



SAVONIA

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

PIENPOLTTO-SIMULAATTORIN TIEDONKERUUJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU, RAKENTAMINEN JA KÄYTTÖNÖTÖTESTÄUS

TEKIJÄ: Jari Miettinen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma Sähkötekniikan tutkinto-ohjelma			
Työn tekijä Jari Miettinen			
Työn nimi Pienpolttosimulaattorin tiedonkeruujärjestelmän suunnittelu, rakennus ja käyttöönotto- testaus			
Päiväys	14.12.17	Sivumäärä/Liitteet	74/9
Ohjaaja FM, Asmo Jakorinne			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani Itä-Suomen yliopisto, Pienhiukkas- ja aerosolitekniikan laboratorio			
Tiivistelmä			
<p>Tässä opinnäytetyössä suunniteltiin ja toteutettiin tiedonkeruujärjestelmä Itä-Suomen yliopiston (UEF) ja Savonia-ammattikorkeakoulun yhteiseen pienpolttosimulaattori-hankkeeseen (SIMO). Pienpolttosimulaattorissa on kaksi sähköistettyä ja kalustettua merikonttia; mittaus- ja saunakontti, jotka yhdessä simuloivat pientä omakotitaloa. Molemmista on tulisija, joiden aiheuttamia päästöjä voidaan mitata mittauskontissa olevilla mittalaitteilla ja antureilla. Opinnäytetyöhön sisältyi näiden mittalaitteiden ja antureiden testaus ja tiedonsiirtoon liittyvä selvitys, kytkentä kontissa sekä ohjelman teko LabVIEW:llä.</p> <p>Pienpolttosimulaattorin tiedonkeruujärjestelmän kytkentöihin käytettiin National Instrumentsin CompactRIO-alustaa, joka kerää mittalaitteilta mittaustiedot ja lähettää ne tietokoneelle. Tietokoneella ajetaan LabVIEW-ohjelmaa, jolla mittaustiedot saadaan esitettyä graafisesti käyttäjälle. Tiedonkeruujärjestelmällä saadaan myös ohjattua mittauskontissa olevaa ilmanvaihtokonetta, ilmanvaihdon peltimoottoreita, ilmanvaihtokanavien kanavapuhaltimia sekä massavirtasäätimien asetusarvoja. Mittaustiedot tallennetaan tiedostoon ja pilvipalveluun.</p> <p>Opinnäytetyössä saavutettiin asetetut tavoitteet; kaikki mittalaitteet ja anturit saatiin toimintakuntoon ja LabVIEW:llä tehdyllä testausohjelmalla saatiin suoritettua ensimmäisiä polttomittauksia ja testattua pienpolttosimulaattorin toimintaa.</p>			
Avainsanat Pienpolttosimulaattori, LabVIEW, CompactRIO, päästömittaukset, tiedonkeruu			
Julkinen			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Electrical Engineering			
Author Jari Miettinen			
Title of Thesis Planning, Building, Testing and Introducing an Information Gathering System for a Residential Wood Combustion Simulator			
Date	14 December 17	Pages/Appendices	74/9
Supervisor Mr. Asmo Jakorinne, FM			
Client Organisation /Partners University of Eastern Finland, Fine Particle and Aerosol Technology Laboratory			
<p>Abstract</p> <p>The purpose of this final year project was to design and create an information gathering system for a residential wood combustion simulator (SIMO). SIMO is a collaborative project of the University of Eastern Finland and Savonia University of Applied Sciences. The simulator includes two sea containers which have been electrified and furnished. One of them has all the measurement equipment, ventilation controls and a changeable fireplace whereas the other container is a working sauna. Together they simulate a small house where different kinds of measurements and tests can be done regarding to wood combustion.</p> <p>The goal of this thesis was to get the information gathering system to a point, where scientists can do measurements of real life wood combustion and the data can be stored in a text file.</p> <p>The information gathering system was made for the simulator using National Instruments' CompactRIO and LabVIEW. All the electrical wiring and cabling had to be done from the scratch. Careful planning and documentation were required due to the amount of measurement devices and sensors.</p> <p>As a result of this thesis: All the measurement equipment and ventilation controls were made fully functional and the first wood combustion measurements and tests were done using the testing program created in LabVIEW. The data could be stored in a text file for a later review. The goals of the thesis were achieved.</p>			
Keywords Residential wood combustion (RWC), simulator, LabVIEW, CompactRIO, emissions			
Public			

ESIPUHE

Tein opinnäytetyötä Kuopiossa 2017 kesän ja syksyn aikana. Haluan kiittää opinnäytetyöohjaajaani FM Asmo Jakorinnettä erittäin hyvästä ohjauksesta ja vinkeistä LabVIEW:llä ohjelmointiin sekä tiedonkeruujärjestelmän rakentamiseen. Osoitan myös suuret kiitokseni Dos Jarkko Tissarille ja FT Jani Leskelle loistavasta yhteistyöstä projektin suhteen ja mittalaitteiden käyttöön liittyvistä neuvoista.

Kuopiossa 29.11.2017

Jari Miettinen

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	7
2	HANKKEEN TARKOITUS JA KÄYTTÖKOHTEET	8
2.1	Puun polton ympäristö- ja terveyshaitat	8
2.2	Tutkimuskäyttö.....	8
2.3	Yrityksien testauspalvelut, tutkimus ja kehitys	9
2.4	Opetuskäyttö.....	9
3	TIEDONKERUUSSA KÄYTETYT LAITTEET JA OHJELMAT.....	10
3.1	NI CompactRIO	10
3.1.1	CompactRIO-moduulit	11
3.1.1.1	NI-9871-sarjaliikennemuodi.....	11
3.1.1.2	NI-9213-termoparimuodi.....	12
3.1.1.3	NI-9205-jännitemuodi.....	13
3.1.1.4	NI-9208-virtamuodi.....	14
3.1.1.5	NI-9264-jännitemuodi (ulostulo).....	14
3.2	Moxa OnCell G3470A-LTE.....	15
3.3	LabVIEW	16
4	TIEDONKERUUJÄRJESTELMÄN MITTALAITTEET.....	18
4.1	Kondensatiohiukkaslaskuri (CPC).....	18
4.2	Sähköinen alipaineimpaktori (ELPI)	20
4.3	Etalometri.....	22
4.4	Värähtelevä mikrovaaka (TEOM).....	24
4.5	EE75-virtausmittari.....	25
4.6	PDT102-paine-eromittari	27
4.7	Alicat MCR- ja MC-massavirtasäätimet.....	29
4.8	CO2-GMP343-hiilidioksidimittari	32
4.9	ULTRAMAT 23- ja FIDAMAT-kaasuanalysointilaitteet	34
4.10	EE10-kosteusmittari	36
4.11	CTV 110-virtausmittari	38
4.12	HMM100-kosteusmittari.....	41
4.13	MS2-paine-eromittari.....	42
5	IV-KONE, KANAVAPUHALTIMET JA IV-PELLIT	45

5.1	IV-kone.....	45
5.2	Kanavapuhaltimet.....	49
5.3	IV-pellit.....	52
6	MITTAUSSIGNAALIEN DOKUMENTOINTI JA KYTKENNÄT MITTAUSKONTISSA.....	55
7	TESTAUSOHJELMA.....	65
8	YHTEENVETO JA POHDINTA.....	71
	LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT.....	72
	LIITE 1: TESTAUSOHJELMAN LOHKOKAAVIO.....	75

1 JOHDANTO

Suomessa on lämmityskäytössä yli kaksi miljoonaa tulisijaa, joiden osuus pientalojen lämmitysenergiasta on jopa 40 prosenttia. Puuta polttamalla saadaan leikattua sähkönkulutusta lämmityskäytössä kovina pakkaspäivinä ja näin ollen parannettua Suomen energiaomavaraisuutta, koska osa sähköstä on tuontisähköä. Puun polttaminen vaatii kuitenkin tulisijan käyttäjältä tiettyjä taitoja ja viitseliäisyyttä, jotta palamisreaktiosta saadaan mahdollisimman tehokasta ja lämpöä saadaan talteen hyvällä hyötysuhteella. (Lähienergia 2017.)

Palamisreaktiossa syntyy lämmön lisäksi reaktiotuotteita, kuten vettä, hiilidioksidia, häkää, hiilivetyjä ja rikkioksideja, mutta myös pienhiukkaspäästöjä. Pienhiukkaset ovat ilmassa leijuvia kiinteitä ja nestemäisiä hiukkasia, joiden aerodynaaminen halkaisija on alle 2,5 μm . Näiden on tutkimuksissa todettu aiheuttavan terveyshaittoja. Esimerkiksi maailman terveysjärjestö WHO arvioi vuonna 2003, että pienhiukkaset lisäävät kuolleisuutta sekä sydän- ja hengityselinsairauksia. (Ahtoniemi ym 2010.)

Pienpolttosimulaattori (SIMO) on Itä-Suomen yliopiston Pienhiukkas- ja aerosolitekniiikan laboratorion (FINE) ja Savonia-ammattikorkeakoulun sähkö- ja tietotekniikan osaston yhteinen hanke, jossa tulisijojen päästöjä ja käyttäytymistä erilaisissa olosuhteissa voidaan tutkia sekä testata erilaisia kehitysideoita. Pienpolttosimulaattorissa simuloidaan pientä omakotitaloa, jossa ilmanvaihtoa, lämpötiloja sekä paine-eroja voidaan vapaasti säätää eri testitilanteiden luomiseksi. Simulaattorissa on valmiina ollessaan kaksi sähköistettyä ja kalustettua merikonttia (mittaus- ja saunakontti), jotka ovat siirrettävissä. Mittauskonttissa on pienpolttosimulaattorin mittauslaitteet, ilmanvaihtoon liittyvät laitteet, valvomokone ja tulisija. Saunakontti on yhdistetty mittauskontin kanssa ilmanvaihtoputkilla ja siellä on toimiva sauna. Tässä työssä toteutetaan pienpolttosimulaattorille tiedonkeruujärjestelmä, johon sisältyy mittalaitteiden testaus, asennus sekä ohjelman tekeminen LabVIEW:llä. Prosessi dokumentoidaan kytkentöjen ja ohjelman osalta huolellisesti, jotta muutoksia voidaan tulevaisuudessa tehdä mahdollisimman suoraviivaisesti. Mittauslaitteista on saatavilla manuaaleja ja FINE:n työntekijöiltä saa tietoa mittauslaitteiden käyttöön liittyen. LabVIEW-ohjelmat tehdään CompactRIO-alustaa hyväksi käyttäen, johon löytyy myös kattavat manuaalit. Opinnäytetyön tavoitteena on saada tiedonkeruujärjestelmä käytettävään kuntoon, jolloin FINE:n tutkijat voivat suorittaa mittauksia pienpolttosimulaattorissa ja saada mittaustuloksia reaaliajassa.

2 HANKKEEN TARKOITUS JA KÄYTTÖKOHTTEET

Tulisijat eivät ole yhteistoiminnassa muun talotekniikan kanssa, mikä aiheuttaa ongelmia niiden käytössä, sisäilman laatuun ja energiatehokkuuteen. Huonosti toimiva tulisija tuottaa myös ulos enemmän päästöjä. Tulisijojen yllämittaus aiheuttaa noin 1000 tulipaloa Suomessa vuosittain. Tulisijojen kehitystyö vaatii perusteellista ymmärrystä polttotekniikoista, päästöjen muodostumisesta ja erityisiä mittausta- ja näytteenottotekniikoita, joita ei ole tällä hetkellä käytettävissä. Hankkeessa kehitetään tulisijojen ympärille keskittyvä matalan kynnyksen TKI- ja opetusyksikkö, jossa yritysten pilotointeja, päästötutkimuksia ja koulutusta on helppo, nopea ja yksinkertainen toteuttaa. (Tissari, 2016.)

2.1 Puun polton ympäristö- ja terveyshaitat

Vähäpäästöinen palaminen edellyttää hyviä palamisolosuhteita tulipesässä. Tähän vaaditaan korkeaa palamislämpötilaa, sopivaa palamisilmamäärää ja hyvää kaasujen sekoittumista. Erilaisia tekijöitä palamisen tehokkuuteen voidaan lukea kolme kappaletta: Tulisija, käyttäjä ja ympäristötekijät. Tulisijan käyttäjä ei voi juurikaan vaikuttaa ympäristötekijöihin, mutta kuivia puita käyttämällä ja oikealla polttamistekniikalla voidaan päästöjä vähentää. (Makkonen, 2010.)

Ympäristöhaittojen (nokipäästöt, lumipeitteen likaantuminen, ilmaston lämmittäminen auringon säteilyä sitomalla) lisäksi pienpoltosta aiheutuvilla pienhiukkaspäästöillä on ihmiseen kohdistuvia terveyshaittoja. Suurimpana terveyshaittojen aiheuttajana pidetään pienpolttolaitteissa tapahtuvassa epätäydellisessä palamisessa syntyviä alle 2,5 mikrometrin kokoisia pienhiukkasia, jotka sisältävät mustan, muuntunutta alkuainehiiltä sisältävän ytimen päälle kerrostuneita, terveydelle haitallisia yhdisteitä, kuten mm. polysyklisiä orgaanisia hiilivetyjä (PAH) ja happoja. (Salonen ym 2015.)

2.2 Tutkimuskäyttö

Aikaisemmin puun polttolaitteiden päästöjä on tutkittu laboratoriotilassa, mutta pienpolttosimulaattori mahdollistaa erilaisten testien tekemisen nopealla aikataululla. Laboratorioissa valmistelut vievät aikaa ja kaikkea pienpolttosimulaattorin mahdollistamia parametreja ei voida mitata. Simulaattorin kontit ovat ilmatiiviitä, jolloin sen ilmavirtoja saadaan mitattua tarkasti ja paine-eroja voidaan hallita ja säädellä vaivattomasti. Tämä ei laboratorio-olosuhteissa ole mahdollista.

Simulaattorilla tehtävillä tutkimuksilla parannetaan tulisijojen ja kiukaiden polttotekniikoita, testataan tulisijojen automatisointia ja älykästä teknologiaa sekä etsitään ratkaisuja nokipäästöjen vähentämiseksi. Lisäksi simulaattori tuottaa ja siinä tutkitaan uusia ideoita uusiutuvan energian ja energiatehokkaiden ratkaisujen kehittämiseksi ja kaupallistamiseksi yrityksissä tulisijojen ja talotekniikan yhteistoimintaan liittyen. (Tissari, 2017-12-04.)

2.3 Yrityksien testauspalvelut, tutkimus ja kehitys

Pienpolttosimulaattoria hyödyntämällä tulisijojen valmistajat voivat parantaa tulisijojen polttotekniikkaa ja kontrolloida palamisolosuhteita automaatioteknisten ratkaisujen kautta sekä älykkään teknologian käytöllä tulisijan palamisen optimoinnissa. Projektin pääkohderyhmänä ovat keskeisesti Pohjois-Savon alueella toimivat pk-yritykset, joiden toiminta liittyy polttotekniikkaan pienessä kokoluokassa. Hanke tuo uutta osaamista yrityksille, tarjoaa testausympäristön yritysten omille uusille keksinnöille sekä tukee yritysten välistä yhteistyötä tulisijayritysten ja toimialojen välillä. (Tissari, 2016.)

2.4 Opetuskäyttö

Tulisijojen polttotekniikasta ja päästöistä on jo opetuskäyttöön soveltuvaa teoriaa, tähän lisänä pienpolttosimulaattorilla saadaan luotua käytännön opetusmateriaalia mittaustiedon sekä videomateriaalin muodossa. Koulutus pilotoidaan Itä-Suomen yliopiston uudella opintojaksolla "Air Pollution Practicals", jota on tarkoitus jatkossa toteuttaa simulaattorissa. (Tissari, 2016.)

3 TIEDONKERUUSSA KÄYTETYT LAITTEET JA OHJELMAT

Pienpolttosimulaattorin tiedonkeruujärjestelmä voidaan jakaa kahteen eri osa-alueeseen: Mittaus- ja saunakontissa olevien laitteiden fyysiset kytkennät sekä tietokoneella tehdyt LabVIEW-ohjelmat. Näiden kahden osa-alueen yhdistävänä tekijänä on National Instrumentsin CompactRIO-alusta, joka toimii tulkkina mittalaitteiden ja loppukäyttäjän käyttämän LabVIEW-ohjelman välillä.

3.1 NI CompactRIO

NI CompactRIO on National Instrumentsin kehittämä alusta reaaliaikaiselle kommunikoinnille ja tiedonkeruulle. Se on helppokäyttöinen, mutta erittäin tehokas erilaisten teollisuudessa tarvittavien automaattoratkaisujen ja/tai mittauksien tekemiseen. (National Instruments 2017.)

CompactRIO-alustan tärkeimpiä osia on CompactRIO-kontrolleri. Se suorittaa käyttäjän ohjelmaa, kerää ja prosessoi tiedon moduuleilta, jotka puolestaan keräävät tiedon mittalaitteilta. Tällä tavoin ohitetaan monimutkaiset laitekokonaisuudet ja käyttäjän haluama tieto saadaan suoraan CompactRIO:lta. CompactRIO-kontrollerin muita vahvuuksia ovat mm. suorituskykyinen suoritin, erittäin kestävä rakenne, tuki monelle erilaiselle I/O-moduulille sekä sertifioitu teollisuusstandardi. (National Instruments 2016.)

Pienpolttosimulaattorin tiedonkeruujärjestelmässä käytetyt CompactRIO-kontrollerit ovat mallinimeltään cRIO-9074 (mittauskontti, KUVA 3.1) sekä NI-9147 (saunakontti, KUVA 3.2).



KUVA 3.1. cRIO-9074-kontrolleri (National Instruments 2017).

cRIO-9074 tukee maksimissaan 8 moduulin käyttöä ja siinä on RS-232-sarjaliikenneportti, 2 kpl ethernet-portteja sekä SMB-liitin. cRIO-9074 on jo vanhempaa mallistoa, jonka prosessori jää suorituskyvyssä uusimmille malleille, mutta riittää pienpolttosimulaattorin tarpeisiin.



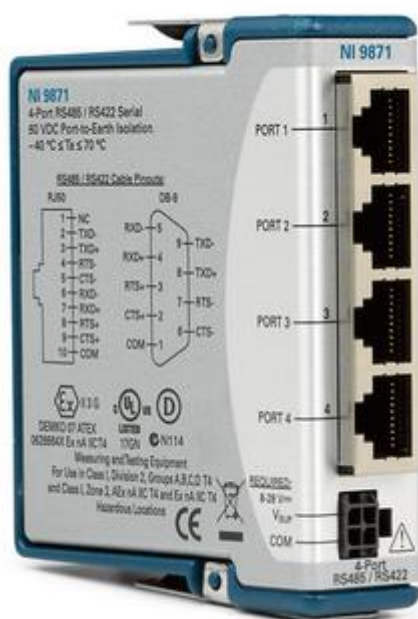
KUVA 3.2. NI-9147-kontrolleri (National Instruments 2017).

NI-9147-kontrollerissa on tuki 4 moduulille ja siinä on ethernet-portti sekä USB-portti.

3.1.1 CompactRIO-moduulit

Pienpolttosimulaattorin mittalaitteet antavat mittaustiedon erilaisilla analogisilla signaaleilla, jonka vuoksi CompactRIO-kontrolleri konfiguroidaan tarpeen mukaiseksi käyttöön soveltuvilla cRIO-moduuleilla. Moduulit ovat pienikokoisia CompactRIO-kontrolleriin kytkettäviä laitteita, jotka mallista riippuen joko ottavat vastaan tai syöttävät sähköistä signaalia. National Instruments tarjoaa moduuleita moniin eri käyttötarkoituksiin, pienpolttosimulaattorin tiedonkeruujärjestelmään niitä tarvitaan viittä erilaista ja kokonaisuudessaan seitsemän kappaletta. Mittalaitteet antavat ulos mittausdataa sarjaliikennetietona, virtasignaalina ja jännitesignaalina. Näiden lisäksi tarvitaan moduulit termopareille sekä jänniteohjauksille.

3.1.1.1 NI-9871-sarjaliikennemoduuli



KUVA 3.3. NI-9871-sarjaliikennemoduuli (National Instruments 2017).

NI-9871-sarjaliikennemoduulissa (KUVA 3.3) on 4 porttia ja se tukee RS-422- ja RS-485-protokollaa. (National Instruments 2017). NI-9871:een kytkettiin ilmanvaihtokone (5.1) Modbus-väylällä ja kolme kaasuanalysaattoria (4.9) ELAN-väylällä. Käytössä on myös RS-232-protokollaa tukeva NI-9870-sarjaliikennemoduuli mustaa hiiltä mittaavalle etalometrille (4.3). Kummassakin sarjaliikennemoduulissa on erillinen käyttöjännite.

3.1.1.2 NI-9213-termoparimoduuli



KUVA 3.4. NI-9213-termoparimoduuli (National Instruments 2017).

Projektissa käytettiin kolmea NI-9213-termoparimoduulia (KUVA 3.4), kahta mittauskontissa ja yksi saunakontissa. Moduulissa on 16 kanavaa, verkkotaajuuksisen häiriön suodatus ja monen eri tyyppisen termoparin tuki. Tuettu lämpötila-alue on $-40\text{--}70\text{ °C}$ (National Instruments 2017).

Mittauskontissa termopareja on kytketty 32 kpl mittaamaan lämpötiloja tulisijasta, ilmanvaihtokoneesta, mittauskontista sekä laimennusilmasta seuraavasti (TAULUKKO 3.1):

TAULUKKO 3.1. Lämpötilojen mittaukset mittauskontissa (Miettinen 2017).

Mittauskohde	Tarkennus
Tulisija	Sisälämpötilat (5 kpl) ja pintalämpötilat (6 kpl) Primääri- ja sekundääri-ilma Savukaasu
Ilmanvaihtokone	Tuloilma Poistoilma Ulkoilma Jälkilämmitin
Mittauskontin sisäilman lämpötila	
Laimennusilman lämpötila	

Saunakontissa on 16 termoparia, jotka mittaavat seuraavia lämpötiloja seuraavista paikoista (TAULUKKO 3.2):

TAULUKKO 3.2. Lämpötilojen mittaukset saunakontissa (Miettinen 2017).

Mittauskohde	Tarkennus
Kiuas	Alta Edestä Kahva Tuhkaluukku Mahdollinen vesisäiliö/vesihana Savukaasu
Sauna	Rakenteet Lattia Katto Lauteet Tulo- ja poistoilma

3.1.1.3 NI-9205-jännitemoduuli



KUVA 3.5. NI-9205-jännitemoduuli (National Instruments 2017).

NI-9205-jännitemoduulissa (KUVA 3.5) on 32 kanavaa, joiden jännitealue on ± 10 V. Kanavat voidaan asettaa mittaamaan differentiaalisesti paremman tarkkuuden saamiseksi, tällöin saadaan suoritettua yhtäaikaaisesti 16 eri mittausta.

Pienpolttosimulaattorin laitteista seuraavia luetaan jännitesignaaleilla:

- Kondensaatiohiukkaslaskuri (4.1)
- Värähtelevä mikrovaaka (4.4)
- Massavirtasäätimet (4.7)
- EE10-kosteusmittari (4.10)
- Ilmanvaihtopeltien asentotiedot (5.3)

3.1.1.4 NI-9208-virtamoduuli



KUVA 3.6. NI-9208-virtamoduuli (National Instruments 2017).

NI-9208-virtamoduulissa (KUVA 3.6) on 16 kanavaa, joiden virta-alue on ± 20 mA. Moduuli tukee loop powered-järjestelmiä eli kahden johtimen kytkentää, jossa moduuli syöttää samalla käyttöjännitteen mittalaitteelle (Paonessa).

Pienpolttosimulaattorin laitteista seuraavia mitataan virtasignaaleilla:

- EE75-virtausmittarit (4.5)
- PDT102-paine-eromittari (4.6)
- Hiilidioksidimittarit (4.8)
- CTV110-virtausmittarit (4.11)
- HMM100-kosteusmittari (4.12)
- MS2-paine-eromittari (4.13)

3.1.1.5 NI-9264-jännitemoduuli (ulostulo)



KUVA 3.7. NI-9264-jännitemoduuli (ulostulo) (National Instruments 2017).

NI-9264-jännitemoduuli (KUVA 3.7) on muista poiketen ohjausta eikä mittausta varten, sillä se antaa ulos jännitteen alueella ± 10 V. Kanavia moduulissa on 16 kappaletta, joissa jokaisessa on oma DA-muunnin.

NI-9264-jännitemoduulilla ohjataan seuraavia laitteita:

- Massavirtasäätimet (4.7)
- Kanavapuhaltimet (5.2)
- Ilmanvaihtopeltien asennot (5.3)

3.2 Moxa OnCell G3470A-LTE



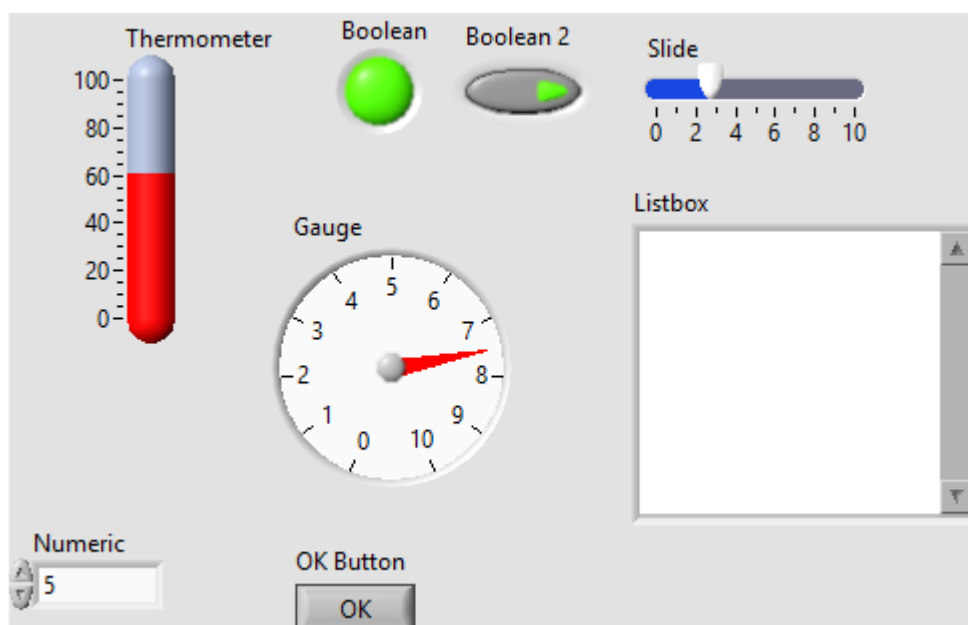
KUVA 3.8. Moxa OnCell G3470A-LTE –reititin (Moxa 2017).

Pienpolttosimulaattorissa käytetään sekä langallista että langatonta yhteyttä tiedon siirtämiseen. Moxa OnCell G3470A-LTE –reitittimessä on kahden SIM-kortin tuki, 4 ethernet-porttia, kestävä rakenne ja teollisen käytön vaatima luotettavuus (Moxa 2017). Mittauskontin keskuksen sisällä, DIN-kiskoon kiinnitettävään reitittimeen tulee langallisena aiemmin esitellyt CompactRIO-kontrollerit sekä mittauskonttiin tuleva tietokone. Kerätty mittausdata saadaan lähetettyä langattomasti eteenpäin mittauskontin ulkopuolella sijaitsevan antennin avulla ja toisaalta myös mittauskontissa sijaitsevaa tietokonetta saadaan etäohjattua langattoman yhteyden kautta.

3.3 LabVIEW

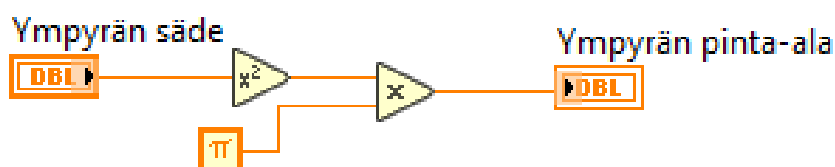
LabVIEW on National Instrumentsin kehittämä graafinen ohjelmointiympäristö. LabVIEW yksinkertaistaa rautatason integrointia sovelluksiin, jolloin saadaan toimiva ratkaisu tiedonkeruuseen National Instrumentsin tai kolmannen osapuolen laitteistoista. Graafinen ohjelmointiympäristö tarkoittaa, että käyttäjä pääsee nopeasti tekemään toimivia ohjelmia, vaikkei hänellä olisi vahvaa ohjelmointiosaamista. (National Instruments 2017.)

LabVIEW:ssä yhdistetään aliohjelmia (virtuaali-instrumentteja), funktiota ja laskutoimitusoperaatiota. Ohjelma jakautuu kahteen eri osaan: Front Paneliin ja Block Diagramiin. Front Panel on loppukäyttäjän näkemä ruutu, jossa käyttäjää kiinnostavat asiat näytetään ja jonka kautta hän voi ohjata ohjelmaa. Ohessa esimerkki Front Panelin mahdollisista mittareista, säätimistä ja napeista (KUVA 3.9):



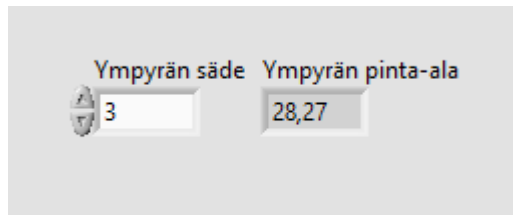
KUVA 3.9. Front Panel-näkymään saa erilaisia informatiivisia näyttöjä ja säätimiä (Miettinen 2017).

Block Diagramissa on varsinainen koodi, jossa laskut, laitteiden väliset kommunikoinnit, silmukat yms. suoritetaan. LabVIEW-ohjelma suoritetaan vasemmalta oikealle ja ylhäältä alas, ellei ohjelmoija pakota suoritusjärjestystä sekvensseillä. Eri toimintojen yhdistäminen tehdään vetämällä johtimia niiden välille. Esimerkiksi ympyrän pinta-alan laskeminen voi näyttää seuraavalta (KUVA 3.10):



KUVA 3.10. Esimerkki ympyrän pinta-alan laskemisesta Block Diagram-näkymässä (Miettinen 2017).

Käyttäjälle näkyy Front Panel-näkymässä ainoastaan kaksi numeronäyttöä; toiseen laitetaan ympyrän säde ja toiseen käyttäjä saa lasketun pinta-alan (KUVA 3.11):



KUVA 3.11. Käyttäjälle näkyy aiemmasta esimerkistä kaksi numeronäyttöä (Miettinen, 2017).

Pienpolttosimulaattorin tiedonkeruujärjestelmän LabVIEW-koodia demonstroidaan seuraavissa kappaleissa.

4 TIEDONKERUUJÄRJESTELMÄN MITTALAITTEET

4.1 Kondensaatiohiukkaslaskuri (CPC)



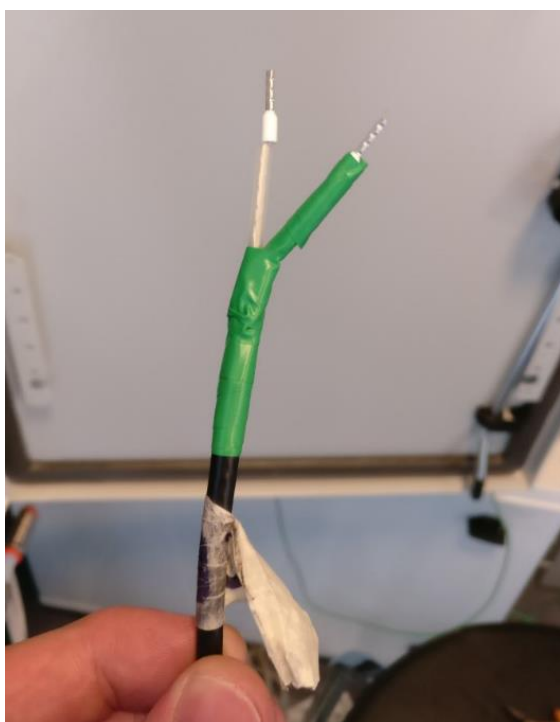
KUVA 4.1. Kondensaatiohiukkaslaskuri, eli CPC (Condensation Particle Counter) (TSI, 2006).

Kondensaatiohiukkaslaskurilla, eli CPC:llä (KUVA 4.1) voidaan mitata ilmassa olevan partikkelipitoisuuden määrää, missä partikkeleiden koko voi olla vain muutamia nanometrejä. Aerosolinäyte vietään kuumennettuun saturaattoriin, jossa butanolihöyryä lisätään näytteeseen. Tämä seos jäähdytetään, jolloin butanoli kondensoituu näytteen partikkeleihin tehden ne isommiksi, mahdollistaen partikkeleiden lukumäärän laskemisen. Model 3775 Ultrafine Condensation Particle Counter kykenee havaitsemaan partikkeleita, jotka ovat halkaisijaltaan pienimmillään 2,5 nanometriä. (TSI, 2006.)

CPC antaa mittaustiedon 0-10 voltin jännitesignaalina laitteen takapuolella olevan BNC-liittimen kautta. CPC kytketään CompactRIO:n jännitemoduuliin NI-9205 (3.1.1.3) toisesta päästä kuoritulla BNC-johdolla (KUVA 4.2 ja KUVA 4.3), jolloin voidaan mitatun jännitteen perusteella laskea todellinen hiukkasten lukumäärä.



KUVA 4.2. Kuorittu BNC-johto (Miettinen 2017).



KUVA 4.3. BNC-kaapelin johtimiin puristetut liittimet ja teippaukset (Miettinen 2017).

Partikkeleiden lukumäärä esitetään logaritmisella asteikolla $<0,01-10\ 000\ 000$, kun tämä halutaan esittää $0-10$ voltin alueella, voidaan käyttää yhtälöä 1:

$$10^{\log \log Min + \frac{x - \ln Min}{\ln Max - \ln Min} (\log \log Max - \log \log Min)} \quad (1)$$

missä

$\log_{\text{Min}} = <0,01$ (0,001)

$\log_{\text{Max}} = 10\,000\,000$

$\text{linMin} = 0$

$\text{linMax} = 10$

$x = \text{Jännite (0-10 V)}$ joka halutaan muuntaa partikkeleiksi

Kaavaa voidaan sieventää, kun lukuarvot on sijoitettu paikalleen:

$$10^{\log 0,001 + \frac{x-0}{10-0}(\log 10000000 - \log 0,001)}$$

$$10^{-3 + \frac{x}{10}(7 - (-3))}$$

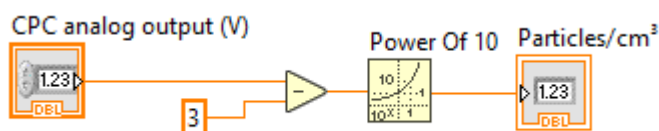
$$10^{-3 + \frac{x}{10}(10)}$$

$$10^{-3+x}$$

$$10^{x-3}$$

Lopullinen muoto on huomattavasti yksinkertaisempi ja vie vähemmän resursseja cRIO-alustalta.

LabVIEW-koodi näyttää lopulta seuraavalta (KUVA 4.4):



KUVA 4.4. CPC:n LabVIEW-koodi jännitearvon muuntamisesta partikkelimääräksi (Miettinen, 2017).

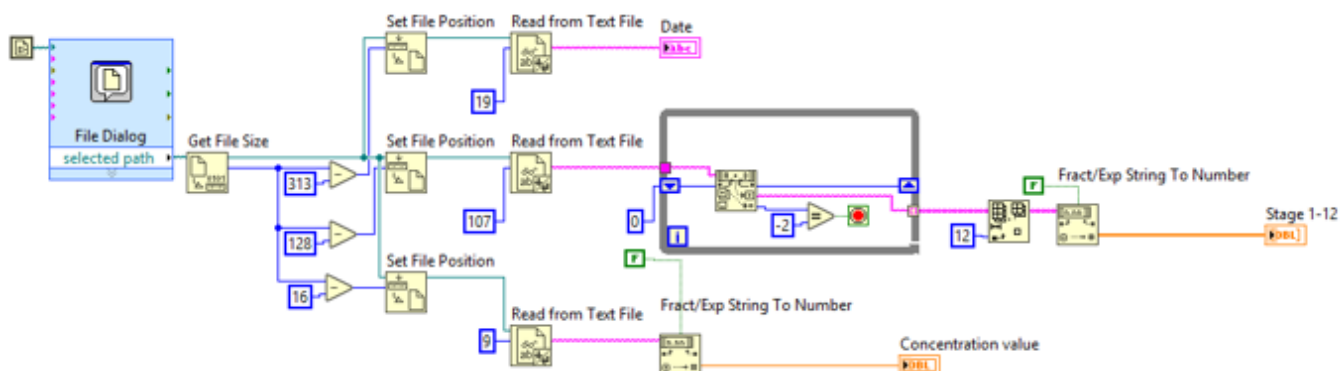
4.2 Sähköinen alipaineimpaktori (ELPI)



KUVA 4.5. Sähköinen alipaineimpaktori eli ELPI (Electrical Low Pressure Impactor) (Dekati 2008).

Sähköinen alipaineimpaktori eli ELPI (KUVA 4.5) mittaa reaaliaikaisesti partikkeleiden kokojakaumaa ja konsentraatiota kokojakaumalla 7 nm – 10 µm. Partikkelit varataan aluksi tunnettuun varaustilaan, minkä jälkeen partikkelit viedään alipaineimpaktoriin, jossa on sähköisesti eristetyt kerrokset. Partikkelit jakautuvat koon mukaan näihin kerroksiin, missä mitataan reaaliaikaisesti partikkeleiden tuottama sähkövirta. Mitattu sähkövirta on suoraan verrannollinen partikkeleiden lukumäärään ja kokoon. ELPI kommunikoi tietokoneen kanssa sarjaliikenneportin (RS-232) sekä erillisen ELPIVI-ohjelman avulla. Ohjelmasta nähdään partikkeleiden kokojakauma sekä konsentraatiota graafisesti ja tulokset saadaan tallennettua tekstimuotoisena. (Dekati 2008.)

ELPI on tiedonkeruun kannalta poikkeus muihin mittalaitteisiin nähden, sillä siitä ei varsinaisesti saada suoraan luettua mittaustietoja, vaan ainoa vaihtoehto on lukea sen tuottamia .dat-tiedostoja. Tiedonkeruujärjestelmän tietokone yhdistetään ELPI:n kanssa sarjaliikennekaapelilla, jonka kautta ELPI tallentaa mittaustiedostoja tietokoneeseen. Näissä tiedostoissa on kaikki mittausdata, jota on liiankin monipuolisesti. Pienpolttosimulaattorissa tarvittavia tietoja tästä tiedostosta on 13: Staget 1-12, jotka kertovat partikkeleiden kokojakaumaa sekä concentration value, joka kertoo partikkeleiden konsentraation. Käytännössä ELPI kirjoittaa tähän .dat-tiedostoon jatkuvasti mittaustuloksia ja tiedonkeruujärjestelmän tietokone lukee tiedostosta viimeiseltä riviltä halutut tiedot (KUVA 4.6):



KUVA 4.6. ELPI-mittalaitteen .dat-tiedoston lukeminen (Miettinen 2017).

Testausvaiheessa tiedosto haettiin File Dialogilla käsin, mutta lopullisessa versiossa uusi tiedosto luetaan automaattisesti valvomokoneen kovalevyltä. Get File Size hakee tiedoston koon eli merkkimäärän, tästä vähentämällä oikea määrä merkkejä päästään Set File Positionilla haluttuun paikkaan. Tiedostosta luetaan halutut tiedot ja lähetetään ne eteenpäin.

4.3 Etalometri



KUVA 4.7. Etalometri AE33 (Magee Scientific 2015).

Magee Scientificin valmistamalla mallin AE33 etalometrillä (KUVA 4.7) voidaan mitata mm. mustan hiilen pitoisuuksia sekä biomassapitoisuuksia aerosolissa reaaliaikaisesti. Etalometrissä on kosketusnäyttö ja datan saa talteen joko muistitikulle tai sarjaliikenneportin kautta tietokoneelle.

Etalometrin luvussa käytettiin sarjaliikenneyhteyttä ristiinkytketyllä RS-232-kaapelilla. Sarjaliikenneyhteys vaatii sopivat asetukset toimiakseen (KUVA 4.8):

BaudRate = 115200

DataBits = 8

StopBits = IO.Ports.StopBits.One

Parity = IO.Ports.Parity.None

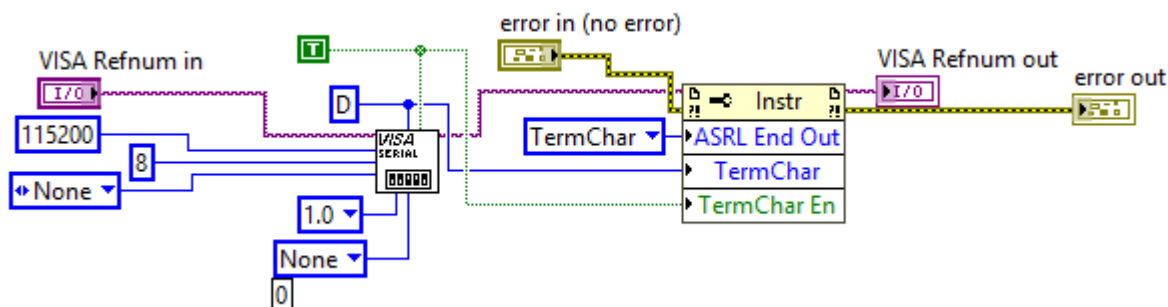
Handshake = IO.Ports.Handshake.None

DtrEnable = True

RtsEnable = True

KUVA 4.8. Sarjaliikenneyhteyden asetukset etalometrille (Magee Scientific 2015).

LabVIEW:ssä sarjaliikenneyhteyden käyttäminen vaatii ensiksi sen asetusten määrittämisen. Sarjaliikenteen asetuksissa VISA serial VI:llä (Virtual Instrument) asetetaan portti, nopeus, data-, stop- ja pariteettibitit, kättelyasetukset sekä termination character. Seuraavaksi tulevalla property nodella määritetään termination character sarjaliikenneviestin lopettajaksi (KUVA 4.9):



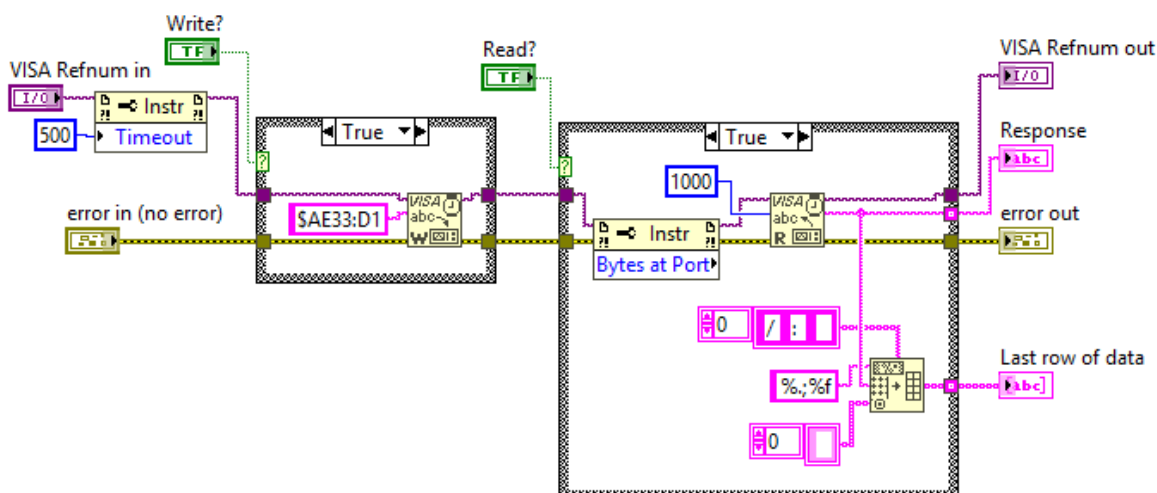
KUVA 4.9. Etalometrin sarjaliikenneyhteyden asetuksien luonti (Miettinen 2017).

Etalometrin sarjaliikenneyhteydessä termination character vaaditaan, jotta mittalaite ja tietokone tietävät, milloin datapaketti loppuu. Etalometri antaa komennolla \$AE33:D1 yhden rivin mittausdataa, jossa on noin 60 eri arvoa. Pienpolttosimulaattorin käytössä tuosta tarvitaan ainoastaan kaksi, biomassan määrä (BB) ja mustan hiilen määrä (BC6) (KUVA 4.10):

```
Date(yyyy/MM/dd); Time(hh:mm:ss); Timebase; RefCh1; Sen1Ch1; Sen2Ch1; RefCh2;
Sen1Ch2; Sen2Ch2; RefCh3; Sen1Ch3; Sen2Ch3; RefCh4; Sen1Ch4; Sen2Ch4; RefCh5;
Sen1Ch5; Sen2Ch5; RefCh6; Sen1Ch6; Sen2Ch6; RefCh7; Sen1Ch7; Sen2Ch7; Flow1;
Flow2; FlowC; Pressure (Pa); Temperature (°C); BB (%); ContTemp; SupplyTemp; Status;
ContStatus; DetectStatus; LedStatus; ValveStatus; LedTemp; BC11; BC12; BC1; BC21;
BC22; BC2; BC31; BC32; BC3; BC41; BC42; BC4; BC51; BC52; BC5; BC61; BC62; BC6;
BC71; BC72; BC7; K1; K2; K3; K4; K5; K6; K7; TapeAdvCount; ID_com1; ID_com2;
ID_com3; fields_i
```

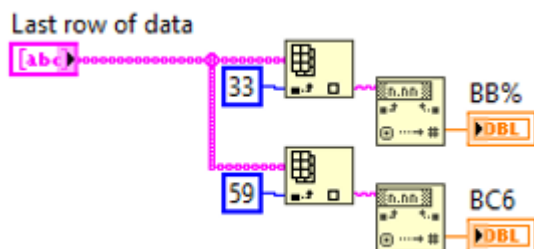
KUVA 4.10. Etalometrin antama mittausdata (Magee Scientific 2015).

Datatiedostossa eri arvot on eroteltu tabulaattorilla, joten tiedoston luvussa merkit parsitaan tabulaattorin mukaan (KUVA 4.11):



KUVA 4.11. Etalometrin datan hakeminen \$AE33:D1-komennolla sekä datan parsiminen taulukoksi (Miettinen 2017).

Parsimisen jälkeen voidaan hakea halutut arvot talteen ja muuntaa merkkijonot lukuarvoiksi (KUVA 4.12):



KUVA 4.12. Biomassan ja mustan hiilen haku aiemmin luodusta taulukosta (Miettinen 2017).

Last row of data sisältää etalometrin mittaustiedoston viimeisen rivin taulukkomuodossa. Tästä voidaan poimia halutut arvot niitä vastaavista indekseistä (33 ja 59). Merkkijono muunnetaan vielä lopuksi desimaaliluvuksi.

4.4 Värähtelevä mikrovaaka (TEOM)

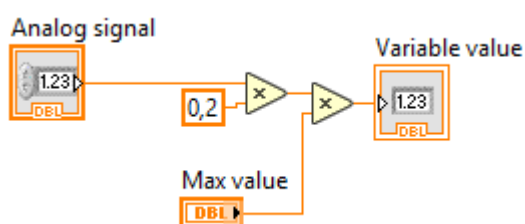


KUVA 4.13. Värähtelevä mikrovaaka (TEOM) (Thermal Fisher Scientific 2008).

Thermal Fisher Scientificin valmistamalla TEOM 1405:llä (KUVA 4.13) saadaan mitattua lähes reaaliaikaisesti aerosolin massakonsentraatio. Toiminta perustuu erittäin herkästi reagoivaan vaakaan (suodattimeen). Aerosolia kuljetetaan siihen tasaisella virtauksella ja tasalämpöisenä. Vaaka värähtelee n. 250 hertsin taajuudella ja kun siihen kertyy aerosolissa olevia partikkeleita, taajuus laskee. Tästä voidaan laskea massakonsentraatio. (Thermal Fisher Scientific 2008.) TEOM voi mitata yhtäjaksoisesti jopa vuorokauden keskiarvoja ja data voidaan tallentaa muistitikulle, sarjaliikenneportin

(RS-232) kautta tietokoneelle tai jännitesignaalin 25-pinnisestä D-liittimestä. Jännitesignaalit voidaan konfiguroida itse laitteen asetuksista ja kalibroida yleismittarin avulla emolevyn jännitenastoista mittaamalla.

TEOM voi antaa kahdeksan käyttäjän haluamaa muuttujaa ulos 0-5 voltin jännitesignaalin. Pienpolttosimulaattorissa niistä otettiin käyttöön neljä kpl, mutta käytännössä tutkijat tarvitsevat kahta; massakonsentraatiota sekä TEOM:n vaa'an taajuutta. TEOM:n valikosta täytyy itse käydä valitsemassa haluamat muuttujat sekä asettaa niille maksimiarvo. LabVIEW:ssä muunnos tapahtuu kertomalla mitattu jännite 0,2:lla ja sitten käyttäjän määrittämällä maksimiarvolla (KUVA 4.14):



KUVA 4.14. TEOM:n jännitesignaalin muuntaminen todelliseksi mitatuksi arvoksi (Miettinen 2017).

Max value on luku, joka TEOM:ssa määritellään jokaiselle muuttujalle. Se kertoo maksimiarvon muuttujalle, jonka mukaisesti jännite skaalataan. Esimerkiksi TEOM:n vaa'an taajuuden tyypillinen arvo on 255 Hz, jolloin sopiva max value oli 300. Jännite skaalataan tällöin 0-300 Hz:n alueelle.

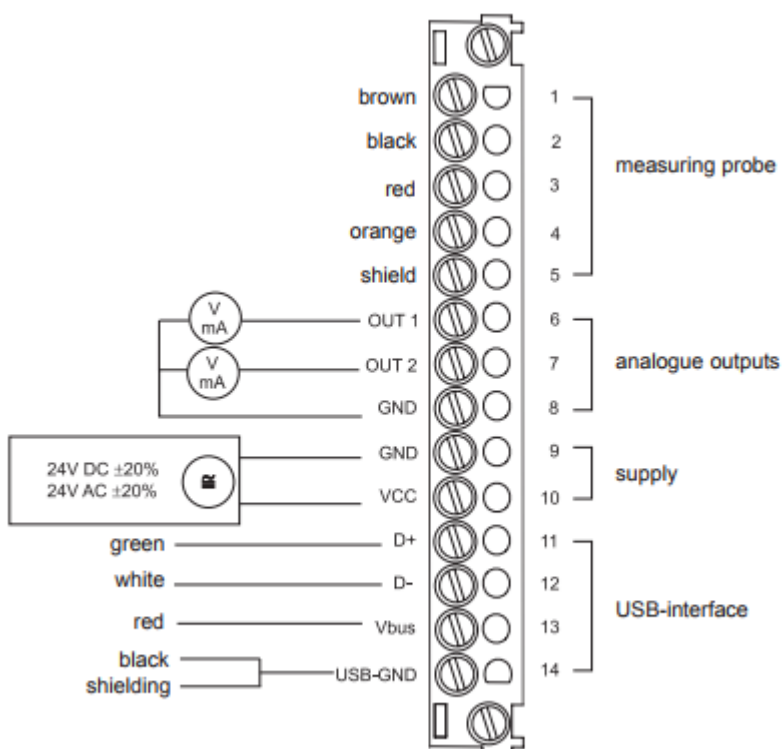
4.5 EE75-virtausmittari



KUVA 4.15. EE75-tyypin virtausmittari probe-mallisena (E+E Elektronik® 2017).

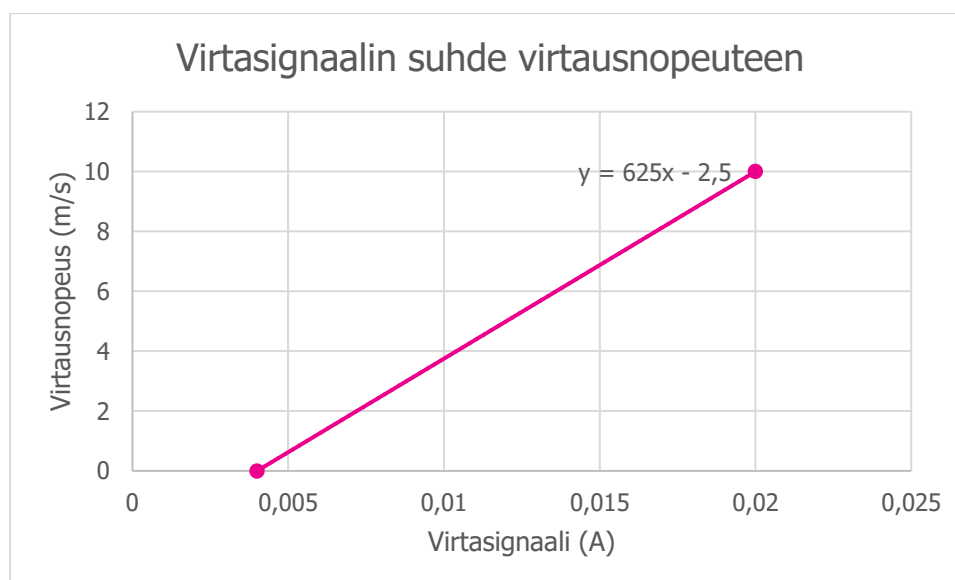
Kuuman ilman virtausta esimerkiksi saunakontista mitattiin E+E Elektronikin EE75-virtausmittareilla (KUVA 4.15). Mittari kykenee mittaamaan -40–120 °C asteista ilmaa jopa 40 m/s virtausnopeudella.

Tässä projektissa käytettiin probe-mallisia mittareita, joissa johdon päässä oleva mittapää kiinnitettiin ilmanvaihtoputkeen. Kyseiset yksilöt antoivat mittaustiedon ulos jännitesignaalin kytken ollessa seuraava (KUVA 4.16):



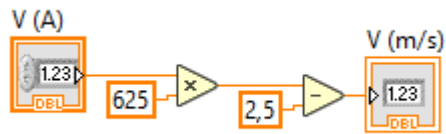
KUVA 4.16 EE75-tyyppin virtausmittarin kytkentäkaavio (E+E Elektronik® 2017). Analoginen signaali (jännite tai virta) saadaan virtausnopeudelle ja lämpötilalle pinneistä 6-8 ja käyttöjännite syötetään mittarille pinneihin 9 sekä 10.

Pienpolttosimulaattoriin asennetut EE75-virtausmittarit antavat virtausnopeuden 4-20 mA virtasignaalin. Virtausnopeuden alue mittarissa on 0-10 m/s. Koska muunnos on lineaarinen, voidaan Excelillä selvittää muunnokseen vaadittava kaava (KUVIO 4.1):



KUVIO 4.1. EE75-virtausmittarin virtasignaalin suhde virtausnopeuteen (Miettinen 2017).

LabVIEW-koodi muunnokselle näyttää seuraavalta (KUVA 4.17):



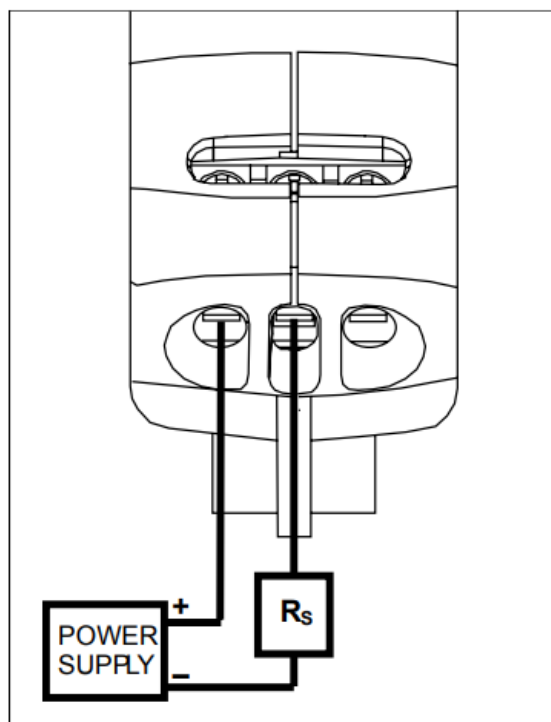
KUVA 4.17. EE75-virtausmittarin virtasignaalin muuntaminen (Miettinen 2017).

4.6 PDT102-paine-eromittari



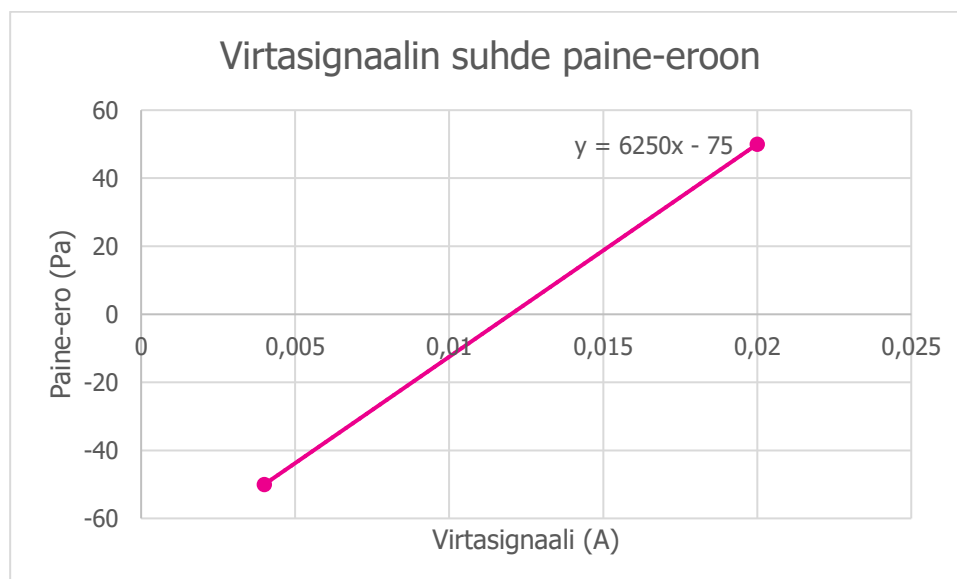
KUVA 4.18. PDT102-mallin paine-eromittari (Vaisala 2015).

Savukaasukanavan vetoa mitattiin Vaisalan PDT102-paine-eromittarilla (KUVA 4.18). Mittari kykenee mittaamaan ± 50 Pa paine-eroja ja toimii $-29-70$ °C asteen lämpötiloissa. PDT102 voidaan kytkeä joko kahden tai kolmen johtimen kytkennällä riippuen siitä, halutaanko ulos virta- vai jännitesignaali. Pienpolttosimulaattorin tapauksessa mittarilta otettiin virtasignaali jolloin kytkentä tuli kahdella johtimella (KUVA 4.19):



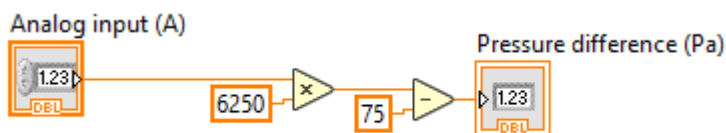
KUVA 4.19. PDT102:n kytkentä kahdella johtimella (Vaisala 2015).

PDT102 antaa ulos 4-20 mA virtasignaalin ja saa samalla käyttöjännitteen kahden johtimen kytkennällä. Koska mittari mittaa -50-50 pascalin välistä paine-eroa, saadaan Excelistä kuvaaja (KUVIO 4.2):



KUVIO 4.2. PDT102-paine-eromittarin virtasignaalin ja paine-eron suhde (Miettinen 2017).

Excelin laskemalla kaavalla voidaan LabVIEW:ssä muuntaa virtasignaali paine-eroksi (KUVA 4.20):



KUVA 4.20. PDT102:n virtasignaalin muuntaminen (Miettinen 2017).

4.7 Alicat MCR- ja MC-massavirtasäätimet



KUVA 4.21. Alicat MCR-massavirtasäädin (Alicat Scientific 2017).



KUVA 4.22. Alicat MC-massavirtasäädin (Alicat Scientific 2017).

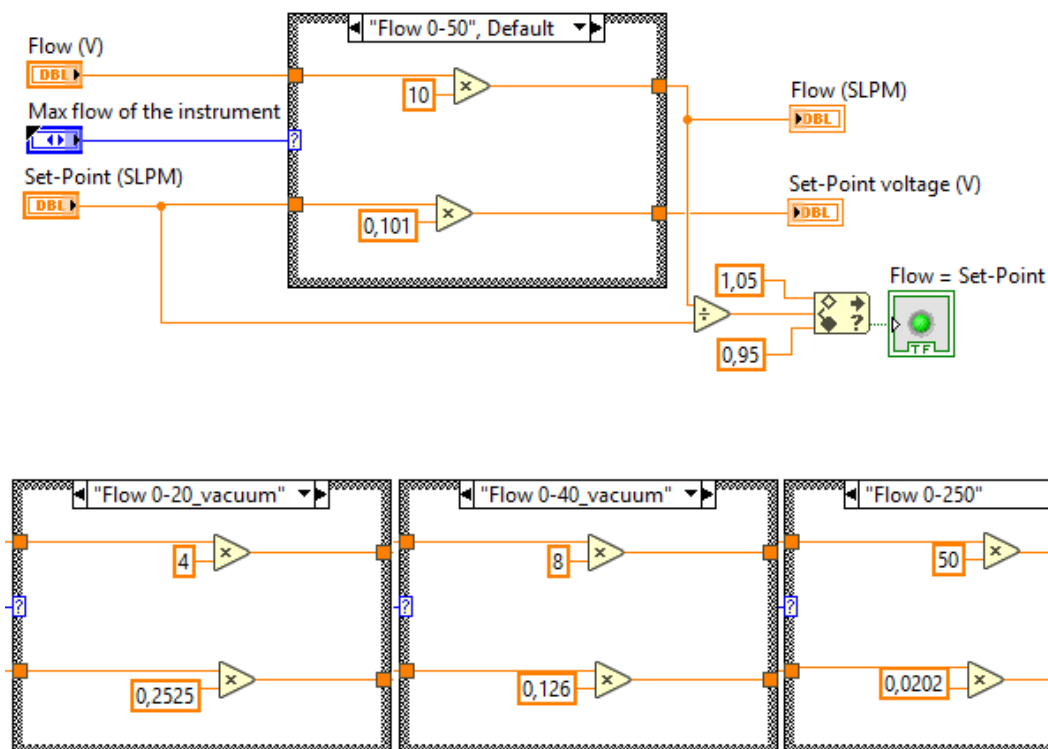
Pienpolttosimulaattorin mittauskontissa on yhteensä 5 kpl Alicat Scientificin massavirtasäätimiä. Kaksi niistä on MCR-tyyppin säätimiä (KUVA 4.21), jotka tulevat paineilmalinjoihin ja kolme MC-tyyppin massavirtasäädintä (KUVA 4.22), jotka tulevat vakuuimilinjoihin. Massavirtasäätimet pystyvät säätämään ilman virtauksen 20-250 standardilitraan per minuutissa mallista riippuen. KytKentä kaikissa on samanlainen. Alicat Scientific tarjoaa laitteisiin niihin sopivat kaapelit, jotka sai toisesta päästä kat-

kaistaina keskukseen kytkemistä varten. Massavirtasäätimet antavat virtauksen ulos 0-5 voltin jännitesignaalina ja niitä myös ohjataan samansuuruisella DC-jännitteellä (tasajännitteellä). Johtimien merkinnät kaapelissa ovat seuraavat (KUVA 4.23):

Pin	Function	Mini-DIN cable color
1	Not Connected (or optional 4-20mA Primary Output Signal)	Black
2	Static 5.12 Vdc [or optional Secondary Analog Output (4-20mA, 5Vdc, 10Vdc) or Basic Alarm]	Brown
3	Serial RS-232RX / RS-485(-) Input Signal (receive)	Red
4	Meters/Gauges = Remote Tare (Ground to Tare) Controllers = Analog Setpoint Input	Orange
5	Serial RS-232TX / RS-485(+) Output Signal (send)	Yellow
6	0-5 Vdc (or optional 0-10 Vdc) Output Signal	Green
7	Power In (as described above)	Blue
8	Ground (common for power, communications and analog signals)	Purple
Note: The above pin-out is applicable to all the flow meters and controllers with the Mini-DIN connector. The availability of different output signals depends on the options ordered. Optional configurations are noted on the unit's calibration sheet.		

KUVA 4.23. Alicat Scientificin massavirtasäätimien kaapelien johdinvärit ja merkitykset (Alicat Scientific 2017). Käyttöjännite syötetään pinniin 7 (sininen), ohjaussignaali pinniin 4 (oranssi), mittaussignaali luetaan pinnistä 6 (vihreä) ja kaikille yhteisenä maana toimii pinni 8 (violetti).

Mittauskontin keskukseen tarvitsi kytkeä näistä neljä johdinta eli numerot 4 (ohjaussignaali), 6 (mittaussignaali), 7 (käyttöjännite) sekä 8 (maadoitus aiemmille). Mittauskonttiin asennetut massavirtasäätimet ovat kaikki samanlaisia analogisten signaalien suhteen. Eri säätimillä on kuitenkin erilaiset maksimivirtaukset, jotka vaikuttavat analogisen signaalin muunnokseen. Tästä syystä LabVIEW-koodissa on tehty ehtolauseista rakenne, missä voidaan valita sopiva massavirtasäädin (KUVA 4.24):



KUVA 4.24. Alicat-massavirtasäätimen LabVIEW-koodi 50 litran säätimelle kokonaisuudessaan sekä alempana muiden säätimien sisältämä case- eli ehtolause-rakenne, jossa valitaan, minkä tyypin massavirtasäädin on kyseessä. Tämän jälkeen jännite ja käyttäjän asettama Set-Point-arvo muunnetaan kyseiselle massavirtasäätimelle sopivaksi. Ohjelma vertaa asetettua ja mitattua set-point-arvoa ja ilmoittaa, kun ne ovat $\pm 5\%$:n sisällä toisistaan. (Miettinen 2017.)

Massavirtasäätimissä skaalataan 0-5 voltin jännite säätimen maksimivirtaukselle mittauksessa. Ohjauksessa skaalaus tehdään toisin päin. Esimerkiksi 50 litran massavirtasäätimessä mittausjännite kerrotaan 10:llä ja Set-Point-arvo jaetaan 10:llä. Kuvassa 4.24 Set-Point-arvo kerrotaan 0,101:llä eikä 0,1:llä, koska testauksessa tämän havaittiin vastaavan todellista lukemaa massavirtasäätimen näytöltä paremmin.

4.8 CO₂-GMP343-hiilidioksidimittari

KUVA 4.25. Vaisala GMP343-hiilidioksidimittari (Vaisala 2013).

Vaisala GMP343-hiilidioksidimittareilla (KUVA 4.25) voidaan mitata tarkasti hiilidioksidipitoisuus kaasuissa. Mittareiden mittaustarkkuus on $\pm 0,5\%$ ja mittausalue yltää jopa 20000 ppm:ään asti. GMP343 voidaan konfiguroida antamaan analoginen signaali joko jännite- tai virtasignaalina (0-2,5 V, 0-5 V tai 4-20 mA). (Vaisala 2013.) Mittarissa on 8-pinninen Mini-DIN-liitäntä, josta saadaan mitaustulos ja syötettyä mittarilla käyttöjännite (KUVA 4.26).

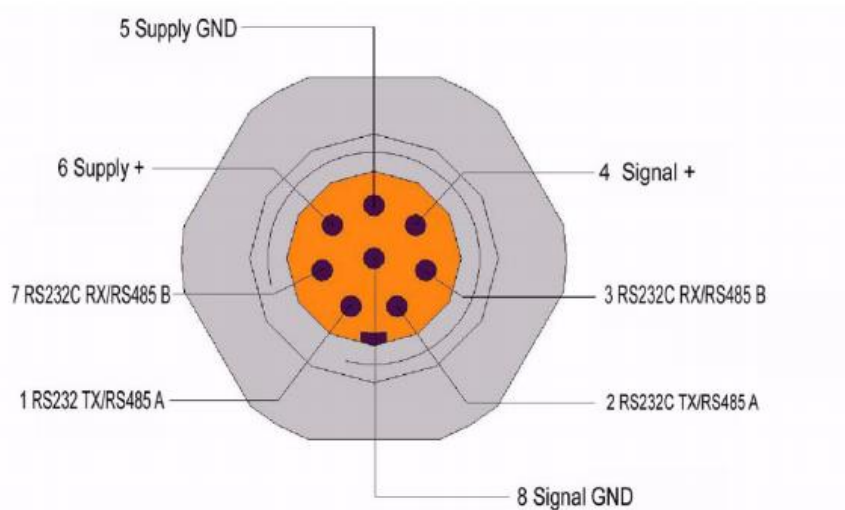
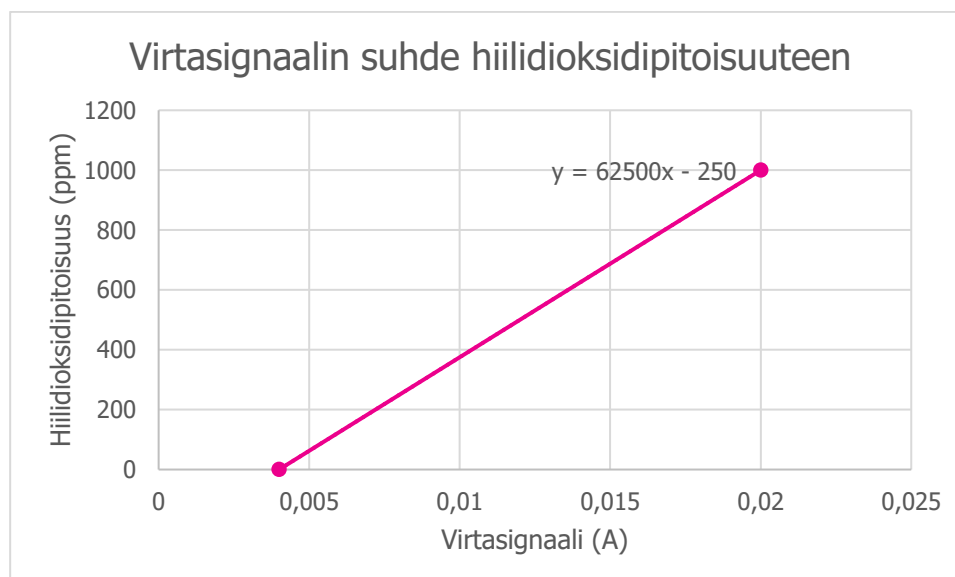


Table 2 Wiring Pins

Pin	Wire	Serial signal (RS-232 or 2-Wire RS-485 interface)		Analog signal
1	White	RS232C: TX	RS485: A(+)	-
2	Brown	RS232C: TX	RS485: A(+)	-
3	Green	RS232C: RX	RS485: B(-)	-
4	Yellow	-	-	Signal +
5	Grey	Supply GND	Supply GND	Supply GND
6	Pink	+11...36 V DC	+11...36 V DC	+11...36 V DC
7	Blue	RS232C: RX	RS485: B(-)	-
8	Shield	-	-	Signal GND

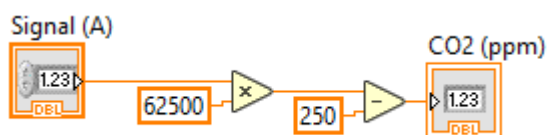
KUVA 4.26. GMP343-hiilidioksidimittarin liittimen pinnien kytkentäkuva (Vaisala 2013).

Sarjalikenneyhteyttä ei tarvita, joten liittimen pinneistä otetaan käyttöön signaalipinnit (4 ja 8) sekä käyttöjännitepinnit (5 ja 6). Hiilidioksidimittareita on mittauskontissa kaksi kpl, maksimipitoisuuksiltaan 1000 ppm sekä 5000 ppm. Väisälän hiilidioksidimittareiden 4-20 mA:n virtasignaalin muuntaminen CO₂-pitoisuudeksi tehdään kaavalla, joka selviää Excelillä (KUVIO 4.3):



KUVIO 4.3. Hiilidioksidimittarin virtasignaalin suhde hiilidioksidipitoisuuteen (Miettinen 2017).

LabVIEW:ssä muunnos näyttää seuraavalta (KUVA 4.27):



KUVA 4.27. GMP343-hiilidioksidimittarin (1000 ppm) LabVIEW-koodi (Miettinen 2017).

4.9 ULTRAMAT 23- ja FIDAMAT-kaasuanalysaattorit



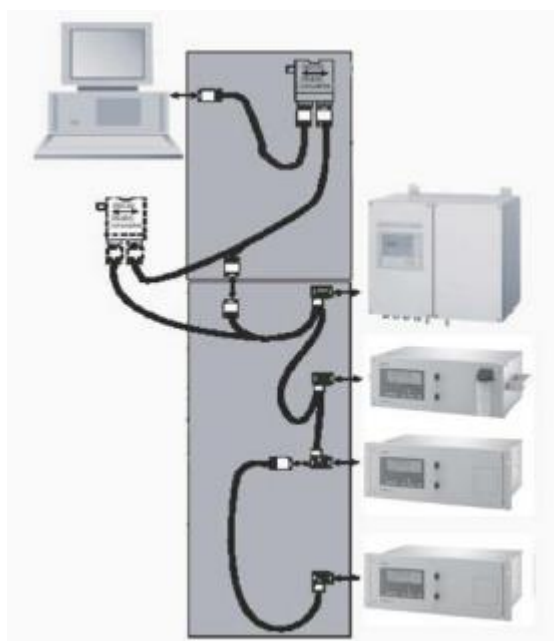
KUVA 4.28. Siemens ULTRAMAT 23-kaasuanalysaattori (Siemens 2016).

Siemens ULTRAMAT 23-kaasuanalysaattori (KUVA 4.28) analysoi reaaliaikaisesti sille syötetyn kaasun. ULTRAMAT 23 voidaan konfiguroida mittaamaan kaasusta hiilimonoksidin (CO), hiilidioksidin (CO₂), typpioksidin (NO), rikkidioksidin (SO₂), metaanin (CH₄), hapen (O₂) sekä rikkivedyn (H₂S). ULTRAMAT 23:ssa on RS-485-sarjaportti, jota tässä projektissa käytetään ELAN-sarjaliikenneyhteitä varten. ELAN-sarjaliikenneyhteys perustuu RS-485-protokollaan ja on Siemensin kehittämä tapa yhdistää useita mittalaitteita samaan ketjuun. ELAN-sarjaliikenneyhteys on melko harvinainen ja sitä käytetään lähinnä Siemensin omilla laitteilla.



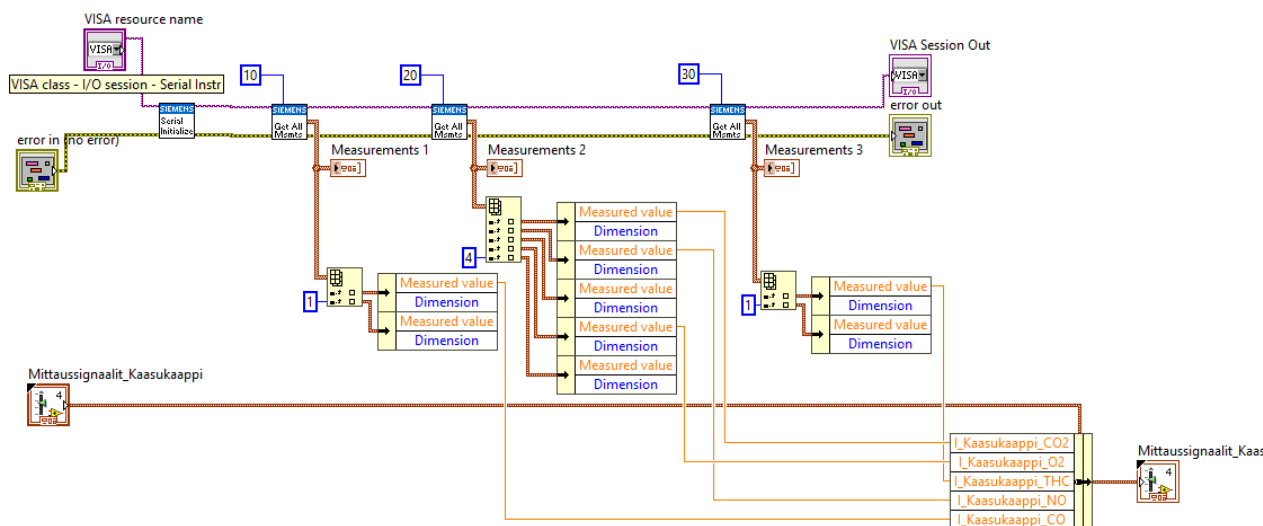
KUVA 4.29. Siemens FIDAMAT 6-kaasuanalysointilaitteisto (Siemens 2004).

Siemens FIDAMAT 6-kaasuanalysointilaitteisto (KUVA 4.29) mittaa mitattavan kaasun hiilivetyypitoisuutta vetykaasun avulla. FIDAMAT synnyttää vetykaasua polttaessaan ioneita, joista muodostetaan sähkövirta sähkökentän avulla. Sähkövirtaa mittaamalla saadaan selvitettyä hiiliatomien lukumäärä. (Siemens 2004). Myös FIDAMAT:ssa on RS 485-sarjaportti; molemmat kaasuanalysointilaitteistot ketjutetaan näiden porttien kautta, jolloin voidaan käyttää ELAN-sarjaliikennettä (KUVA 4.30).



KUVA 4.30. Periaatekuva ELAN-verkosta (Siemens 2016).

ELAN-verkossa voi olla maksimissaan 12 mittalaitetta. Kuvasta poiketen tässä projektissa on kaksi ULTRAMAT-kaasuanalysointilaitteistoa ja yksi FIDAMAT-kaasuanalysointilaitteisto ja ne on kytketty CompactRIO-kontrolleriin. Ketjutuksen tekeminen vaatii liittimien tekemistä 9-pinnisillä D-liittimillä. ELAN-verkon kommunikointiin oli saatavilla LabVIEW-instrumenttikirjasto, sitä hyödyntäen tehtiin pienpoltto-simulaattoriin ULTRAMAT 23- ja FIDAMAT 6-laitteiden mittausarvojen lukuohjelma (KUVA 4.31):



KUVA 4.31. Kaasuanalysointilaitteiden mittauksien haku ELAN-verkon avulla LabVIEW:ssä (Jakorinne 2017).

Ohjelmassa suoritetaan jokaiselle laitteelle oma yhteyspyyntö ja mitatut arvot otetaan talteen klusteriin.

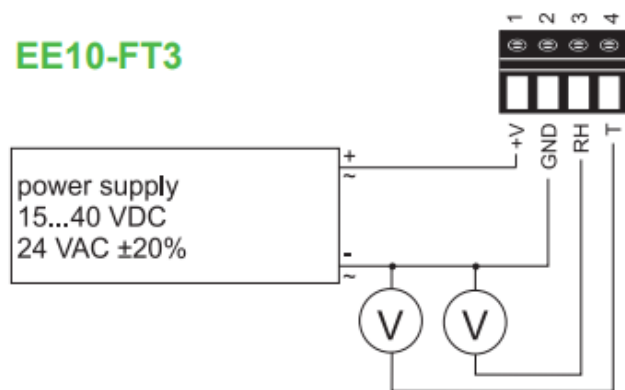
4.10 EE10-kosteusmittari



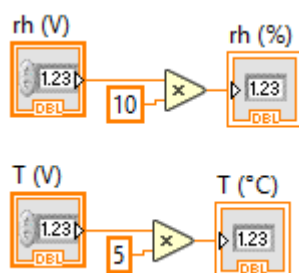
KUVA 4.32. EE10-kosteusmittareita (E+E Elektronik 2017).

Mittauskontin sisäilman kosteutta mitataan E+E Elektronikin EE10-kosteusmittarilla. Mittari antaa mittaustuloksen joko jännite- tai virtasignaalinä. Tässä projektissa käytettiin jännitesignaalia seuraavalla kytkennällä (KUVA 4.33):

EE10-FT3



KUVA 4.33. EE10-kosteusmittarin FT3-mallin kytkentäkaavio (Siemens 2017). Käyttöjännite syötetään pinnihin 1 ja 2, ilman kosteuden arvo saadaan pinnistä 3. Lämpötilatietoa mittarilta ei tarvittu, joten se jätettiin kytkemättä. LabVIEW-koodi kosteusmittarille on seuraava (KUVA 4.34):



KUVA 4.34. EE10-kosteusmittarin LabVIEW-koodi. Lämpötilatietoa ei lopulta hyödynnetty termoparien käytön vuoksi. (Miettinen 2017.)

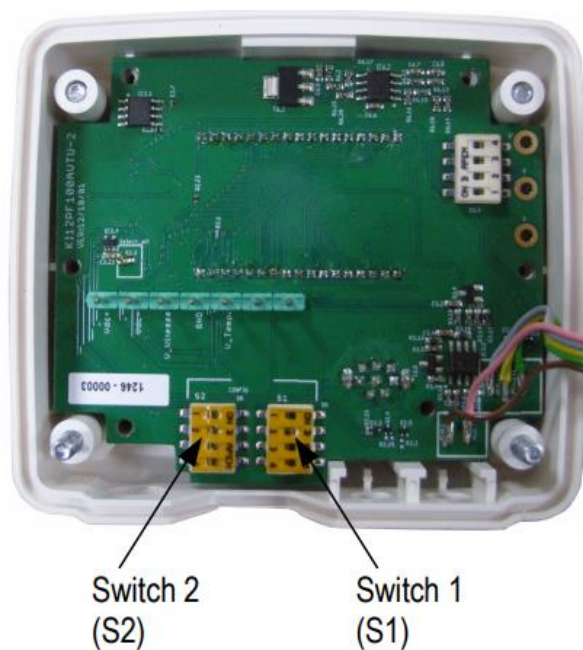
EE10 antaa mittaustiedon 0-10 voltin jännitteellä, jolloin muunnoksen kerroin on 10.

4.11 CTV 110-virtausmittari



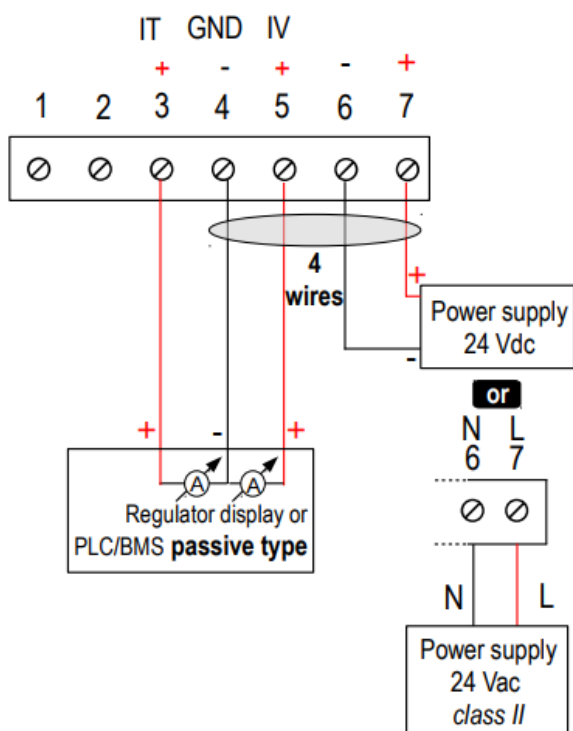
KUVA 4.35. CTV 110-virtausmittari (KIMO Instruments 2017).

Pienpolttosimulaattorissa on EE75-virtausmittareiden lisäksi viisi CTV 110-virtausmittaria (KUVA 4.35). Niillä mitataan ilman virtausnopeutta ilmanvaihtokanavissa: Mittauskonttiin ulkopuolelta tulevaa ilmaa sekä sieltä lähtevää ilmaa, korvausilmaa ja saunakonttiin tulevaa ilmaa sekä pois lähtevää ilmaa. CTV 110 voi mitata virtausnopeuksia väliltä 0-30 m/s ilman lämpötilan ollessa väliltä -20-200 °C (KIMO Instruments 2017). Sekä virtausnopeudelle että lämpötilalle asetetaan tilanteeseen sopivat mittausalueet mittarin sisällä olevilla dippikytkimillä (KUVA 4.36):



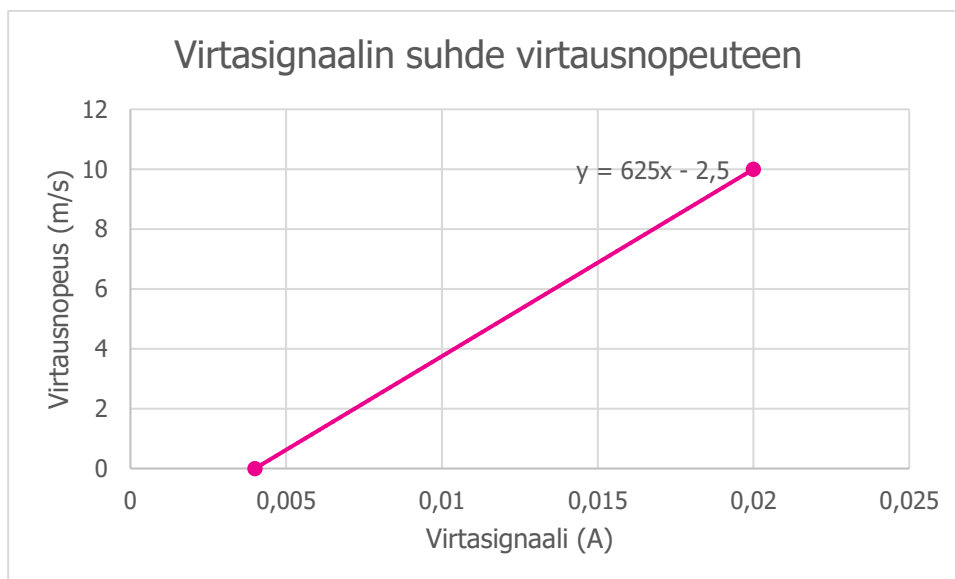
KUVA 4.36. CTV 110-virtausmittarin sisällä olevat dippikytkimet (KIMO Instruments 2017).

Dippikytkimien oikeat asennot löytyvät laitteen datalehdessä. Tässä projektissa käytetyt CTV 110-mallit antavat mittaustuloksen ulos 4-20 mA virtasignaalina, jolloin kytkentä tehdään seuraavasti (KUVA 4.37):



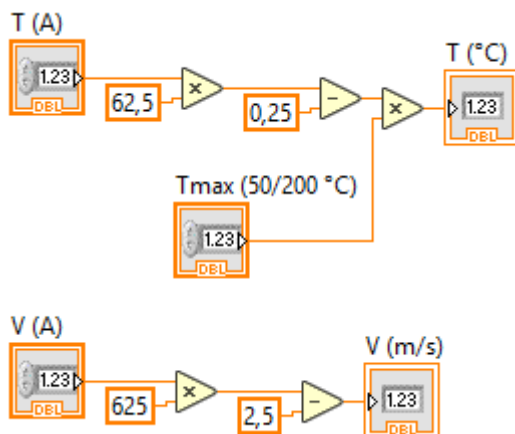
KUVA 4.37. CTV 110-mittarin kytkentäkaavio (KIMO Instruments 2017).

Käyttäjännite kytketään ruuveihin 6 ja 7, mittaussignaalit otetaan ruuveista 3-5. Mittarista ei otettu tässä tapauksessa lämpötilatietoa termoparien käytön vuoksi. CTV 110:n muunnoksessa virtausnopeuden maksimiarvo valittiin dippikytkimiä käyttämällä alueelle 0-10 m/s. Tällöin saadaan Excelistä muunnokseen kaava (KUVIO 4.4):



KUVIO 4.4. CTV 110-virtausmittarin virta signaalin ja virtausnopeuden suhde 0-10 m/s maksimivirtausnopeudella (Miettinen 2017).

CTV 110-virtausmittareiden mittaussignaalin muunnos LabVIEW:ssä (KUVA 4.38):



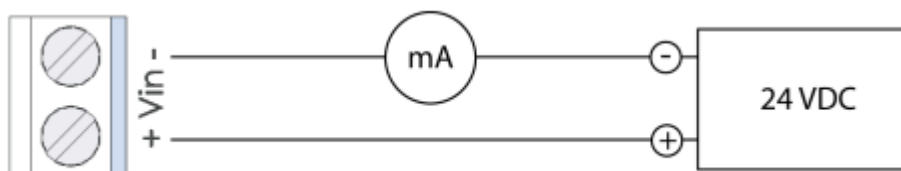
KUVA 4.38. CTV 110-virtausmittarin LabVIEW-koodi. Lämpötilatietoa ei otettu käyttöön. (Miettinen 2017.)

4.12 HMM100-kosteusmittari



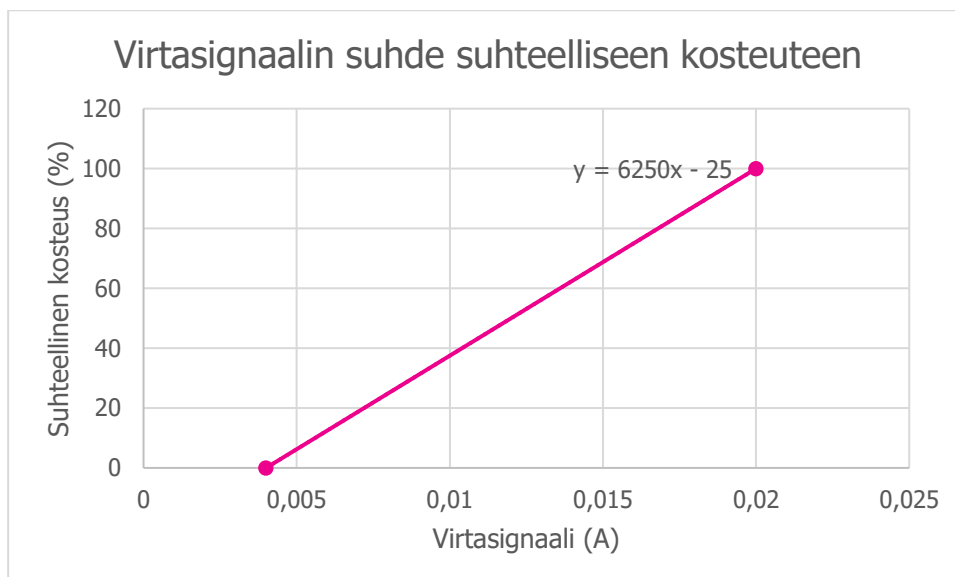
KUVA 4.39. HMM100-kosteusmittari (Vaisala 2013).

Vaisala HMM100-kosteusmittarilla mitataan saunakontin ilman suhteellista kosteutta. HMM100:n lämpötilan mittausalue on -70 - 180 °C, joten se soveltuu kuumankin saunailman mittaamiseen. Mittarin virhe on lämpötilasta riippuen n. $\pm 1,5$ - 3 %RH. (Vaisala 2013.) HMM100:ssa on kiinteästi kytketty probe, jossa mittaus tapahtuu. Analoginen mittaussignaali on kyseisessä mallissa 4 - 20 mA virtasignaali, jossa on kahden johtimen kytkentä (KUVA 4.40):



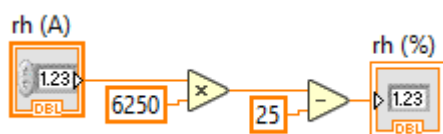
KUVA 4.40. HMM100-kosteusmittarin kahden johtimen kytkentäkaavio (Vaisala 2013).

Kulmakerroin mittaussignaaliille muunnosta varten selvitetään Excelissä (KUVIO 4.5):



KUVIO 4.5. HMM100-kosteusmittarin mittaussignaalin ja suhteellisen kosteuden välinen suhde (Miettinen 2017).

4-20 mA virtasignaali saadaan muunnettua suhteelliseksi kosteudeksi LabVIEW:ssä käyttämällä kulmakertoimen kaavaa (KUVA 4.41):



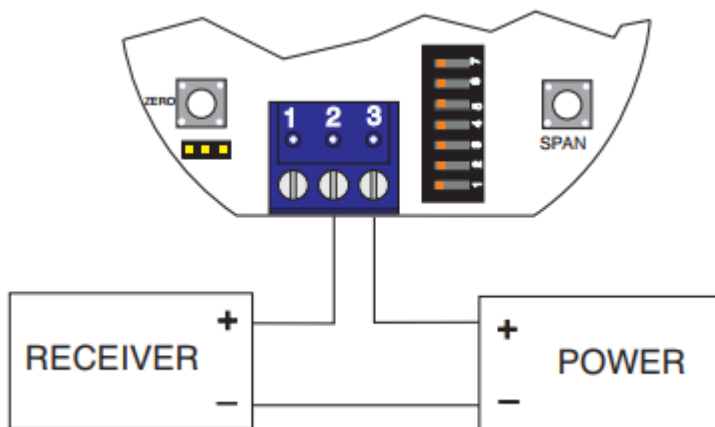
KUVA 4.41. HMM100-kosteusanturin virtasignaalin muuntaminen LabVIEW:ssä (Miettinen 2017).

4.13 MS2-paine-eromittari



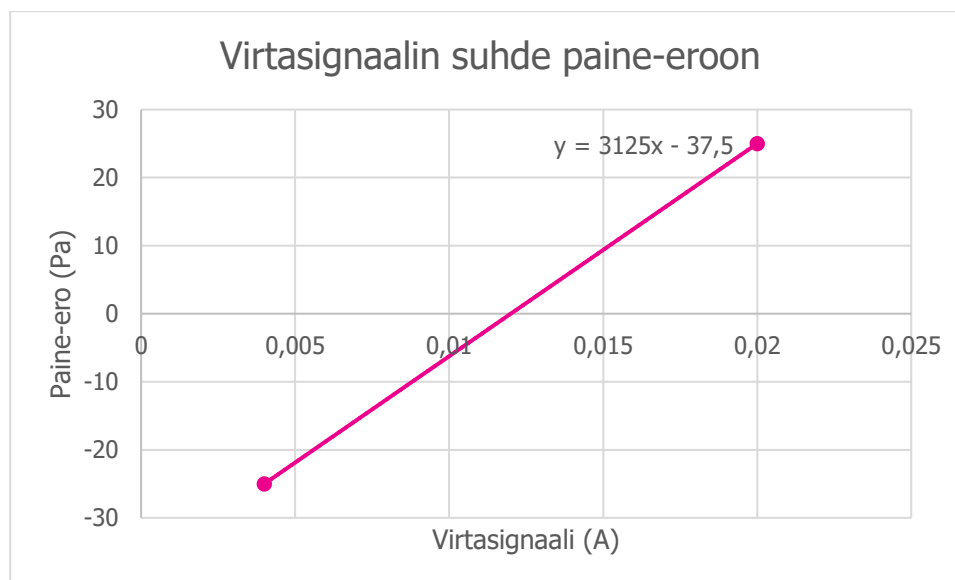
KUVA 4.42. MS2-mallin paine-eromittari (Dwyer Instruments 2015).

Mittauskontin ja ulkoilman välistä paine-eroa mitataan Dwyer Instrumentsin valmistamalla MS2 MagSense® II –paine-eromittarilla (KUVA 4.42). Mittauskonttiin hommatussa MS2:ssa on numero-näyttö ja se kykenee mittaamaan maksimissaan 25 Pa:n paine-eron virhemarginaalilla $\pm 0,1$ Pa. Mittari antaa mittaustuloksen 4-20 mA virtasignaalin. Kytkeä tapahtuu kahden johtimen kytkennällä (KUVA 4.43):



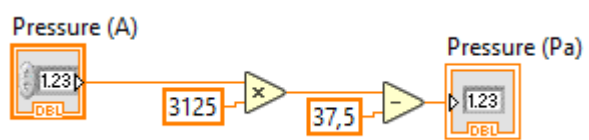
KUVA 4.43. MS2-paine-eromittarin kytkentä kahdella johtimella (Dwyer Instruments 2015).

MS2 mittaa myös alipaineen, jolloin mittausalue on -25-25 Pa. Excelistä saadaan mittaussignaalin muunnosta varten kulmakerroin (KUVIO 4.6):



KUVIO 4.6. MS2-paine-eromittarin mittaussignaalin ja paine-eron välinen kulmakerroin (Miettinen 2017).

MS2-paine-eromittarin antama virtasignaalin muunnos LabVIEW:ssä (KUVA 4.44):



KUVA 4.44. MS2-paine-eromittarin antaman 4-20 mA virtasignaalin muuntaminen paineeksi LabVIEW:ssä (Miettinen 2017).

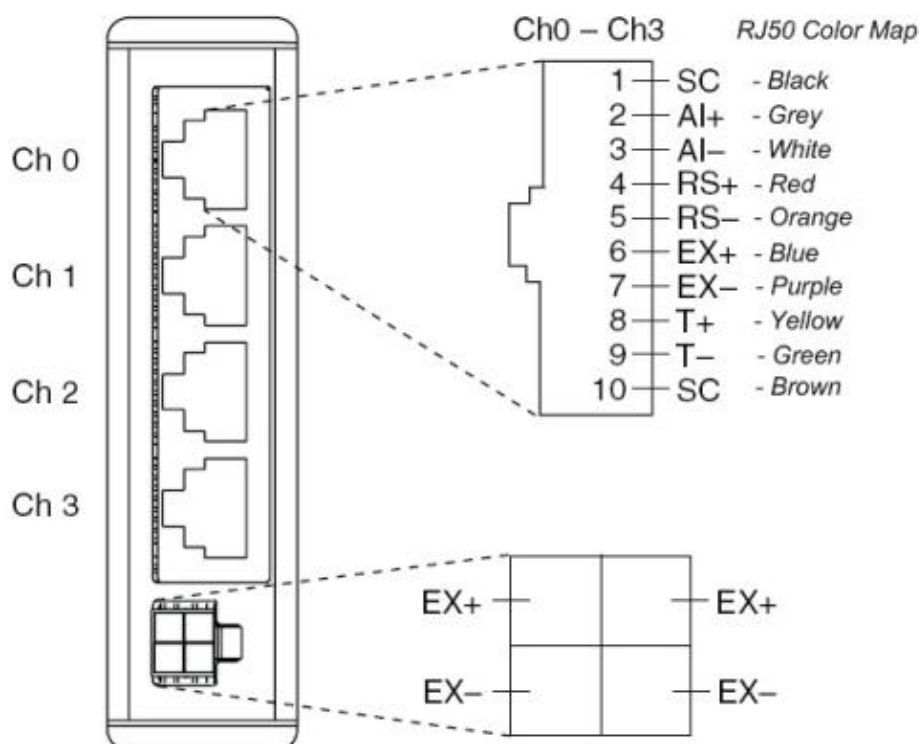
5 IV-KONE, KANAVAPUHALTIMET JA IV-PELLIT

5.1 IV-kone

Mittauskontissa on Deekaxin valmistama Talteri DIVK-C 91 B-ilmanvaihtokone. Kone pystyy siirtämään ilmaa maksimissaan 90 litraa sekunnissa ja siinä on mm. etu- ja jälkilämmitys. IV-konetta pystytään halutessa käyttämään erikseen tilattavalla käyttöpaneelilla tai etänä Modbus-väylän kautta. Modbus-väylä vaatii cRIO-alustaan NI-9871-sarjaliikennemuodulin, joka tukee RS-485- ja Modbus-protokollaa ja siihen sopivan RJ50-tietoliikennekaapelin. IV-koneen piirilevyllä on Modbus-väylää varten ruuviliitin väyläkaapelille, jossa on kolme paikkaa: 0, D+ ja D-. Johtimien kytkentää varten National Instrumentsilta löytyy apuja (TAULUKKO 5.1 ja KUVA 5.1), jotka auttavat Modbus-väylän käyttöönotossa:

TAULUKKO 5.1. Eri liittimien pinnien merkitykset (National Instruments 2014).

DB-9 Pin	DB-25 Pin	RJ-50 Pin	Signal (232)	Signal (485)
1	8	10	DCD	GND
2	3	9	RXD	CTS+
3	2	8	TXD	RTS+
4	20	7	DTR	RXD+
5	7	6	GND	RXD-
6	6	5	DSR	CTS-
7	4	4	RTS	RTS-
8	5	3	CTS	TXD+
9	22	2	RI	TXD-



KUVA 5.1. RJ50-liittimen värikoodaus (National Instruments 2014).

Modbus-väylän yksinkertaisimmassa muodossa RS-485-liittimestä kytketään D+:-aan RXD+ ja TXD+, kun taas RXD- ja TXD- kytketään D-:een sekä GND kytketään 0:aan. Taulukosta ja kuvasta selviävät RJ50-liittimen pinnien kytkentä sekä värikoodaus, jolloin RJ50-kaapelista kytketään ilmanvaihtokoneen Modbus-väylään seuraavat johtimet: Ruskea (0), valkoinen ja violetti (D+) sekä sininen ja harmaa (D-). Johtimien kytkennän lisäksi piirilevyllä on kolme jumper-liitintä, joilla Modbus-väylän biasointivastukset ja päätevastus saadaan kytkettyä joko päälle tai pois (KUVA 5.2):



KUVA 5.2. Modbus-väylää varten ilmanvaihtokoneen piirilevyllä kiinnitettävät johtimet RJ50-kaapelista (oikea ympyrä) ja jumper-liittimet biasointivastuksille sekä päätevastukselle (vasen ympyrä) (Miettinen 2017).

Biasointivastukset varmistavat, etteivät mahdolliset häiriöt aiheuta virheellisiä bittejä väylässä, kun se on odottavassa tilassa. Päätevastuksen olisi hyvä olla molemmissa päissä väylää signaalien heijastumisen estämisen vuoksi. (National Instruments 2014.)

Modbus-väylän käyttäminen LabVIEW:ssä vaatii I/O-serverin luomisen CompactRIO-kontrollerille. LabVIEW vaatii Modbus I/O-serverin luomiseen Datalogging Supervisory Control (DSC)- ja Real-Time Module-moduulit (National Instruments 2017). Serverissä asetetaan sopivat yhteysasetukset sarjaliikenteelle (KUVA 5.3):

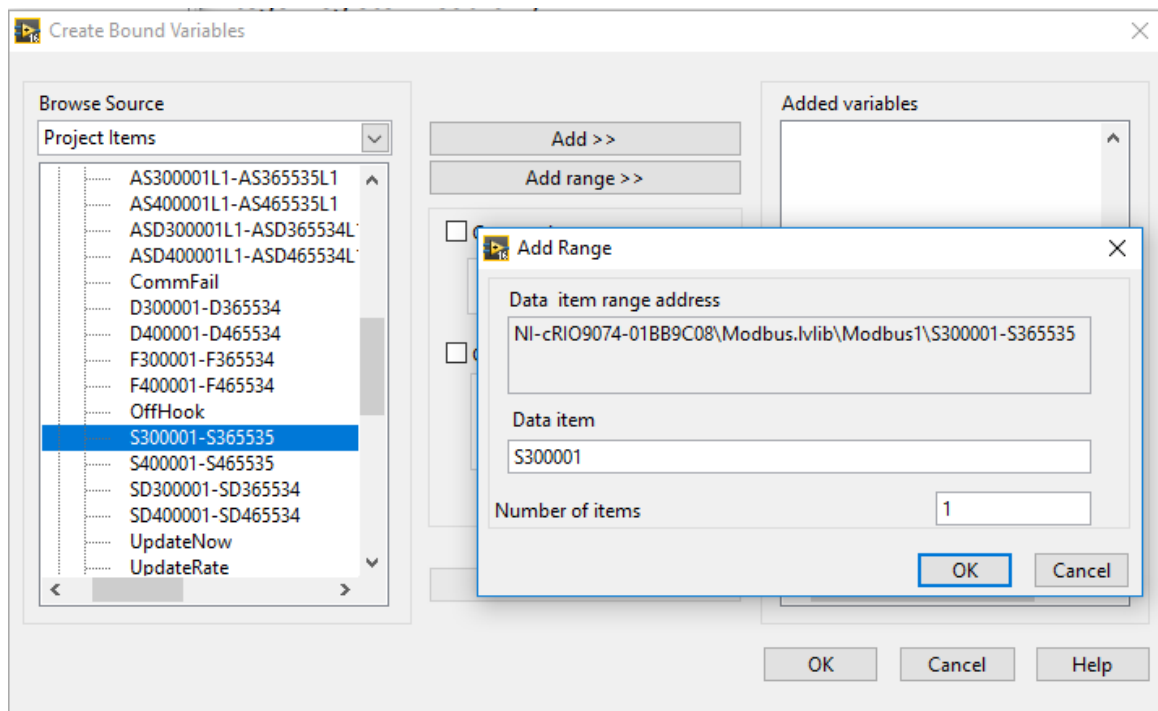
KUVA 5.3. Sarjaliikenneyhteyden konfigurointi Modbus-väylälle (Miettinen 2017).

Kun sarjaliikenneyhteys on konfiguroitu, voidaan lisätä Modbus-rekistereissä olevia muuttujia I/O-serveriin. Modbus-väylässä on kiinteät rekisterit, joista osa on ainoastaan lukemista varten ja osaan voidaan lukemisen lisäksi kirjoittaa. Deekax tarjoaa Modbusiin asennusohjeen, josta selviää mitä muuttujia mistäkin rekisteristä voidaan käyttää. Mittauskontin ilmanvaihtokoneessa on käytössä ainoastaan Input register (vain luku) ja Holding register (luku ja kirjoitus). Ulkoilman lämpötila esimerkiksi löytyy Input-rekisterin ensimmäisestä paikasta (KUVA 5.4):

Input register 16 bit integer register Read only					
Modbus	Rekisterin kuvaus	Min	Max	Unit	Kuvaus
Sovellushallintarekisterit					
3x00001	ulkoilman lämpötila			0.1°C	
3x00002	tuloilman lämpötila			0.1°C	
3x00003	poistoilman lämpötila			0.1°C	
3x00004	jäteilman lämpötila			0.1°C	

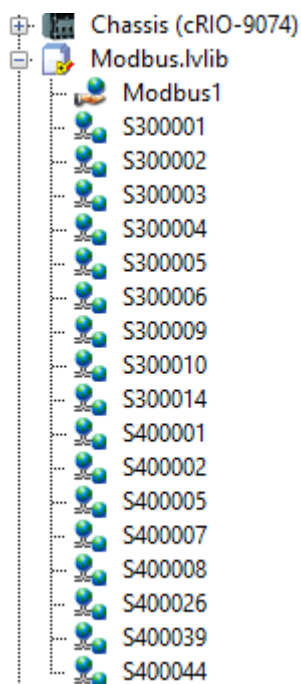
KUVA 5.4. Deekaxin ilmanvaihtokoneen Modbus-rekisterin muuttujia (Deekax 2017).

Lämpötilan lisääminen projektiin tapahtuu Create Bound Variables-toiminnon kautta (KUVA 5.5):



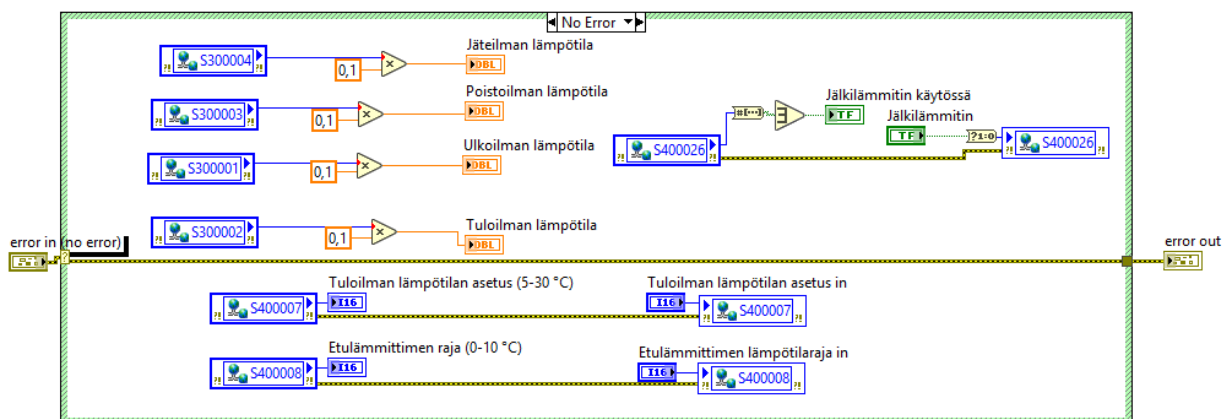
KUVA 5.5. Muuttujan lisääminen Modbus-rekisteristä projektiin, tässä tapauksessa ulkoilman lämpötila (Miettinen 2017).

Kaikki käyttöön otetut muuttujat tulevat I/O-serverin alle LabVIEW-projektissa (KUVA 5.6):



KUVA 5.6. Modbus-rekisterin jaettu muuttujia (Miettinen 2017).

Muuttujia voidaan tämän jälkeen käyttää LabVIEW-koodissa vetämällä ne hiirellä Block Diagramiin (KUVA 5.7):



KUVA 5.7. Ilmanvaihtokoneen lämpötiloihin liittyvät muuttujat ohjelmassa (Miettinen 2017).

5.2 Kanavapuhaltimet

Mittauskontissa on kolme kanavapuhallinta (KUVA 5.8). Savukaasukanava menee kontissa pitkän matkan vaakatasossa, jonka vuoksi yksi puhaltimista on katolla tekemässä vetoa savukaasukanavaan. Kaksi muuta kanavapuhallinta säätävät palamisilman määrää primääri- ja sekundääri-ilmaa puhaltamalla. Sekundääri-ilman lämpötilaa voidaan muuttaa puhaltimen jälkeen olevalla lämmittimellä.



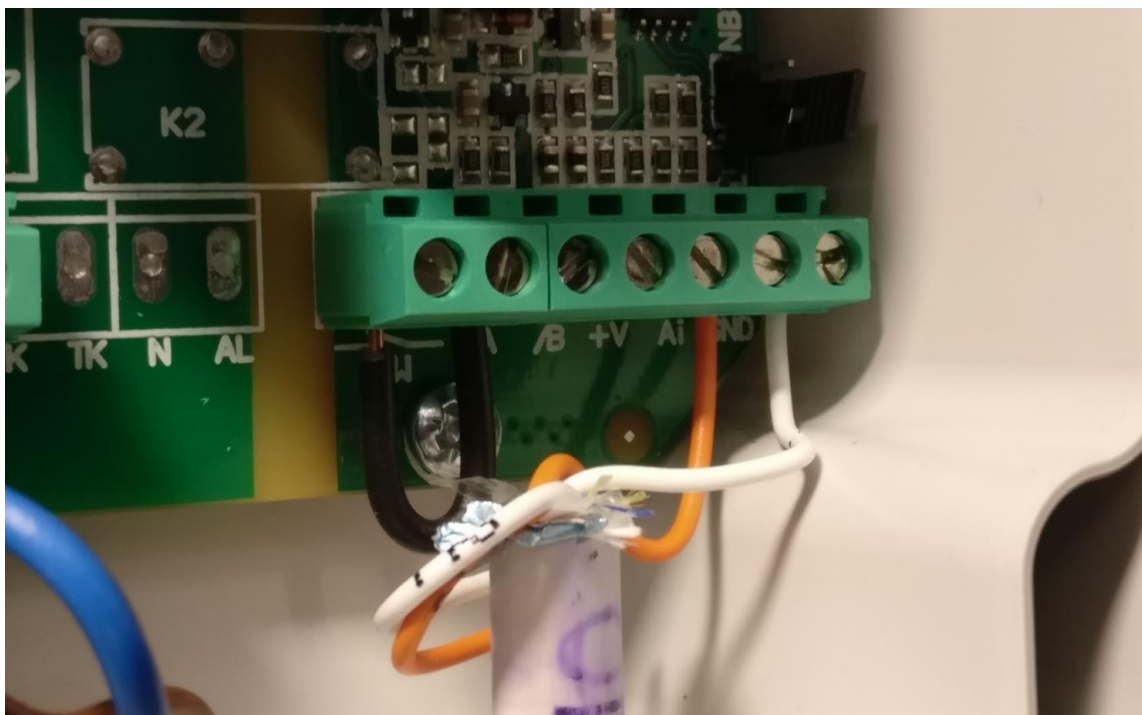
KUVA 5.8. Kanavapuhallin (Miettinen 2017).

Kanavapuhaltimia ohjataan tyristorisäätimillä (KUVA 5.9):



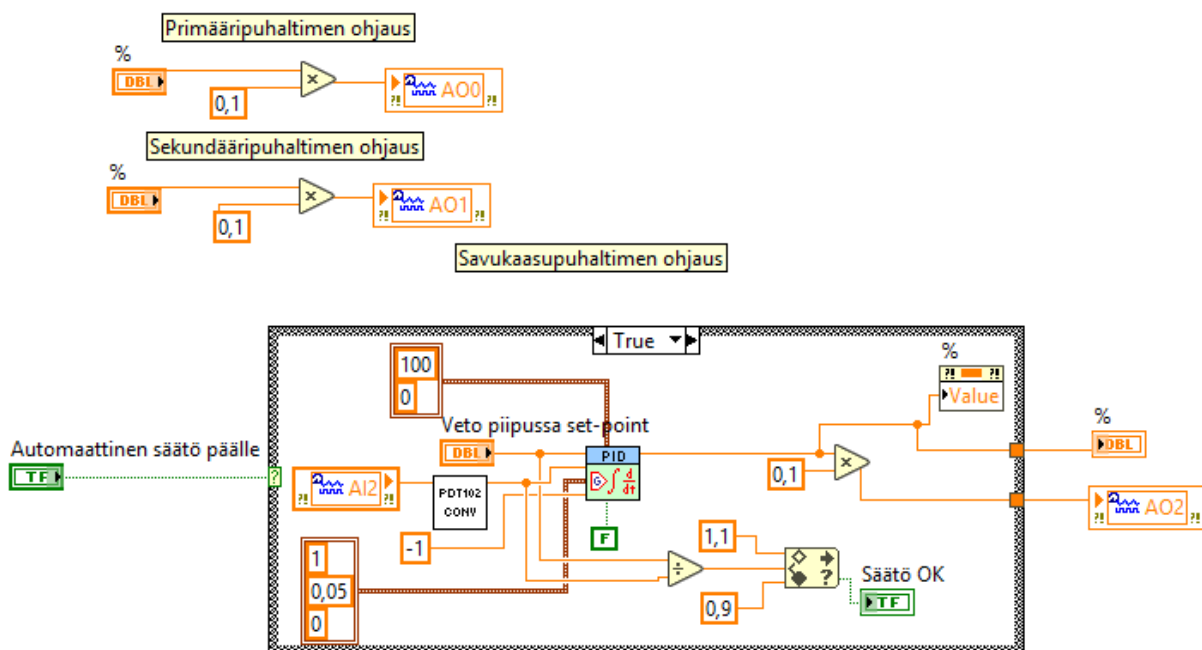
KUVA 5.9. Tyristorisäätimet kanavapuhaltimille (Miettinen 2017).

Tyristorisäätimien sisälle tulevassa kytkennässä 0-10 voltin jännite syötetään $A_i:n$ ja GND:n välille (KUVA 5.10):



KUVA 5.10. Tyristorisäätimen sisällä oleva kytkentä (Miettinen 2017).

LabVIEW:ssä kanavapuhaltimien ohjauksessa tyristorisäätimille syötetään jännite 0-10 voltin väliltä, joten muunnoksessa käyttäjän valitsema prosentuaalinen arvo kerrotaan 0,1:llä. Savukaasupuhaltimella pystytään keinotekoisesti aiheuttamaan haluttu paine-ero savupiippuun, mutta koska tulipesien palamisnopeus ja siitä aiheutuva veto ei ole vakio, tarvitaan automaattinen säätö savukaasupuhaltimeen. Tämä on toteutettu PID-säätimellä, joka säätää savukaasupuhaltimen nopeutta automaattisesti käyttäjän haluaman paine-eron mukaisesti (KUVA 5.11):

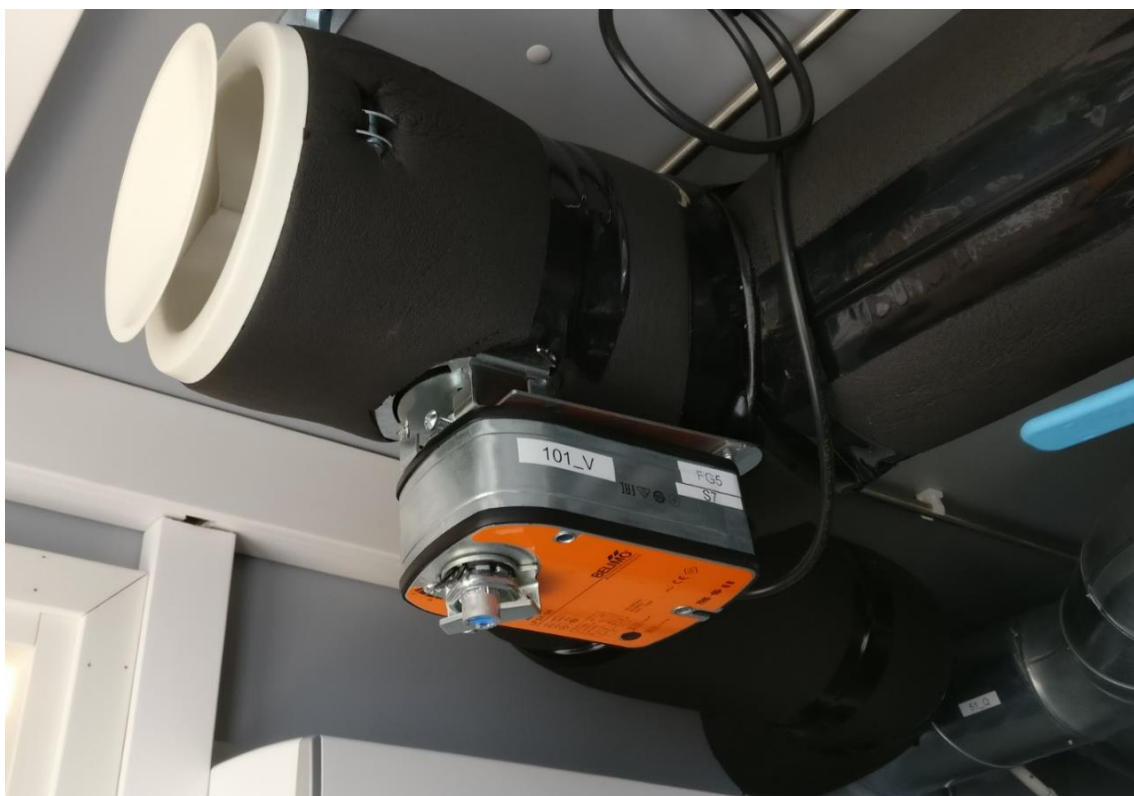


KUVA 5.11. Tyristorisäätimien LabVIEW-koodi. Savukaasupuhaltimelle täytyi tehdä mahdollisuus automaattiseen säätöön, jotta savupiipussa oleva veto (eli paine-ero) saadaan pidettyä tasaisena koko mittauksen ajan. (Miettinen 2017.)

PID-säätimen suhdeosa (P) on 1 ja integroiva osa (I) 0,05. Derivointia (D) säädössä ei käytetä lainkaan. Säädin vertaa mitattua paine-eroa haluttuun arvoon ja muuttaa savukaasupuhaltimen tyristorisäätimelle menevää jännitettä sen mukaisesti. Ohjelma ilmoittaa vihreällä led-valolla paine-eron olevan oikea, jos se on 10 %:n sisällä asetetusta. Automaattisen säädön voi keskeyttää väliaikaisesti esimerkiksi puiden lisäämisen ajaksi.

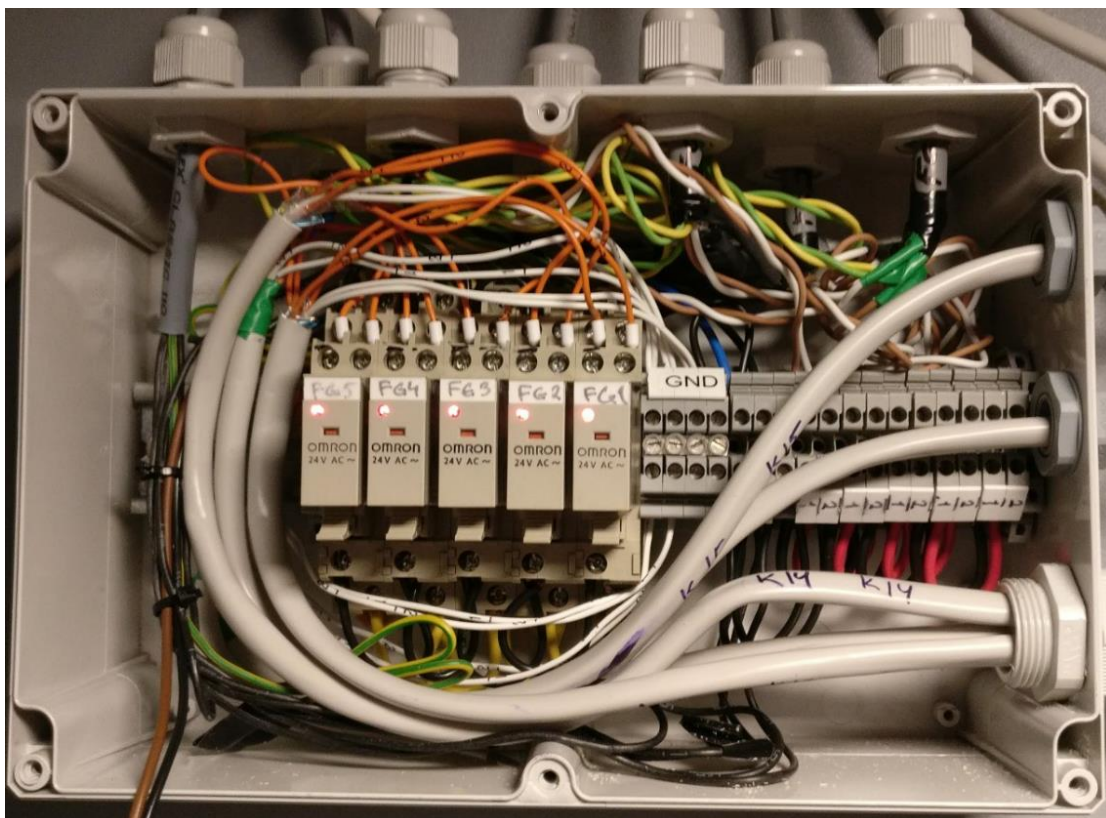
5.3 IV-pellit

Mittauskontissa on 5 sähköisesti ohjattavaa IV-peltiä (KUVA 5.12), joilla pystytään säätämään hyvin tarkasti läpi pääsevän ilman määrä eri tilanteissa. Peltejä on mittauskontin tulo-, poisto ja korvausilmaputkessa sekä saunakontin tulo- ja poistoilmaputkessa.



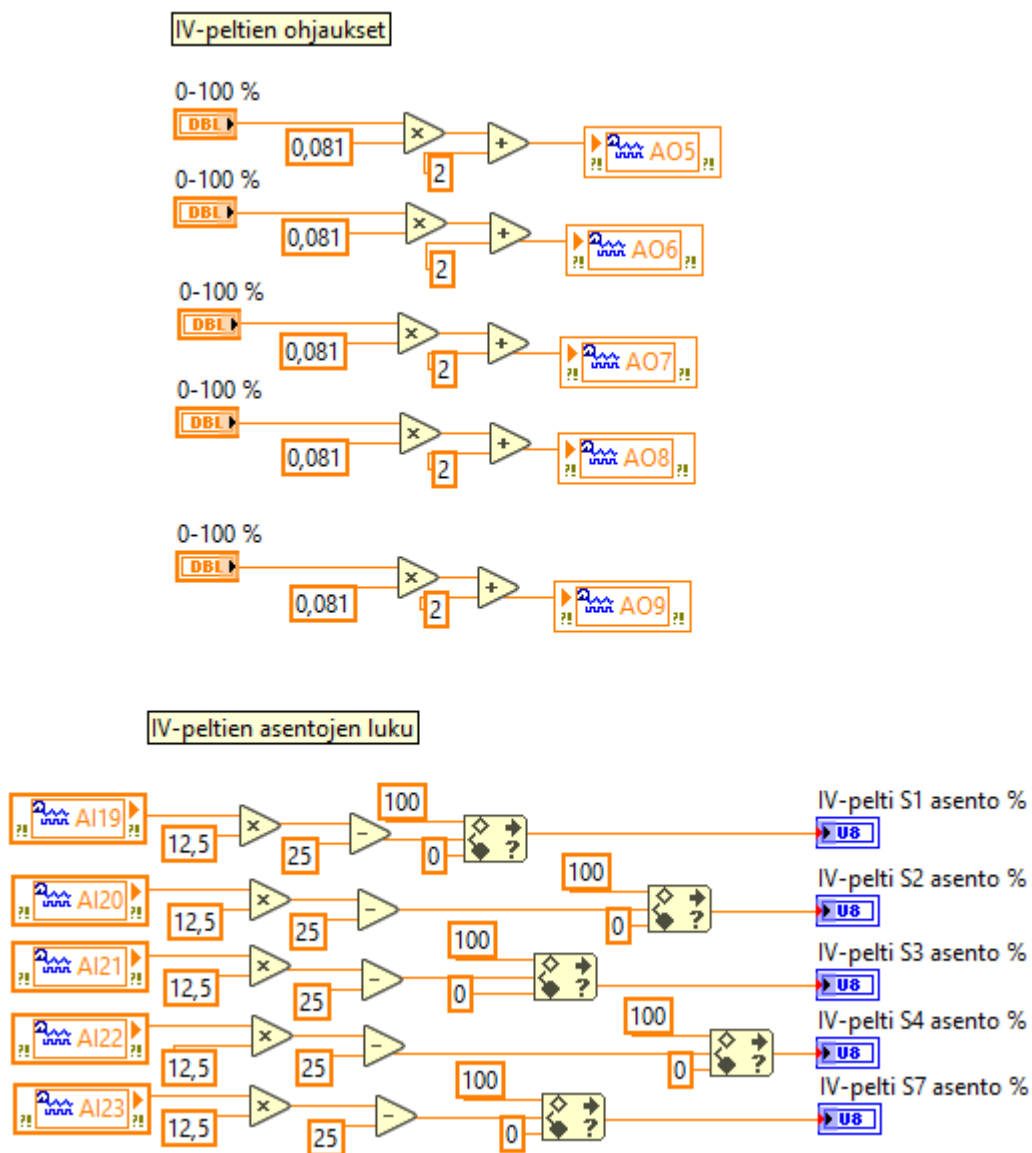
KUVA 5.12. Ilmanvaihdon peltimoottori korvausilmaputkessa (Miettinen 2017).

Peltejä kääntäviä moottoreita ohjataan 2-10 voltin jännitteellä ohjelmallisesti ja niistä saadaan myös asentotieto takaisinkytkennällä. Mittauskontin seinällä on kytkin, jolla voidaan pakottaa ohjaus joko auki tai kiinni, tai käyttää CompactRIO:lta tulevaa ohjausta. Seinällä on peltimoottoreille oma keskus, jossa on kaikille ohjauksen tyyppin määrittävä rele (KUVA 5.13):



KUVA 5.13. IV-peltien keskus käyttöjännitteelle ja ohjaukselle (Miettinen 2017).

Jokaiselle releelle menee oma NOMAK-kaapeli, josta kahdella johtimella kuljetetaan ohjausjännite ja kahdella mitataan takaisinkytkennästä asentotieto. LabVIEW-ohjelmassa muunnos tehdään 2-10 voltin alueelle, jolloin koodi näyttää seuraavalta (KUVA 5.14):



KUVA 5.14. IV-peltien ohjaus ja asentojen lukeminen LabVIEW:ssä (Miettinen 2017).

IV-pellin asennon luvussa jännite muunnetaan prosenttiarvoksi ja lukema vielä pyöristetään 0-100:n alueelle. Ohjauksessa prosenttiarvo muunnetaan 2-10,1 voltin jännitteeksi.

6 MITTAUSSIGNAALIEN DOKUMENTOINTI JA KYTKENNÄT MITTAUSKONTISSA

Suunnitteluvaiheessa dokumentoitiin pienpolttosimulaattoriin asennettavien laitteiden osalta tiedonkeruujärjestelmään liittyvät mittaussignaalit, jotka kerättiin laitelistana Excel-taulukkoon ennen min-kään laitteen testaamista. Laitelistassa on jokaisen laitteen tarkka malli, liitântätapa, signaalin tyyppi, käytettävä cRIO-moduuli ja siinä käytettävän pinnin numero sekä laitteelle tulevan kaapelin nimi (KUVA 6.1):

MITTAUSSIGNAALIT												
Nimi	Kortin ilmakeäntämittarit	Malli	Liitäntä	Signaali	Termopari	Ni9213	AI 0-20mA	Ni9208	Kaapeli	AI 0-10V	Ni9205	Kaapeli
x L_tulisija_Prim-ilma (ei lämpötila)	Primääri-ilman määrä	EE75	4-lankainen NOMAK	4-20mA	Laskenta		1	1A10	K1.1			
x L_tulisija_Seku-ilma (ei lämpötila)	Sekundääri-ilman määrä	EE75	4-lankainen NOMAK	4-20mA	Laskenta		1	1A11	K2.1			
x L_jilippu_veto	Veto piljussa	PDT102-P2C	4-lankainen NOMAK	4-20mA	Tiedonkeruu		1	1A12	K3			
x V_hiu_PND_lainennus	PRD-lainennusilman määrä	Alicat MCR-50SLPM-D/5W.5IN GAS:AIR	8-pinninen Mini din	0-5 V	Tiedonkeruu					1	1A10	8-P-MCR-1
x V_hiu_ED_lainennus	ED-lainennusilman määrä	Alicat MCR-250SLPM-D/5W.5IN GAS:AIR	8-pinninen Mini din	0-5 V	Tiedonkeruu					1	1A11	8-P-MCR-2
x V_hiu_suodat_in_Keräys		Alicat MCR-50SLPM-D/5W.5IN GAS:AIR	8-pinninen Mini din	0-5 V	Tiedonkeruu					1	1A16	8-P-MCR-3
x V_hiu_OC/EC_Keräys_1		Alicat MCP-20SLPM-D/5W.5IN GAS:AIR	8-pinninen Mini din	0-5 V	Tiedonkeruu					1	1A117	8-P-MCR-4
x V_hiu_OC/EC_Keräys_2		Alicat MCP-20SLPM-D/5W.5IN GAS:AIR	8-pinninen Mini din	0-5 V	Tiedonkeruu					1	1A118	8-P-MCR-5
x L_hiu_CO2_lainennusilma	CO2-lainennusilma	CO2-GMP343	8-pinninen pyöröpotistoliitin (naaras, MI2)	4-20 mA	Laskenta		1	1A13	8-P-MI2-1			
x L_hiu_CO2_lainennusilma_savuk	CO2-lainennettu savukaasu	CO2-GMP343	8-pinninen pyöröpotistoliitin (naaras, MI2)	4-20 mA	Laskenta		1	1A14	8-P-MI2-2			
x L_kaasukaappi_CO2	CO2	Ultramat 1	RS485/ELAN	RS485 - ELAN	Laskenta							
x L_kaasukaappi_O2	O2	Ultramat 1	RS485/ELAN	RS485 - ELAN	Laskenta							
x L_kaasukaappi_THC	THC (Fidamat 6)	Fidamat	RS485/ELAN	RS485 - ELAN	Laskenta							
x L_kaasukaappi_NO	NO	Ultramat 1	RS485/ELAN	RS485 - ELAN	Laskenta							
x L_kaasukaappi_CO	CO	Ultramat 2	RS485/ELAN	RS485 - ELAN	Laskenta							
x L_paine_ero	Paine-ero sisä/ulko	MS2-W111-LCD	4-lankainen NOMAK	4-20 mA	Tiedonkeruu		1	1A15	K4.1			
x L_kontti_tulolma (ei lämpötila)	IV tuloliman määrä	CTV110	4-lankainen NOMAK	4-20 mA	Laskenta		1	1A16	K5.1			
x L_kontti_poistolima (ei lämpötila)	IV poistoliman määrä	CTV110	4-lankainen NOMAK	4-20 mA	Laskenta		1	1A17	K6.1			
x L_kontti_korvausilma (ei lämpötila)	Korvausilman määrä	CTV110	4-lankainen NOMAK	4-20 mA	Laskenta		1	1A18	K7.1			
x L_sauna_poisto (ei lämpötila)	Saunan poistoliman määrä	CTV110	4-lankainen NOMAK	4-20 mA	Laskenta		1	1A19	K8.1			
x L_sauna_RH	Saunan poistoliman kosteus	HMM1100-15AIDE	4-lankainen NOMAK	4-20 mA	Tiedonkeruu		1	1A110	K9.1			
x L_sauna_tulo	Saunan tuloliman määrä	CTV110	4-lankainen NOMAK	4-20 mA	Laskenta		1	1A111	K9.1.1			
x V_kontti_RH	Mittauskontin sisäilman kosteus	EE10-FT3-T04	4-lankainen NOMAK	0-10 V	Laskenta					1	1A12	K18.1
V_etatio	Etatiometri (muustahili)	AE33	9-pinninen dsub	RS232 sarjajälkikenne	Laskenta							
V_ElPI	ElPI	3779/3776	9-pinninen dsub	RS232 sarjajälkikenne	Laskenta					1	1A13	
x V_CPC	CPC	3779/3776	BNC	0-10V	Laskenta							BNC

KUVA 6.1. Kuvakaappaus tiedonkeruujärjestelmän laitelista (Miettinen 2017).

Ennen kytkentöjä keskukseen mittaussignaaleista tehtiin kytkentätaulukot, jotta johtimien kytkeminen menisi suoraviivaisesti ja ilman virheitä. Kytkentätaulukoissa on mittalaitteen/anturin kaapelin nimi ja minne sen johtimet kytketään riviliitinpakassa, cRIO-moduulin tyyppi ja sen käytettävät pinnit, cRIO-moduulin kaapelin johtimien värit ja niiden paikka riviliitinpakassa sekä mittalaitteen/anturin nimi. Ylempään riviliitinpakkaan kytkettiin virtamoduuli (KUVA 6.2) ja alempaan riviliitinpakkaan jännitesignaalien input- ja output-moduulit (KUVA 6.3 ja KUVA 6.4):

YLIN RIVILIITINPAKKA							
Kaapeli	Johtimen				NI D-sub 37 pin	HUOM!	
	väri	Kortti NI 9208	Pinni				
K1	1	o +	Vsup	20	Red/Black	2. pari COMiin	EE75
	20	v -	AI0	1	Black		
K2	2	o +	Vsup	21	Orange/Black	2. pari COMiin	
	21	v -	AI1	2	Brown		
K3.1	3	o +	Vsup	22	Yellow/Black		PDT102-P2C
	22	v -	AI2	3	Red		
8-P-M12-1	4	Pink	Vsup	23	Green/Black	Harmaa ja punainen COM	CO2-GMP343
	23	Yellow	AI3	4	Orange		
8-P-M12-2	5	Pink	Vsup	24	Gray/Black	Harmaa ja punainen COM	CO2-GMP343
	24	Yellow	AI4	5	Yellow		
K4.1	6	o +	Vsup	25	Pink/Black	Kytke kaapelin maadoituslanka maihin keskuksessa	MS2-W111-LCD
	25	v -	AI5	6	Green		
K5	7	o +	Vsup	26	Pink/Red	2. pari COMiin	CTV110
	26	v -	AI6	7	Blue		
K6	8	o +	Vsup	27	Pink/Blue	2. pari COMiin	CTV110
	27	v -	AI7	8	Purple		
	9	o +	COM	28	Pink/Green		
	28	v -	COM	9	Gray		
	10	o +	COM	29	Light Blue		
	29	v -	COM	10	White		
K7	11	o +	Vsup	30	Light Blue/Black	2. pari COMiin	CTV110
	30	v -	AI8	11	Pink		
K8	12	o +	Vsup	31	Light Blue/Red	2. pari COMiin	CTV110
	31	v -	AI9	12	Light Green		
K9	13	o +	Vsup	32	Light Blue/Blue		HMM100-15A1DE
	32	v -	AI10	13	Black/White		
K19	14	o +	Vsup	33	Light Blue/Green	2. pari COMiin	CTV110
	33	v -	AI11	14	Brown/White		
	15			34	Gray/Red	Power supply Vsup	
	34			15	Red/White		
	16			35	Gray/Green		
	35			16	Orange/White		
	17			36	Purple/Black		
	36			17	Green/White		
	18			37	Blue/Black		
	37			18	Blue/White		
	19			19	Purple/White		

KUVA 6.2. Virtasignaalien riviliitinpakan kytkentätaulukko. Taulukossa esitetään valkealla pohjalla sarakkeissa vasemmalta alkaen laitteelta tulevan kaapelin nimi, riviliittimen paikka sekä johtimien värit, mittakortin kanavan nimi ja numero, mittakorttiin kiinnitettävän kaapelin johtimien värit, huomautukset sekä kytkettävän laitteen malli. (Miettinen 2017.)

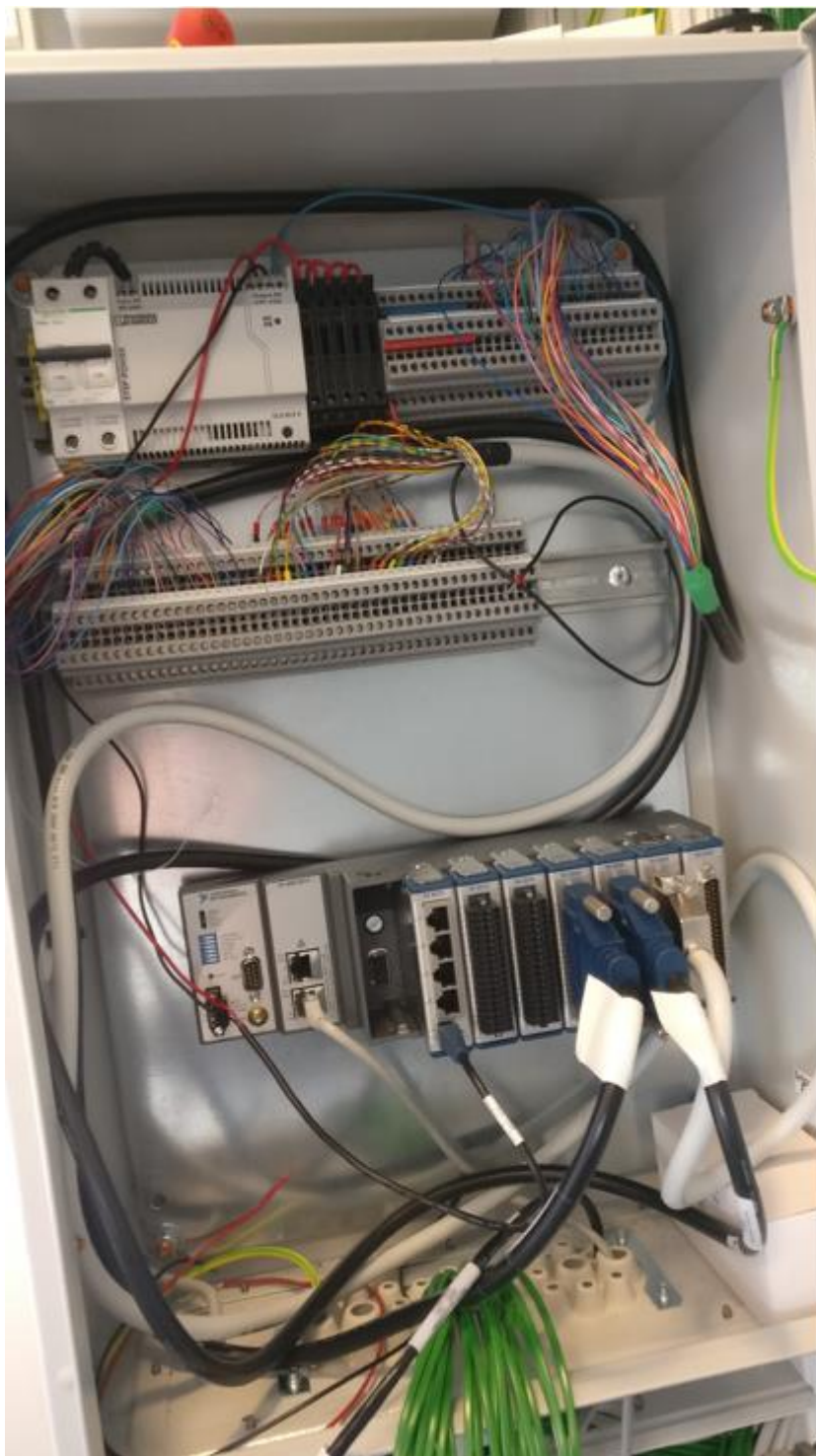
ALEMPI RIVILIITINPAKKA							
Kaapeli	Johtimen väri				NI D-sub 37 pin		HUOM!
	Riviliitin		Kortti NI 9205	Pinni			
8-P-MCR-1	1	Green	AI0	1	Black	Sininen +24VDC	Alicat MCR50
	48	Purple	AI8	20	Red/Black	Ohjaus: Oranssi	
8-P-MCR-2	2	Green	AI1	2	Brown	Sininen +24VDC	Alicat MCR250
	49	Purple	AI9	21	Orange/Black	Ohjaus: Oranssi	
K18.1	3	o +	AI2	3	Red	K18.2 käyttöjännite	EE10
	50	v -	AI10	22	Yellow/Black		
BNC	4	p +	AI3	4	Orange		CPC
	51	m -	AI11	23	Green/Black		
12-napainen	5	Red	AI4	5	Yellow	Maat kytketään COMiin Riviliittimet 52 ja 53 kytketään hyppylangalla yhteen	TEOM
	52	Gray	AI12	24	Gray/Black		
	6	Black	AI5	6	Green		
	53	Gray	AI13	25	Pink/Black		
	7	Blue	AI6	7	Blue		
	54	Blue/Red	AI14	26	Pink/Red		
	8	Purple	AI7	8	Purple		
	55	Blue/Red	AI15	27	Pink/Blue		
	9			9	Gray		
	56			28	Pink/Green		
	10		COM	10	White		
8-P-MCR-3	11	Green	AI16	11	Pink	Sininen +24VDC	Alicat MCR50
	58	Purple	AI24	30	Light Blue/Black	Ohjaus: Oranssi	
8-P-MCR-4	12	Green	AI17	12	Light Green	Sininen +24VDC	Alicat MC20
	59	Purple	AI25	31	Light Blue/Red	Ohjaus: Oranssi	
8-P-MCR-5	13	Green	AI18	13	Black/White	Sininen +24VDC	Alicat MC20
	60	Purple	AI26	32	Light Blue/Blue	Ohjaus: Oranssi	
K13.2	14	o +	AI19	14	Brown/White	Asentotieto	IV-pelti S1
	61	v -	AI27	33	Light Blue/Green		
K14.2	15	o +	AI20	15	Red/White	Asentotieto	IV-pelti S2
	62	v -	AI28	34	Gray/Red		
K15.2	16	o +	AI21	16	Orange/White	Asentotieto	IV-pelti S3
	63	v -	AI29	35	Gray/Green		
K16.2	17	o +	AI22	17	Green/White	Asentotieto	IV-pelti S4
	64	v -	AI30	36	Purple/Black		
K17.2	18	o +	AI23	18	Blue/White	Asentotieto	IV-pelti S7
	65	v -	AI31	37	Blue/Black		
	19			19	Purple/White		
	66	Red	+24 VDC			+24 VDC	

KUVA 6.3. Jännitesignaalien riviliitinpaikan kytkentätaulukko. Taulukossa esitetään valkealla pohjalla sarakkeissa vasemmalta alkaen laitteelta tulevan kaapelin nimi, riviliittimen paikka sekä johtimien värit, mittakortin kanavan nimi ja numero, mittakorttiin kiinnitettävän kaapelin johtimien värit, huomautukset sekä kytkettävän laitteen malli. (Miettinen 2017.)

Kaapeli	Riviliitin	Johtimen väri	Kortti NI 9264	Pinni	NI D-sub 37 pin	HUOM!		
K10.1	20	o +	AO0	1	Black		Tyristori	
	67	v -	COM	20	Red/Black			
K11.1	21	o +	AO1	2	Brown		Tyristori	
	68	v -	COM	21	Orange/Black			
K12.1	22	o +	AO2	3	Red		Tyristori	
	69	v -	COM	22	Yellow/Black			
8-P-MCR-1	23	Orange	AO3	4	Orange		Alicat MCR50	
	70	Purple	COM	23	Green/Black			
8-P-MCR-2	24	Orange	AO4	5	Yellow			Alicat MCR250
	71	Purple	COM	24	Gray/Black			
K13.1	25	o +	AO5	6	Green	Takaisinkytkentä parissa 2		IV-pelti S1
	72	v -	COM	25	Pink/Black			
K14.1	26	o +	AO6	7	Blue	Takaisinkytkentä parissa 2		IV-pelti S2
	73	v -	COM	26	Pink/Red			
K15.1	27	o +	AO7	8	Purple	Takaisinkytkentä parissa 2		IV-pelti S3
	74	v -	COM	27	Pink/Blue			
	28		NC	9	Gray			
	75		NC	28	Pink/Green			
	29		NC	10	White			
	76		NC	29	Light Blue			
K16.1	30	o +	AO8	11	Pink	Takaisinkytkentä parissa 2	IV-pelti S4	
	77	v -	COM	30	Light Blue/Black			
K17.1	31	o +	AO9	12	Light Green	Takaisinkytkentä parissa 2	IV-pelti S7	
	78	v -	COM	31	Light Blue/Red			
8-P-MCR-3	32	Orange	AO10	13	Black/White	Alicat MCR50		
	79	Purple	COM	32	Light Blue/Blue			
8-P-MCR-4	33	Orange	AO11	14	Brown/White		Alicat MC20	
	80	Purple	COM	33	Light Blue/Green			
8-P-MCR-5	34	Orange	AO12	15	Red/White		Alicat MC20	
	81	Purple	COM	34	Gray/Red			
	35		AO13	16	Orange/White			
	82		COM	35	Gray/Green			
	36		AO14	17	Green/White			
	83		COM	36	Purple/Black			
	37		AO15	18	Blue/White			
	84		COM	37	Blue/Black			
	38		COM	19	Purple/White			
	85							
	39							
	86							
	40							
	87							
	41							
	88							
	42							
	89							
43								
90								
44								
91		+24 V			MFC +24 V			
45		-24 V			MFC -24 V			
92		-24 V						
46		-24 V						
93		-24 V						
47		+24 V			NI 9871/NI9870 Sarjaliikennemoduleiden käyttöjännite			
94		+24 V						

KUVA 6.4. Jänniteohjauksien ja lopun riviliitinpakan kytkentätaulukko. Taulukossa esitetään valkealla pohjalla sarakkeissa vasemmalta alkaen laitteelta tulevan kaapelin nimi, riviliittimen paikka sekä johtimien värit, mittakortin kanavan nimi ja numero, mittakorttiin kiinnitettävän kaapelin johtimien värit, huomautukset sekä kytkettävän laitteen malli. (Miettinen 2017.)

Virta- ja jännitemoduulien kaapelien kytkemisen jälkeen keskus näytti seuraavalta (KUVA 6.5):



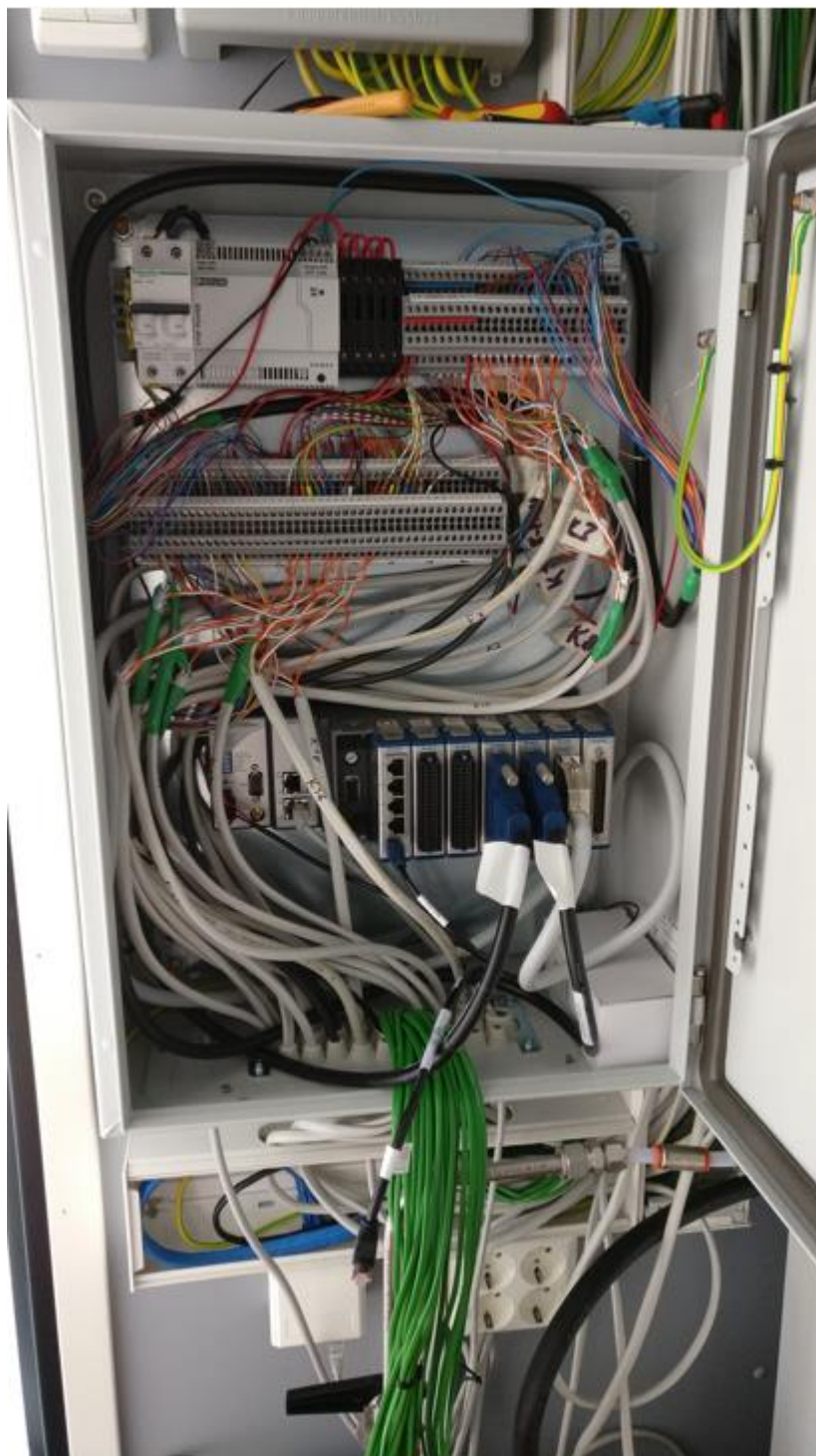
KUVA 6.5. Mittauskontin tiedonkeruujärjestelmän kytkentäkeskus. Ylhäällä DC-jännitelähde (24 V) sekä riviliitinpakat ja alhaalla CompactRIO-kontrolleri. Keskuksesta on kytketty virta- ja jännitemoduulien kaapelit (Miettinen 2017).

Kaapeliksi mittalaitteille ja antureille valittiin nelinapainen NOMAK-instrumentointikaapeli. Johtimien päihin puristettiin vielä holkit ennen kytkemistä. Ensimmäisenä kytkettiin virtasignaalia käyttävät laitteet (KUVA 6.6):



KUVA 6.6. Kytcentäkeskus virtasignaalia käyttävien laitteiden kytkemisen jälkeen (Miettinen 2017).

Seuraavaksi oli vuorossa jännitesignaalia käyttävien laitteiden kytkeminen (KUVA 6.7):



KUVA 6.7. Kytentäkeskus jännitesignaalia käyttävien laitteiden kytkemisen jälkeen (Miettinen 2017).

Tässä vaiheessa massavirtasäätimien kaapelit olivat vasta tilauksessa, sen lisäksi cRIO-kontrollerista puuttui RS-232-sarjaliikennemuodi ensimmäisestä paikasta. Myös etalometri ja kaasuanalysointilaitteiden RJ50-kaapelit sekä termoparit olivat kytkemättä. Ethernet-liittimet ovat melko kookkaita ja keskuksen pohjasta alkoi loppua läpiviennit, joten tilaa täytyi tehdä lisää puukolla. Kun massavirtasäätimien kaapelit saapuivat, saatiin keskus reititintä vaille valmiiksi (KUVA 6.8):



KUVA 6.8. Kytcentäkeskus loppujen kaapeleiden ja termoparien kytkemisen jälkeen. Etalometrin ja kaasuanalysoitsijoiden ethernet-kaapelit on kytketty myös cRIO-moduuleihin. Keskuksen oven sisäpuolelle on teipattu aiemmin esitellyt kytkentätaulukot. Tässä vaiheessa keskukselta puuttuu ainoastaan reititin, joka sijoittui alemman riviliitinpuolelle oikealle puolelle DIN-kiskoon. (Miettinen 2017.)

Saunakontin kytkentäkeskuksesta tuli huomattavasti yksinkertaisempi, koska saunasta ei mitata kuin lämpötiloja. Keskuksessa on DC-jännitelähde, cRIO-kontrolleri ja termoparimoduuli. Tieto vietään mittauskonttiin ethernet-kaapelilla (KUVA 6.9):



KUVA 6.9. Saunakontin kytkentäkeskus (Miettinen 2017).

7 TESTAUSOHJELMA

Mittalaitteiden ja antureiden asentamisen ja kytkemisen jälkeen niiden yhtäaikainen testaaminen vaativat oman testausohjelman tekemisen. Testausohjelman tarkoitus oli mahdollistaa nopeat testaukset, säädöt sekä alustavat mittaukset. Ohjelmalla pystyy lukemaan ja ohjaamaan ELPI:ä lukuun ottamatta kaikkia kytkettyjä signaaleja reaaliaikaisesti. ELPI jäi ohjelmasta pois, koska sen kytkeminen valvomokoneeseen oli tarkoitus tehdä suoraan sarjaliikennekaapelilla mittauskontissa, muut laitteet menivät cRIO:n kautta. Tämä mahdollisti mittauskontin käyttämisen etänä pitkällä tietoliikennekaapelilla ja muutokset ohjelmaan pystyi tekemään rauhassa omassa työhuoneessa. Testausohjelman Front Panel-näkymään tuli paljon numeronäyttöjä ja ohjaimia mittasignaalien suuren määrän vuoksi (KUVA 7.1):

The screenshot displays a complex control interface for a small-scale combustion simulator. The interface is organized into several functional panels:

- PRD/ED Laimennusilma:** Controls for dilution air flow (SLPM) and temperature (SLPM).
- CO2 Laimennusilma:** Controls for CO2 dilution air flow and concentration (ppm).
- CPC:** Control for particulate concentration (Partikkeleita/cm³).
- Veto piipussa:** Controls for vacuum flow (Pa) and speed, with an automatic start button.
- Primäri-ilmahuuhtelimen ohjaus:** Controls for primary air flow rates and a flowmeter (Etalometri).
- IV-pellin ohjaus:** Controls for seven different IV-pelti (IV-panels) and their flow rates.
- TEOM:** Controls for TEOM sensors, including flow rate and maximum value.
- Mittauskontti:** A grid of 20 temperature measurement points (T1_1 to T2_16).
- IV-kone:** Controls for the IV-machine, including flow rates and speed settings.
- Bottom Panel:** A status bar with indicators for power, pressure, and temperature measurement status.

The interface features numerous digital displays, sliders, and buttons, all set against a light gray background. A 'STOP' button is prominently displayed in the center. The bottom of the image shows a photograph of the physical test chamber, a black metal enclosure with a glass viewing window.

KUVA 7.1. Pienpolttosimulaattorin testausohjelman Front Panel-näkymä (Miettinen 2017).

Mittalaitteet ja anturit testattiin vielä testausohjelman kanssa läpi, jotta saatiin varmistettua laitteiden ja kytkentöjen oikea toiminta. Testauksessa täytettiin testauspöytäkirjaa (TAULUKKO 7.1. Testauspöytäkirja eri laitteiden testaamiselle (Miettinen 2017).TAULUKKO 7.1), jossa kerrotaan testaus-tapa ja tulokset:

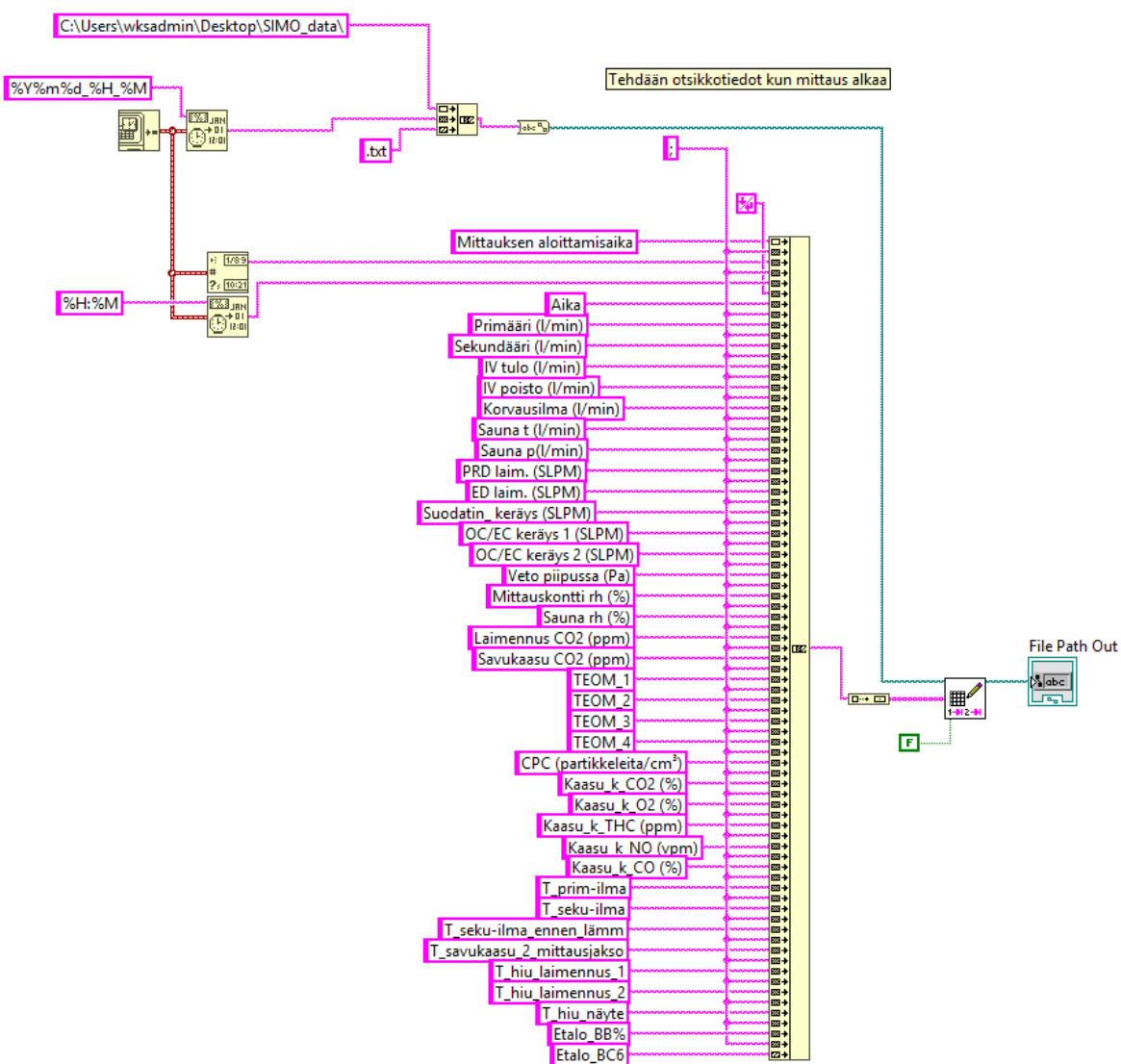
TAULUKKO 7.1. Testauspöytäkirja eri laitteiden testaamiselle (Miettinen 2017).

Testauspöytäkirja			
Laite	Signaali	Testaustapa	Tulokset
EE75	4-20 mA	Ilmavirran muuttaminen IV-koneella, maksimitehon virtausmäärän mittausta	Ilmanvaihtokoneen maksimiteholla mitatut tulokset olivat lähellä teoreettista maksimivirtausta
PDT102-P2C	4-20 mA	Vedon aiheuttaminen piippuun savukaasupuhaltimella	Savukaasupuhallin aiheuttaa piippuun alipaineen, mikä näkyy paine-erona mittaustuloksessa
Alicat MCR	0-5 V	Näytön lukemien vertailu ohjelmaan	Kalibroinnin jälkeen mittaustulos ja ohjausarvo vastaavat massavirtasäätimien näyttöjen lukemia
CO2-GMP343	4-20 mA	Hiilidioksidin määrän vertaus ilmakehän pitoisuuteen & hengitysilman aiheuttama muutos mittauksessa	Mittari antaa ilmakehän pitoisuudeksi n. 400 ppm mikä vastaa normaalia ilmakehän hiilidioksidipitoisuutta sekä reagoi voimakkaasti ihmisen hengitysilman hiilidioksiidiin
Ultramat & Fidamat	RS-485/ELAN	Mittausarvojen vertaaminen kaasuanalysaattoreiden näytöiltä ohjelman arvoihin	Ohjelman mittaustulokset ovat samat, kuin kaasuanalysaattoreiden näytöillä olevat lukemat
MS2-W111-LCD	4-20 mA	Ali- ja ylipaineen aiheuttaminen mittauskonttiin IV-koneella ja IV-pelleillä	Mittari reagoi ali- ja ylipaineeseen oikealla tavalla; alipaineella lukema on miinusmerkkinen
HMM100-15A1DE	4-20 mA	Mittaustuloksen vertaaminen Ilmatieteen laitoksen ilmoittamaan ilman suhteelliseen kosteuteen ja mittarin reagoiminen hengitysilmaan	Mittarin antama kosteusprosentti on lähellä Ilmatieteenlaitoksen lukemaa ja reagoi hengitysilman kosteaan ilmaan
CTV110	4-20 mA	Mittarin näytön ja ohjelman lukemien vertaaminen, mittarin toimivuus testattu EE75:n mukaisesti IV-koneella	Ohjelman mittauslukema vastaa mittarin näytöllä olevaa lukemaa, IV-koneen maksimiteholla virtaus on lähellä teoreettista maksimivirtausta
EE10-FT3-T04	0-10 V	Mittaustuloksen vertaaminen Ilmatieteenlaitoksen ilmoittamaan ilman suhteelliseen kosteuteen ja mittarin reagoiminen hengitysilmaan	Mittarin antama kosteusprosentti on lähellä Ilmatieteen lukemaa ja reagoi hengitysilman kosteaan ilmaan
AE33	RS-232	Katsotaan, että kaikki halutut mittausarvot luetaan aiemmasta mittaustiedostosta oikein	Tiedostosta saadaan luettua mustan hiilen sekä biomassan pitoisuus
CPC 3776	0-10 V	Mittalaitteen näytön lukeman vertaaminen ohjelmaan	Ohjelman ja laitteen mittauslukemat vastaavat toisiaan
ELPI	RS-232	Mittaustiedoston lukemisen testaus	Tiedostosta saadaan luettua massakonsentraatio ja partikkelijakauma
TEOM	0-10 V	Muuttujien arvojen vertaaminen näytöltä ja ohjelmasta taajuuden ja kokonaisuudessaan osalta, joita voidaan lukea myös ilman mitattavaa kaasua	TEOM:sta saadaan luettua taajuus ja massa oikein
IV-pellit	2-10 V	Peltien asentojen muuttaminen ohjelmasta ja asennon toteaminen	Pellit ovat täysin kiinni 2 voltin jännitteellä ja täysin auki 10 voltin jännitteellä
Tyristorit	0-10 V	Puhaltimien puhallustehon muutoksen toteaminen	Puhaltimet ovat sammuksissa 0 voltin jännitteellä ja puhallusteho kasvaa tasaisesti 10 volttiin saakka
IV-kone	RS-485/Modbus	Toimintojen käyttäminen ohjelmasta ja toimivuuden toteaminen paikan päällä GUI-käyttöpaneelista	Lämpötilat luetaan oikein ja kaikki toiminnot (esim. jälkilämmitys ja ylipaineistus) toimivat
Termoparit (K-tyyppi)	°C	Lämpötilojen vertaaminen ulkoilman lämpötilaan (Ilmatieteen laitos & IV-kone)	Termoparit antavat vastaavia lämpötila-arvoja kuin Ilmatieteen laitoksen sivu ja IV-kone

Tiedontallennuksessa käytettiin erillistä tallennusohjelmaa, jonka tallennusnopeutta sai säädettyä ohjelman käynnissä ollessa (KUVA 7.2). Tähän opinnäytetyöhön kuuluvassa osuudessa tiedostoon ei tarvinnut kirjoittaa aivan kaikkea, vaan ainoastaan ne tiedot, joilla ensimmäisiä oikeita testejä voitiin tehdä. Kyseisiä tietoja otettiin talteen 36 kappaletta. Mittaustulokset tallennettiin .dat-muotoiseen tiedostoon, jonka nimeksi tuli kyseisen hetken päivämäärä ja kellonaika. Tiedostoon luotiin otsikkorivi, jonka alle mittaustulokset kirjoitettiin (KUVA 7.3).

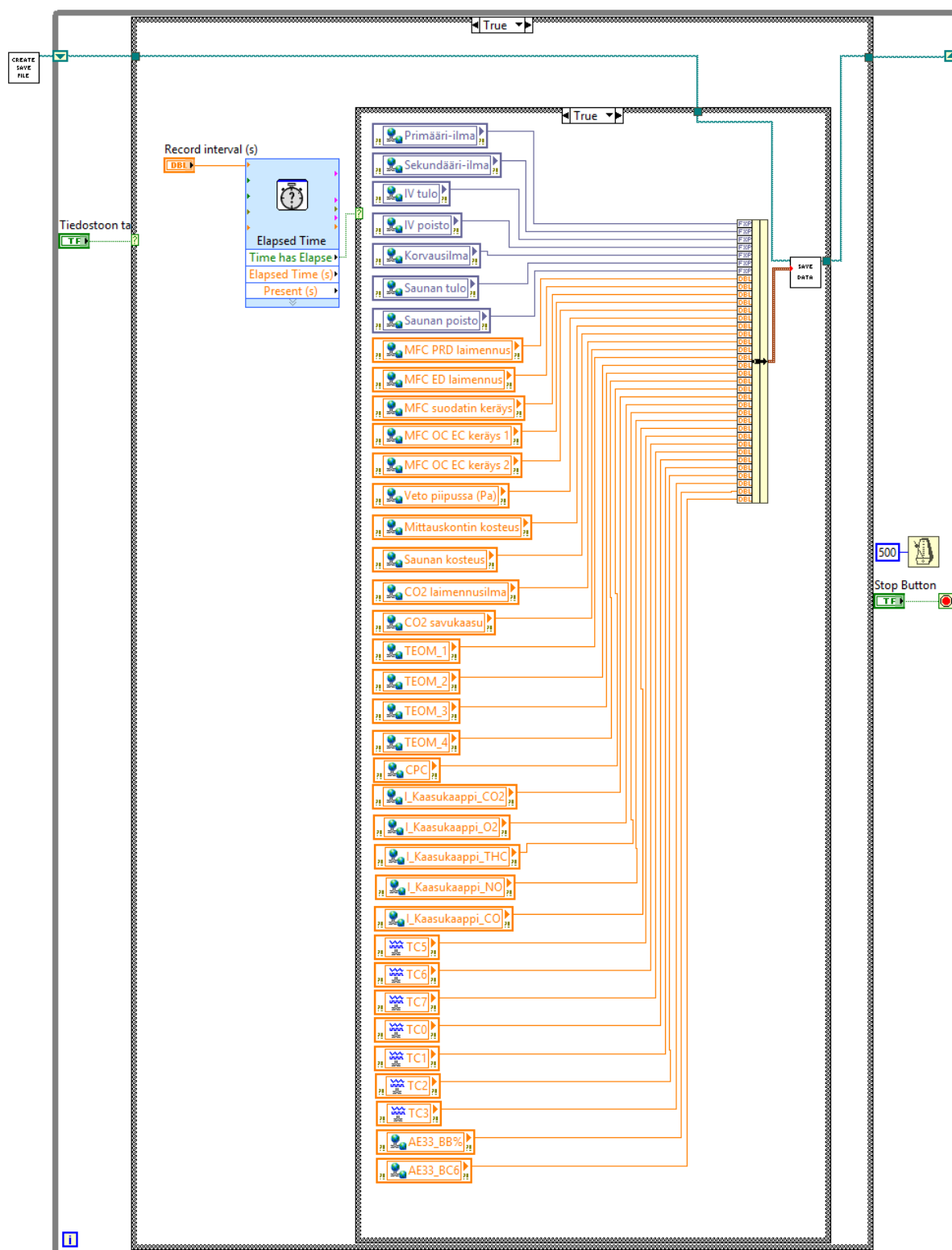


KUVA 7.2. Tallennusohjelman Front Panel-näkymä (Miettinen 2017).



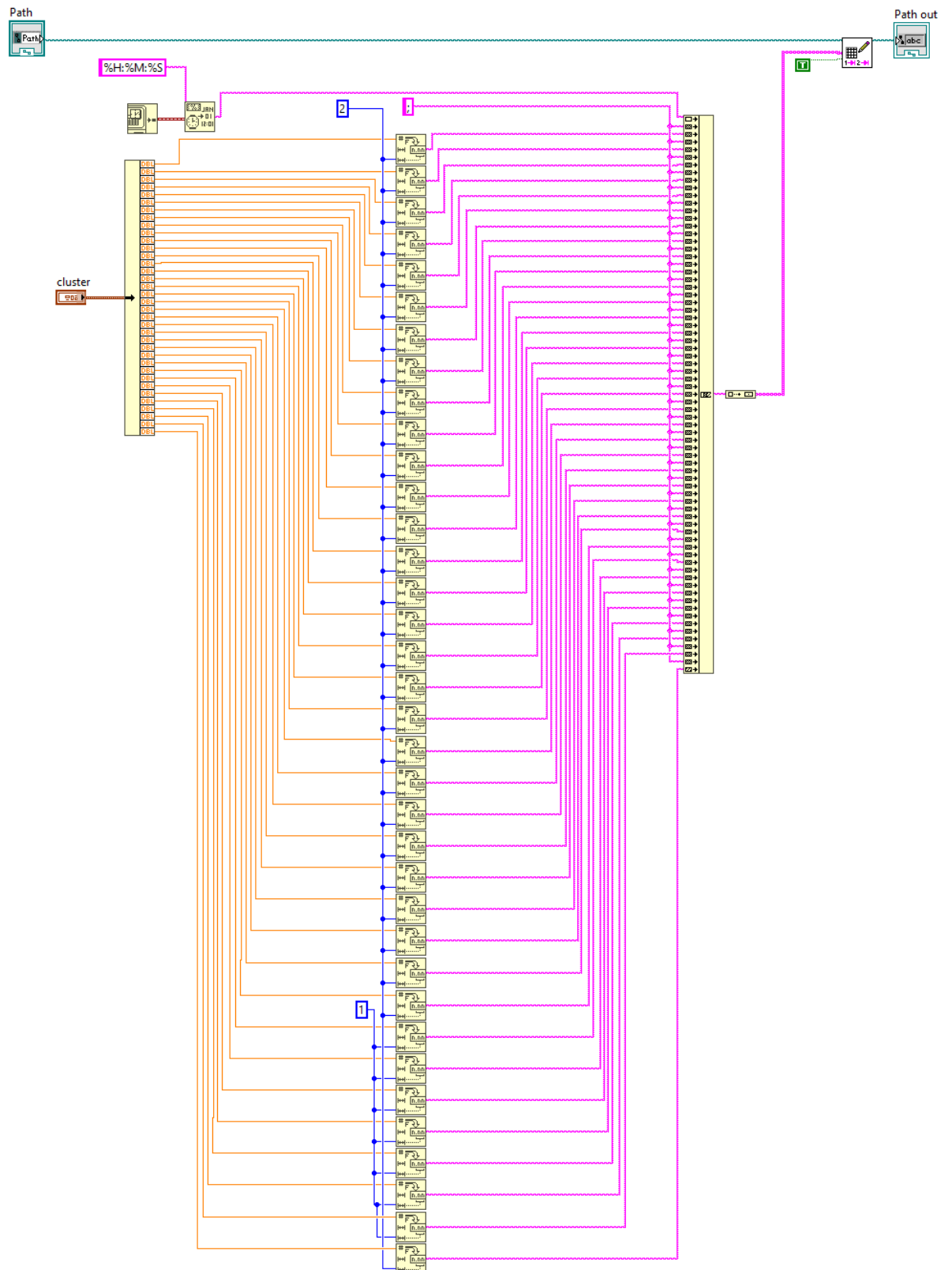
KUVA 7.3. Otsikkorivin luominen tiedontallennuksessa (Miettinen 2017).

Otsikkoriville kirjoitetaan päivämäärä, kellonaika ja tallennettavien tietojen otsikkonimet. Otsikkorivin luomisen jälkeen ohjelmassa kerätään tallennettavat tiedot yhteen klusteriin, josta ne vietään toiseen aliohjelmaan (KUVA 7.4):



KUVA 7.4. Globaalien muuttujien kerääminen tallennusohjelmassa tallentamista varten (Miettinen 2017).

Viimeisessä vaiheessa kerätyt desimaalimuotoiset mittaustulokset muunnetaan merkkijono-tyyppi-siksi ja kirjoitetaan erottimen kanssa tiedostoon (KUVA 7.5):



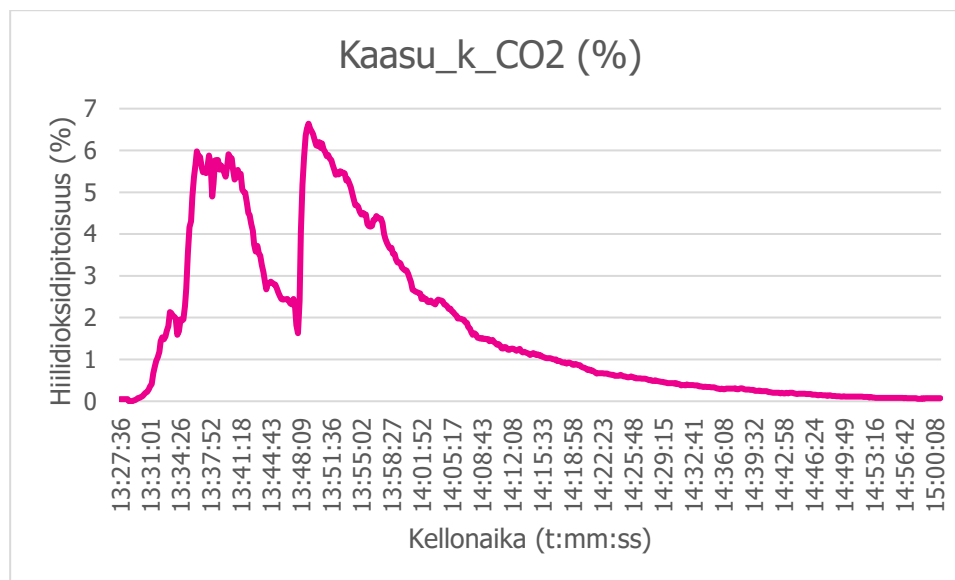
KUVA 7.5. Mittaustulosten tallentaminen tiedostoon (Miettinen 2017).

Tallennetusta tiedostosta voidaan siirtää data Excelliin, jossa erottimen mukaisesti saadaan eroteltua eri osat keskenään (KUVA 7.6):

	A	B	C	D	E	F	G
1	Mittauksen aloittamisaika	15.8.2017	13:27				
2	Aika	Primääri (l/min)	Sekundääri (l/min)	IV tulo (l/min)	IV poisto (l/min)	Korvausilma (l/min)	Sauna t (l)
306	14:19:28	770,51	378,97	1680,51	1248,41	383,49	
307	14:19:39	807,94	375,49	1555,38	1318,37	298,68	
308	14:19:49	818,75	375,49	1743,57	1310,44	360,82	
309	14:19:59	829,37	377,2	1664,65	1279,15	391,79	
310	14:20:10	821,38	377,16	1909,43	1259,79	404,21	
311	14:20:20	746,21	382,43	1652,39	1261,41	277,37	
312	14:20:30	840,19	382,41	1646,71	1230,78	280,67	
313	14:20:40	791,92	380,65	1597,2	1287,49	303,38	
314	14:20:51	789,14	370,26	1778,56	1280,55	542,89	
315	14:21:01	794,56	377,18	1717,88	1281,8	197,72	
316	14:21:11	840,16	378,89	1728,38	1266,57	35,21	
317	14:21:21	815,95	382,4	1678,02	1310,77	724,33	
318	14:21:32	848,31	380,62	1649,19	1278,75	79,5	
319	14:21:42	765,03	377,23	1434,82	1269,61	332,55	
320	14:21:52	844,25	378,95	1772,65	1252,92	113,66	
321	14:22:03	797,22	380,64	1757,6	1282,18	397,46	
322	14:22:13	794,56	375,47	1716,02	1276,51	403,44	
323	14:22:23	829,56	372,07	1542,13	1248,14	262,66	
324	14:22:33	771,45	382,46	1713,31	1238,27	111,09	
325	14:22:44	788,86	372,06	1725,24	1239,35	284,8	
326	14:22:54	816,12	373,73	1786,81	1290,82	257,06	

KUVA 7.6. Kuvakaappaus tiedonkeruuohjelman keräämästä mittausdatasta Excelissä (Miettinen 2017).

Tuloksista saadaan hyvin nopeasti mittauksen jälkeen kasattua aineistoa tarkempaa tutkimista varten, esimerkiksi hiilidioksidipitoisuuden vaihtelu (KUVIO 7.1):



KUVIO 7.1. Hiilidioksidipitoisuuden vaihtelu puun polttamisen aikana (Miettinen 2017).

8 YHTEENVETO JA POHDINTA

Tässä opinnäytetyössä suunniteltiin ja toteutettiin tiedonkeruujärjestelmä pientä omakotitaloa simuloivaan pienpolttosimulaattoriin (SIMO). Pienpolttosimulaattoriin asennettiin lukuisia mittalaitteita ja antureita, joiden mittaama tieto täytyi saada kerättyä yhteen ja tallentaa myöhempää tarkastelua varten. Myös erilaisia ohjauksia täytyi saada tehtyä samalla ohjelmalla, esimerkiksi ilmanvaihtokoneen ja ilmanvaihtopeltien ohjaukset. Työssä käytettiin National Instrumentsin CompactRIO-alustaa ja LabVIEW-ohjelmointiympäristöä.

Asetetut tavoitteet saavutettiin, pienpolttosimulaattorin mittalaitteet ja anturit saatiin toimintaan ja LabVIEW:llä tehdyllä testausohjelmalla saatiin luettua sekä ohjattua mittauskontin laitteita. Testausohjelman lisäksi tehtiin tallennusohjelma, jolla mittaustiedot saatiin tallennettua tekstitiedostoon myöhempää tarkastelua varten. Myöhemmin tuleva valvomokoneen ohjelma korvaa tässä opinnäytetyössä tehdyn testausohjelman, missä on mittaustietojen lisäksi toteutettu päästö- ja energiataselaskenta, tietojen tallennus Savonia-ammattikorkeakoulun ylläpitämään Savonia mittatietokantaa (SaMi) sekä näyttävämpi käyttöliittymä. Tässä opinnäytetyössä tehtyjä aliohjelmia tullaan käyttämään kyseisessä ohjelmassa.

Omat henkilökohtaiset LabVIEW-ohjelmointitaidot kehittyivät opinnäytetyön aikana erittäin paljon. CompactRIO-alusta oli aiemmin täysin tuntematon, mutta työn aikana se tuli hyvin tutuksi. Mittalaitteiden ja antureiden tiedonkeruun selvitys- ja asennustyö toi työhön sekä teorian että käytännön oppimista. Opinnäytetyö oli työmäärältään haastava, mutta työolosuhteet olivat hyvät ja ratkaisut ongelmiin löytyivät yleensä nopeasti joko itse etsimällä tai kysymällä. Yksi haaste oli turhan pieneksi mitoitettu tiedonkeruukeskus, joka tuli kaapeleista ja johtimista aivan täyteen. Mikäli keskus olisi ollut suurempi, olisi johdotuksen saanut tehtyä helpommin ja samalla siistimmäksi. Mahdolliset lisäykset kytkentöihin kyllä onnistuu, mutta läpivientejä joutuu ehkä tekemään lisää keskukseen. Ilmanvaihtokoneen Modbus-väylän käyttöönotto oli haastava ristiriitaisten ohjeiden vuoksi. Modbus-väylän nimeämiskäytäntö ei ole kaikkialla sama ja kytkentä menikin tästä syystä aluksi väärin. Ilmanvaihtopeltien luku ja ohjaus vaativat myös hieman enemmän selvittelyä ennen kuin kytkennän tekeminen oli selvillä. Muiden laitteiden liittäminen CompactRIO:n kanssa sujui melko vaivattomasti, kun kytkentä oli ensin selvitetty manuaaleista.

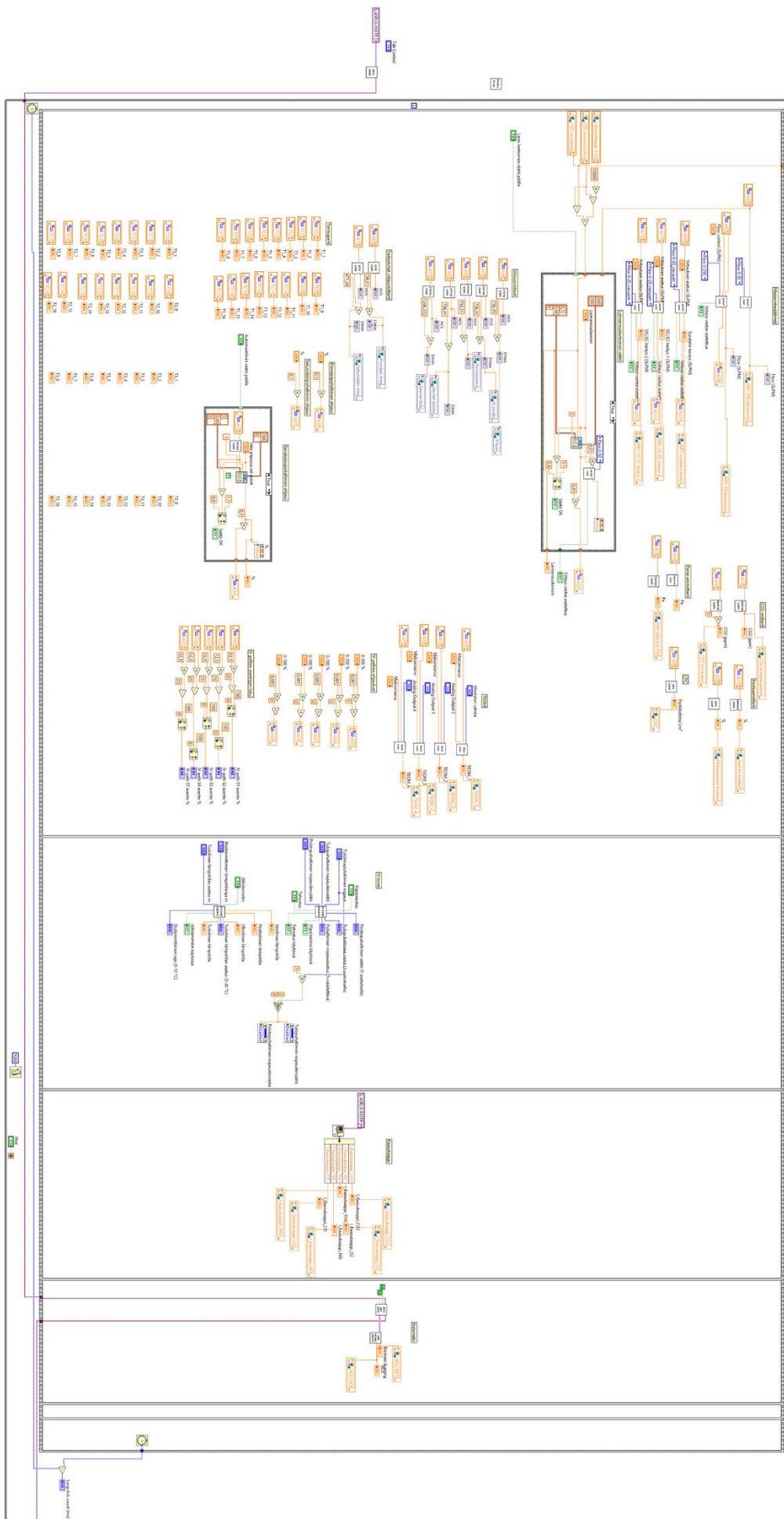
LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT

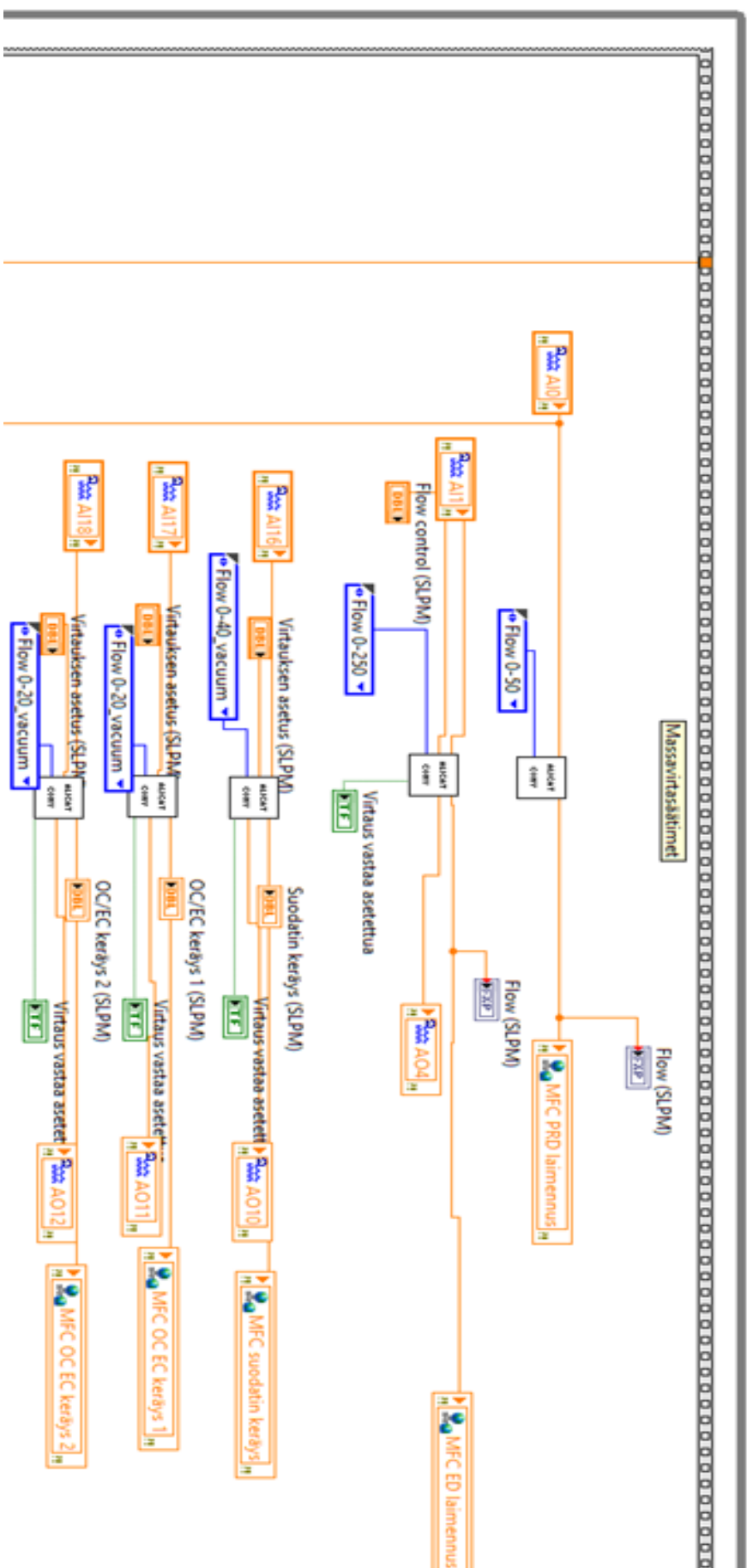
- Ahtoniemi, P., Tainio, M., Tuomisto, J., Karvosenoja, N., Kupiainen, K., Porvari, P., Karppinen, A., ja Kangas, L., 2010. Pienhiukkasten lähipäästöjen terveystarvit: Puun pienpoltto ja tieliikenne (PILTTI) [PDF-dokumentti]. THL [Viitattu 2017-10-31.] Saatavissa: <http://www.julkari.fi/handle/10024/79939>
- Alicat Scientific, 2017. Operating Manual, Precision Gas Mass Flow Controllers [PDF-dokumentti]. Alicat Scientific [Viitattu 2017-09-07.] Saatavissa: http://www.alicat.com/documents/manuals/Gas_Flow_Controller_Manual.pdf
- Deekax, 2017. Modbus asennusohje [PDF-dokumentti]. Deekax [Viitattu 2017-09-20.] Saatavissa: http://www.deekaxair.fi/document.cfm?doc=show&doc_id=553
- Dekati, 2008. DEKATI ELPI™ Electrical Low Pressure Impactor [PDF-dokumentti]. Dekati [Viitattu 2017-09-04.] Saatavissa: <http://www.renovaqualidadedoar.com.br/site/file/ELPIbrochure2008.pdf>
- Dwyer Instruments, 2015. Series MS2 Magnesense® II Differential Pressure Transmitter [PDF-dokumentti]. Dwyer Instruments [Viitattu 2017-09-26.] Saatavissa: http://www.dwyer-inst.com/PDF_files/P_MS2_REV6.pdf
- E+E Elektronik, 2017. EE10 HVAC Humidity/Temperature Transmitter for Indoor Applications [PDF-dokumentti]. E+E Elektronik [Viitattu 2017-09-13.] Saatavissa: http://downloads.epluse.com/fileadmin/data/product/ee10/datasheet_EE10.pdf
- E+E Elektronik, 2017. EE75 Series Manual [PDF-dokumentti]. E+E Elektronik [Viitattu 2017-09-06.] Saatavissa: http://downloads.epluse.com/fileadmin/data/product/ee75/BA_EE75_e.pdf
- Jakorinne, Asmo 2017. Kaasuanalysointoreiden LabVIEW-koodi [digikuva]. Sijainti: SIMO-projektin tiedostot.
- KIMO Instruments, 2017. Temperature and air velocity transmitter CTV 110 [PDF-dokumentti]. KIMO Instruments [Viitattu 2017-09-13.] Saatavilla: <http://www.kimo.fr/?rt=index/getFt&id=490>
- Lähienergia, 2017. Tulisijat ovat osa Suomen energiajärjestelmää [verkkosivu]. Lähienergia [Viitattu 2017-10-31.] Saatavilla: <http://www.lahienergia.org/tulisijat-osa-suomen-energiajarjestelmaa/>
- Magee Scientific, 2015. Aethalometer® Model AE33 User Manual [PDF-dokumentti]. Magee Scientific [Viitattu 2017-09-06.] Saatavissa: http://www.mageesci.com/EACworkshop2016/MANUALS/AE33/AE33_UsersManual_Rev154.pdf
- Makkonen, Jukka 2010. Tulisijojen vähäpäästöinen käyttö – tietoa ja tuloksia pääkaupunkiseudulta [PDF-dokumentti]. TTS tutkimus [Viitattu 2017-11-03.] Saatavissa: <http://www.tts-nyt.fi/images/julkaisut/tiedostot/meti737.pdf>
- Moxa, 2017. OnCell G3470A-LTE Series Industrial LTE cellular gateway [verkkosivu]. Moxa [Viitattu 2017-08-01.] Saatavissa: <https://www.moxa.com/product/OnCell-G3470A-LTE.htm>
- National Instruments, 2014. Converting an RJ50 Serial Connector to DB9 or DB25 [verkkosivu]. National Instruments [Viitattu 2017-09-19.] Saatavissa: <http://digital.ni.com/pub-lic.nsf/allkb/2EF59B02FFFCCB3486256914006442EF>
- National Instruments, 2017. How LabVIEW Uses I/O Servers [verkkosivu]. National Instruments [Viitattu 2017-10-13.] Saatavilla: <http://www.ni.com/white-paper/13865/en/>
- National Instruments, 2017. LabVIEW [verkkosivu]. National Instruments [Viitattu 2017-09-14.] Saatavissa: <http://www.ni.com/fi-fi/shop/labview/buy-labview.html>
- National Instruments, 2016. Meet the CompactRIO Controller, a Rugged Embedded System for Your Control or Monitoring Application [verkkosivu]. National Instruments [Viitattu 2017-07-18.] Saatavissa: <http://www.ni.com/white-paper/52251/en/>

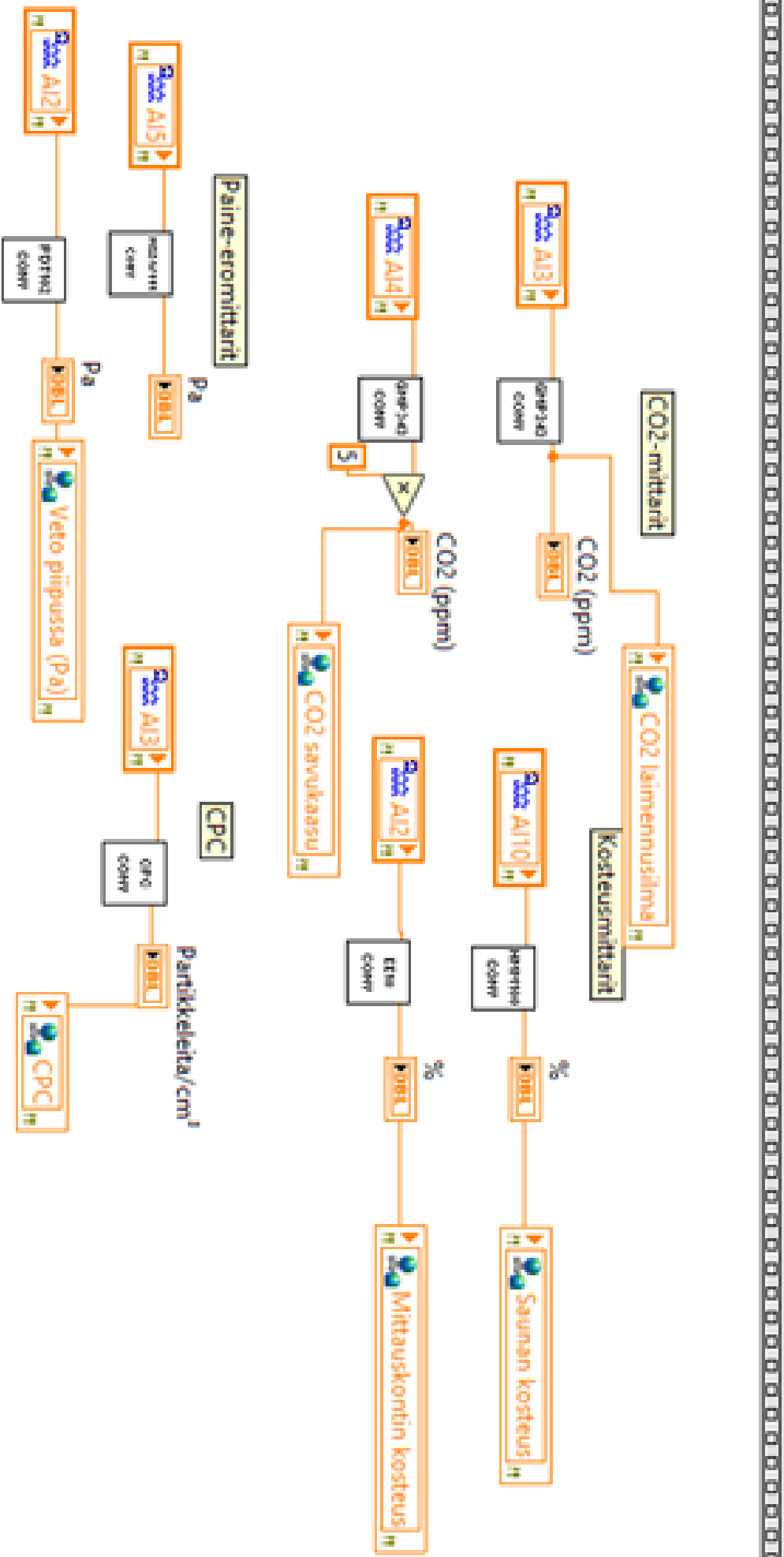
- National Instruments, 2017. NI-9205 C Series Voltage Input Module [verkkosivu]. National Instruments [Viitattu 2017-07-25.] Saatavissa: <http://www.ni.com/fi-fi/support/model.ni-9205.html>
- National Instruments, 2017. NI-9208 C Series Current Input Module [verkkosivu]. National Instruments [Viitattu 2017-07-25.] Saatavissa: <http://www.ni.com/fi-fi/support/model.ni-9208.html>
- National Instruments, 2017. NI-9213 C Series Temperature Input Module [verkkosivu]. National Instruments [Viitattu 2017-07-25.] Saatavissa: <http://www.ni.com/fi-fi/support/model.ni-9213.html>
- National Instruments, 2017. NI-9147 (CompactRIO Chassis) [verkkosivu]. National Instruments [Viitattu 2017-07-18.] Saatavissa: <http://www.ni.com/fi-fi/support/model.ni-9147.html>
- National Instruments, 2017. NI-9264 C Series Voltage Output Module [verkkosivu]. National Instruments [Viitattu 2017-07-25.] Saatavissa: <http://www.ni.com/fi-fi/support/model.ni-9264.html>
- National Instruments, 2017. NI-9871 C Series Serial Interface Module [verkkosivu]. National Instruments [Viitattu 2017-07-18.] Saatavissa: <http://www.ni.com/fi-fi/support/model.ni-9871.html>
- National Instruments, 2014. RJ50 Cable Color Code [verkkosivu]. National Instruments [Viitattu 2017-09-19.] Saatavissa: <http://digital.ni.com/pub-lic.nsf/allkb/8F79CBBF294D609986257594004E6DFA>
- National Instruments, 2014. Termination and Bias Resistor Information [verkkosivu]. National Instruments [Viitattu 2017-09-19.] Saatavissa: <http://www.ni.com/support/serial/resinfo.htm>
- National Instruments, 2017. What Is the CompactRIO Platform [verkkosivu]? National Instruments [Viitattu 2017-07-18.] Saatavissa: <http://www.ni.com/compactrio/whatis/>
- Paonessa, Simon. Back to Basics: Loop vs Line Power [verkkosivu]. Precision Digital [Viitattu 2017-07-26.] Saatavissa: <https://www.predig.com/indicatorpage/back-basics-loop-vs-line-power>
- Salonen R., Pasanen K., Pulkkinen A., Pennanen A., Sokura M., Pärjälä E., Pukkala E., 2015. Puun pienpolton savut – Uutta tietoa altistumisesta ja terveyshaitoista [digijulkaisu]. Ympäristö ja Terveys -lehti, numero 6/2015 [Viitattu 2017-11-03.] Saatavissa: <https://julkari.fi/handle/10024/127126>
- Siemens, 2016. Continuous gas analysis, Gas analyzer for measuring IR-absorbing gases, oxygen and hydrogen sulfide, ULTRAMAT 23 [PDF-dokumentti]. Siemens [Viitattu 2017-09-13.] Saatavissa: https://support.industry.siemens.com/cs/attachments/109741566/A5E37100388-003_ULTRAMAT_23_en.pdf?download=true
- Siemens, 2004. FIDAMAT 6, Gas analyzer for the measurement of total hydrocarbons [PDF-dokumentti]. Siemens [Viitattu 2017-09-13.] Saatavissa: https://support.industry.siemens.com/cs/attachments/20760899/5_FIDAMAT_6_manual_englisch_A01.pdf?download=true
- Thermo Fisher Scientific, 2008. TEOM® 1405 Ambient Particulate Monitor [PDF-dokumentti]. Thermo Fisher Scientific [Viitattu 2017-09-06.] Saatavissa: <https://tools.thermofisher.com/content/sfs/manuals/EPM-TEOM1405-Manual.pdf>
- Tissari, Jarkko. 2011. Physicochemical and toxic properties of particulate emissions from different small-scale wood combustion appliances [PDF-dokumentti]. PUPO-projektin loppuraportti. Itä-Suomen yliopisto [Viitattu 2017-10-31.] Saatavissa: <https://www2.uef.fi/documents/1129563/1129576/PUPO+loppuraportti.pdf/914f7583-a17f-4d4d-a54f-38efe7d439a0>
- Tissari, Jarkko. 2016. Pienpolttosimulaattorin projektisuunnitelma [PDF-dokumentti]. Itä-Suomen yliopisto [Viitattu 2017-10-31.] Sijainti: SIMO-projektin tiedostot.
- Tissari, Jarkko. 2017-12-04. Pienpolttosimulaattorin tutkimuskäyttöön liittyen [sähköpostikeskustelu].
- TSI, 2006. Model 3776 Ultrafine Condensation Particle Counter, Operation and Service Manual [PDF-dokumentti]. TSI [Viitattu 2017-09-04.] Saatavissa: <http://www.wmo-gaw-wcc-aerosol-physics.org/files/cpc-3776.pdf>

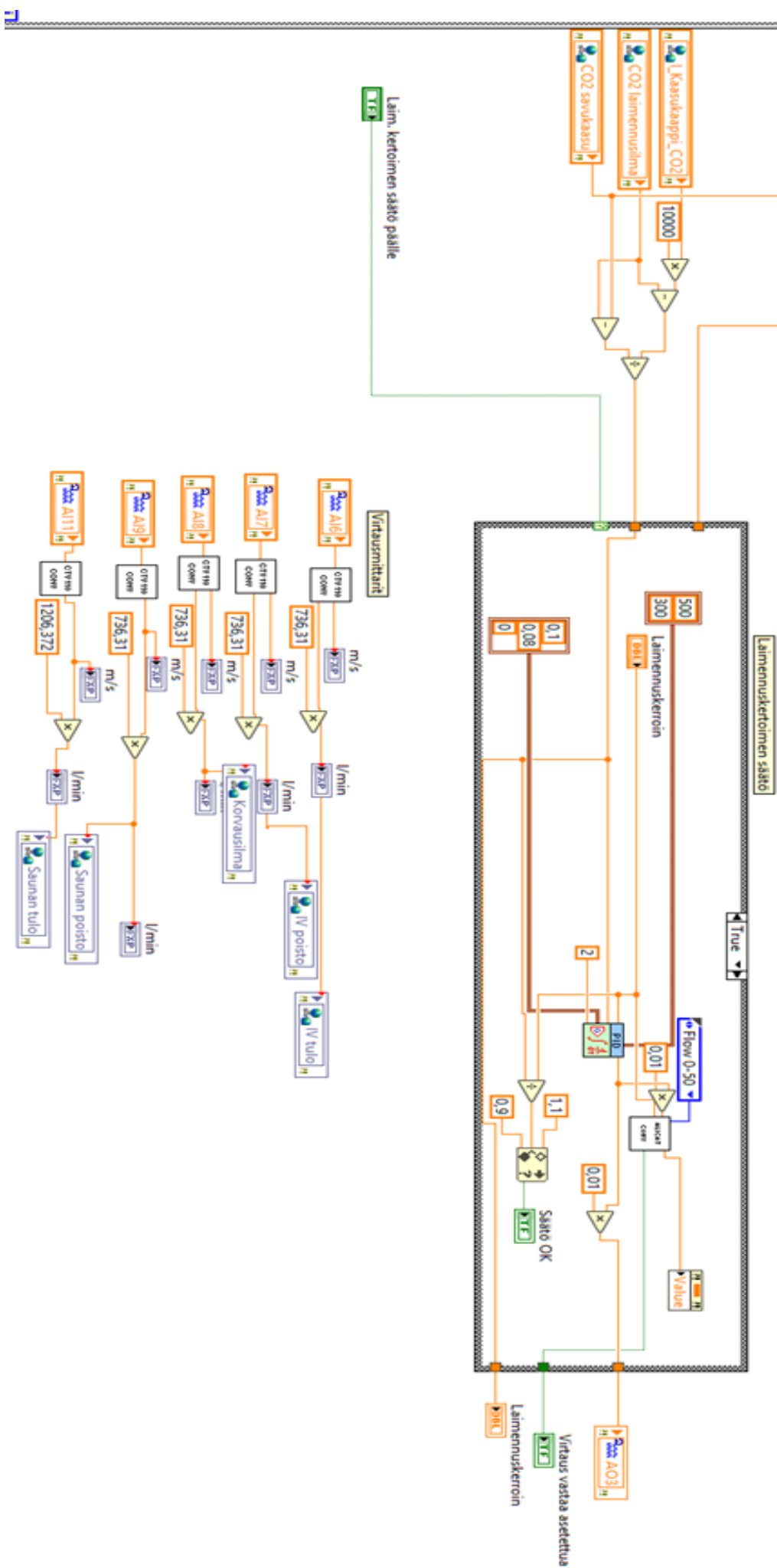
- Vaisala, 2013. Vaisala CARBOCAP® Carbon Dioxide Probe GMP343 [PDF-dokumentti]. Vaisala [Viitattu 2017-09-13.] Saatavissa: <http://www.vaisala.com/Vaisala%20Documents/User%20Guides%20and%20Quick%20Ref%20Guides/GMP343%20User's%20Guide%20in%20English%20M210514EN.pdf>
- Vaisala, 2015. Vaisala Differential Pressure Transmitter PDT102 [PDF-dokumentti]. Vaisala [Viitattu 2017-09-07.] Saatavissa: <http://www.vaisala.com/Vaisala%20Documents/User%20Guides%20and%20Quick%20Ref%20Guides/PDT102-Quick-Guide-M211285EN.pdf>
- Vaisala, 2013. Vaisala HUMICAP® Humidity Module HMM100 [PDF-dokumentti]. Vaisala [Viitattu 2017-09-13.] Saatavissa: <http://www.vaisala.com/Vaisala%20Documents/User%20Guides%20and%20Quick%20Ref%20Guides/HMM100%20User%20Guide%20in%20English.pdf>

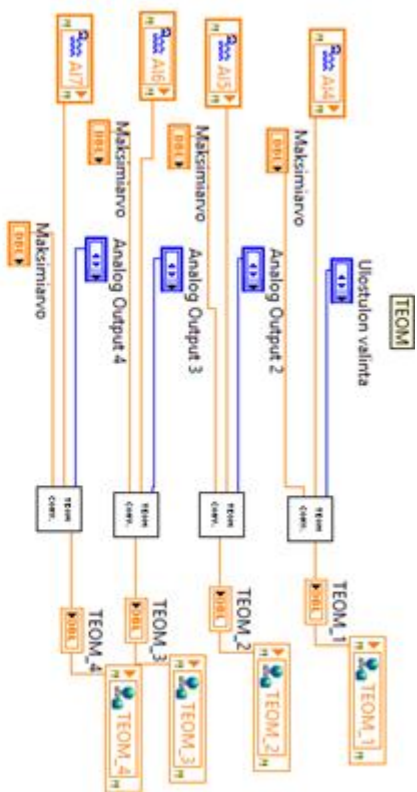
LIITE 1: TESTAUSOHJELMAN LOHKOKAAVIO



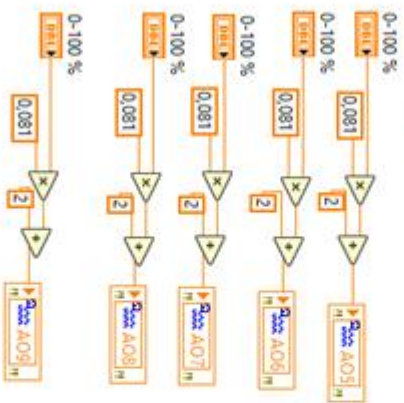




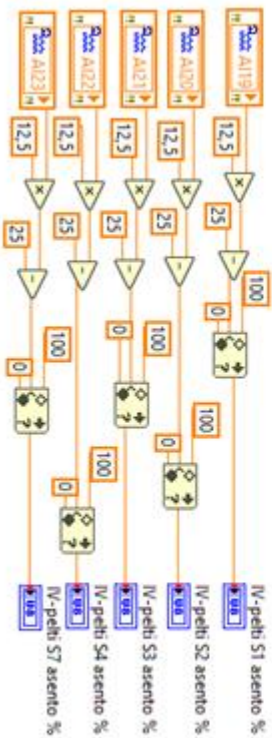


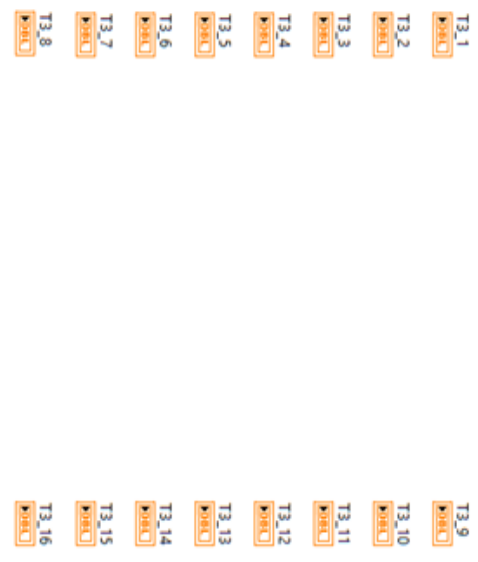
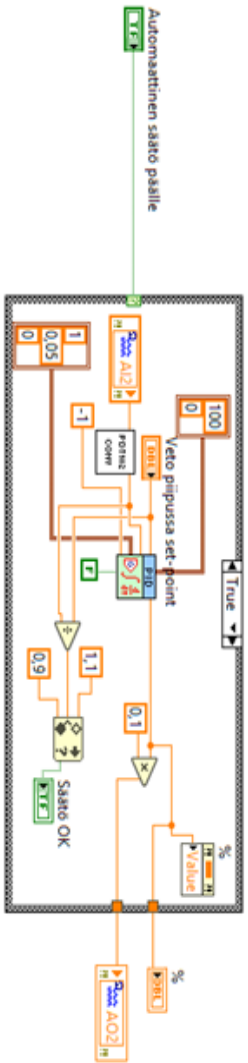
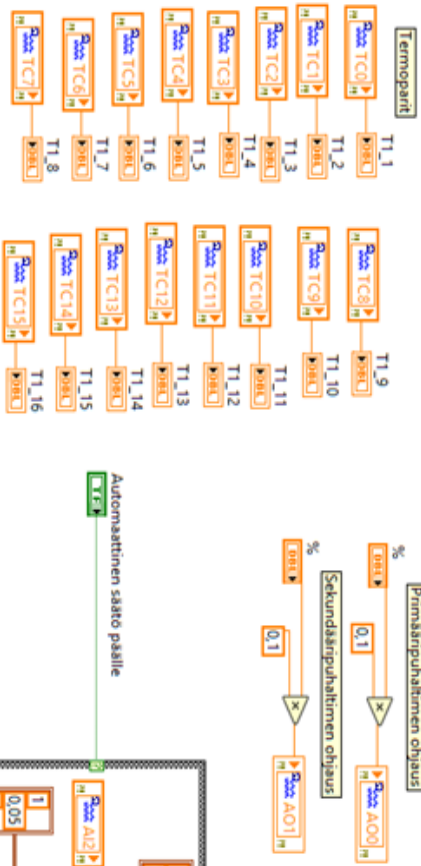
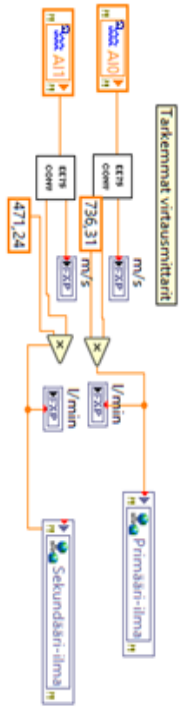


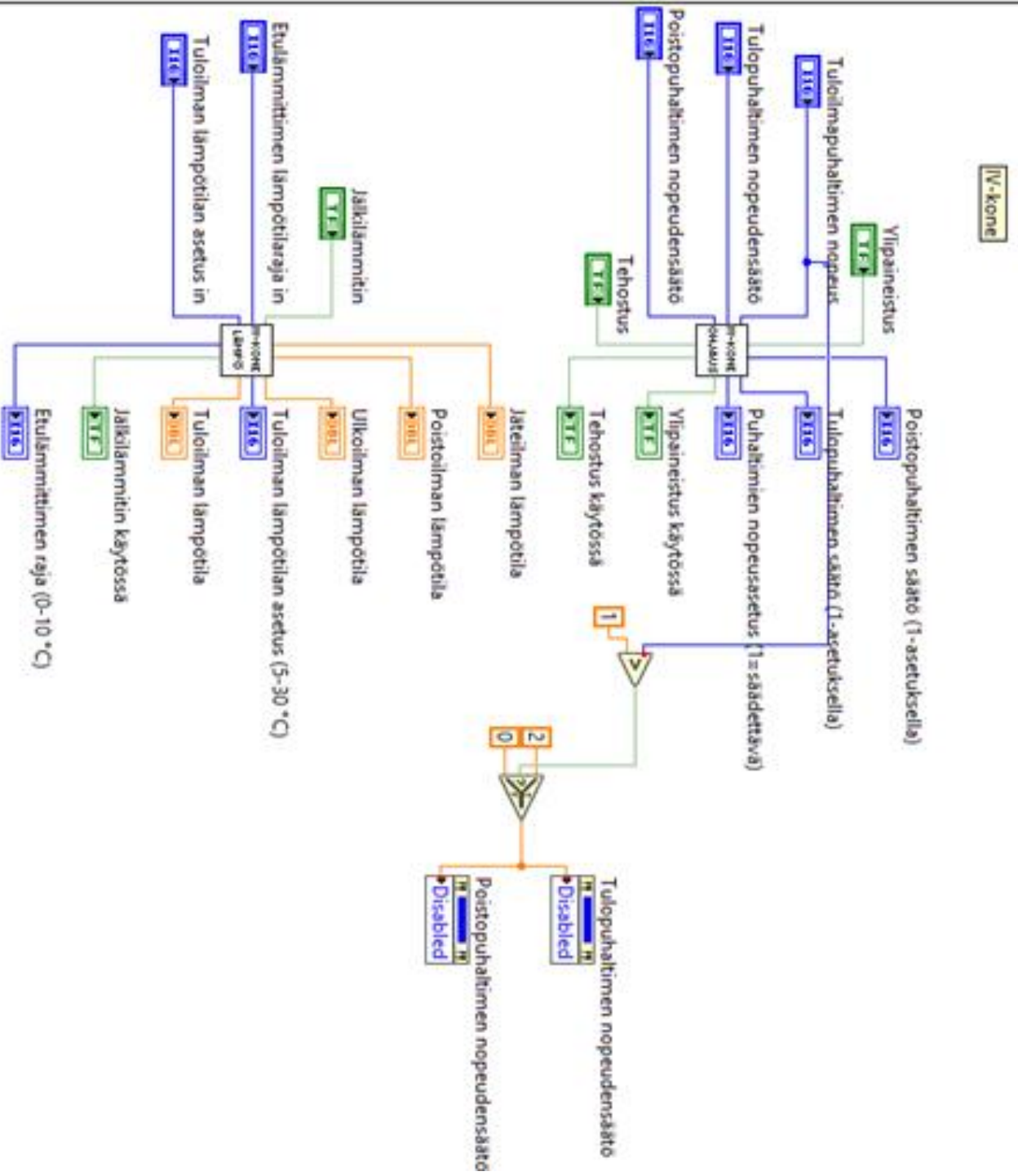
IV-peltien ohjaukset

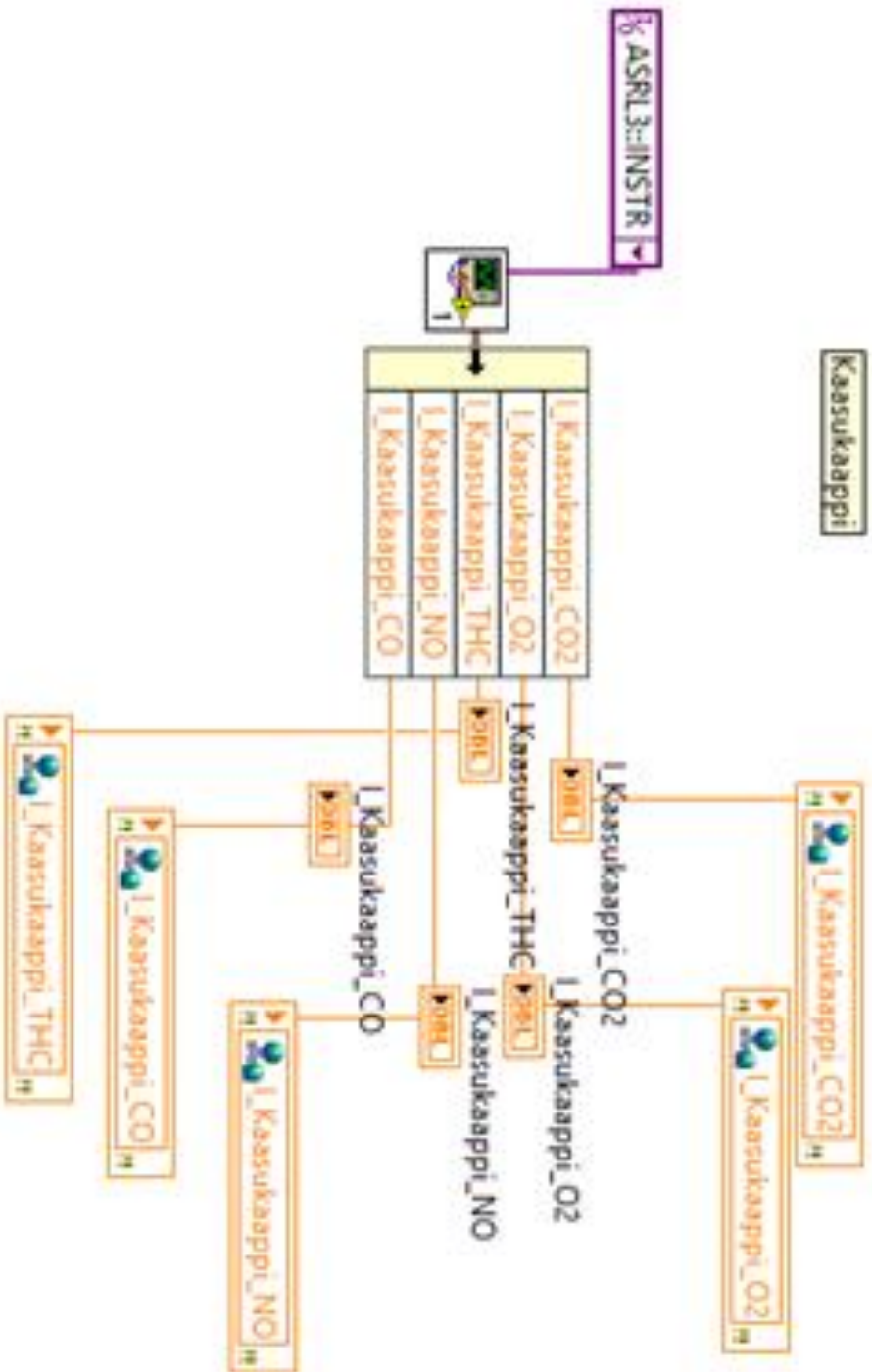


IV-peltien asentojen lukku









Etalometri

