

Ville Raitava

HIILIDIOKSIDI-
PITOISUUSMITTAUSTEN
HYÖDYNTÄMINEN
TOIMISTOTILOJEN
ILMANVAIHDOS-
SÄÄTELYSSÄ

Opinnäytetyö
Talotekniikan koulutusohjelma


Toukokuu 2012




MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU

Mikkeli University of Applied Sciences

KUVAILULEHTI

| | | | |
|--|--|-----------------------|------------|
|  MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences | Opinnäytetyön päivämäärä 6.5.2012 | | |
| Tekijä(t) Ville Raitava | Koulutusohjelma ja suuntautuminen Talotekniikka | | |
| Nimeke Hiilidioksidipitoisuusmittausten hyödyntäminen toimistotilojen ilmanvaihdossa | | | |
| Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön toimeksiantaja on Keski-suomalainen Oyj. Yritys valmistaa sanomalehtiä. Kiinteistöpäällikön pyynnöstä tutkin, miten Aholaidan kiinteistössä mitattavia hiilidioksidipitoisuuksia voitaisiin hyödyntää. Vähäisen suomenkielisen materiaalin vuoksi sisälsimme työhön myös kirjallisuuskatsauksen aiheesta, johon koottiin CO₂-ohjatun ilmanvaihdon keskeiset asiat.</p> <p>Kenttämittaukset Aholaidan kiinteistössä suoritettiin kevään 2012 aikana. Kenttätutkimus rajattiin ilmanvaihtokone 83:n vaikutusalueeseen kuuluvaan avotoimistoon. Kenttätutkimus jaettiin kolmeen jaksoon. Näiden mittausjaksojen tavoitteena oli selvittää vallitsevat olosuhteet sekä selvittää paras sijainti CO₂-anturille tilassa ja muutoksien seuranta. Muutokset tehtiin nykyisen järjestelmän mahdollisuuksien mukaan. Tehdyt muutokset koskivat ilmanvaihtokonetta ohjaavan kiinteistöautomaation avulla säädettäviä aikaohjelmia.</p> <p>Muutoksilla saatiin ilmanvaihtokoneen käyttöajat vastaamaan paremmin tarvetta ja näin ollen saatiin energiankulutusta vähennettyä kyseisen IV-koneen osalta. Käyttötunteja viikossa vähennettiin 41 tuntia, joka tarkoittaa noin 24,4% vähennystä.</p> | | | |
| Asiasanat (avainsanat) Hiilidioksidi, ilmanvaihto, CO ₂ -ohjaus, sisäilmasto | | | |
| Sivumäärä 25+7 | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">Kieli Suomi</td> <td style="width: 50%;">URN</td> </tr> </table> | Kieli Suomi | URN |
| Kieli Suomi | URN | | |
| Huomautus (huomautukset liitteistä) | | | |
| Ohjaavan opettajan nimi Marianna Luoma | Opinnäytetyön toimeksiantaja Keski-suomalainen Oyj | | |

DESCRIPTION

| | | |
|--|---|--|
|  <p>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences</p> | | Date of the bachelor's thesis 6.5.2012 |
| Author(s) Ville Raitava | Degree programme and option Building Services(HVAC) | |
| Name of the bachelor's thesis Researching benefits of measuring carbon dioxide levels in an office building | | |
| Abstract <p>This thesis was proposed from Keski-suomalainen Oyj. The company produces newspaper magazines. Their facility manager proposed that I would research how the measured carbon dioxide levels in the property of Aholaidantie 3 could be used to benefit. Due to the little Finnish material available a literature review was included in the thesis. Where the main facts of CO₂ controlled ventilation were gathered.</p> <p>Field tests in the office in Aholaidantie were performed during spring 2012. The field tests was limited to the office area were airhandlingunit 83 affected. The field tests were divided into 3 series. The purpose of these 3 test series was to find out the existing air quality conditions, find out the best place for the CO₂-sensor in the area and measure the effect of changes done. Changes were done on the options given by the existing system. Changes included reprogramming the time programs of the air handling unit.</p> <p>By doing the changes to the time programs, the running times were more closer to the actual office hours in the building. By doing these changes energy efficiency was improved. Operating hours during one week were reduced by 41 hours which means a 24.4% saving in one weeks operating hours.</p> | | |
| Subject headings, (keywords) Carbon dioxide, air-conditioning, CO ₂ -control, indoor air-quality | | |
| Pages 25+7 | Language Finnish | URN |
| Remarks, notes on appendices | | |
| Tutor Marianna Luoma | Bachelor's thesis assigned by Keski-suomalainen Oyj | |

SISÄLTÖ

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | JOHDANTO | 1 |
| 2 | KATSAUS CO ₂ -OHJATTUUN ILMANVAIHTOON | 2 |
| 2.1 | Suunnitteluohjeita | 2 |
| 2.2 | Hiilidioksidipitoisuudet | 3 |
| 2.3 | Hiilidioksidianturit..... | 4 |
| 2.4 | Antureiden sijoittaminen | 5 |
| 2.5 | Energian säästö | 6 |
| 3 | KENTTÄTUTKIMUS KESKISUOMALAINEN OYJ..... | 6 |
| 3.1 | Aholaidan kiinteistön esittely | 6 |
| 3.2 | Kenttätutkimuksen tausta ja tavoite..... | 7 |
| 3.3 | Kenttätutkimus toimituksen A-osan tilassa | 8 |
| 3.4 | Mittausjaksot..... | 9 |
| 3.4.1 | Lähtökohtamittaukset..... | 10 |
| 3.4.2 | Hiilidioksidimittauksen anturin sijainnin tutkiminen | 10 |
| 3.4.3 | Muutoksien seuranta | 11 |
| 3.5 | Toteutus | 11 |
| 3.5.1 | Tutkimuslaitteet | 11 |
| 3.5.2 | Mittaukset | 11 |
| 3.5.3 | Muutosten tekeminen mittauksen 1-8 perusteella | 15 |
| 4 | TULOKSET | 16 |
| 4.1 | Ulkoilman hiilidioksidipitoisuus (mittaus 1)..... | 16 |
| 4.2 | Tilan ilmamäärien mittaus (mittaus2)..... | 17 |
| 4.3 | Automaatiojärjestelmään paikkaansa pitävyyden arviointi (mittaus 3)..... | 17 |
| 4.4 | Henkilömäärän mittaus tilassa (mittaus 4) | 18 |
| 4.5 | Hiilidioksidipitoisuudet toimiston eri kohdissa (mittaukset 5-8) | 18 |
| 4.6 | Muutosten seuranta | 20 |
| 5 | TULOSTEN LUOTETTAVUUDEN ARVIONTI..... | 22 |
| 6 | POHDINTA | 24 |
| | LÄHTEET | 26 |
| | LIITTEET | |
| | 1 Mittarin kalibrointitodistus | |

- 2 Hiilidioksidi anturin paikkaansa pitävyys(mittaus 3)
- 3 Mittauksen 2 mittauspöytäkirjat
- 4 Mittauksen 9-10 mittauspöytäkirjat

1 JOHDANTO

Ihminen tuottaa hiilidioksidia ulos hengittäessään. Sisätiloissa hiilidioksidin avulla voidaan seurata ilmanvaihdon toimintaa tilassa, jossa ihmisten tuottama hiilidioksidi on tilan ilmanlaatuun suurin vaikuttava epäpuhtaustekijä. Koulujen luokkahuoneet ja asuinhuoneistojen makuuhuoneet ovat hyviä kohteita, joissa hiilidioksidia voidaan pitää sisäilman laadun indikaattorina [1]. Riittämätön ilmanvaihto ilmenee korkeina hiilidioksidipitoisuuksina tilassa. Hiilidioksidipitoisuuden ollessa lähellä ulkoilman hiilidioksidipitoisuutta voidaan miettiä, onko ilmanvaihto tarpeettoman tehokas.

Opinnäytetyön aihe tuli Keski-suomalainen Oyj:n kiinteistöpäällikön toiveesta selvittää, kuinka Aholaidan kiinteistössä mitattavista hiilidioksidipitoisuuksista saatua tietoa voitaisiin hyödyntää. Kiinteistössä hiilidioksidipitoisuusmittauksia on kuudessa eri tilassa.

Kirjallisuuskatsauksen tehtävänä tässä opinnäytetyössä on selvittää hiilidioksidipitoisuuden perustuvien järjestelmien toimintaa ja osia. Aiheesta tarjolla olevan materiaalin ollessa pääosin vielä englanninkielistä, jolloin suomenkielellä löytyvää ohjeistusta aiheesta on hyvin niukasti. Tavoite oli saada kerättyä oleellimmat tiedot tiiviiksi suomenkieliseksi paketiksi.

Toteutettavan kenttätutkimuksen tavoitteena oli löytää nykyisellä järjestelmällä saatavia etuja, kuten energian säästöä ja parannusta sisäilman laadussa. Paikoissa, joissa hiilidioksidipitoisuus pysyisi kurissa vähemmälläkin ilmanvaihdolla, on mahdollista saada energiatehokkuuden parannusta. Mahdolliset muutokset toteutettaisiin kuitenkin sisäilmanlaadusta tinkimättä. Korkeat sisäilman hiilidioksidipitoisuudet pyrittäisiin myös pienentämään ilmanvaihtoa säätämällä.

2 KATSAUS CO₂-OHJATTUUN ILMANVAIHTOON

2.1 Suunnitteluohjeita

Tietoa aiheesta kerättiin loppuvuodesta 2011. Nopeasti tuli selväksi, että suomenkielistä materiaalia aiheesta oli vaikea löytää. Englanninkielistä materiaalia löytyi hiilidioksidipitoisuuden hyödyntämisestä jo useiden vuosikymmenien ajalta. Hiilidioksidin käyttö ilmanvaihdon ohjaamisessa perustuu siihen, että ihminen tuottaa hiilidioksidia. Pitoisuutta tarkkailemalla saadaan tietää, paljonko ihmisiä on tilassa ja saadaan toteutettua tarpeenmukainen ilmanvaihto, jolloin ilmanvaihdon tarpeeton käyttö saadaan poistettua ja näin ollen saadaan säästettyä energiaa.

Ilmanvaihdon tarpeenmukainen ohjaus on yleensä toteutettava vähintään niissä tiloissa, joiden henkilö tai epäpuhtauksien kuormitus vaihtelee merkittävästi[2, s. 26]. Raja-arvot hiilidioksidipitoisuuksille on annettu sisäilmastoluokituksissa[3]. Hiilidioksidipitoisuusohjattua ilmanvaihtoa soveltaessa on sen täytettävä sille asetetut rakentamismääräykset ja standardit [4, s. 29].

Ennen ihmisten saapumista tiloihin, jolloin ihmisperäiset hajut ja hiilidioksidipitoisuus eivät ole vielä nousseet niiden huipputasoille tilan käytöstä riippuen, voidaan viivyttää suunnitellun ilmanvaihdon aloittamista ja näin saavuttaa hyötyä tilanteesta. Monia vaihtoehtoja on ehdotettu suunnitteluarvojen käytön sijasta käyttää tarpeenmukaisia ilmanvaihtomääriä. Tällaisia ovat aikaohjelmat, kun tilan käytön aikataulut ovat tarkalleen tiedossa ja ennustettavissa. Läsnaoloa seuraavia antureita voidaan käyttää mittaamaan tilan käyttöä (anturi ei tosin osaa kertoa, kuinka monta henkilöä tilassa on) ja käynnistämään tilan ilmanvaihdon ja kytkemään ilmastoinnin pois tietyn ajanjakson jälkeen, kun tilassa ei ole ollut läsnäolijoita. CO₂-mittausta ja ohjausta käytetään tarkoituksena arvioida ihmisten määrää tilassa tai ihmisperäisten päästöjen pitoisuutta tilassa jonka avulla ilmanvaihto saadaan toteutettua tarpeenmukaisesti. Ulkoilmavirran ohjaaminen CO₂-mittauksen avulla tarpeenmukaisesti tarjoaa mahdollisuuden vähentää hukkaan kulunutta energiaa, joka kuluu liian suuren ilmanvaihdon seurauksena, kun tilassa on pienempi ihmismäärä kuin mille ilmanvaihto on mitoitettu, vaikka tällöinkin ilmanvaihto on määräysten mukaisesti toteutettu[4, s. 1].

2.2 Hiilidioksidipitoisuudet

Ihmisten tuottama hiilidioksidipitoisuus riippuu pääasiassa kehon koosta, mutta myös fyysisen rasituksen määrästä [4, s. 2]. Kokeellisten tutkimusten perusteella on todettu, että $7 \text{ dm}^3/\text{s}$ per henkilö riittää karkeasti pitämään ihmisperäisen hajuhaittojen pitoisuuden tasolla, jolla 80 % tilaan tulevista henkilöistä pitävät tilan hajutasoa hyväksyttävänä. Sama 80 % hajutaso hyväksyntä todettiin olevan noin 700 ppm:n yli ulkoilman hiilidioksidipitoisuuden omaavissa tiloissa. Ulkoilman ollessa yleensä noin 350ppm tämä tarkoittaa noin 1050 ppm:n tasoa [4, s. 6].

Suomessa on käytössä sisäilmastoluokitus[5] jossa, hyväksytyt sisäilmasto-olosuhteet ovat jaettu kolmeen luokkaan S1, S2 ja S3, joista S1 on arvoiltaan tiukin. Seuraavassa taulukossa (Taulukko 1) on luokkien asettamia tavoitearvoja sisäilman laadulle.

TAULUKKO 1. Sisäilmaluokitus 2008 antamat ilman laadun tavoitearvot

| | S1 | S2 | S3 |
|--|------|------|-------|
| Hiilidioksidipitoisuus[ppm] | <750 | <900 | <1200 |
| Radonpitoisuus[Bq/m ³] | <100 | <100 | <200 |
| Olosuhteiden pysyvyys[% käyttöajasta] | | | |
| Toimi- ja opetustilat | 95 % | 90 % | |
| Asunnot | 90 % | 80 % | |

Suomen Rakentamismääräyskokoelman osa D2: Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto sanoo seuraavasti hiilidioksidipitoisuudesta rakennuksen sisäilmassa kohdassa 2.3.1.1: ”Sisäilman hiilidioksidipitoisuus tavanomaisissa sääoloissa ja huonetilan käyttöaikana on yleensä enintään $2160 \text{ mg}/\text{m}^3$ (1200 ppm).”

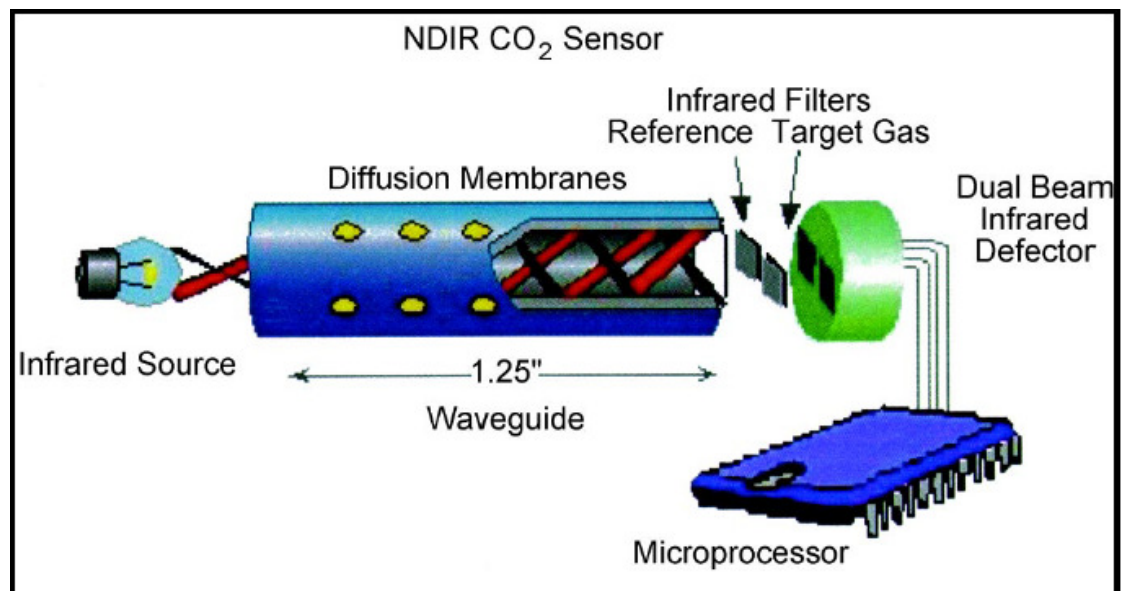
Vaikka hiilidioksidipitoisuuden mittaamista voidaan käyttää kuvatessa tilan ihmisperäisiä epäpuhtauksia, kuten aikaisemmin todettiin, on todettava, ettei se tuota tietoa tilassa esiintyvistä muista saasteista tai epäpuhtauslähteistä, kuten rakennusmateriaalit, kalusteet ja läsnäolijoinen toiminnasta peräisin olevat saasteet. Vaikka hiilidioksidipitoisuuden ollessa 700 ppm sisällä ulkoilman pitoisuudesta pitäisi olla hyväksyttävä ilmanlaatu ihmisperäisten epäpuhtauksien osalta, ei se välttämättä tarkoita hyväksyt-

tävää ilmanlaatua muiden tilassa olevien epäpuhtauslähteiden haittojen hallitsemiseksi [4, s. 7].

2.3 Hiilidioksidianturit

Avaintekijöitä antureihin liittyen on niitten tarkkuus, luotettavuus ja sijainti rakennuksessa. Antureiden toimintaan voi häiritsevästi vaikuttaa aikaa vievä kalibrointi (jonka seurauksena voi esiintyä kalibroinnin laiminlyöntiä), herkkyys ilmankosteudelle, ristiherkkyys jännitteelle, lämpötilalle ja tupakan savulle. [4, s.20.]

Työssä käytetyt anturit olivat NDIR- antureita. Lyhenne NDIR tulee sanoista Non-dispersive infrared, joka suomennettuna tarkoittaa valoa hajottamatonta infrapunatekniikkaa. Kuvassa 1 on esitetty NDIR- anturin eri osat. Anturin toiminta perustuu valon muutoksen mittaamiseen aallonpituuksilla, joilla hiilidioksidin absorptiota esiintyy. Ympäröivä ilma pääsee näytteenottokammioon, jossa kammion päässä on infrapunalähde, joka lähettää kammioon infrapunavaloa. Infrapunavaloo kulkee kammion läpi, läpäissään hajottamiskalvoja. Lopulta valo kohtaa infrapunasuodattimen, joka on sijoitettu kaksoissädevalontunnistimen eteen ja suodattaa aallonpituuksista vain ne aallonpituudet, joissa hiilidioksidi tiedetään absorboivan valoa [6, s. 3].



KUVA 1. NDIR- anturin tyypillinen rakenne [6, s.2]

Kenttätutkimuksessa kiinteistössä oleva hiilidioksidimittaus tapahtui Honeywell AQS-51 –anturilla, joka oli liitetty kiinteistön automaatiojärjestelmään. Valmistajan mukaan

mittari on kykenevä mittaamaan pitoisuuksia välillä 0-3000ppm lukematarkkuuden ollessa $\pm 5\%$ [7, s. 1].

2.4 Antureiden sijoittaminen

On suositeltu, että tarpeenmukaista ilmanvaihtoa ohjaava anturi sijoitetaan huonekorkeuden puoleen väliin ja pois oviaukkojen, ikkunoiden, ihmisten ja tuloilmakojeiden läheisyydestä, mikäli mahdollista. On myös suositeltu, että tarpeenmukaisen ilmastoinnin järjestelmällä on laaja aikavakio, jotta se ei reagoi pitoisuuden tavallisesta poikkeavista esiintymistä. Tällaisia voivat olla ihmisten hetkellinen läheisyys anturista, jolloin hengityksestä tuleva korkeampi hiilidioksidipitoisuus aiheuttaisi ilmanvaihdon tarpeettoman tehostumisen.

Huoneissa, joissa ilman epäpuhtaudet ovat hyvin sekoittuneet, ei anturin sijainti ole yhtä kriittinen kuin avoimissa tiloissa. Yleinen vaihtoehto tarpeenmukaista ilmanvaihtoa ohjaavalle anturille oli sen sijoittaminen tilan poistoilmanvaihtokanavaan. Jotta huomioitaisiin paluuilmanvaihtokanavan antaman keskiarvon mahdollinen poikkeama, tilassa esiintyviin paikallisiin korkeisiin hiilidioksidipitoisuuksiin säädetään ilmanvaihdon ohjausta niin, että tämä on otettu huomioon (alennetaan tehostusta ohjaavia pitoisuuksia). Neuvotteluhuoneissa tehdyissä testeissä todettiin, että pitoisuudet, joita mitattiin seinään kiinnitetyllä anturilla ja kanavaan sijoitetulla anturilla todettiin olevan lähes identtiset, seinään kiinnitetyn anturin näyttäessä 2 min viiveellä kanavassa olevan anturin pitoisuutta poistoilmassa [4, s. 21- 22]. Aina anturin keskeistä sijaintia miettiessä tulee muistaa tilan eri kohtien pitoisuuksien vaihtelut [4, s. 26]. Tämän tarkastamiseksi opinnäytetyön mittauksissa otetaan useista kohdista tilaa vertaavia mittauksia, jolloin saadaan käsitys tilan eri kohtien hiilidioksidipitoisuuden poikkeavuuksista eri kohdissa avotoimistoa.

Honeywell neuvoo asentamaan anturin (AQS51/61) 1,5 m korkeuteen kohtaan, jossa ilma on hyvin sekoittunut ja lämpötila ja hiilidioksidipitoisuus on lähellä tilan keskiarvoa. Anturi tulee asentaa niin, että kanavista tulevat kylmät tai lämpimät ilmavirrat eivät vaikuta anturiin. Tilat, joissa käy veto tai ilma seisoo, kuten ovien ja verhojen edustat sekä huoneiden kulmat, ovat huonoja sijainteja anturille. Anturi olisi sijoitettava niin, että aurinko sekä lämpöä säteilevät esineet eivät pääse lämmittämään anturia.

Ulkoseiniä tulisi välttää niiden ollessa yleensä eri lämpöisiä kuin tilassa vallitseva ilma. [7, s.5]

2.5 Energian säästö

Hiilidioksidipitoisuusohjatun ilmanvaihdon on tarkoitus vähentää jäähdytykseen ja lämmitykseen käytettyä energiamäärää. Myös puhaltimen käyttämä energia vähenee verrattuna ilmanvaihtoon, joka on toteutettu perinteisesti vakioilmavirralla, joka täyttää suunnitellun ilmavirtamäärän ilmanlaadun vaatimusten täytyessä.

Ilmanvaihdossa saavutettavaan energian säästöön vaikuttavat mm. seuraavat seikat: ilmasto, tilan käyttäjämäärä, käyttöajat sekä tilan muut rakennus- ja LVI-ominaisuudet. Suurin energia säästö saavutetaan todennäköisimmin rakennuksissa, joissa on korkeat lämmitys- tai jäähdytystarpeet, joissa käyttäjät ovat sijoittuneet tiheästi sekä käyttäjämäärät ovat hyvin ennalta arvaamattomat [4, s.41]. Seuraavat seikat ovat myös hyvien tilavaihtoehtojen ominaisuuksia:

- Ihmisten tuottama hiilidioksidi on suurin epäpuhtauslähde tilassa.
- Tilaan tiheään sijoitetut työpisteet.
- Tilan käyttäjä määrää on vaikea arvioida.
- Lämmitys- tai jäähdytyskuorma tilassa on suuri.
- Rakennuksessa on useita erilaisia tiloja erilaisineen käyttötärpeineen, -aikoineen ja ilmavirtamäärineen.

3 KENTTÄTUTKIMUS KESKISUOMALAINEN OYJ

3.1 Aholaidan kiinteistön esittely

Aholaidankiinteistö (Kuva 2) on Keskisuomalainen Oyj:n isoimpia kiinteistöjä (noin 113 000m³ ja 22 000m²). Kiinteistössä painetaan mm. Sanomalehti Keskisuomalainen ja Iltalehti. Tuotannon tilojen lisäksi kiinteistö sisältää toimistotiloja, kuljetushallin, ruokalan sekä varastotiloja. Kesällä 2011 rakennusta laajennettiin 600m²:llä toimistotilaa sekä noin 1000m²:llä varastotilaa. Kenttätutkimuksessa keskityttiin Aholaidan kiinteistön toimistotiloihin, joissa hiilidioksidipitoisuusmittaus oli käytössä.



KUVA 2. Ilmakuva Keski-suomalaisen Aholaidan kiinteistöstä

3.2 Kenttätutkimuksen tausta ja tavoite

Työ Aholaidan kiinteistössä alkoi tutkimalla, missä kohdin kiinteistössä mitataan hiilidioksidipitoisuutta ja onko havaittavissa selkeitä ilmanvaihtoongelmia kyseisissä tiloissa. Hyvin nopeasti tuli selväksi, että hiilidioksidipitoisuudet ovat melko alhaiset eri puolilla kiinteistöä, mikäli kiinteistön automaation ilmoittamiin tuloksiin on luottaminen, sillä yli 750 ppm:n hiilidioksidipitoisuuksien ilmeneminen tiloissa oli harvinaista. Mahdollisia tutkimusalueita kiinteistössä oli kuusi. Näistä kaksi aluetta vaikutti mielenkiintoiselta, koska avotoimistot, joissa henkilömäärä vaihtelee päivän aikana ja tilat ovat käytössä päiväajan lisäksi iltaisin ja viikonloppuisin, soveltuisivat tutkimukseen parhaiten. Nämä seikat puhuivat suuren mahdollisen energiansäästön puolesta, mikäli ilmastointi päivitettäisiin hiilidioksidiohjatuksi. Lopulta alueeksi valikoitui toimituksen A-osa, koska B-osassa oli opinnäytetyön ajankohtana remontti kesken, joka olisi häirinnyt opinnäytetyön tekemistä.

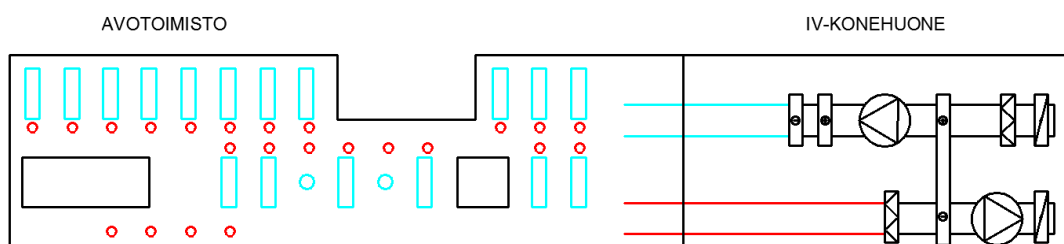
Kenttätutkimuksen tavoitteena oli selvittää nykyisen järjestelmän toimintaa ja kehittää ilmanvaihtoa energiatehokkaammaksi nykyisen järjestelmän puitteissa sekä ilmanlaadusta tinkimättä. Keinoina tähän on kiinteistössä olevan automaatiojärjestelmän avulla tehtävät muutokset IV-koneen aikaohjelmien muodossa.

3.3 Kenttätutkimus toimituksen A-osan tilassa

Tila, jossa kenttätutkimus tehdään, on Sanomalehti Keskisuomalaisen toimituksen avotoimisto. Tilassa olevia työpisteitä erottavat sermit. Kiinteitä, tilaa jakavia rakenteita tilassa ovat vessat, tulostushuone ja neuvotteluhuone. Alkuperäistä avotoimistoa on kutistettu vuonna 2006, jolloin osa toimistosta on muutettu yksittäistimistöiksi ja kahteen pienempään avotoimistoon. Pääosin tila on kuitenkin vielä avotoimistoa.

Tilassa on valokuvaajien työpisteet, sanomalehden nettisivua päivittävä uutistiski ja sanomalehden muuta toimitusta. Työpisteitä on tilassa 26 henkilölle ja tilan pinta-ala on noin 230m².

Tilan ilmanvaihto on toteutettu yhdellä ilmanvaihtokoneella (TK/PK 83). Tuleva ilma tulee kahden kanavan avulla avotoimiston 17 tuloilmapalkille ja kahdelle kattohajottajalle. Poistoilma on toteutettu 23 kappaleella KSO-125 venttiileitä, jotka on sijoitettu kolmeen poistoilmakanavaan, joiden lisäksi erillispoistoja on WC-tiloissa. Kuvassa 3 näkyy, kuinka ilmanvaihtokoneet ovat sijoitettu avotoimistoon. Avotoimiston osassa on yksi hiilidioksidipitoisuutta seuraava anturi, joka on liitetty kiinteistöautomaatiojärjestelmään. Tila on suunniteltu täyttämään sisäilmaluokka S1/S2, ja asennukset on tehty täyttämään sisäilmaluokitus 2000:n määrittämä puhtausluokka P1 [8, s. 32]. Ilmanvaihtokanaviston tulee täyttää standardin SFS 4699 luokan C vaatimukset [8, s. 36]. Ilman liike oleskelualueella ei saa ylittää 0,2 m/s ko. ilman lämpötilan ollessa +20°C eikä poikkeama piirustuksiin merkatuista ilmamääristä saa olla enemmän kuin +/- 10 % [8, s. 38].



KUVA 3. Yksinkertaistettu kuva avotoimistosta ja iv-konehuoneesta. Kuvassa tuloilmapalkit ovat esitetty sinisellä ja poistoilmaventtiilit punaisella. Mustat laatikot ovat muita tiloja kuten wc-tiloja.

3.4 Mittausjaksot

Kenttätutkimuksen mittaukset jaetaan työssä ohjaavan kolmeen eri jaksoon, joilla tutkittaisiin erilaisia asioita. Mittausjaksot olivat taulukon 2 mukaisia.

TAULUKKO 2. Mittausjaksojen sisällöt ja ajankohdat

| Mittaus nro. | Mittausjakso | Mittausaihe | Ajankohta |
|--------------|--------------------------------|--|---------------|
| 1 | Lähtökohtamittaukset | Ulkoilman hiilidioksidipitoisuus | 29-30.12.2011 |
| 2 | Lähtökohtamittaukset | Ilmanvaihdon ilmamäärät | 10-11.1.2012 |
| 3 | Lähtökohtamittaukset | Tilassa olevan anturin paikkaansa pitävyys | 9-16.1.2012 |
| 4 | Lähtökohtamittaukset | Henkilömäärän mittaus tilassa | 9-13.1.2012 |
| 5 | Anturin sijainnin tutkiminen | Toimituksen etelä päädyn hiilidioksidipitoisuuden tutkiminen | 7.3.2012 |
| 6 | Anturin sijainnin tutkiminen | Poistoilmakanavan hiilidioksidipitoisuuden tutkiminen (IV-konehuoneen kohdalta) | 8.3.2012 |
| 7 | Anturin sijainnin tutkiminen | Valokuvaajien tilan hiilidioksidipitoisuuden tutkiminen | 9.3.2012 |
| 8 | Anturin sijainnin tutkiminen | Poistoilmakanavan hiilidioksidipitoisuuden tutkiminen (toimituksen tilan kohdalta) | 23.3.2012 |
| 9 | Muutosten toteutusten seuranta | Ensimmäisen aikaohjelma muokkauksen seuranta | 8.4.2012 |
| 10 | Muutosten toteutusten seuranta | Toisen aikaohjelma muokkauksen seuranta | 15.4.2012 |

3.4.1 Lähtökohtamittaukset

Lähtökohtamittaukset aloitettiin selvittämällä ulkoilman hiilidioksidipitoisuus (mittaus nro.1) yhden vuorokauden aikana. Lähtökohtamittaukset jatkuivat tavoitteena selvittää tilassa olevan ilmanvaihdon ilmamäärät (mittaus nro.2) sekä tutkia, näyttääkö tilassa sijaitseva anturi hiilidioksidipitoisuuden oikein (mittaus nro.3). Mittausjakson viimeisen mittauksen aiheena on selvittää tilassa työskentelevien henkilöiden määrä mittauksen 4 avulla. Mittausjakso toteutettaisiin 29- 30.12.2011 ja 9-16.1.2012. Mittauksissa 1 ja 3 käytetään koululla kalibroitua hiilidioksidipitoisuuden mittaukseen tarkoitettua TSI IAQ-Calc- mittaria. Tilassa olevat tulo- ja poistoilmamäärät, jotka ilmanvaihtokone 83 tuottaa, selvitetäisiin myös koululta saatavalla TSI Airflow- mittarilla. Näin saadaan tietää, ovatko ilmamäärät samat kuin aikoinaan tilan ilmanvaihdon suunniteltujen ilmamäärien taso, jotka luovutuksen yhteydessä on mittauspöytäkirjaan ilmoitettu.

3.4.2 Hiilidioksidimittauksen anturin sijainnin tutkiminen

Toisella mittausjaksolla pyritään löytämään hiilidioksidimittauksen avulla tilassa olevalle anturille sijainti, joka antaisi todenmukaisen hiilidioksidipitoisuuden tilasta ja selvittämään tilassa olevat eroavaisuudet hiilidioksidipitoisuuksissa (mittaukset 5-8). Avotoimiston pitoisuus voi vaihdella suuresti, jos ilma ei pääse sekoittumaan kunnolla tilassa ja näin ollen mittareiden antamat arvot voivat poiketa merkittävästi tilan eri kohdissa. Vaihtoehtoja mittarin sijainnille etsitään eri puolilta avotoimistoa (mittaukset 5 ja 7) ja poistoilmakanavasta (mittaukset 6 ja 8). Tämän mittausjakson perusteella tehdään muutoksia nykyisen järjestelmän mahdollisuuksien puitteissa, joiden avulla pyritään parantamaan nykyisen järjestelmän energiatehokkuutta ja tarpeenmukaisuutta. Kohteen LVI-työselityksessä ei ole erillistä mainintaa hiilidioksidimittausanturin sijainnista, mutta koska anturi on samalla lämpötila-anturi, on sitä varten määritelty seuraavat asennusohjeet: ”Huoneanturit asennetaan 1,5...1,8 m korkeuteen huoneen muusta kalustuksesta riippuen. Anturit sijoitetaan siten, etteivät yksittäiset lämpökuormat häiritse mittausta (esim. suora auringonpaiste ikkunasta)” [8, s. 44]. Kiinteistön sähköiseen huoltokirjaan on myös lisätty käytetyn hiilidioksidi- sekä lämpötila-anturin (AQS51/61) manuaali jossa edellä mainittujen ohjeiden lisäksi on neuvottu laittamaan anturi kohtaan jossa on hyvä ilman sekoittuminen, lämpötilan ja hiilidioksidipitoisuuden ollessa lähellä tilan keskiarvoa. [7, s.5]

3.4.3 Muutoksien seuranta

Muutoksien seurannan jakson (mittaukset 9-10) tarkoitus on tarkastaa, että tehdyt muutokset aikaohjelmissa ovat parantaneet energiatehokkuutta ja tarpeenmukaisuutta, ilman että ilmanlaatu tilassa on huonontunut. Seurannassa tarkastellaan, että hiilidioksidipitoisuus pysyy halutuissa rajoissa ja kuvastaa tilassa vallitsevaa ilmanlaatua. Tilassa oleva sisäilmasto luokka S1/S2 tulee ottaa huomioon ja varmistaa luokituksen vaatimusten täyttyminen tehdyillä muutoksilla.

3.5 Toteutus

3.5.1 Tutkimuslaitteet

Hiilidioksidipitoisuuden tutkimiseen (mittaukset 1,3,5-8) käytin TSI IAQ-Calc – mittaria, jonka tuloksia vertailtiin automaatiojärjestelmään kytkettyyn tilassa olevan anturiin. Mittariin asetettiin ennen mittauksen aloittamista vallitseva ilmanpaine ja automaatiojärjestelmän kellonaika, jotta tulokset ovat vertailukelpoisia. Mittari kalibroitiin koululla käyttämällä merkkikaasuja (0 ppm ja 1000 ppm) laboratorioinsinööri Keijo Piiraisen ohjauksessa 21.12.2011.

Ilmamäärämittaukset (mittaus 2) suoritettiin käyttäen TSI Airflow -mittaria, jolla mitattiin jokaisen päätelaitteen, joka tilaan vaikuttaa, tuoma ilmamäärä. Mittari ilmoittaa paine-eron, jonka kertominen päätelaitteen valmistajan ilmoittamalla korjauskertoimella, antaa päätelaitteen läpivirtaavan ilmamäärän.

Avotoimistossa työskentelevää työntekijä määrää (mittaus 4) seurattaisiin laskemalla henkilöiden määrä jokaisen tunnin aikana maanantaista perjantaihin klo 7-15. Näin saatiin tietoa tiloissa olevista henkilömääristä ja siitä kuinka ne päivän aikana jakautuvat.

3.5.2 Mittaukset

Lähtökohtamittauksia tehtiin 29- 30.12.2011 ja 9-16.1.2012. Joulukuussa 2011 mitattiin tulevan ulkoilman hiilidioksidipitoisuus (mittaus 1), koska haluttiin tietää, vaikuttaako kiinteistön sijainti moottoriteiden solmukohdan läheisyydessä tulevan ilman

laatuun. Mittaus suoritettiin vuorokauden mittaisena mittausjaksona asettamalla mittari tuloilmakoneen ulkoilmakanavaan ennen varsinaista ilmanvaihtokonetta.

Tammikuun mittausviikolla tarkistettiin myös tilan ilmoitettujen ilmamäärien paikkaansa pitävyyden (mittaus 2). Kaikki avotoimistoon vaikuttavat tulo- ja poistoilmalimien (esitetty kuvassa 3) ilmamäärät mitattiin koululta saadulta TSI- Airflow- mittarilla.

Tammikuun mittausviikolla selvitettiin myös, pitävätkö nykyisen hiilidioksidipitoisuusmittarin antamat arvot paikkaansa (mittaus 3). Tämän mittauksen suoritimme laittamalla mittari viikoksi (9.1.2012 klo 6:50 – 16.1.2012 klo 8) nykyisen avotoimistossa sijaitsevan anturin viereen ja vertailemalla mittarin antamia tuloksia kiinteistöautomaation ilmoittamiin arvoihin (Kuva 4).

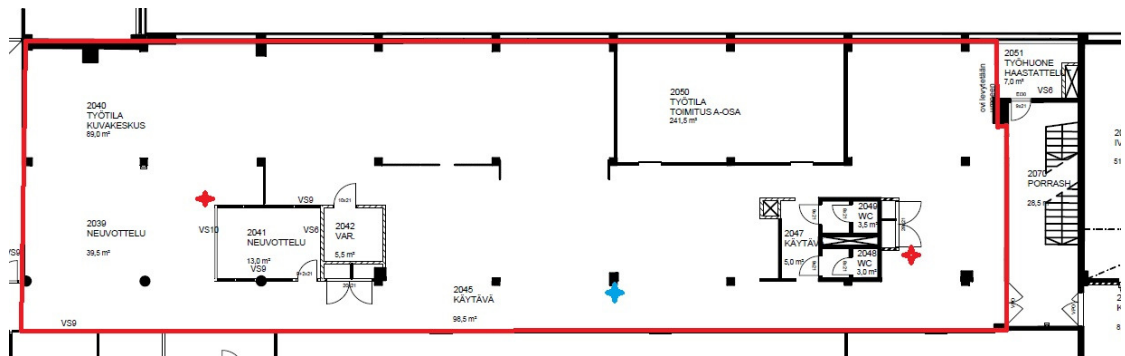


KUVA 4. Mittauksen 3, mittausjärjestely

Jotta saisimme tietoa työntekijöiden määrästä tilassa, suoritimme mittauksen 4. Mittauksessa 4, laskimme avotoimiston tilassa työskentelevien ihmisten määrän tunnin välein maanantaista perjantaihin klo 7-15.

Hiilidioksidianturin käyttäminen ilmanvaihdon ohjaamiseen onnistuneesti vaatii, että saatu pitoisuus on paikkansa pitävä. Tämän lisäksi on huomioitava erot hiilidioksidipitoisuuksissa tilan eri osissa. Avotoimistoon, jota tutkittiin, oli sijoitettu vain yksi hiili-

dioksidianturi kiinteistöautomaatiojärjestelmään (kuva 5). Vaikka anturi oli mielestäni kohtuullisella paikalla, oli selvitetävää erot tilan eri osien välillä, jotta mahdolliset poikkeamat saataisiin selvitettyä. Mittauksilla 5 ja 7 haluttiin mitata toimiston eri osien pitoisuuksia niiden ollessa kaukaisimpia pisteitä nykyiseltä anturilta. Toinen seikka miksi nämä pisteet valikoituivat mittauspisteiksi, oli niiden lähettävillä olevat wc ym. tiloista tulevat rakenteelliset esteet, jotka saattaisi vaikuttaa ilman sekoittumiseen ja näin ollen ilman hiilidioksidipitoisuuteen. Näitä vertailemalla paikallaan olevan, kiinteistöautomaatiojärjestelmään kytketyn anturin ilmoittamiin arvoihin saadaan selville, voitaisiinko automaatiojärjestelmään kytkettyä anturia käyttää jatkossa ilmanvaihdon ohjaamiseen.



KUVA 5. Kenttämittauksen avotoimisto sekä mittauspisteet, jossa oikeanpuoleinen punainen rasti on mittauksen 5 kohta ja vasemmanpuoleinen punainen rasti mittauksen 7 kohta. Sininen rasti esittää tilassa olevan anturin sijaintia.

Vertailupaikkoja otettiin toimiston eri kohtien lisäksi ilmanvaihdon poistokanavasta (mittaukset 6 ja 8). Poistokanavasta saatua mittausta hyödynnetään, koska sen ilmoittama arvo tulisi olla lähellä tilan hiilidioksidipitoisuuden keskiarvoa. Mittaus 6 toteutettiin laittamalla mittari iv-konehuoneeseen tulevaan poistoilmakanavaan, siinä olevan lämpötilamittarin tilalle (kuva 7). Mittaus 8 suoritettiin laittamalla mittari avotoimiston tilassa olevan viimeisen poistoilmaventtiilin jälkeen poistoilmakanavaan. Kuvassa 5 näkyy mittauksiin 5 ja 7 valitut mittauspisteet sekä kiinteistöautomaatioanturin sijainti. Pisteissä otettiin huomioon tuloilmakojeiden-, työpisteiden-, ikkunoiden- ja ulkoseinien sijainti, jotta niiden mahdollinen häiriö olisi mahdollisimman vähäinen [4, s. 21].



KUVA 6. Mittauksen 5 mittausjärjestely



KUVA 7. Mittauksen 6 mittausjärjestely

Mittaus 7 suoritettiin valokuvaajien työtilasta, joka näkyy kuvassa 3, vasemmanpuoleisena punaisena rastina. Mittauksen arvioitiin tuovan ilmi eri tuloksia kuin kiinteistöautomaatio järjestelmän anturi, koska näiden kahden mittauspisteen välillä on wc-tiloja ja neuvotteluhuone. Valokuvaajien työtilassa on joskus paljonkin työntekijöitä samaan aikaan, joten arvojen oletettiin vaihtelevan suuresti päivän aikana. Mittari sijoitettiin niin että tuloilmapäätteet ja työpisteet olivat mahdollisimman kaukana mittauspisteestä.



KUVA 8. Mittauksen 7 mittausjärjestely

3.5.3 Muutosten tekeminen mittauksen 1-8 perusteella

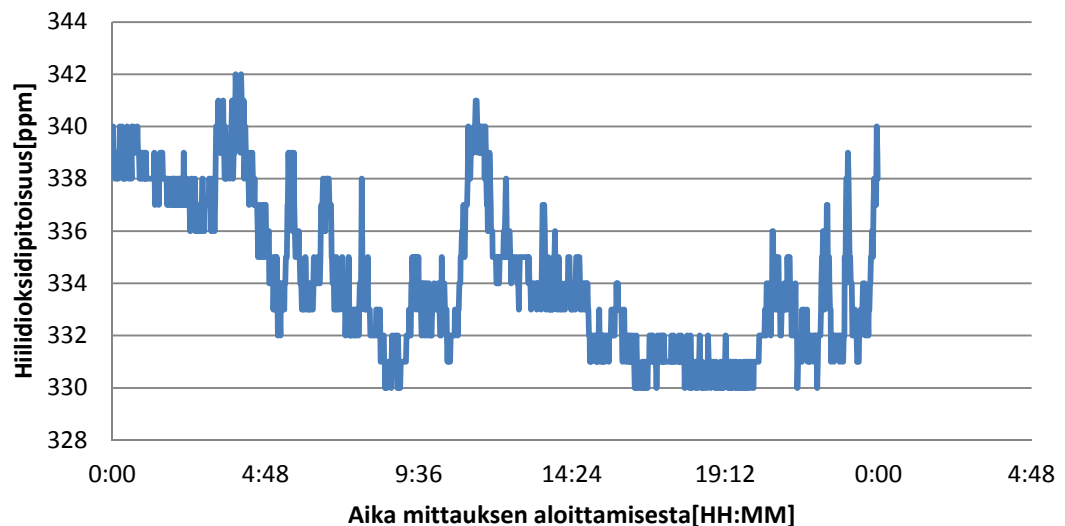
Kun mittaukset oli tehty, ruvettiin suunnittelemaan mahdollisia muutoksia ilmanvaihdossa ja sen ohjauksessa. Mittauksen 3 ja 4 tuloksien avulla saimme käsityksen viikon työajoista avotoimistossa. Mahdolliset muutokset tehtäisiin nykyisen järjestelmän mahdollisuuksien mukaan. Tämä tarkoitti ilmanvaihtoa koskevien säätöjen olevan kiinteistöautomaation osalta aikaohjelmiin perehtymistä, sillä mahdolliset muutokset tehtäisiin aikaohjelmiin. Aikaohjelmilla voidaan asettaa jokaiselle viikonpäivälle haluttu koneen käyntiaika. Tämän lisäksi automaatiojärjestelmän avulla aikaohjelmissa oli vaihtoehto yöhuhtelu ja hidas/nopea puhallus. Yöhuhtelu toiminto laitettiin päälle ajalle, jolloin kone on muuten pysähdyksissä. Yöhuhtelu huuhtelee tilan kesäisin, kun automaatioon syötetyt lämpötilojen raja-arvot täyttyvät. Keski-suomalaisen kiinteistössä asetus on vähintään $+13^{\circ}\text{C}$ ulkolämpötila sekä vähintään $+24^{\circ}\text{C}$ sisälämpötila. Näiden lisäksi sisä- ja ulkolämpötilaeron on oltava vähintään 3°C . Tällöin IV-kone pystyy jäähdyttämään vähintään $+24^{\circ}\text{C}$ lämpöistä tilaa viileämmällä ulkoilmalla. Mittauksen 3 ja 4 sekä tarkkailemalla muita viikkoja joilla ei ole arkipyhiä, saatiin kuva työajoista myös viikonloppujen osalta ja näin ollen aikaohjelmiin uskallettaisiin ruveta tekemään muutoksia. Mittauksen 3 sekä mittauksien 5-8 jälkeen tiedettiin myös kiinteistössä olevan anturin olevan kelvollinen antamaan luotettavaa tietoa tilan hiilidioksidipitoisuudesta. Aikaisempien mittauksen perusteella päätettiin iv-koneen käyntiajat muokata 1.4.2012, jolloin kone olisi pysähtyneenä öisin ja pelkät kohdepoistot wc-

tiloissa olisivat päällä. Tämän perusteena on, että totesimme toimituksen poistuvan tiloista noin klo 24. Ennen muutoksia kone kävi ympäri vuorokauden, josta johtuen oletuksena oli, että tilassa työskennellään ympäri vuorokauden. Aikaohjelman annettiin pyöriä viikko, jonka jälkeen aikaohjelman vaikutusta tarkasteltiin ja tehtiin muutoksia (8.4.2012). Aikaohjelmasta tuli taulukon 4 mukainen. Puhaltimen pyörimisnopeuteen ei tehty muutoksia ja kone pyörii vain yhdellä teholla, jolloin muutokset rajoittuvat käyntiaikoihin.

4 TULOKSET

4.1 Ulkoilman hiilidioksidipitoisuus (mittaus 1)

Ulkoilman hiilidioksidipitoisuutta tutkittiin laittamalla mittarin vuorokaudeksi (29.12.2011- 30.12.2011) ulkoilmakanavaan. Mittauksella nro 1 pyrittiin selvittämään, miten kiinteistön sijainti moottoriteiden läheisyydessä vaikuttaa tulevan ulkoilman hiilidioksidipitoisuuteen. Mittaus suoritettiin arkipäivänä. Mittauksessa selvisi, että moottoritien läheisyys ei vaikuta negatiivisesti otetun ulkoilman hiilidioksidipitoisuuteen ainakaan tämän iv-koneen osalta arvojen ollessa 330- 342 ppm (kuva 9). Yleensä ulkoilman pitoisuutena pidetään noin 350-380 ppm [4, s. 6].



KUVA 9. Mittauksen 1 tulokset. Ulkoilman hiilidioksidipitoisuus 29.12.2011 klo 9 – 30.12.2011 klo 9

4.2 Tilan ilmamäärien mittausta (mittaus2)

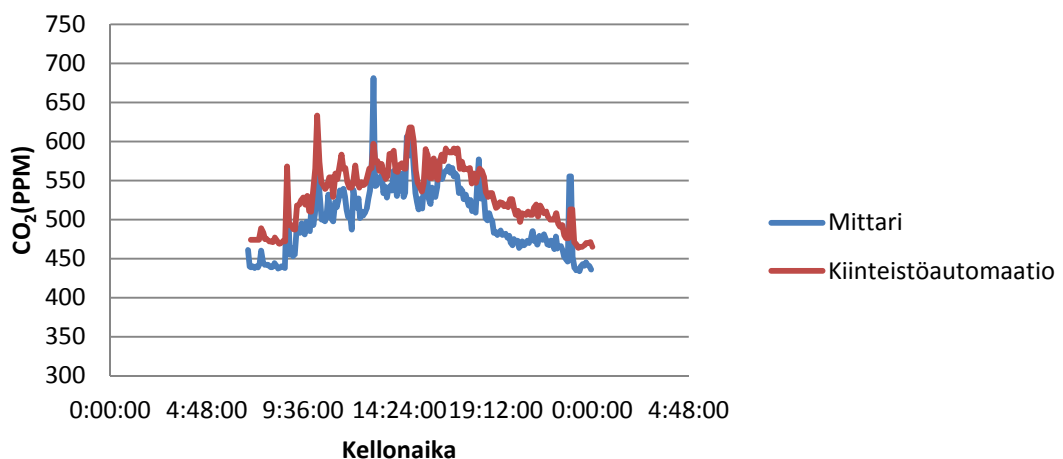
Tilaan TK/PK83 -ilmanvaihtokoneelta tulevat ja poistuvat ilmamäärät avotoimistoon mitattiin jokaiselta päätelaitteelta ja tulokseksi saatiin seuraavat summat (taulukko 3).

TAULUKKO 3. Avotoimiston ilmamäärät

| | Mitattu [dm ³ /s] | Suunniteltu[dm ³ /s] |
|--------|------------------------------|---------------------------------|
| Tulo | 549,8 | 505 |
| Poisto | 592,5 | 690 |

4.3 Automaatiojärjestelmään paikkaansa pitävyyden arviointi (mittaus 3)

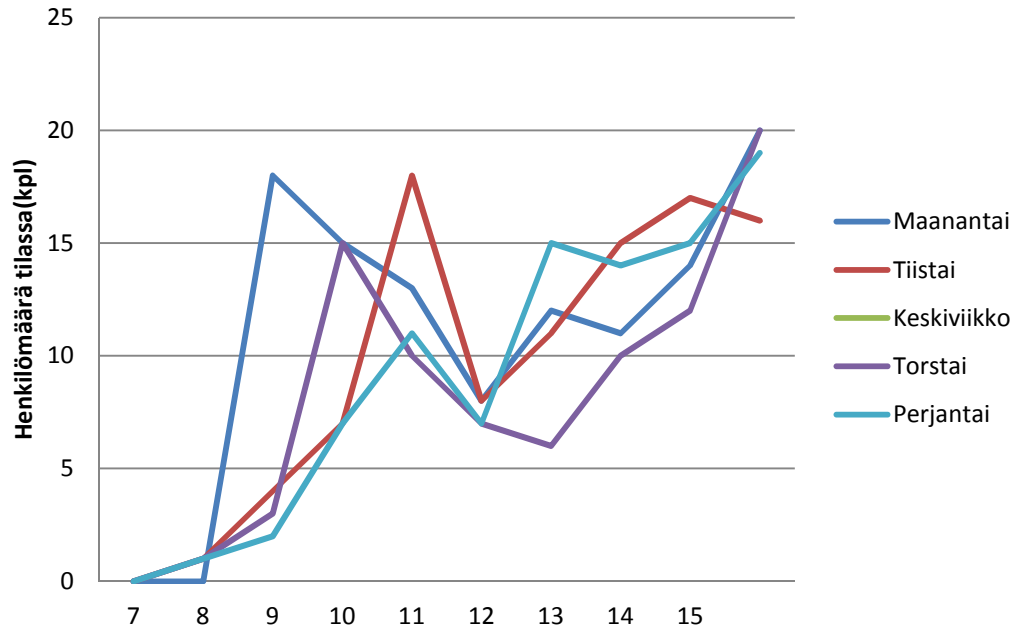
Automaatiojärjestelmän CO₂-anturin lukemaa verrattiin kalibroituun mittariin. Tuloksista voidaan päätellä, että kiinteistöautomaatiojärjestelmä näyttää noin 30 ppm enemmän kuin kalibroitu mittari. Mittauksista kehitetyt kaaviot näyttävät, että reagointi vaihteluille on molemmilla mittareilla lähes identtinen. Kuvassa 10 näkyy maanantain mittaustulokset. Mittarin mittaustarkkuuden ollessa ±50ppm voidaan kiinteistöautomaation anturin ilmoittamaa lukemaa pitää luotettavana.



KUVA 10. Mittauksen 3 tulokset. Rakennusautomaatiojärjestelmän CO₂-anturin vertailu kalibroituun CO₂-anturiin maanantain 9.1.2012 osalta klo 7-24.

4.4 Henkilömäärän mittaus tilassa (mittaus 4)

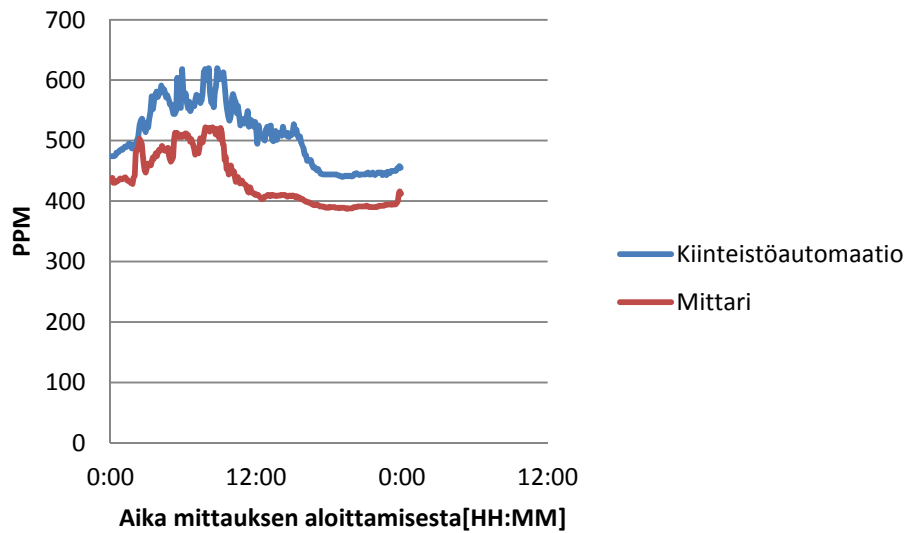
Tilassa oleva henkilömäärä laskettiin joka tunti klo 7-15. Tiedoista laadittiin kuvassa 11 näkyvä tilasto.



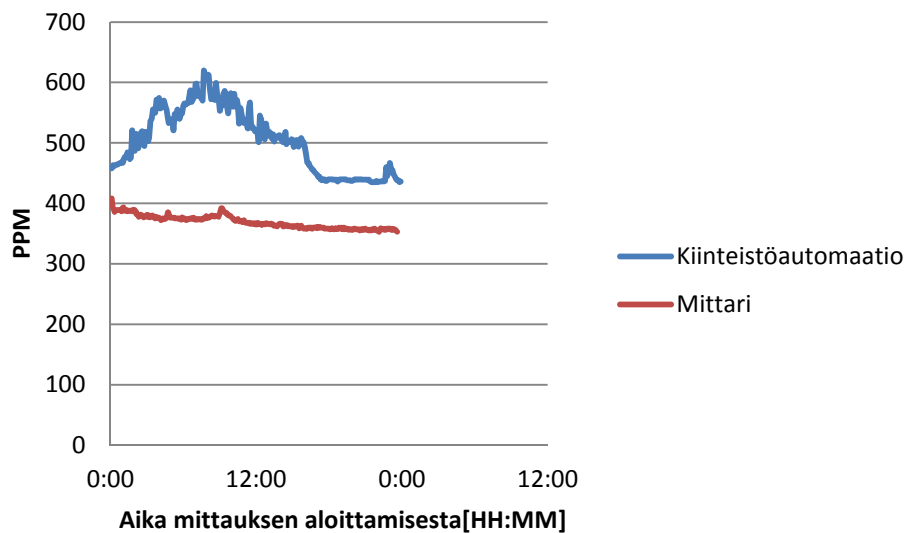
KUVA 11. Mittauksen 4 tulokset. Henkilömäärä tilassa viikolla 2 klo 7-16.

4.5 Hiilidioksidipitoisuudet toimiston eri kohdissa (mittaukset 5-8)

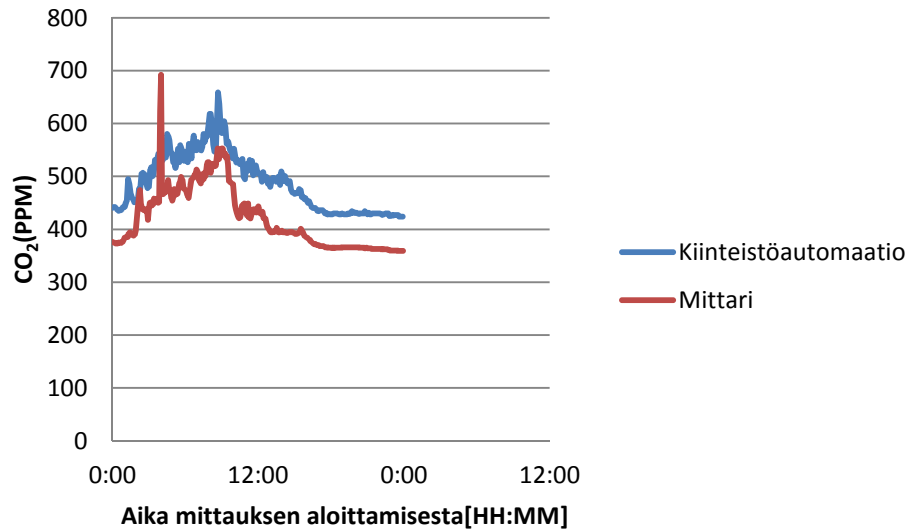
Jotta tiedettäisiin, onko automaatiojärjestelmään liitetty anturi kelvollinen antamiensa arvojen osalta ohjaamaan ilmanvaihtoa tilassa vai ovatko vaihtelut tilan eri osissa niin suuria, että tarvittaisiin esimerkiksi useampi anturi, joiden keskiarvoa käytettäisiin ohjaamaan ilmanvaihtoa, poistoilmakanavaan sijoitettua anturia kokeiltiin myös. Poistoilmakanavaan sijoitettuna anturin pitäisi antaa tilan hiilidioksidipitoisuuden keskiarvoa kuvaavia lukemia. Poistoilmakanavasta otettiin 2 mittausta (mittaus 6 ja 8), joista mittausta 6 otettiin IV-konehuoneen puolelta poistoilmakanavasta ja mittausta 8 avotoimiston puolelta, viimeisen poistoilmalimen jälkeen poistoilmakanavasta.



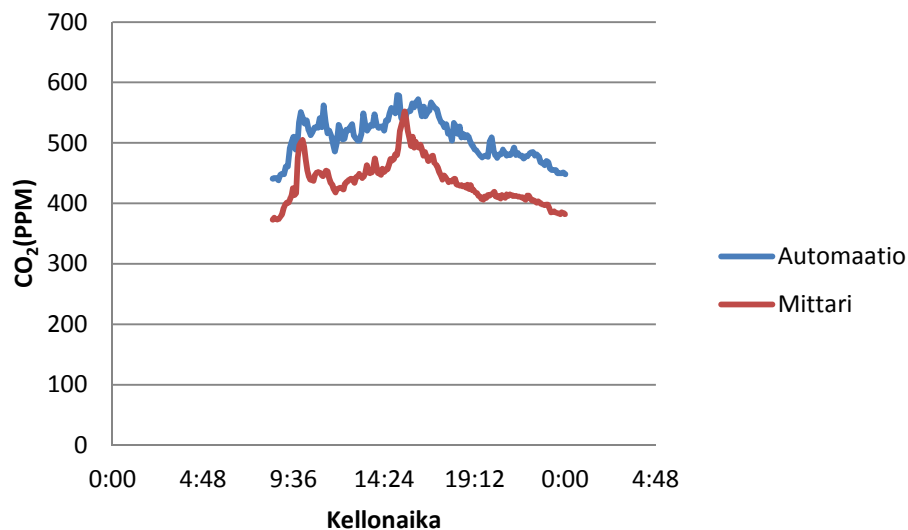
KUVA 12. Mittauksen 5 tulokset. Toimituksen eteläpään CO₂-pitoisuuden tutkiminen 7.3.2012 klo 7 – 8.3.2012 klo 7.



KUVA 13. Mittauksen 6 tulokset. Poistoilmakanavan CO₂-pitoisuuden tutkiminen IV-konehuoneen kohdalta 8.3.2012 klo 7 – 9.3.2012 klo 7.



KUVA 14. Mittauksen 7 tulokset. Valokuvaajien tilan CO₂-pitoisuus 9.3 klo 7 – 10.3 klo 7.



KUVA 15. Mittauksen 8 tulokset. Poistoilmakanavan hiilidioksidipitoisuuden vertaaminen automaatiojärjestelmän ilmoittamaan pitoisuuteen 23.3.2012 klo 8:30 – 24:00.

4.6 Muutosten seuranta

1.4. tehtyjen muutoksien jälkeen tarkasteltiin päivien hiilidioksidipitoisuuksia ja korkeimpien hiilidioksidipitoisuuden ajankohtia. Tulokset on esitetty taulukossa 5 siten, että viikon ajalta on klo 6-10, joka tunnin korkeimmista pitoisuuksista laskettu keskiarvo (mittauspöytäkirja ks. liite 4). Viikkoa 13 käytettiin vertailu viikkona, koska tuolloin koneelle kävi ympäri vuorokauden.

TAULUKKO 4. 1.4.2012 luotu aikaohjelma

| | | | |
|------------|-------------|-------------|-------------|
| Päivä | Ma-Pe | La | Su |
| Käyntiaika | 06:00-01:30 | 09:00-01:30 | 09:00-01:30 |

TAULUKKO 5. Ensimmäisen aikaohjelman vaikutus hiilidioksidipitoisuuksiin (ma - pe)

| Maksimi CO ₂ [PPM] | KLO 6-7 | KLO 7-8 | KLO 8-9 | KLO 9-10 |
|-------------------------------|---------|---------|---------|----------|
| Viikko 13 | 432 | 439 | 453 | 501 |
| Viikko 14 | 437 | 437 | 462 | 506 |

8.4. tehtiin toinen aikaohjelma (Taulukko 6), jonka seurauksia tarkasteltiin viikon päästä muutoksien tekemisestä. Taulukossa 7 on esitetty siten, että viikon ajalta on klo 6-10 joka tunnin korkeimmista pitoisuuksista laskettu keskiarvo (mittauspöytäkirja ks. liite 4). Tuloksena voidaan todeta, että aikaohjelman vaikutus on keskimäärin noin 10 ppm korkeammat arvot arkaamujen pitoisuuksissa.

TAULUKKO 6. 8.4.2012 luotu aikaohjelma

| | | | |
|------------|-------------|-------------|-------------|
| Päivä | Ma-Pe | La | Su |
| Käyntiaika | 06:00-01:00 | 09:00-01:00 | 09:00-01:00 |

TAULUKKO 7. Toisen aikaohjelman vaikutus hiilidioksidipitoisuuksiin (ma - pe)

| Maksimi CO ₂ [PPM] | KLO 6-7 | KLO 7-8 | KLO 8-9 | KLO 9-10 |
|-------------------------------|---------|---------|---------|----------|
| Viikko 13 | 432 | 439 | 453 | 501 |
| Viikko 15 | 440 | 452 | 465 | 508 |

Aikaohjelmien vaikutusta viikonlopun hiilidioksidipitoisuuksiin aamusta saatiin seuraavat tulokset (taulukko 8). Tuloksena voidaan todeta pitoisuuksien nousseen enimmillään noin 12 ppm.

TAULUKKO 8. Aikaohjelmien vaikutukset viikonloppu aamujen CO₂-pitoisuuksiin.

| Maksimi CO ₂ [PPM] | KLO 9-10 | KLO 10-11 | KLO 11-12 | KLO 12-13 |
|----------------------------------|----------|-----------|-----------|-----------|
| Viikko 13 | 423 | 423 | 441 | 439 |
| Viikko 14 | 429 | 430 | 440 | 453 |
| Viikko 15 | 428 | 431 | 439 | 451 |

5 TULOSTEN LUOTETTAVUUDEN ARVIONTI

Ulkoilman hiilidioksidipitoisuuden mittauksen tuloksiksi saatiin 330- 342 ppm. Tulos yllätti sillä arvioimme valtatie 9 eli E63 ja valtatie 4 eli E75 solmukohtaan joka sijaitsee kiinteistön välittömässä läheisyydessä, aiheuttavan korkeampia hiilidioksidipitoisuuksia. Ulkoilman hiilidioksidipitoisuutena pidetään yleensä noin 350- 380 ppm, joten saamamme tulos on oikean tasoinen ja pidän tulosta luotettavana [4, s.6].

Ilmanvaihdon ilmamäärämittauksista kävi ilmi, että kun avotoimistosta on muutettu vuoden 2004 remontin jälkeen, josta suunnitelmat olivat, on ilmamääriä säädetty vastaamaan paremmin nykyistä tilannetta. Avotoimistosta on otettu noin kolmasosan kokoinen kohta omaksi osastokseen, johon on lisätty poistoilmanvaihtoa koska entiset poistoilmaventtiilit jäivät avotoimiston puolelle. Suurimmat erot tuloilmakojeiden ilmamäärissä johtuivat työpisteiden sijainnin vaihdoista vuoden 2004 jälkeen. Vaihtaessa paikkaa toimistossa on osa kojeista sijoittunut niin, että saattavat aiheuttaa vedon tunnetta. Tällaisien kojeiden ilmamääriä on vähennetty ja vuorostaan lisätty viereiselle palkille, joka on sijoitettu paremmin työpisteeseen nähden. Tuloilmanvaihto kuitenkin täyttää Suomen Rakentamismääräyskokoelman osan D2 kohdan 4.1.2.4 antaman arvon ± 20 % sallitusta poikkeamasta huoneen suunnitellusta arvosta ollessa mittausten mukaan 107,9 % ($549,2 \text{ dm}^3/\text{s}$) suunnitellusta. Poistoilmanvaihdon ollessa 85,9 % ($592,8 \text{ dm}^3/\text{s}$) suunnitellusta ilmamäärästä, poistoilmanvaihto on näin ollen noin 7,3 % suurempi kuin tuloilmanvaihto.

Mittauksen 3 tuloksena saatiin tasaista 30 ppm pienempää hiilidioksidipitoisuutta kuin mitä kiinteistönautomaatiojärjestelmä näytti tilassa olevan anturin avulla. Mittarin (TSI- IAQ- mittari) valmistajan mukaan mittarin mittaustarkkuus on ± 50 ppm, joten saadun tuloksen perusteella tilassa olevaa anturia voitiin jatkossa käyttää luotettavana vertauskohtana.

Henkilömäärän mittaamista tilassa toteutettiin mittauksen 4 avulla. Mittauksessa selvisi että aamulla tilassa on klo 7 vain siivooja ja uutistiskin toimittaja. Aamu kahdeksasta eteenpäin tulevat loput työntekijät jotka tekevät ns. päivävuoroa. Klo 11 aikaan on havaittavissa ruokatunnin vaikutus, jonka aikana tiloissa oli alle 10 ihmistä. Mittauksen 3 ja 4 avulla saatiin selville, että suurimmat hiilidioksidipitoisuudet ja työntekijöiden määrä ajoittuu noin klo 15- 17. Mittauksen 4 tulokset ovat suuntaa antavia sillä huomasimme, että saman tunnin aikana ihmismäärä voi vaihdella suuresti. Muualla kuin avotoimistossa tapahtuvat neuvottelut ja toimittajien haastattelut aiheuttavat sen, että saman tunnin aikana henkilömäärä voi vaihdella tilassa huomattavasti. Mittauksen 3 avulla määrittelimme, että toimitus tyhjenee aikavälillä klo 23- 01 yöllä. Tämän seurauksena hiilidioksidipitoisuus putoaa nopeasti lähemmäksi ulkoilman hiilidioksidipitoisuutta. Toinen seikka, joka kävi ilmi mittauksesta 3, oli, kuinka ihmisten hetkittäinen mittarin lähellä oleminen aiheuttaa hetkellisesti korkeita hiilidioksidipitoisuuksia. Tällaisten välttämiseksi on käytettävä aikavakiota, joka on tarpeeksi pitkä häivyttämään hetkelliset virheelliset pitoisuudet, mikäli anturi käytettäisiin ohjaamaan ilmanvaihtoa. Toinen tapa olisi käyttää useamman anturin keskiarvoa, jolla ohjaus suoritettaisiin.

Mittauksissa 5 ja 7 tutkittiin hiilidioksidipitoisuuksia toimituksen eri osissa. Näissä kahdessa mittauksessa kävi ilmi, että tilassa oleva anturi näytti suurinta hiilidioksidipitoisuutta vaikkakin erotus mittauksissa 5 ja 7 oli välillä 0-100 ppm.

Poistoilmakanavasta hiilidioksidipitoisuutta mitattaessa tarkoitus oli aluksi suorittaa vain mittaus 6. Mittauksen 6 tuloksien perusteella epäiltiin mittauksessa tapahtuneen jokin häiriö, sillä tulos oli tasaista, lähellä ulkoilman hiilidioksidipitoisuutta olevaa tulosta. Syy tähän saattoi olla tiivistämätön reikä, johon mittari asetettiin, jonka seurauksena konehuoneessa oleva matalalla hiilidioksidipitoisuudella oleva ilma virtasi reiästä vaikuttaen anturiin ja näin ollen tuloksiin. Tämän seurauksena mietittiin toisenlaista toteutustapaa suorittaa tämä mittaus. Mittaus päätettiin suorittaa laittamalla mittari kokonaan kanavan sisälle. Viimeinen poistoilmaventtiili ennen ilmanvaihtokonetta irrotettiin, jotta mittari saatiin asetettua kanavaan noin puoli metriä venttiilistä iv-koneeseen päin. Tämän jälkeen venttiili laitettiin takaisin paikoilleen ja mittari mittasi pitoisuutta niin kauan kuin pattereissa riitti virtaa. Tulokseksi saatiin huomattavasti luotettavimmat arvot. Mittauksen perusteella hiilidioksidipitoisuuden korkeimmat

arvot ilmenee aamupäivästä klo 10:04 ja iltapäivästä klo 15:29. Suurimmaksi osaksi päivää pitoisuus on kuitenkin 400- 500 ppm, joka viittaa tarpeettoman suureen ilmanvaihtoon.

Aikaohjelmat koskien TK/PK 83 ilmanvaihtokoneita säädettiin vastaamaan paremmin tilan ilmanvaihtotarvetta. Muutoksien jälkeen erot suurimpien pitoisuuksien ajankohdissa ja pitoisuuksissa olivat hyvin pieniä. Tämä tarkoittaa, että säätö on onnistunut ja säätö ei ole vaikuttanut ajankohtiin, joissa ilmanvaihtoa ei olisi saanut vähentää. Toisaalta ilmanvaihtoa olisi pelkkien hiilidioksidipitoisuuksien perusteella voinut vielä säätää lyhyemmälle aikavälille, mutta sisäilmaluokituksen 2008 määritelmien mukaan ilmanvaihtoa pienennettäessä yöajaksi, täytyy ilmanvaihto laittaa normaalille teholle hyvissä ajoin jotta LVI-työselityksessä määritelty S1/S2 luokitus täyttyy avotoimistossa. Yön aikana tilassa on käytössä vessojen kohdepoistot sekä yöhuuhtelu, jonka automaatio ohjaa tarpeen mukaan.

6 POHDINTA

Työn valmistuttua työn tilaaja Keski-suomalainen Oyj sai kuvan toimituksen avotoimiston ilmanvaihdon nykyisestä tilanteesta. Ilmamäärät tilassa olivat pysyneet asetuissa arvoissa. Avotoimiston CO₂-anturin lukemiin voidaan pitää riittävän tarkkana lukemana antamaan tietoa avotoimiston ilmanlaadusta. Ilmanvaihdon ollessa toteutettu nykyisellä tavalla on energian säästäminen TK/PK 83- ilmanvaihtokoneen osalta rajattu aikaohjelman avulla tehtäviin muutoksiin. Seuraavan kerran, kun ilmanvaihtoa saneerataan, olisi ilmamääräsäätöjärjestelmä harkitsemisen arvoinen. Sen avulla mm. toimituksen aamun sekä illan tarpeettoman suurta ilmanvaihtoa saataisiin vastaamaan paremmin tarvetta. Samalla muissa tiloissa, joihin kone vaikuttaa, saataisiin karsittua tarpeettoman suurta ilmanvaihtoa. Työn tuloksena IV-koneen käyttötunnit vähenivät viikossa 41 tuntia. Tämä tekee noin 24,4 % säästön verrattuna aikaisempaan koneen käyttötapaan. Pitoisuudet ilman CO₂-pitoisuudessa kasvoivat noin 10- 12 ppm aamun tunteina verrattuna aikaisempaan käyttötapaan. Kiinteistöautomaatiojärjestelmään kytketyt ilmanvaihtokoneet ja niiden aikaohjelmat olisi syytä käydä läpi. Tällaisia koneita, jotka ovat päällä ympärivuorokauden, ei kuuluisi olla, mikäli tilat eivät ole ympäri vuorokauden käytössä.

Itselleni työ opetti paljon ilmanvaihdosta ja sen toteutustavoista liiketiloissa. Työn aikana opin paljon CO₂-ohjatuista ilmanvaihtojärjestelmistä, kiinteistöautomaatiosta sekä ilmanlaatumittauksista. CO₂- ohjattu ilmanvaihto varmasti yleistyy lähivuosina Suomessa ja toivon työn antavan tietoa CO₂- ohjatusta ilmanvaihdosta sitä kaipaaville. Työn avulla sain käsityksen tiloista, joihin järjestelmä on kannattava laittaa, sekä mitä kyseisen järjestelmän oikein toimiminen vaatii. Tiloja, joiden käyttö on säännöllistä, on syytä harkita edullisempia vaihtoehtoja tarpeenmukaisen ilmanvaihdon toteuttamiseen. Tällaisen tilan kohdalla voi harkita ilmanvaihdon ohjaamista muilla keinoilla kuten esim. aikaohjaus, jolloin CO₂- antureiden hinta on säästettävissä. Kiinteistöautomaatio on mainio tapa saada tietoa tilasta sekä säätää siihen vaikuttavia järjestelmiä. On kuitenkin muistettava, että järjestelmä vaatii opettelua ja vain koulutettu henkilö saa hyötyä kiinteistöautomaation antamista mahdollisuuksista.

LÄHTEET

1. Valvira. Epäorgaaniset yhdisteet. Verkkodokumentti.
Päivitetty 17.4.2012. Luettu 17.4.2012.
2. Ympäristöministeriö. Suomen rakentamismääräyskokoelma osa D2(2012):
Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto, määräykset ja ohjeet, Helsinki 2011.
3. Sisäilmayhdistys. Kemialliset epäpuhtaudet. Verkkodokumentti.
Päivitetty 2008. Luettu 26.1.2012
4. Emmerich, Persily 2001. State-of-the-Art Review of CO₂ Demand Controlled
Ventilation Technology and Application.
5. Schell, Inthout 2001. ASHRAE journal: Demand Control Ventilation using
CO₂
6. Honeywell AQS51/61. Tekninen esite CO₂-anturi
7. LVI-Työselitys KISA 2004 Laajennus ja muutos LVI-Ins. tsto Lindroos Oy
8. Sisäilmayhdistys. Sisäilmastoluokitus 2008.

Mittarin kalibrointitodistus



KALIBROINTITODISTUS
Nro: 2011-12-21

Keijo Piirainen
Mikkelin Ammattikorkeakoulu
LVI-laboratorio

Kalibroitava laite

| | |
|--------------|---------------------|
| Laite Tyyppi | TSI |
| Model: | IAQ-CALC |
| Sarjanumero: | 7535 T7535094002 |

Mittalaitteen tehdaskalibrointi

21 January 2009

Kalibrointilaite

Kalibrointikaasut: Detector salkkukalibrointilaitteisto

Typpeä (99.999%), jossa 0 ppm hiilidioksidia
CO2/AIR, jossa 1000 ppm hiilidioksidia

Tarkkuus

± 2% tai 2 ppm kumpi suurempi (Kalibrointikaasujen)

Kalibroitava mittalaite TSI IAQ-CALC on kalibroitu kahden pisteen kalibroinnilla käyttäen 0 ja 1000 ppm:n tyypikaasua.

Kalibroijat:

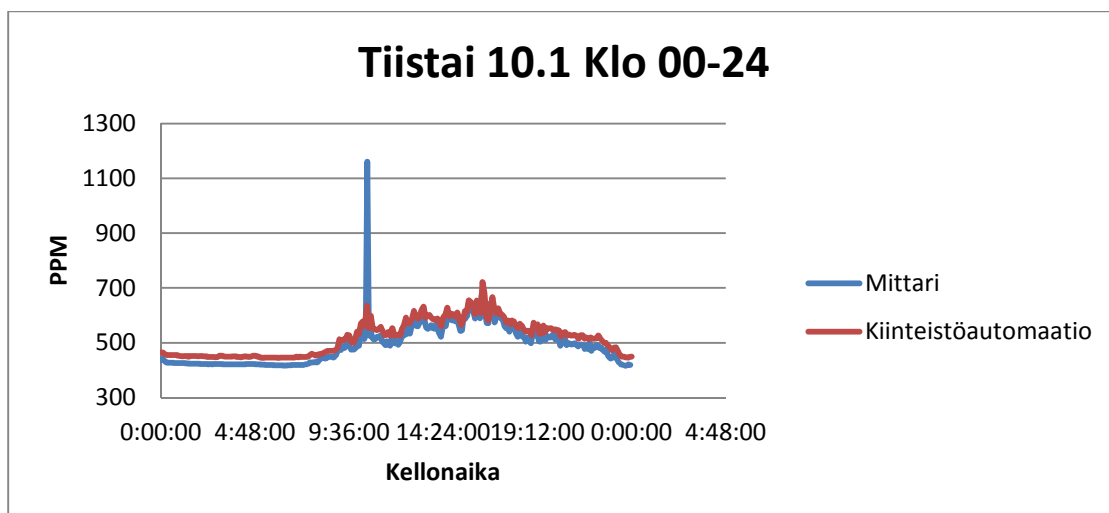
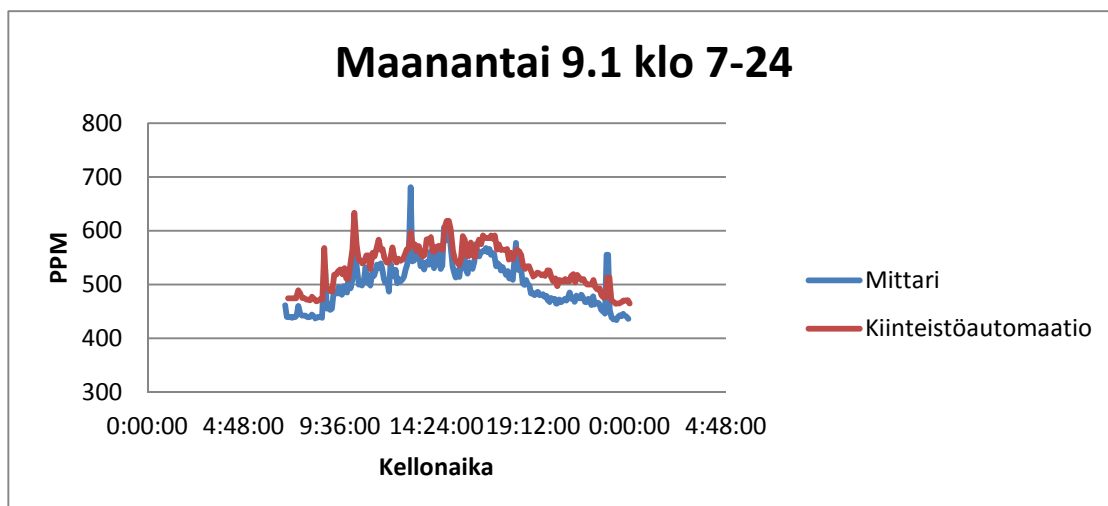
Keijo Piirainen, Laboratorioinsinööri Ville Raitava, LVI-insinööriopiskelija

Seuraava kalibrointi:

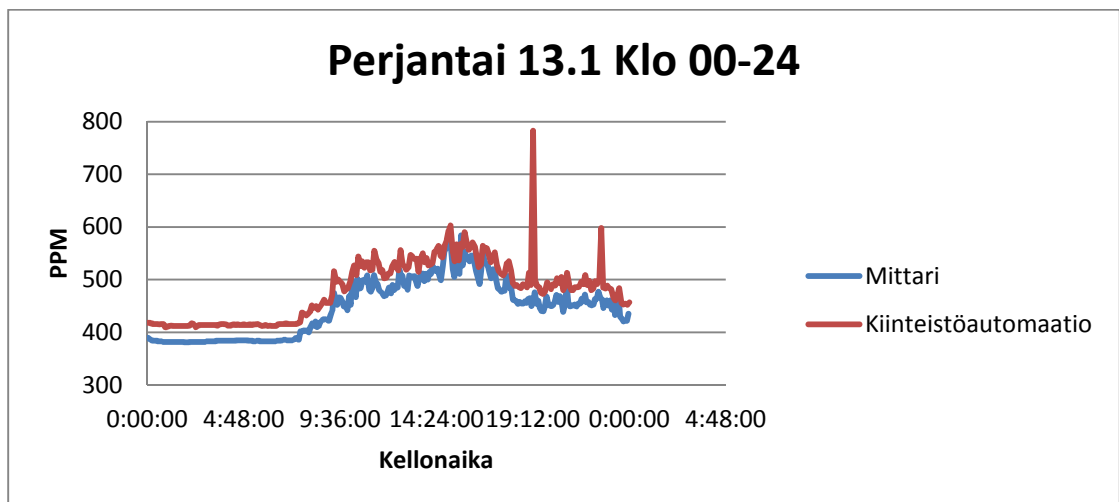
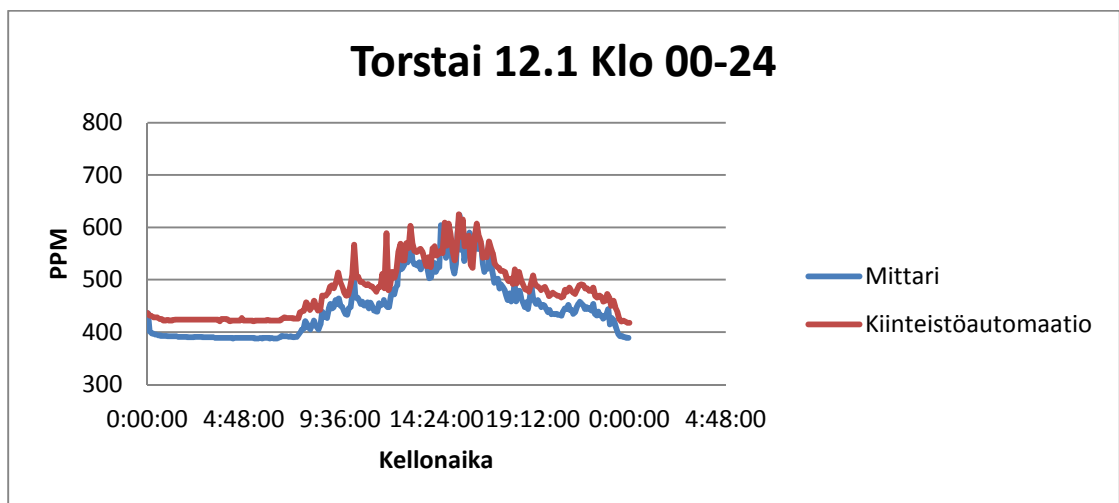
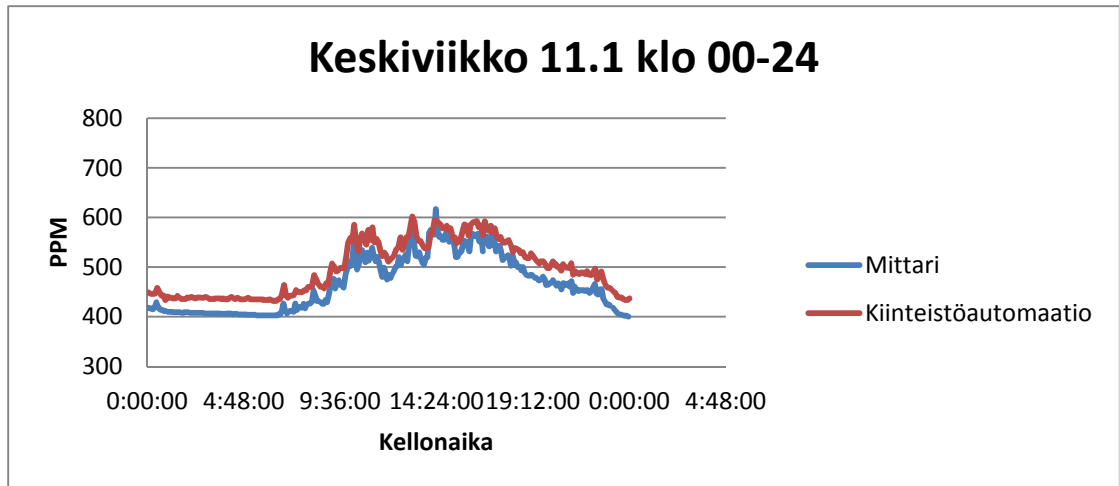
TSI suosittelee tarkkojen lukemien saamiseksi 1 kk:n välein tai ennen vaativia mittauksia paikallisissa olosuhteissa.

| Kalibroitava laite | 0 ppm hiilidioksidia | 1000 ppm hiilidioksidia | Huoneilma |
|--------------------------|----------------------|-------------------------|-----------|
| TSI IAQ-CALC näyttämä | 0ppm | 1000 ±2 ppm | - |

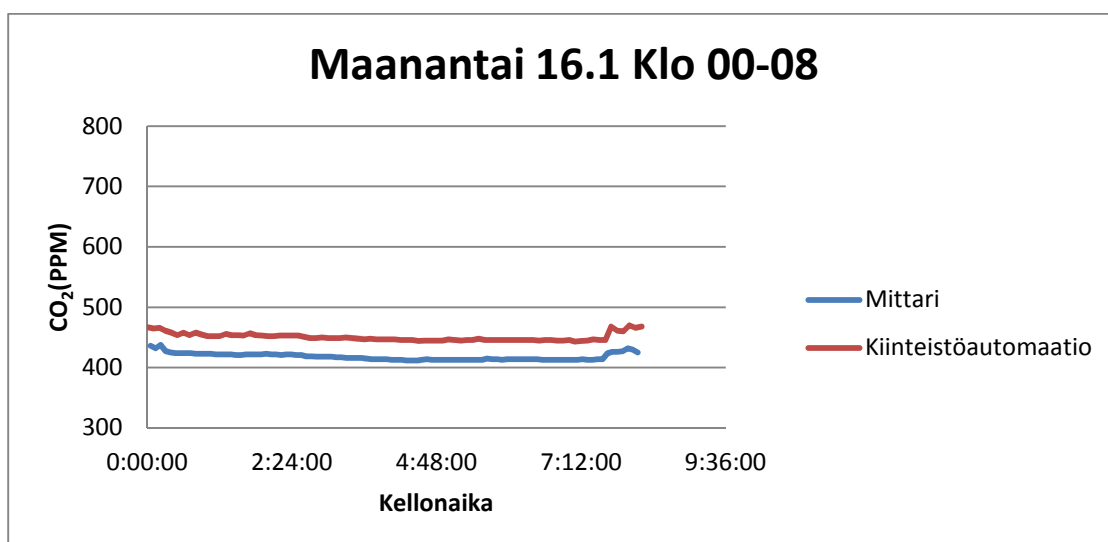
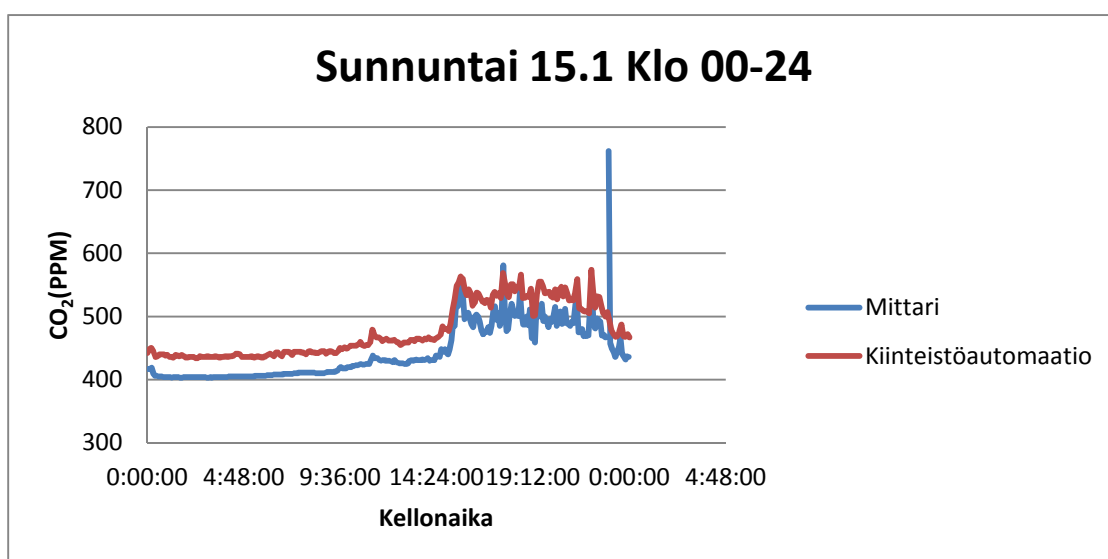
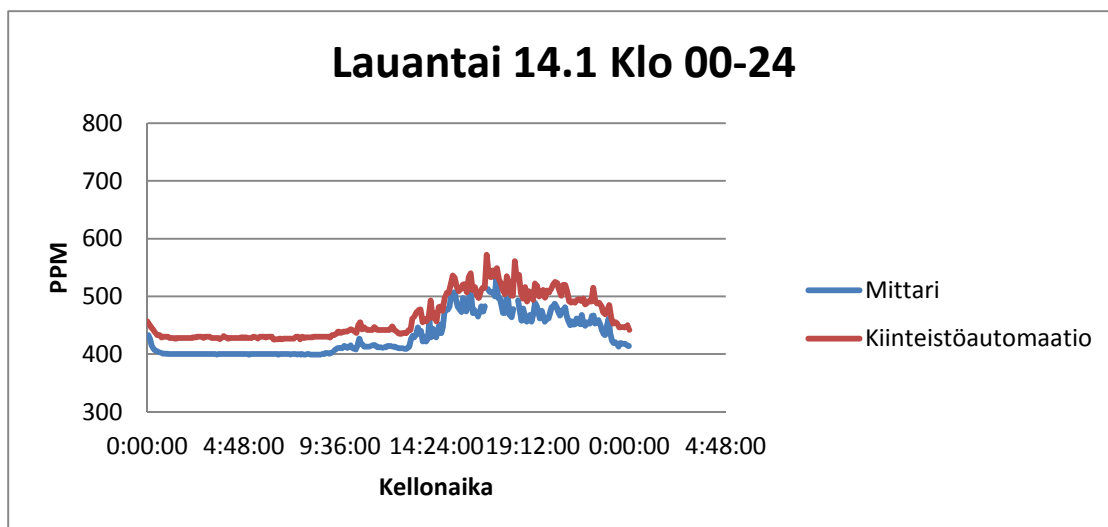
Hiilidioksidi anturin paikkaansa pitävyys mittaukset



Hiilidioksidi anturin paikkaansa pitävyyss mittaukset



Hiilidioksidi anturin paikkaansa pitävyyss mittaukset



LIITE 3(1).

Mittauksen 2 pöytäkirja

| Nro. | Malli | Sijainti | Suunniteltu [l/s] | Mitattu[Pa] | k-arvo | Mitattu [l/s] |
|------|--------------------------|----------|-------------------|-------------|--------|---------------|
| 1 | IQFC-300-1-IQAZ-01-10-10 | Kanava 1 | 25 | 50 | 3,45 | 24,40 |
| 2 | IQFC-300-1-IQAZ-01-10-10 | Kanava 1 | 25 | 49 | 3,45 | 24,15 |
| 3 | IQFC-300-1-IQAZ-01-10-10 | Kanava 1 | 25 | 50 | 3,45 | 24,40 |
| 4 | IQFC-300-1-IQAZ-01-10-10 | Kanava 1 | 25 | 48 | 3,45 | 23,90 |
| 5 | IQFC-300-1-IQAZ-01-10-10 | Kanava 1 | 25 | 49 | 3,45 | 24,15 |
| 6 | IQFC-300-1-IQAZ-01-10-10 | Kanava 1 | 25 | 53 | 3,45 | 25,12 |
| 7 | IQFC-300-1-IQAZ-01-10-10 | Kanava 1 | 25 | 52 | 3,45 | 24,88 |
| 8 | IQFC-300-1-IQAZ-01-10-10 | Kanava 1 | 25 | 53 | 3,45 | 25,12 |
| 9 | IQFC-300-1-IQAZ-01-10-10 | Kanava 1 | 25 | 64 | 3,45 | 27,60 |
| 10 | IQFC-300-1-IQAZ-01-10-10 | Kanava 1 | 25 | 65 | 3,45 | 27,81 |
| 11 | IQIB-300-1-IQAZ-01-08-08 | Kanava 1 | 20 | 68 | 2,85 | 23,50 |
| 12 | IQFC-300-1+IQAZ-01-14-14 | Kanava 2 | 30 | 82 | 4,5 | 40,75 |
| 13 | IQFC-300-1+IQAZ-01-14-14 | Kanava 2 | 30 | 77 | 4,5 | 39,49 |
| 14 | CYLD-125-0 | Kanava 2 | 30 | 5 | 13 | 29,07 |
| 15 | IQFC-300-1+IQAZ-01-14-14 | Kanava 2 | 30 | 77 | 4,5 | 39,49 |
| 16 | CYLD-125-0 | Kanava 2 | 30 | 6 | 13 | 31,84 |
| 17 | IQFC-300-1+IQAZ-01-14-14 | Kanava 2 | 30 | 80 | 4,5 | 40,25 |
| 18 | IQFC-300-1+IQAZ-01-14-14 | Kanava 2 | 30 | 77 | 4,5 | 39,49 |
| 19 | IQIB-240-1+IQAZ-01-13-13 | Kanava 2 | 25 | 18 | 3,4 | 14,42 |

| Kanava | Nro. | Malli | Esisäättö | Suunniteltu (l/s) | Mitattu(Pa) | k-arvo | l/s |
|--------|------|---------|-----------|-------------------|-------------|--------|------|
| 1 | 1 | KSO-125 | 10 | 30 | 28 | 4 | 21,2 |
| 1 | 2 | KSO-125 | 10 | 30 | 33 | 4 | 23,0 |
| 1 | 3 | KSO-125 | 10 | 30 | 34 | 4 | 23,3 |
| 1 | 4 | KSO-125 | 8 | 30 | 36 | 3,72 | 22,3 |
| 1 | 5 | KSO-125 | 6 | 30 | 49 | 3,44 | 24,1 |
| 1 | 6 | KSO-125 | 5 | 30 | 40 | 3,3 | 20,9 |
| 1 | 7 | KSO-125 | 6 | 30 | 46 | 3,44 | 23,3 |
| 1 | 8 | KSO-125 | 6 | 30 | 48 | 3,44 | 23,8 |

LIITE 3(2).**Mittauksen 2 pöytäkirja**

| | | | | | | | |
|---|----|---------|----|----|-----|------|------|
| 1 | 9 | KSO-125 | 6 | 30 | 70 | 3,44 | 28,8 |
| 1 | 10 | KSO-125 | 5 | 30 | 75 | 3,3 | 28,6 |
| 1 | 11 | KSO-125 | 5 | 30 | 78 | 3,3 | 29,1 |
| 2 | 12 | KSO-125 | 10 | 30 | 52 | 4 | 28,8 |
| 2 | 13 | KSO-125 | 8 | 30 | 52 | 3,72 | 26,8 |
| 2 | 14 | KSO-125 | 10 | 30 | 51 | 4 | 28,6 |
| 2 | 15 | KSO-125 | 7 | 30 | 60 | 3,58 | 27,7 |
| 2 | 16 | KSO-125 | 7 | 30 | 64 | 3,58 | 28,6 |
| 2 | 17 | KSO-125 | 6 | 30 | 67 | 3,44 | 28,2 |
| 2 | 18 | KSO-125 | 6 | 30 | 66 | 3,44 | 27,9 |
| 2 | 19 | KSO-125 | 5 | 30 | 74 | 3,3 | 28,4 |
| 3 | 20 | KSO-125 | -4 | 30 | 113 | 2,22 | 23,6 |
| 3 | 21 | KSO-125 | -3 | 30 | 108 | 2,34 | 24,3 |
| 3 | 22 | KSO-125 | -3 | 30 | 113 | 2,34 | 24,9 |
| 3 | 23 | KSO-125 | -3 | 30 | 128 | 2,34 | 26,5 |

LIITE 3(3).

Mittauksen 2 pöytäkirja

Aamujen korkeimmat CO₂-pitoisuudet ma-pe klo 6-10

| | Klo 6-7 | | Klo 7-8 | | Klo 8-9 | | Klo 9-10 | |
|---------------|---------|------------|---------|------------|---------|------------|----------|------------|
| | Min | Max | Min | Max | Min | Max | Min | Max |
| Viikko 13 | | | | | | | | |
| Ma | 434 | 446 | 434 | 448 | 446 | 490 | 454 | 506 |
| Ti | 421 | 428 | 422 | 442 | 434 | 450 | 449 | 520 |
| Ke | 422 | 438 | 422 | 428 | 428 | 441 | 438 | 499 |
| To | 418 | 430 | 430 | 456 | 441 | 452 | 448 | 501 |
| Pe | 414 | 418 | 414 | 421 | 421 | 432 | 432 | 479 |
| Keskiarvo | 421,8 | 432 | 424,4 | 439 | 434 | 453 | 444,2 | 501 |
| Viikko 14 | | | | | | | | |
| Ma | 414 | 433 | 411 | 416 | 416 | 433 | 433 | 493 |
| Ti | 419 | 428 | 422 | 433 | 433 | 460 | 460 | 510 |
| Ke | 430 | 461 | 432 | 457 | 450 | 502 | 479 | 510 |
| To | 421 | 425 | 421 | 440 | 432 | 452 | 452 | 511 |
| Pe(arkkipyhä) | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Keskiarvo | 421 | 437 | 422 | 437 | 433 | 462 | 456 | 506 |
| Viikko 15 | | | | | | | | |
| Ma(arkkipyhä) | | | | | | | | |
| Ti | 430 | 436 | 433 | 459 | 446 | 465 | 465 | 485 |
| Ke | 427 | 437 | 427 | 448 | 437 | 450 | 450 | 506 |
| To | 428 | 435 | 433 | 444 | 444 | 470 | 464 | 520 |
| Pe | 443 | 453 | 449 | 457 | 455 | 473 | 471 | 519 |
| Keskiarvo | 432 | 440 | 436 | 452 | 446 | 465 | 463 | 508 |

Lauantai aamujen korkeimmat CO₂-pitoisuudet la-su klo 9-13

| | Klo 9-10 | | Klo 10-11 | | Klo 11-12 | | Klo 12-13 | |
|-----------|----------|------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|------------|
| | Min | Max | Min | Max | Min | Max | Min | Max |
| Viikko 13 | 416 | 420 | 418 | 433 | 418 | 439 | 432 | 443 |
| Viikko 14 | 433 | 440 | 423 | 435 | 424 | 435 | 424 | 431 |
| Viikko 15 | 429 | 436 | 434 | 442 | 438 | 452 | 447 | 510 |

Sunnuntai aamujen korkeimmat CO₂-pitoisuudet la-su klo 9-13

| | Klo 9-10 | | Klo 10-11 | | Klo 11-12 | | Klo 12-13 | |
|-----------|----------|------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|------------|
| | Min | Max | Min | Max | Min | Max | Min | Max |
| Viikko 13 | 418 | 423 | 418 | 423 | 419 | 441 | 428 | 439 |
| Viikko 14 | 422 | 429 | 423 | 430 | 427 | 440 | 431 | 453 |
| Viikko 15 | 426 | 428 | 426 | 431 | 426 | 439 | 437 | 451 |

LIITE 3(4).
Mittauksen 2 pöytäkirja