Vuon suuntautuessa ilmakehästä kohti pintaa, mitattava alue on nielu. Vuon ollessa poispäin pinnasta, mitattava alue on lähde. [9; 10, s. 6–7.]

4.1.2 Kammiomittaukset

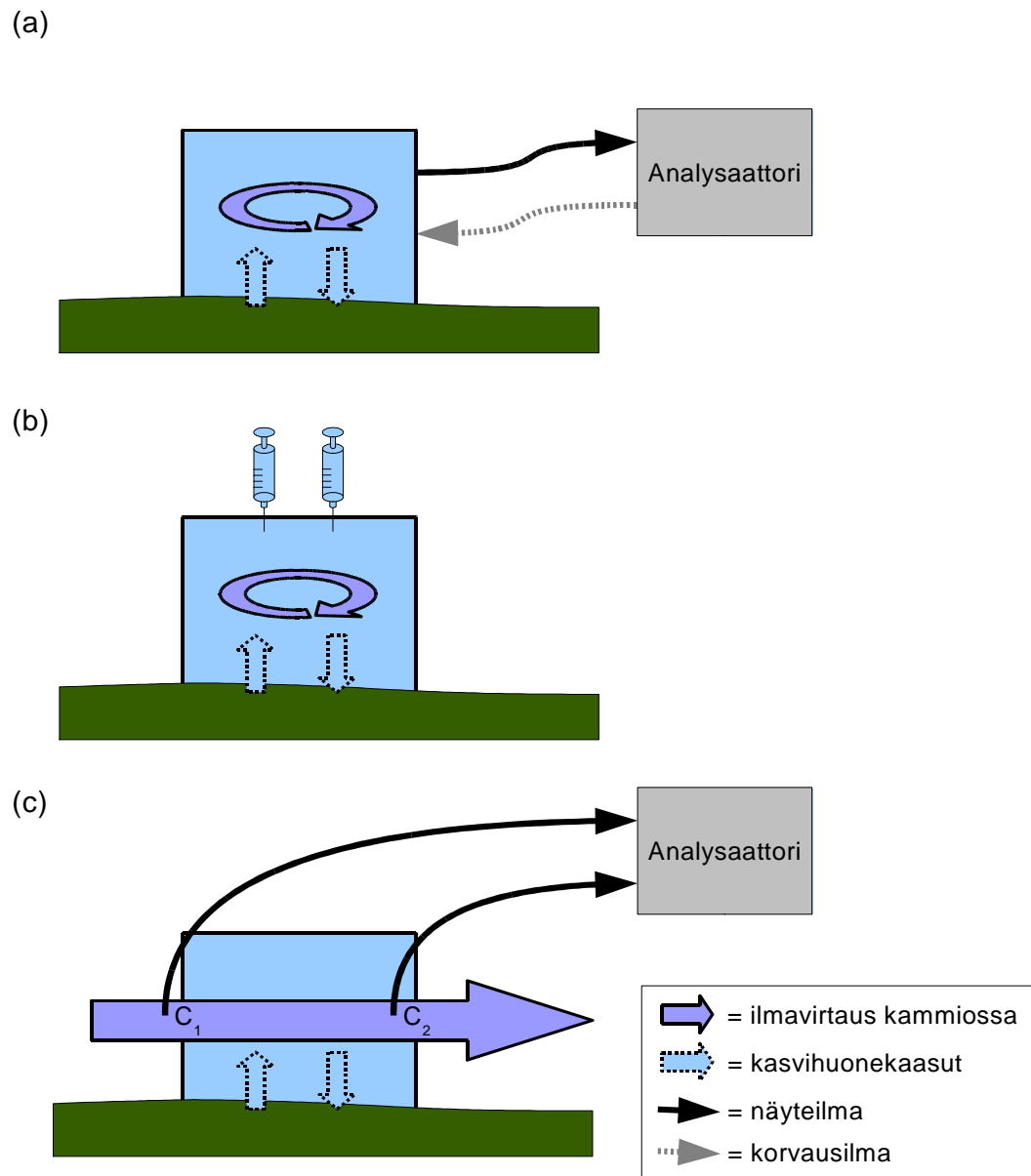
Tutkittaessa pieniä maa-alueita voidaan kasvihuonekaasujen vuon mittaamiseen käyttää kammiomittausmenetelmää. Tätä menetelmää käytetään usein mikrometeorologisen vuomittauksen tukena. Menetelmässä maa-alue ja sillä mahdollisesti kasvavat kasvit suljetaan mittauksen ajaksi kammioon ja seurataan, miten kaasun pitoisuus muuttuu. Mikäli pitoisuus pienenee kammion ollessa suljettuna, maa-alue on mitattavan kaasun lähde. Pitoisuuden kasvaessa maa-alue on mitattavan kaasun lähde. [9.]

Mittauksissa käytetään valoa läpäiseviä kammioita, jos halutaan mitata hiilidioksidin nettovaihtoa, eli yhteytyksen sekä maa- ja kasvihengityksen yhteisvaikutusta. Mikäli halutaan mitata pelkästään maa- ja kasvihengitystä, käytetään valoa läpäisemättömiä kammioita.

Kammiomittaukset voidaan jakaa kahteen pääryhmään: suljettuihin ja avoimiin kammiomittauksiin. Lisäksi kammiot voidaan vielä jaotella: dynaamisiin ja staattisiin kammioiden.

Suljetuissa kammiomittauksissa maa-alue suljetaan mittauksen ajaksi ilmatiiviiseen kammioon ja seurataan kaasun pitoisuuden muutosta kammiossa sen ollessa suljettuna. Verrattuna avoimeen kammiomittausmenetelmään, suljettujen kammioiden on todettu aliarvioivan hiilidioksidivuota. Tämän on arvioitu johtuvan siitä, että laskettaessa vuota tulisi kammion tilavuuden lisäksi ottaa huomioon maassa sisällä oleva ilmamäärä. Laskettaessa vuota tulisi ottaa huomioon myös, että vuonopeus on suorassa suhteessa maaperän ja kammion CO₂-pitoisuuksien eroihin. Koska tämä ero pienenee mittauksen aikana CO₂-pitoisuuden kasvaessa kammiossa, pienenee myös havaittava vuonopeus. Ilmiön huomiotta jättäminen vuon laskennassa johtaa päästön aliarvioon. [11.]

Nykyaikaisissa laitteistoissa usein käytetty suljettu dynaaminen kammiomittausmenetelmä perustuu ilman kierrättämiseen näyteletkuja pitkin kammioista kaasuanalysaattorille ja takaisin (ks. kuva 3 a, seur. s.). Pitoisuuden muuttumista voidaan seurata tarkasti, koska näytteitä pystytään ottamaan paljon. Tähän menetelmään pohjautuu myös tässä työssä kuvattu Sodankylän automaattikammiolaitteisto.



Kuva 3. Yksinkertaistettu kuva kolmesta erilaisesta kasvihuonekaasujen vuon mittaamiseen käytettävästä kammioittausmenetelmästä; (a) dynaaminen suljettu mittausmenetelmä, jossa ilman pitoisuutta kammiossa mitataan jatkuvatoimisesti; (b) staattinen suljettu mittausmenetelmä, jossa kammiossa otetaan kaasunäytteitä injektioruiskulla; (c) dynaaminen avoin mittausmenetelmä, jossa kammion läpi virtaa tasaisesti ilmaa, kammion poistuvan ilman pitoisuutta (C_2) mitataan ja sitä verrataan kammioon tulevan ilman pitoisuuteen (C_1)

Suljetussa staattisessa kammioittausmenetelmässä kammion otetaan näytteitä, jotka analysoidaan erikseen laboratoriossa. Näyte otetaan kammion sulkemishetkellä, ja kun kammio on ollut suljettuna tietyn aikaa, voidaan laskea muutos kaasun pitoisuudessa. Näytteen ottamiseen käytetään usein injektioruiskua (kuva 3 b).

Avoimessa kammionmittausmenetelmässä käytetään kammiota, jonka lävitse pumpataan tasaisesti ympäröivää ilmaa (ks. kuva 3 c, s. 9). Kammioon virtaavan ympäröivän ilman pitoisuutta sekä kammion ulos tulevan ilman pitoisuutta mitataan, jolloin kaasun vuo saadaan laskettua näiden erotuksesta sekä virtausnopeudesta. [12, s. 16–18.]

4.2 Kasvihuonekaasujen pitoisuusmittaukset

Vuomittausten lisäksi kasvihuonekaasuja mitataan pitoisuusmittauksilla. Pitoisuusmittauksia käytetään ilmakehän kasvihuonekaasupitoisuuksien monitorointiin sekä kasvihuonekaasujen lähteiden ja nielujen arvioimisessa suurilla sekä kaukana mittauspaikasta olevilla alueilla. Lähteiden ja nielujen arvioinnissa yhdistetään pitoisuustietoja meteorologisiin kulkeutumismalleihin sekä saatavilla oleviin arvioihin erilaisten nielujen, lähteiden ja ihmisen aiheuttamien päästöjen vaikutuksista. Pitoisuusmittauksia tehdään yleensä korkeilla paikoilla, jotta paikalliset lähteet eivät häiritsisi mittausta (kuva 4). [9.]



Kuva 4. Utön saarella rakenteilla olevan pitoisuusmittausaseman imulinjan pää; Utössä imulinja ulottuu 60 metriä korkean telemaston huippuun

5 Automaattikammioiden rakentaminen Sodankylään

Automaattikammiot ovat automatisoitu versio perinteisistä käsintehtävistä kammiomittauksista, jotka mahdollistavat työvoimavaltaisuutensa vuoksi vain yksittäisten ja satunnaisten havaintojen keruun. Automaattisten kammioiden etuna on, että mittausdataa saadaan paljon ja mittauksia voidaan tehdä ympäri vuorokauden.

5.1 Mittauspaikan valinta

Tarkoituksena oli valita Sodankylässä sijaitsevan Lapin Ilmatieteellisen tutkimuskeskuksen alueelta paikka, jossa pystytään mittaamaan mm. jäkälän kasvun vaikutusta maan hiilidioksidin vaihtoon, jotta voitaisiin paremmin arvioida porotalouden ilmastovaikutuksia. Poronhoidon vaikutus jäkälän määrään Lapin poronhoitoalueilla on merkittävä. [13, s. 6–7.]

Jäkälän määrä vaikuttaa voimakkaasti maa-alueiden albedoon eli kykyyn heijastaa auringonvaloa. Maa-alueilla, joilla kasvaa paksu jäkäläkerros on huomattavasti korkeampi albedo (ts. kyky heijastaa auringonvaloa on parempi) kuin maa-alueilla, joilla kasvaa pääosin sammalta ja muuta kasvillisuutta, mutta jäkälä puuttuu. Albedoerot vaikuttavat maan lämpötilaan. Vaaleampi jäkäläkerros pitää maan lämpötilan matalampana kesällä ja lämpimämpänä talvella. Lämpötila säätelee maahengityksen nopeutta: mitä isompi lämpötila, sitä nopeammin maahan varastoitunut hiili hajoaa ja vapautuu CO₂:na ilmaan. On siis kiinnostavaa verrata maan hiilidioksiditaseita alueilla, joilla kasvaa paksu jäkäläkerros, alueisiin, joilta porot ovat syöneet suurimman osan jäkälästä.

Mittauspaikka valittiin ilmatieteellisen tutkimuskeskuksen pitkäaikaiselta lumen paksuuden mittausalueelta, joka on ollut aidattuna useita vuosikymmeniä. Aitauksen sisällä jäkälä on saanut kasvaa poroilta rauhassa. Kammiot sijoitettiin aidatun alueen molemmin puolin siten, että kolme kammiota asennettiin aitauksen ulkopuolelle (ks. kuva 5 a, seur. s.) ja kolme sisäpuolelle (ks. kuva 5 b, seur. s.).

Aidatun alueen sisäpuolelle kasvaneen jäkälän määrä on silminnähden huomattava verrattuna aitaamattomaan alueeseen (ks. kuva 6, s. 13). Mittauspaikkaa on tarkoitus vaihtaa, kun tältä alueelta on saatu riittävästi mittausdataa.



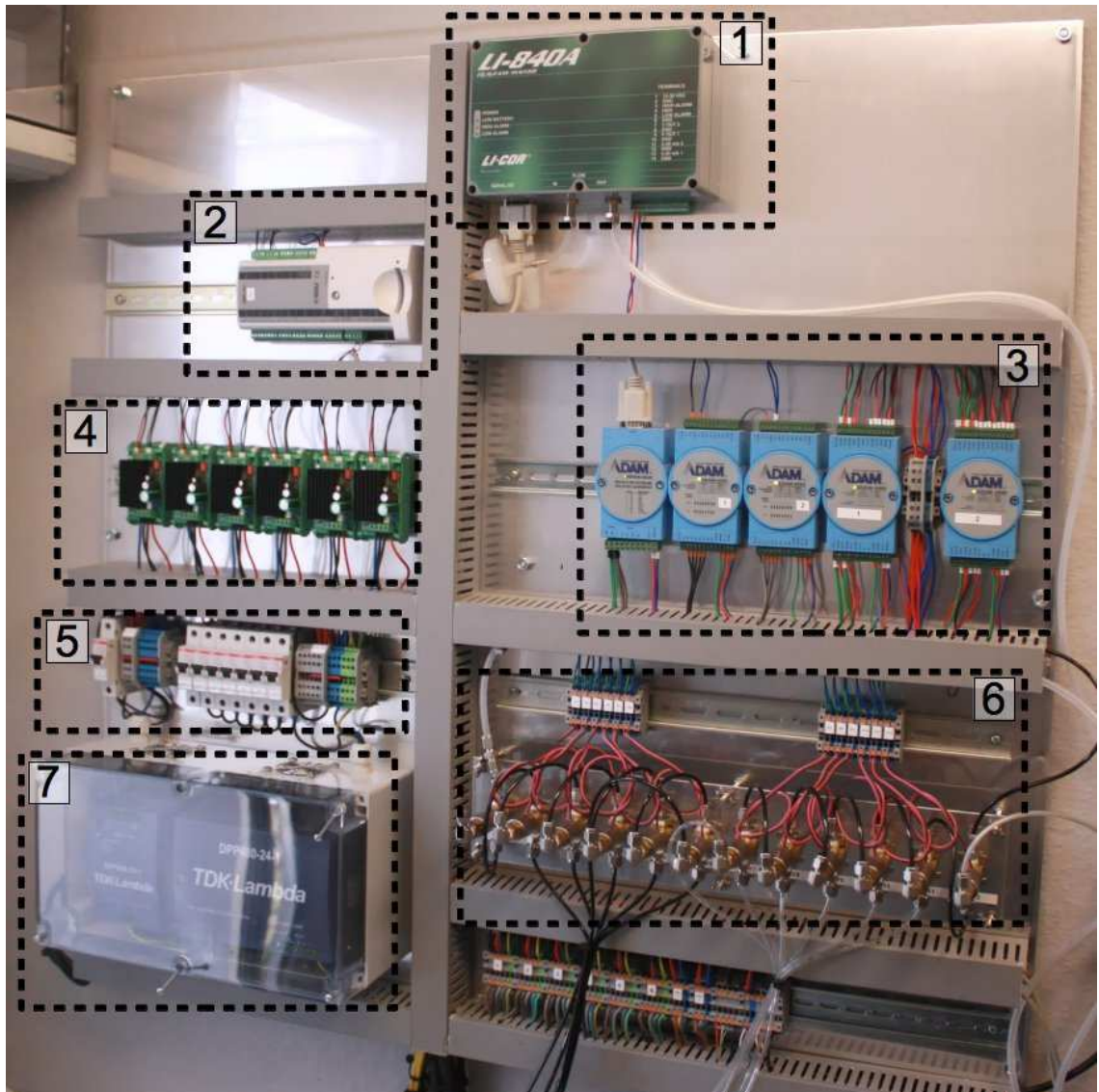
Kuva 5. Aidatun lumen syvyyden mittausalueen a) ulkopuolelle ja b) sisäpuolelle sijoitetut kolme kammiota Lapin ilmatieteellistä tutkimuskeskusta ympäröivässä männikössä



Kuva 6. Kuva Sodankylän lumenmittausaitauksen ulkopuolelta; aidatulla alueella (vasen puoli) kasvaa jäkälää huomattavasti enemmän kuin aitaamattomalla alueella (oikea puoli)

5.2 Sodankylän automaattikammioiden tekninen toteutus

Automaattikammiojärjestelmä koostuu kammioista, näyteilmaletkuista ja mittausvau-
nusta, johon on sijoitettu mittautietokone sekä ns. ohjaustaulu. Ohjaustauluun on
ohjauselektronikan lisäksi kiinnitetty mm. CO₂-analysointilaitteita, Vaisalan dataloggeri ja
magneettiventtiilit. Kuvassa 7 (ks. seur. s.) esitellään ohjaustaulun laitteet numeroitu-
na.

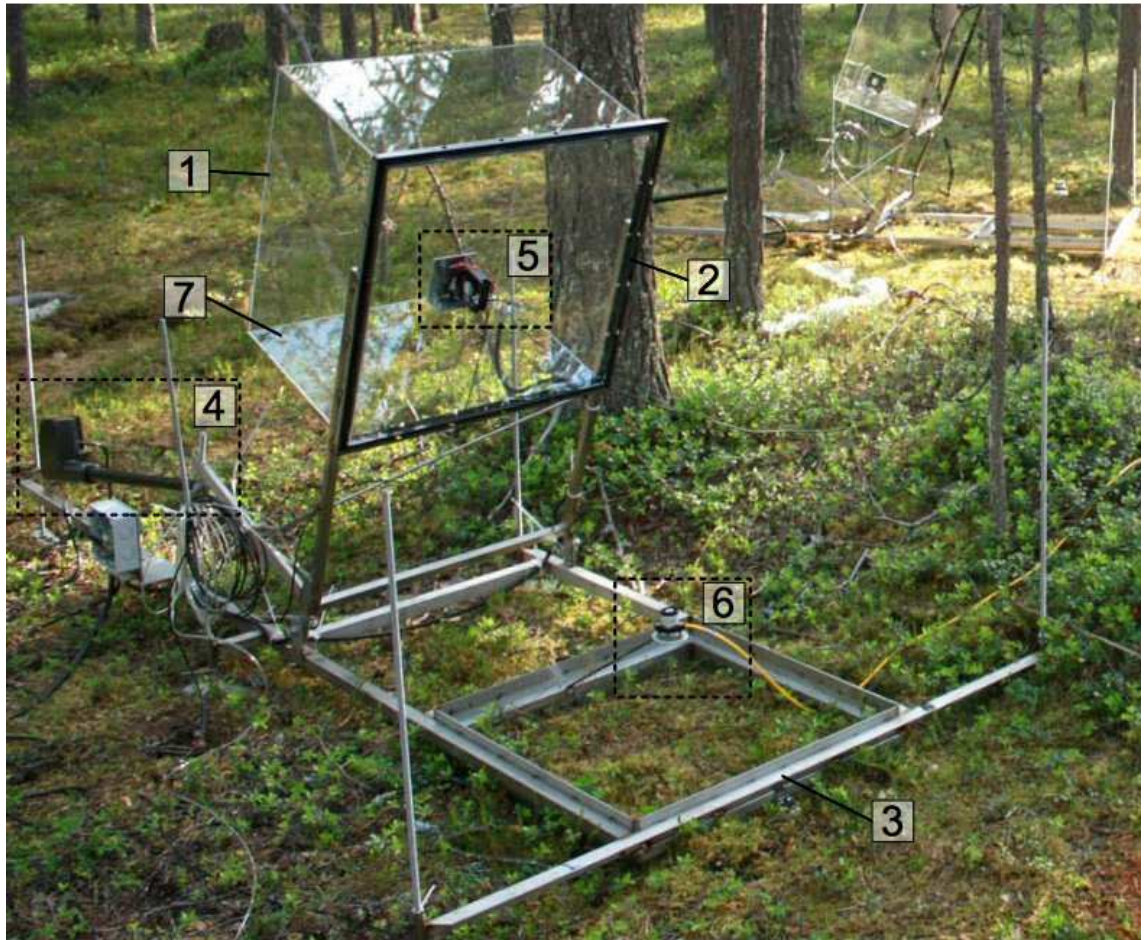


Kuva 7. Sodankylän automaattikammioiden ohjaustaulu; kuvaan numeroidut laitteet: (1) LI-COR LI-840 CO₂-analysointilaitte, (2) Vaisala QML dataloggeri, (3) Adam relemoduulit, (4) moottoreiden ohjauskortit, (5) sulakkeet, (6) magneettiventtiilit ja (7) tasajännitelähteet

5.2.1 Kammioiden rakenne

Automaattikammiot koostuvat teräskehikosta, karamoottorista sekä akryylilevyistä liimatusta kammioista (ks. kuva 8, seur. s.). Alkuperäisen suunnittelutyön (2010) on tehnyt meteorologian opiskelija Matti Kämäräinen (LuK) Helsingin yliopistosta. Teräskehiköön kuuluu aukeava osa, johon akryylikammio on kiinnitetty sekä maassa paikallaan oleva osa. Kammion tilavuus on noin 130 litraa. Kammio on kiinnitetty teräskehikön

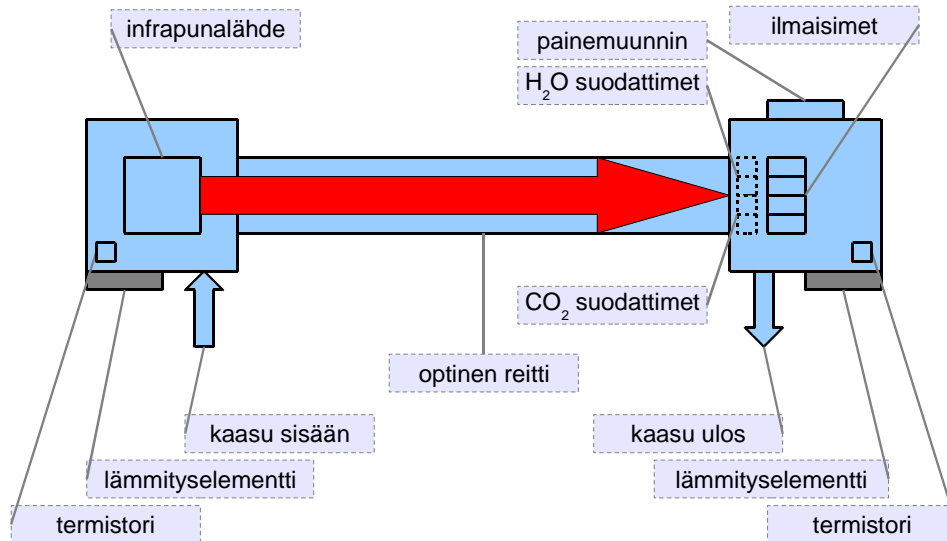
aukeavaan kehysosaan pulteilla ja liitos on tiivistetty tiivistenauhalla. Kammion pitää olla riittävän ilmatiivis, jottei kammiossa oleva ilma vaihdu mittauksen aikana, mikä aiheuttaisi vuon aliarviointia. Kehikossa on maahan muutaman senttimetrin syvyydelle uppoava korotuskaulus, jonka päälle voidaan tarvittaessa lisätä jatkokappaleita, jos halutaan mitata talvella, kun maassa on paljon lunta.



Kuva 8. Avoimna oleva automaattikammio; kammion tärkeimmät osat: (1) akryylilevystä liimattu kammio, (2) teräskehikon aukeneva osa, (3) teräskehikon maassa paikallaan oleva osa, (4) karamoottori, (5) tuuletin, alumiinilevystä valmistettu säteilysuoja sekä pt100 lämpötila-anturi ja (6) säteilyanturi

5.2.2 Analysaattori

Sodankylän automaattikammiojärjestelmässä on ilman CO₂- ja H₂O-pitoisuuden mittaamista varten valittu Li-Cor:n valmistama Li-840A -analysaattori (ks. kuva 7, s. 14: numero 1). Analysaattorin toiminta perustuu laajakaistaiseen infrapunalähteeseen ja ilmaisimiin, jotka mittaavat säteilyn voimakkuutta eri aallonpituuksilla. [14.]



Kuva 9. LI-COR:n LI-840A CO₂/H₂O analysaattorin optisen solun tärkeimmät osat; ilma kiertää solun läpi optista reittiä pitkin

LI-840A:ssa on vain yksi optinen solu, jossa näyteilmasta mitataan CO₂ ja H₂O pitoisuudet (kuva 9). Kuvassa esitetyt CO₂- ja H₂O-suodattimet suodattavat infrapunasäteilyä ilmaisimelle ne aallonpituudet, joita kyseiset kaasut absorboivat voimakkaimmin. Lisäksi molemmille kaasuille mitataan vertailuna sellaista aallonpituutta, jota mitattavat kaasut eivät absorboi.

CO₂ suodatin päästää lävitse 4,26 µm aallonpituuden, jota hiilidioksidi absorboi voimakkaasti. CO₂:n vertailusuodatin päästää läpi 3,95 µm aallonpituuden, jota hiilidioksidi ei absorboi. H₂O suodatin päästää läpi 2,59 µm aallonpituuden, jota vesihöyry absorboi voimakkaasti. H₂O:n vertailusuodatin päästää läpi 2,35 µm aallonpituuden, jota vesihöyry ei absorboi. Mitattavan kaasun pitoisuus näkyy vaimentuneena säteilynä vertailuaallonpituuteen nähden. [14.]

Optisen solun lämpötila pyritään pitämään vakiona kahdella lämmityselementillä. Elementtien lämmitystehoa säädetään termistorien avulla. Lisäksi optisen solun ympärillä on vaahtomuovieriste, joka auttaa pitämään solun lämpötilan vakaana. Optisen solun ilmaisinpuolella on painemuunnin, joka mittaa ilmanpaineen solussa. Tämän tiedon avulla analysaattori pyrkii laskennallisesti korjaamaan solussa tapahtuvista painevaihteiluista pitoisuusmittaukseen aiheutuvat virheet. Esimerkiksi, kun paine laskee solussa, ohenee solussa oleva kaasu. Paineen laskiessa myös solussa olevan kaasun

absoluuttinen pitoisuus laskee, koska solun sisään mahtuu vähemmän kaasua paineen ollessa pienempi. (Lämmityselementtien, termistorien ja painemuuntimen sijoittelu optisessa solussa, ks. kuva 9, s. 16.)

5.2.3 Sähkönsyöttö

Koska mittausvaunussa on melko paljon sähkökuormaa, kuten ilmalämpöpumppu, sähköpatteri ja tehokkaat tasajännitelähteet, on vaunu varustettu kolmivaihe syötöllä. Tasajännitettä tarvitsevia laitteita varten on kaksi erillistä jännitelähdettä, jotta toinen jännitelähde voidaan kytkeä UPS:iin ja toinen suoraan sähköverkkoon. Tällä tavoin runsaasti tehoa tarvitsevia laitteita ei tarvitse kytkeä UPS:iin ja siten sähkökatkon sattuesssa UPS:n akku kestää pidempään. Kaikki laitteet on suojattu sähköverkon jännitepiikeiltä, joko UPS:lla tai eri erillisellä ylijännitesuojalla. (Tasajännitelähteet, ks. kuva 7, s. 14: numero 7.)

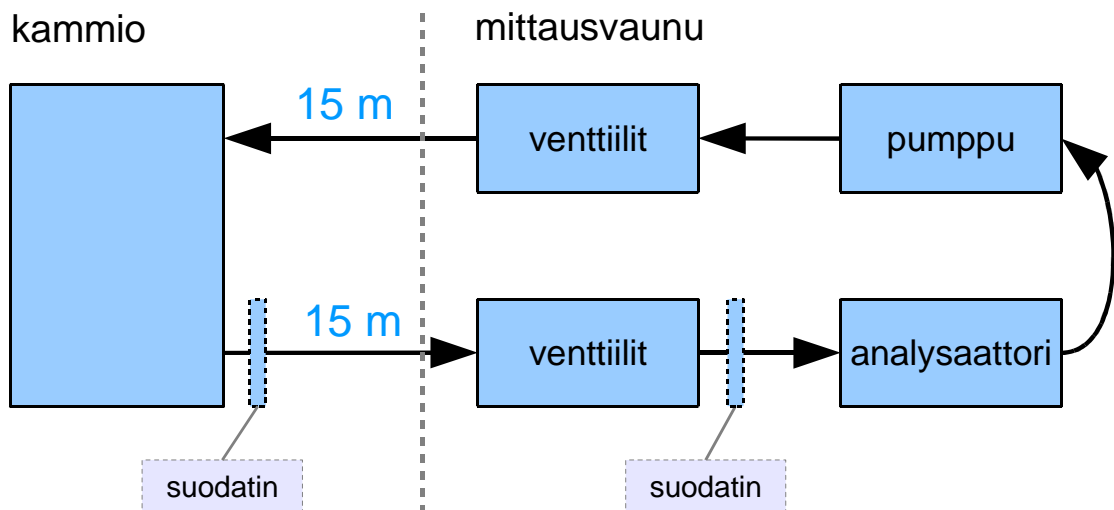
5.2.4 Ohjausjärjestelmä ja datan keräys

Kammioiden liikettä sekä magneettiventtiilien toimintaa ohjataan tietokoneelta Python-ohjelmointikielellä kirjoitetulla ohjelmalla, jonka on laatinut Markku Koskinen (MMM) Helsingin yliopistosta. Ohjelma lähettää tietokoneen sarjaportin kautta käskyjä relemoduulille, jonka releillä ohjataan suoraan magneettiventtiilejä ja ohjauskorttien kautta moottoreita. Moottorien ohjauskortit säätävät karamoottoreiden virtaa. Moottoreiden ohjauskorteille voidaan määritellä joitain parametreja, joita muuttamalla voidaan säätää mm. karan nopeutta ja moottorin maksimivirtaa. (Relemoduulit, magneettiventtiilit ja moottoreiden ohjauskortit, ks. kuva 7, s. 14.)

Mittausdata kerätään mittaustietokoneen sarjaportin kautta Python-ohjelmalla lokitiedostoksi tietokoneen kovalevylle. Mittauspaikalla on yhteensä neljä Vaisalan QML- dataloggeria, joihin on liitetty kammioiden ja maan lämpötilaa mittaavat pt100-anturit, auringonvaloa mittaavat Kipp & Zonenin PQS 1 PAR -säteilyanturit sekä maankosteutta mittaavat ThetaProben ML2x-anturit. Dataloggerit lähettävät mittausdatan tietokoneelle RS-232-sarja-datana. Myös Li-840A-analysaattori kommunikoi tietokoneen kanssa RS-232-sarjaportin kautta.

5.2.5 Näytelinjat

Näytelinjoissa valittiin käytettäväksi polyuretaanimuovista valmistettua letkua sen kestävyden takia. Polyuretaaniletkulla on mm. hyvä kestävyys matalissa lämpötiloissa sekä hyvä mekaaninen kestävyys. Näytelinjoja järjestelmässä on kaikkiaan yli 200 metriä.



Kuva 10. Periaatekuva näytelinjojen reitityksestä; kuvassa näyteilman kulkureitti kammiolta analysaattorille ja sieltä takaisin kammiolle; Kuvasta on jätetty pois venttiilien reititys ja kuvaan on piirretty vain yksi kammio, koska kuvan osalta kaikkien kuuden kammion näytelinjat ovat identtiset. Lisäksi kuvasta on jätetty pois taustailman mittauslinja.

Kuvan 10 mukaisesti kaikkien kammioiden imu- ja paluulinjojen pituudet ovat 15 metriä. Myös taustailman imemiseen käytettävien letkujen pituudet ovat 15 m sekä imu- että paluu-puolella. Kaikki näytelinjat ovat yhtä pitkiä kahdesta syystä: 1) jotta kaikki letkut olisivat keskenään vaihtokelpoisia, ja 2) jotta kaikki näytelinjat vaikuttaisivat saman verran analysaattorissa olevaan paineeseen sekä virtausnopeuteen, koska nämä tekijät vaikuttavat mittaustulokseen.

Näyteilmaa kierrättävä pumppu on sijoitettu ilman kulkusuunnassa analysaattorin jälkeen (kuva 10), jotta pumpun mahdollinen vuotaminen ei vaikuttaisi mittaustulokseen. Mikäli pumppu olisi sijoitettu mittauslinjassa ennen analysaattoria, pumpun vähäinenkin vuotaminen näkyisi virheenä mittaustuloksissa.

5.3 Sodankylän automaattikammioiden rakentamisprosessi

Uuden automaattikammiomittausaseman suunnittelu aloitettiin maaliskuussa 2011. Samaan aikaan aloitettiin myös tarjouspyyntöjen lähettäminen koskien niitä osia, joilla on pitkä toimitusaika.

Teräskehikot teetettiin Lahtinen & Kumpp. Oy:ssä Vantaalla. Kehikoista piirrettiin CAD-kuvat Lahtinen & Kumpp. Oy:lle CADS Planner -ohjelmalla, Lettosuon ja Kalevansuon kehikoiden mittojen mukaan. Kuusi kehikkoa teetettiin Sodankylän mittausasemaa varten ja yksi mallikappaleeksi siltä varalta, että mittausasemia rakennetaan tulevaisuudessa lisää. Mittausvaunun tilattiin Rääkkylän Muovi Oy:ltä. Mittausvaunun kalustuksesta piirrettiin CAD-kuvat CADS Planner -ohjelmalla. CAD-kuvissa määriteltiin mm. vaunun sähköistys, pöytätasojen ja hyllyjen asettelu sekä läpivientien paikat. Akryylikammiot tilattiin valmiiksi liimattuina Vink Finland Oy:ltä.

Kaikki rakennettiin ja testattiin mahdollisimman pitkälle valmiiksi Helsingissä, jotta Sodankylässä asentaminen sujusi helpommin ja nopeammin. Ohjaustaulu koottiin valmiiksi Dynamicumin laboratoriotiloissa. Mittausaseman asentaminen Sodankylään tehtiin heinäkuussa 2011, ja se tapahtui kolmen päivän aikana. Kehikot ja ohjaustaulu kuljetettiin pakettiautolla Helsingistä Sodankylään. Mittausvaunu tilattiin valmistajalta suoraan Sodankylään, koska sitä ei ollut rekisteröity tieliikennekäyttöön.

6 Kammiomittausjärjestelmän kehittäminen

Sodankylän automaattikammioille on tehty kehitystyötä aikaisempiin mittausasemiin verrattuna. Samalla myös Lettosuon ja Kalevansuon mittausasemia on kehitetty paremmiksi.

6.1 Kehikoiden ja akrylikammioiden parantaminen

Linak LA35 -karamoottorit, joita käytetään kammioiden avaamiseen ja sulkemiseen, ovat hyvin voimakkaat: niiden enimmäistyöntövoima on 1 kN [15]. Tästä syystä moottorien on huomattu vääntävän kammioiden teräskehikkoja Lettosuon ja Kalevansuon mittausasemilla. Kehikoiden vääntyminen johtuu myös osaltaan siitä, että jäykkä teräskehikko ei ole säädetty täysin kohdalleen. Oikein säädettyinä kehikko sulkeutuu siten, että maassa oleva kehikko-osa ja liikkuva kammio-osa menevät toisiaan vasten kiinni tiiviisti, mutta toisaalta siten, että moottori ei työnnä kammio-osaa liian pitkälle, jolloin kehikon rakenne alkaa vääntyä.

Kehikoiden vääntymisestä saattaa aiheutua, että kammio ei enää sulkeudu tiiviisti joka kohdasta. Toinen ongelma, joka aiheutuu moottorin vääntäessä kehikkoa, on moottorin ohjauskortin ylivirtasuojan laukeaminen. Moottorin ohjauskorteissa on joitakin säädettäviä parametreja, kuten moottorin enimmäisvirta, jonka ylityttyä suojaus laukeaa ja kortti menee vikatilaan. Korttien ylivirtaraja on turvallisuussyistä säädettyinä mahdollisimman pieneksi. Tällöin moottori ei työnnä kammiota kiinni täydellä voimalla, mikäli kammion ja kehikon väliin jää jotain. Kortin mentyä vikatilaan pitää se kuitata katkaisemalla ohjauskortista käyttöjännite lyhyeksi aikaa. Jos kortin toiminta lakkaa kammion ollessa suljettuna, kammio jää kiinni, kunnes vikatila käydään kuittaamassa. Kammion jumittuminen kiinni on ongelma paitsi datan puuttumisen vuoksi myös siksi, että kammion ollessa pitkään suljettuna alkaa kasvillisuus kammion sisällä kuolla.

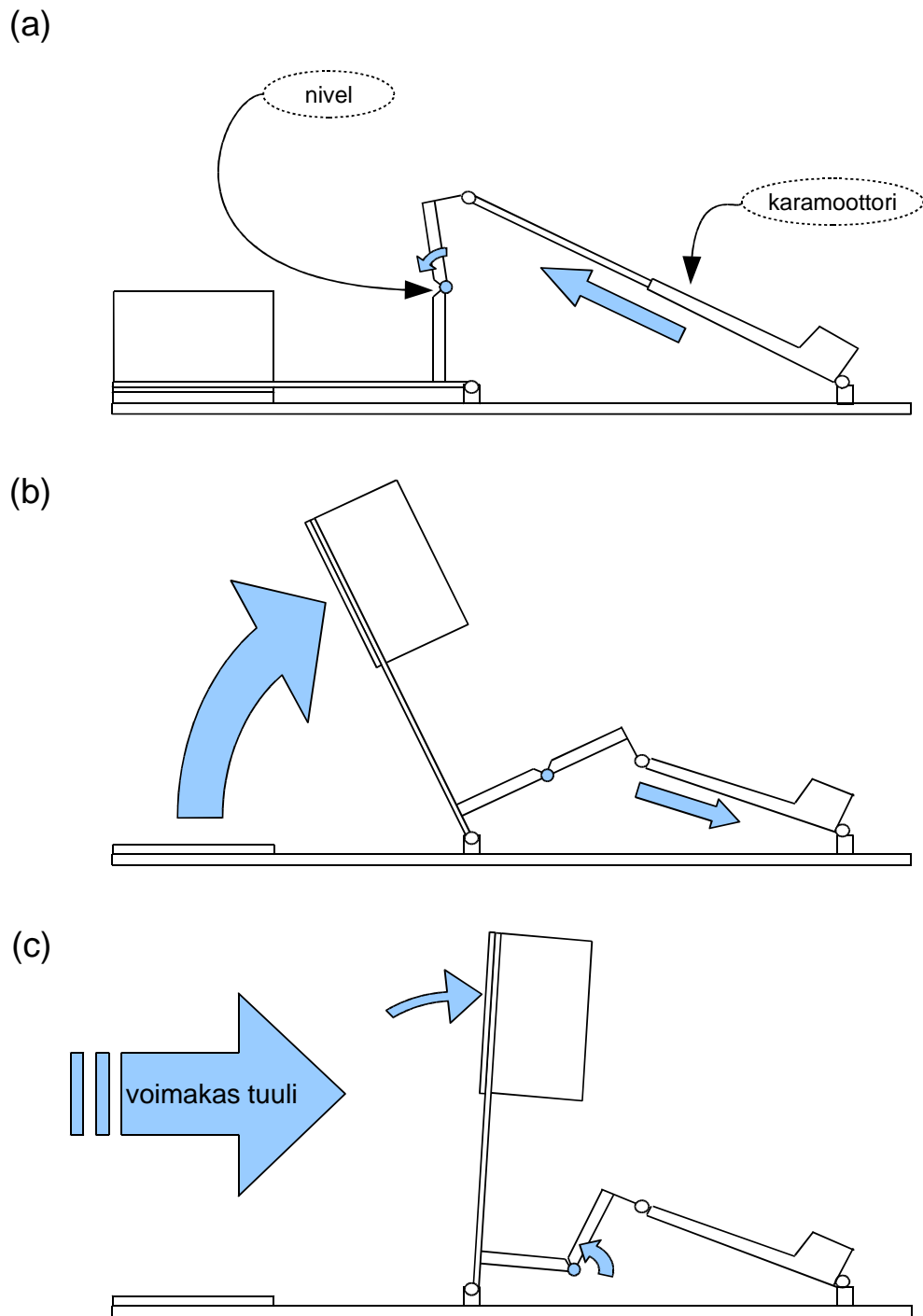
Kehikkoa on paranneltu siten, että kehikon rakennetta on hieman vahvistettu ja kehikon säädettävyyttä on parannettu lisäämällä kammio-osan vipuvarteen nivel. Kehikko-osan pitkä teräsprofiili, johon moottori on kiinnitetty toisesta päästä, oli aiemmissa versioissa hitsattu kahdesta L-profiilista. Uusissa kehikoissa yhteen hitsatut L-profiilit on vaihdettu neliöprofiiliin, joka on rakenteeltaan kestävämpi.

Kammio-osaan lisätyn nivelen oli alun perin tarkoitus vapauttaa kammio siten, että moottori ei purista kammiota kiinni, vaan kammio puristuisi kiinni ainoastaan painovoiman avulla. Tilannetta on havainnollistettu kuvan 12 (a) kohdassa (ks. seur. s.). Huomattiin kuitenkin, että nivelen ollessa vapautettuna ja kammion ollessa avattuna, saattaisi kammio kovan tuulen vaikutuksesta kääntyä sen normaalin avautumiskulman yli (ks. kuva 12 c, seur. s.). Normaalitylanteessa kammio avautuu kuvan 12 (b) kohdan (ks. seur. s.) mukaiseen kulmaan.

Se, että kammio ei tuulen vaikutuksesta aukea yli normaalin avautumiskulman, on esitetty Sodankylän mittausasemalla lukitsemalla kammioiden nivelet siten, että nivel ei aukea haluttua enempää. Lukitseminen on toteutettu pultilla, joka on pujotettu vipuvarteeseen poratusta reiästä (kuva 11). Kiristämällä pultin mutteria voidaan tarkasti säätää haluttu voima, jolla kammio puristuu kehikkoa vasten, tai vaihtoehtoisesti voidaan kiertää mutteri tarpeeksi pitkälle, jolloin kammio puristuu kehikkoa vasten ainoastaan painovoiman vaikutuksesta.



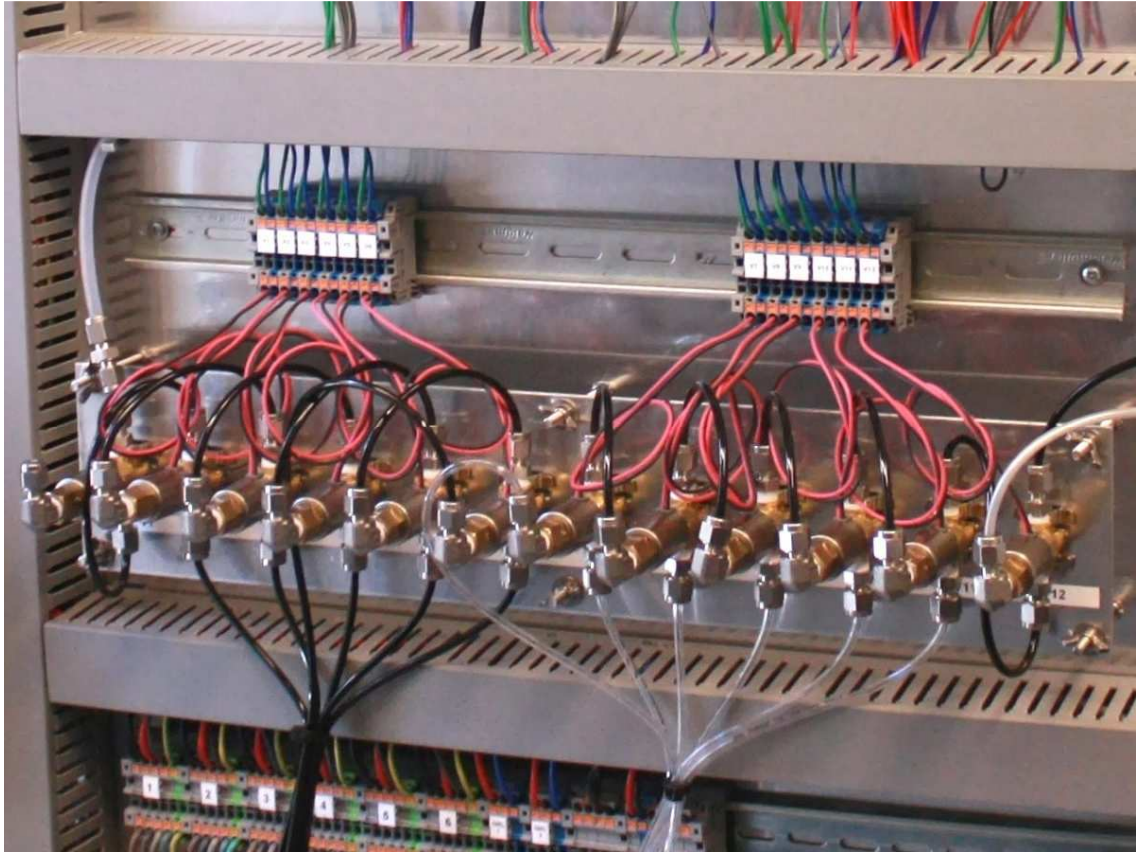
Kuva 11. Nivellyt vipuvarsi, johon karamoottori kytketään toisesta päästä; Vipuvarren avulla karamoottori avaa ja sulkee kammiota. Kuvassa oikeanpuoleinen nivel on perusasennossa ja vasemmanpuoleinen nivel on hieman avautuneena. Vipuvarren yläpäässä on kiinnityspaikka karamoottorille. Nivelen alapuolella on vipuvarteeseen porattu reikä, johon voidaan kiristää pultti, mikäli nivel halutaan lukita.



Kuva 12. Automaattikammion sivuprofiili; (a) kohdassa tilanne, jossa kammio sulkeutuu ja nivel antaa periksi, jotta karamoottorin työntövoima ei kohdistuisi runkoon; (b) kohdassa kammio tavallisessa aukiolokulmassa; (c) kohdassa tilanne, jossa kammio on kääntynyt tuulen vaikutuksesta liian pitkälle; Kuvaan on merkitty nuolella suunta, josta riittävän voimakkaasti puhaltava tuulenpuuska saattaisi kääntää kammion-, sen normaalin aukeamiskulman yli. Kuva on yksinkertaistettu, eikä sitä ole piirretty mittakaavaan.

6.2 Ohjaustaulun kehittäminen

Ohjaustaulusta oli tarkoitus kehittää selkeämpi ja tilavampi kuin Lettosuon ja Kalevan suon mittausasemilla. Ongelmia on siellä tuottanut magneettiventtiilien liian tiivis asetelu ohjaustaulussa. Sen vuoksi osaa magneettiventtiileihin kiinnitetyistä liittimistä on ollut vaikea tai mahdoton irrottaa magneettiventtiilin ollessa ruuvattuna kiinni ohjaustauluun, ja magneettiventtiileitä on jouduttu irrottelemaan, jotta liittimiä päästään vääntämään.



Kuva 13. Sodankylän mittausaseman magneettiventtiilit; venttiilit on aseteltu riviin, jotta letkut voitaisiin irrottaa ja kiinnittää venttiilien ollessa kiinni ohjaustaulussa

Uuteen ohjaustauluun valittiin pienet magneettiventtiilit. Ne sijoitettiin kaikki yhteen riviin vierekkäin kuvan 13 mukaisesti, jotta venttiilit eivät ole toistensa tiellä letkuja kiinnitettäessä.

Toinen ongelmia aiheuttanut asia on ollut moottorinohjauskorttien hajoaminen, ja korttien resetoimisen hankaluus vikatilanteissa. Korttien resetoiminen on aikaisemmin tehty irrottamalla kortista käyttöjännitteet ja ruuvaamalla johdot irti, mutta se on ollut

hankalaa. Lisäksi vaarana on ollut oikosulku, joka aiheutuu, mikäli johdon päät osuvat toisiinsa. Uuteen tauluun on lisätty kaikille moottorinohjauskorteille omat johdonsuojakatkaisijat. Johdonsuojakatkaisijan on tarkoitus suojata moottorinohjauskorttia sekä jännitelähdettä oikosuluilta. Lisäksi johdonsuojakatkaisijasta on helppo resetoida häiriötilassa oleva moottorinohjauskortti. Myös ohjauselektronikalle sekä kammioiden tuulettimille on omat johdonsuojakatkaisijat.

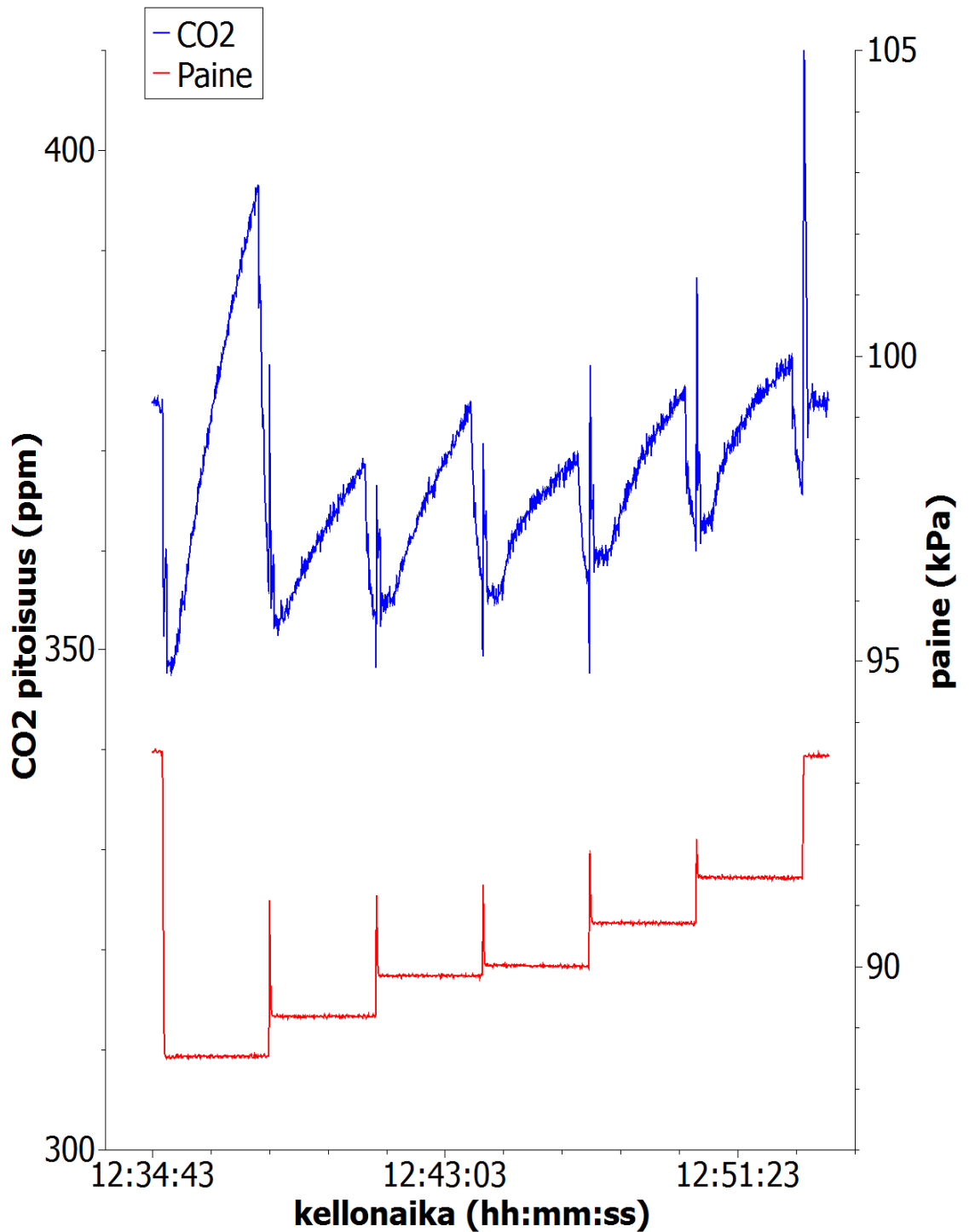
Uudessa ohjaustaulussa on johdotuksia selkeytetty piilottamalla johdot kaapelikouruihin. Muunneltavuutta ja selkeyttä lisää myös se, että suurin osa laitteista on kiinnitetty DIN-kiskoon.

6.3 Analysaattorin paine-erojen poistaminen

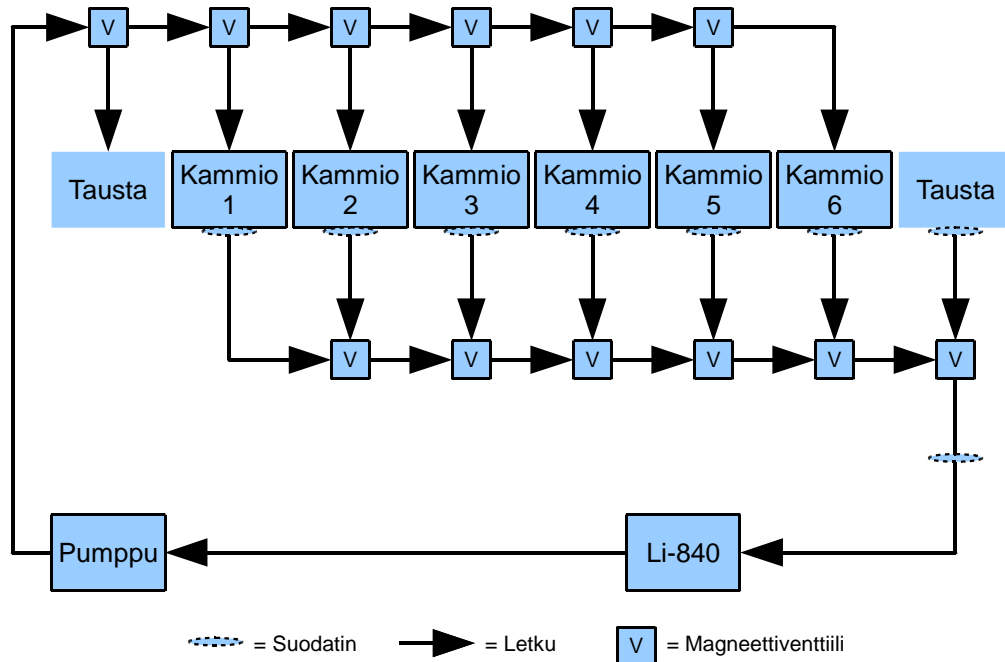
Li-cor Li-840A -kaasuanalysaattori mittaa pitoisuuksien lisäksi mm. optisen solun painetta. Mittausdatasta näkyy, että paine optisessa solussa vaihtelee selvästi mitattaessa eri kammioista (ks. kuva 14, seur. s.). Lisäksi mittausdatasta on huomattavissa, että analysaattorin mittaamien pitoisuuksien taso vaihtelee jonkin verran mitattaessa eri kammioista. Vaihtelu voi toki olla aivan todellista, mutta nyt pitoisuus- ja painevaihtelut näyttäisivät olevan linjassa siten, että mitä enemmän solussa on alipainetta, sitä korkeampi on lähtöpitoisuus. Koska paineen ja pitoisuuden vaihtelulla saattaa olla yhteys, pitäisi optisen solun alipaineesta päästä eroon mahdollisimman hyvin.

Koska paine vaikuttaa kaasun tiheyteen ja siten myös pitoisuuteen, mitattavan kaasun painevaihtelu näkyy suoraan analysaattorin ilmoittamassa pitoisuudessa. Toisaalta kyseisen analysaattorin pitäisi osata kompensoida 15–115 kPa painevaihtelu [16]. Sodankylän kammioissa paine vaihteli linjasta riippuen noin 88–94 kPa (ks. kuva 14, seur. s.).

Toinen mahdollinen mittausvirheitä aiheuttava asia on, että optisen solun sijaan painemuutokset kammion sisällä vaikuttavat hiilidioksidivuohon ja sitä kautta vääristävät arviota maahengityksen suuruudesta. Kammion alipaine voimistaa vuota ja vastaavasti ylipaine heikentää sitä. Joissain tutkimuksissa on todettu, että jopa vain 1 Pa:n muutos kammion paineessa saattaa aiheuttaa virheitä mittaustuloksiin. [17 s. 11–12.]



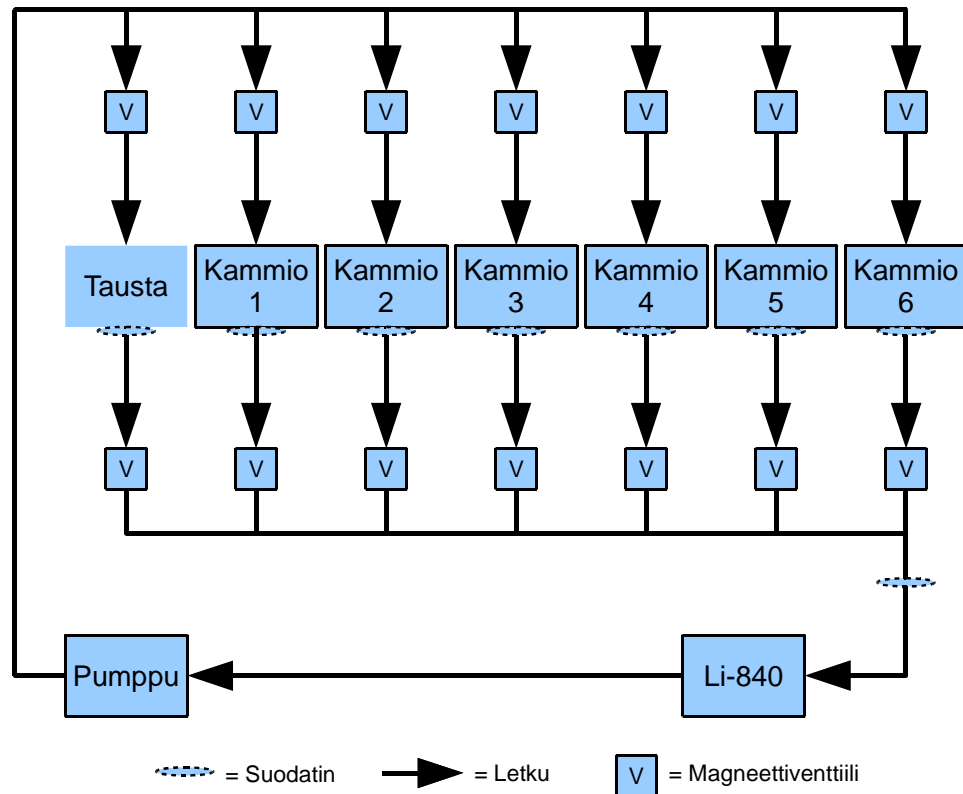
Kuva 14. Li-cor Li-840A -analysoitsattorin mittaama hiilidioksidi-pitoisuus (sininen käyrä) sekä optisen solun paine (punainen käyrä). Kuvan aineisto on peräisin yhden mittauskierron ajalta (noin 20 min), jonka aikana kaikki 6 kammiota ovat vuorollaan 3 minuuttia suljettuna. Kammioiden vaihtuminen näkyy sekä pitoisuus- että paine-datassa. Diagrammin vasemmalla pystyakselilla on esitetty CO₂-pitoisuus, oikealla pystyakselilla paine ja vaaka-akselilla kellonaika.



Kuva 15. Näyteilman kiertoreitti kammioista venttiileille ja analysaattorin sekä pumpun kautta takaisin venttiileille ja kammioille

Magneettiventtiilit vastustavat ilman virtausta, joten ne aiheuttavat alipainetta analysaattoriin. Kulloinkin käytettävästä mittauslinjasta riippuu, kuinka monen venttiilin läpi ilma kulkee. Tämän takia paine vaihtelee analysaattorissa mitattaessa eri kammioista. Esimerkiksi mitattaessa kammioista 1, imettävä ilma kulkee kuuden venttiilin läpi, mutta paluuilma vain kahden venttiilin läpi. Kun taas imetään ilmaa kammioista 6, ilma kulkee ensin kahden venttiilin läpi ja paluuilma kuuden venttiilin läpi. Mitattaessa ympäröivää ulkoilmaa, eli ns. *ambient*-ilmaa, kulkee sekä imu- että paluuilma vain yhden venttiilin läpi. Mittauslinjojen reitit on esitetty kuvassa 15.

Magneettiventtiilit on kytketty kuvan 15 mukaisesti Lettosuon ja Kalevansuon mittauspisteillä sekä Sodankylässä. Alun perin syy tämän reitityksen käyttöön on ollut, että kun vaihdetaan mittauslinjaa, niin venttiilien sisään tai letkuihin jäisi mahdollisimman vähän ilmaa sellaisiin paikkoihin, jossa ei ole virtausta. Letkuihin jäävä, edellisestä mittauksesta peräisin oleva ilma voi aiheuttaa virhettä mittaustulokseen. Letkuun jäävä seisova ilma ei kuitenkaan haittaa, mikäli sen tilavuus on tarpeeksi pieni.



Kuva 16. Kaavio kytkennästä, jolla automaattikammioiden ilmankiertoreitin voisi toteuttaa käytännöllä kaksitieventtiileitä

Venttiilien reititystä tulisi muuttaa siten, että ne vaikuttaisivat paineeseen yhtä paljon kussakin linjassa. Käytännössä tämän voisi toteuttaa siten, että kaikissa linjoissa ilma kiertäisi vain yhden venttiilin läpi (kuva 16). Tällöin sekä imu- että paluulinjassa olisi vain yksi venttiili kutakin kammiota kohden. Lisäksi venttiilit pitäisi vaihtaa aukkoisiksi, jotta ne rajoittaisivat mahdollisimman vähän virtausta ja aiheuttaisivat siten vähemmän alipainetta mittaussoluun.

6.4 Muut muutokset

6.4.1 Näytelinjojen tilavuuden pienentäminen

Työssä käytetylle Li-840A -analysaattorille on määritelty näyteilman maksimivirtausnopeudeksi 1 l/s [16]. Hitaahko virtausnopeus aiheuttaa rajoituksia järjestelmälle, koska siitä syntyy viivettä mittaukseen. Kammion sulkeuduttua kestää jonkin aikaa, ennen

kuin ilma kulkeutuu kammioista analysaattorille. Mittausohjelmassa otetaan viive huomioon siten, että dataan merkitään mittaus alkaneeksi vasta sitten, kun imulinjan viiveaika on kulunut.

Vaikka viive huomioidaan mittausohjelmassa, olisi sen kuitenkin hyvä olla mahdollisimman lyhyt. Näytelinjojen tilavuutta ei voida pienentää lyhentämällä letkuja, koska letkujen pituudet halutaan pitää vakiona, jotta kammioita ei tarvitse siirtää lähemmäs mittausvaunua, ja jotta kaikki linjat pysyisivät yhtä pitkinä ja siten vertailukelpoisina. Tilavuuden pienentämiseksi valitsimme Sodankylän kammioihin ohuemman letkun kuin Lettosuolla ja Kalevansuolla. Valitun letkun sisähalkaisija on 2,5 mm, kun Lettosuolla ja Kalevansuolla se on 4,5 mm.

6.4.2 Moottorikaapelien vaihtaminen

Moottorikaapelit ja muut kammiojärjestelmän kaapelit ovat koetuksella jatkuvan liikkeen, pakkasen ja auringon UV-säteilyn takia. Kammioiden avaamiseen ja sulkemiseen käytettävien Linakin LA35 -karamoottoreiden mukana tulleiden sähkökaapeleiden kestävyys on aiheuttanut paljon ongelmia Lettosuon ja Kalevansuon mittausasemilla.

Linakin toimittamien kaapeleiden PVC-eristeen kestävyys on osoittautunut riittämättömäksi ja kaapeleita on hajonnut useita erityisesti talvipakkasilla. Kaapelin eristeen murtuminen on aiheuttanut useissa tapauksissa johtimissa oikosulun, minkä seurauksena moottorin ohjaukskortti on joko hajonnut tai mennyt vikatilaan. Tästä syystä kaikkiin moottoreihin vaihdettiin paremmin pakkasta kestävä kaapelit, joissa eristemateriaalina on käytetty polyuretaania.

7 Yhteenveto

Työssä oli tavoitteena rakentaa ekosysteemin ja ilmakehän välisen kaasuvuon mittaamiseen tarkoitettu automaattinen kammiomittausasema sekä kehittää kammiomittausjärjestelmää paremmaksi. Tavoitteena oli myös tutustua erilaisiin kasvihuonekaasujen mittaamenetelmiin.

Työn tuloksena saatiin Sodankylään rakennettua uusi automaattinen kammiomittausasema ja tehtiin järjestelmässä olleille ongelmakohtille parannuksia. Laitteiden vikaantumisia saatiin vähennettyä rakenteellisilla parannuksilla, kuten vipuvarren nivellyksellä ja materiaalivalinnoilla sekä sähköisillä parannuksilla, kuten moottoreiden sulakkeilla ja sarjakaapeleiden optoeristyksillä. Lisäksi mittausaseman muunneltavuutta ja laajennettavuutta saatiin lisättyä erilaisilla teknisillä ratkaisuilla.

Kammiojärjestelmän kaikkia ongelmia ei työn aikana saatu ratkaistua. Osittain johtuen mittausaseman kaukaisesta sijainnista on järjestelmän jatkokehitys ollut verkkaista. Työn aikana kesken jäi analysaattorin paine-ero-ongelman ratkaiseminen. Tulevan kesän mittauksiin on tarkoitus vaihtaa järjestelmään venttiilit, jotka eivät aiheuta analysaattoriin paine-eroa eri mittauslinjojen välillä. Muuta kehitystä mittausasemalle tehdään jatkossa tarvittaessa, kun mittausaseman toiminnasta saadaan lisää kokemuksia.

Työ tarjosi mahdollisuuden tutustua ilmastonmuutostutkimukseen ja kasvihuonekaasujen mittaustekniikkaan. Työ antoi hyvät edellytykset toimia kasvihuonekaasumittausten parissa ja lisäsi kiinnostusta aiheeseen entisestään.

8 Lähteet

- 1 Ilmatieteen laitoksen organisaatio. Verkkodokumentti. Ilmatieteen laitos.
<http://ilmatieteenlaitos.fi/organisaatio>. Luettu 16.9.2011.
- 2 Ilmatieteen laitos. Verkkodokumentti. Ilmatieteen laitos.
<http://ilmatieteenlaitos.fi/ilmatieteen-laitos>. Luettu 16.9.2011.
- 3 Nevanlinna, Heikki (toim.). 2009. Ilmatieteen laitos 170 vuotta 1838 – 2008. Ilmatieteen laitos. Raportteja 2/2009.
- 4 Kuusisto, Esko, Kauppi Lea ja Heikinheimo, Pirkko. 1996. Ilmastonmuutos ja Suomi. Helsinki: Yliopistopaino.
- 5 Ilmastonmuutos. Verkkodokumentti. Ilmatieteen laitos.
<http://ilmatieteenlaitos.fi/ilmastonmuutos>. Luettu 16.9.2011.
- 6 Ilmatieteen laitos. Tiedote, 26.11.2010. Kasvihuonekaasupitoisuudet ennätyskorkeita.
- 7 Saff, Kevin, Olli. 2010. Verkkodokumentti. Wikimedia Commons.
http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Carbon_cycle-cute-diagram-fi.svg, Luettu 15.3.2012.
- 8 Rohde, Robert A., Koljonen, Markus. 2007. Verkkodokumentti. Wikimedia Commons.
http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mauna_Loa_Carbon_Dioxide-fi.png, Luettu 15.3.2012.
- 9 Kasvihuonekaasut ja niiden tulkinta. Verkkodokumentti. Ilmatieteen laitos.
<http://ilmatieteenlaitos.fi/kasvihuonekaasujen-mittaus>, Luettu 16.9.2011.
- 10 Laurila, Tuomas, Lohila, Annalea, Tuovinen, Juha-Pekka, Hatakka, Juha, Aurela, Mika, Thum, Tea, Walden, Jari, Kuronen, Pirjo, Talka, Markus, Pesonen, Risto, Pihlatie, Mari, Rinne, Janne, Vesala, Timo ja Ettala, Matti. 2005. Kaatopaikkojen kaasupäästöjen ja haihdunnan mikrometeorologisten mittausmenetelmien kehittäminen (MIKROMETKAA). Tekesin Streams -ohjelman hankkeen loppuraportti.
- 11 Rayment, M. B.. 2000. Closed chamber systems underestimate soil CO₂ efflux. *European Journal of Soil Science*, 51. s. 107-110
- 12 Pumpanen, Jukka, Longdoz, Bernard ja Kutsch, Werner L.. 2009. Field measurements of soil respiration: principles and constraints, potentials and limitations of different methods. *Soil Carbon Dynamics - An Integrated Methodology*, s. 16-33. Cambridge: Cambridge University Press.
- 13 Lukkala, Tuuli. 2010. Porolaidunnuksen vaikutus sammalten monimuotoisuuden tuottavilla ja vähätuottoisilla tuntureilla pohjoisessa Fennoskandiassa. Pro Gradu -tutkielma. Jyväskylän yliopisto.
- 14 LI-840A CO₂/H₂O Gas Analyzer – Brochure. 2010. LI-COR, Inc..
- 15 LINAK. Actuator LA35. Product Data Sheet.

- 16 LI-840A CO₂/H₂O Gas Analyzer – Instruction Manual. 2010. LI-COR, Inc..
- 17 Jukka Pumpanen. 2003. CO₂ efflux from boreal forest soil before and after clear-cutting and site preparation. Academic dissertation, s. 12. University of Helsinki Department of Forest Ecology