

Janne Oinas

Massavirtasäätimien kalibrointiohjelmiston suunnittelu ja toteutus

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Tietotekniikan koulutusohjelma

Insinööriytyö

27.5.2013

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Janne Oinas Massavirtasäätimien kalibrointiohjelmiston suunnittelu ja toteutus 29 sivua 27.5.2013
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	tietotekniikan koulutusohjelma
Suuntautumisvaihtoehto	ohjelmistotekniikka
Ohjaajat	lehtori Jarkko Vuori testaus- ja kalibrointipäällikkö Timo Siirtola kehityspäällikkö Antero Pitkääkoski
<p>Insinööriyön tavoitteena oli suunnitella ja toteuttaa massavirtasäätimien kalibrointiohjelmisto Vaisala Oy:lle. Tässä työssä kerron kalibrointiohjelmistosta ja kalibrointiaseman laitteistosta ja resursseista. Kalibrointiohjelmistosta haluttiin mahdollisimman muokattava. Se onnistui kirjoittamalla testitoimintosekvenssit XML-merkkauksielellä. Tämä mahdollisti helpon tavan muokata testitoimintosekvenssejä, sellaisille henkilöille, jotka eivät ole saaneet koulutusta ohjelmointiin.</p> <p>Kalibrointiohjelmistosta on ollut käytössä vanha versio, joka haluttiin korvata uudemmalla ja samalla tehtiin päivityksiä kalibrointiasemaan ja -ohjelmistoon. Vanhan kalibrointiohjelmiston ohjelmointikielenä on käytetty Visual Basic 6:sta, joka uudessa kalibrointiohjelmistossa on vaihdettu .NET C#:n. Myös käytetty testausympäristökirjasto vaihdettiin uudempaan versioon.</p> <p>Kalibrointiasema, jota varten ohjelmisto toteutettiin, on rakennettu massavirtasäätimien kalibrointia varten. Tämä kalibrointi suoritetaan vertaamalla massavirtasäätimien näyttämää referenssielementtien näyttämään, jonka jälkeen mittausdatasta lasketaan Excel-laskentapohjan avulla korjausyhtälö. Tämä yhtälö tallennetaan Vaisalan kalibrointitietokantaan ja sitä voidaan käyttää massavirtasäätimien näyttämän korjaamiseen, kun ne ovat kytkettyinä Vaisalan tuotantoasemiin.</p> <p>Kalibrointiohjelmiston toimintaan oltiin tilaajan puolelta tyytyväisiä, mutta kalibrointiohjelmistoon joudutaan luultavasti vielä tehdä lisäominaisuuksia ja pieniä korjauksia.</p>	
Avainsanat	kalibrointiohjelmisto, C#, kalibrointi, massavirtasäädin

Author Title Number of Pages Date	Janne Oinas Design and implementation of calibration software for mass flow controllers 29 pages 27 May 2013
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Information Technology
Specialisation option	Software Engineering
Instructors	Jarkko Vuori, Principal Lecturer Timo Siirtola, Testing and Calibration Manager Antero Pitkääkoski, Development Manager
<p>This thesis describes calibration software for mass flow controllers (MFCs) and also the calibration equipment and resources of a calibration station. The calibration software is implemented for Vaisala Ltd. It was important that the calibration software will be easy to configure. This was done by writing the test function sequences with XML markup language which made it possible to easily modify the test function sequences for persons who are not trained in programming.</p> <p>The calibration station had been using an old version of the calibration software. The old version was then replaced with a newer version and at the same time the calibration station and the software were also updated. The old calibration software was programmed with the Visual Basic 6 programming language and the new calibration software uses the NET C# programming language. The testing environment library was also upgraded to a newer version.</p> <p>The calibration station, which the calibration software was implemented for, is built for calibrating mass flow controllers. This calibration is performed by comparing the displayed measurement data of the mass flow controller with the displayed measurement data of the reference elements. The measurement data is then calculated with an Excel calculator template to get a correction equation, which is stored in Vaisala's calibration database. Finally, the correction equation can be used to correct mass flow indication, when mass flow controllers are connected to Vaisala's production stations.</p> <p>The orderer of the calibration software was satisfied with the functions of the calibration software, but there will probably be a need to develop additional features and to carry out minor bug fixes.</p>	
Keywords	calibration software, C#, calibration, mass flow controller

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Vaisala Oyj	2
3	Työn vaatimuksia ja resurssit	3
3.1	Työn tausta ja tavoitteet	3
3.2	Työn rajaus	3
3.3	Resurssit	4
4	Kalibrointiasema	8
4.1	Kalibrointiaseman rakenne	8
4.2	Pneumaattinen järjestelmä	10
4.3	Laitteisto	11
4.4	Prosessi	16
5	Kalibrointiohjelmisto	17
5.1	Kalibrointiohjelmiston rakenne	17
5.2	Lohkokaavio	19
5.3	Käyttöliittymä	20
5.4	Kalibrointiohjelmiston konfigurointitiedostot	22
5.5	Ympäristöolosuhdetietokanta	25
5.6	Vuokaavio	26
6	Yhteenveto	27
	Lähteet	28

Lyhenteet

CLR	<i>Common Language Runtime.</i> On vastuussa .NET-ohjelmien suorittamisesta ja hallinnasta.
CO ₂	Hiilidioksidikaasu, molekyylikaavaltaan hiilestä ja hapesta koostuva kemiallinen yhdiste.
DHI	DH Instruments, Inc. Yritys joka tuottaa paine- ja kaasuvirtastandardeja sekä kalibrointiprosessiohjelmistoja.
D-Sub 9	<i>D-subminiature 9.</i> 9-pinninen liitintyyppi, jonka liitinosa näyttää D-kirjaimelta.
FCL	<i>Framework Class Library.</i> Kirjasto sisältää .NET-kehitysympäristön yhteiset luokat, liittymät ja muuttujatyypit.
F-NET	Kommunikointi protokolla, jota Horiba-massavirtasäätimen ohjaukseen voidaan käyttää.
GP-IB	<i>General Purpose Interface Bus.</i> HP-IB rinnakkaisväylästandardin yleinen nimitys.
HP-IB	<i>Hewlett-Packard Interface Bus.</i> Rinnakkaisväylästandardi.
MFC	<i>Mass Flow Controller.</i> Massavirtasäädin, jolla voidaan ohjata kaasun tai nesteen virtausmäärää.
NI	<i>National Instruments.</i> Yritys, joka kehittää järjestelmiä sekä sovelluksia testaus- ja kalibrointijärjestelmiin.
N ₂	Typpi on alkuaine, joka esiintyy luonnossa kaksiatomisena typpikaasuna.
RJ-45	<i>Registered Jack 45.</i> Liitintyyppi, jota käytetään varsinkin tietokoneissa lähiverkkokaapelina.

RS232	<i>Recommended Standard 232.</i> Sarjaliikennestandardi.
RS485	<i>Recommended Standard 485.</i> Sarjaliikennestandardi.
UUC	<i>Unit Under Calibration.</i> Lyhennettä käytetään laitteesta, joka on parhaillaan kalibroinnissa.
UUT	<i>Unit Under Testing.</i> Lyhennettä käytetään laitteesta, joka on parhaillaan testauksessa.
USB	<i>Universal Serial Bus.</i> Sarjaväylästandardi, jolla voidaan liittää oheislaitteita tietokoneisiin.
VTX	Vanhentunut testaus- ja kalibrointiympäristökirjasto, joka käyttää Visual Basic 6 -kehitysympäristöä.
VTX2	Uusi testaus- ja kalibrointiympäristökirjasto, joka käyttää .NET C# -kehitysympäristöä.
XML	<i>Extensible Markup Language.</i> Laajennettavissa oleva merkkintäkieli, jota voidaan käyttää formaattina tiedonvälitykseen eri järjestelmien välillä.

1 Johdanto

Kalibrointi on tärkeä prosessi, koska kalibroinnin, jonka avulla varmistetaan, että laitteen näyttämä on luotettava. Insinööriyössäni kalibrointiprosessi on keskeisessä asemassa, koska työni tarkoitus on toteuttaa kaasun massavirtasäätimien kalibrointilaitteistolle ohjelmisto. Sen tehtävänä on ohjata kalibrointilaitteistoa, kerätä mittaustietoa ja varmistaa kalibroitavien laitteiden luotettavuus.

Olen ollut työsuhteessa Vaisalassa vuodesta 2007 asti, jolloin työskentelin tuotannossa. Tuotannossa kasasin, testasin ja kalibroin mittalaitteita. Vuodesta 2009 lähtien olen toiminut testaus suunnittelija harjoittelijana, joten aiheen valinta ei ollut vaikeaa ja tämä insinööriyöni projekti olisi, joka tapauksessa ollut seuraava työprojekti Vaisalassa. Vaisala Oyj on maailmanlaajuisesti markkinajohtaja alallaan, ja se valmistaa mittalaitteita, jotka mittaavat esimerkiksi lämpötilaa, kosteutta, kastepistettä ja painetta. Vaisala on Suomessa perustettu kansainvälinen yritys, ja sen pääkonttori sijaitsee Vantaalla. Lisäksi Vaisalalla on toimipisteitä ympäri maailmaa.

Keskityn insinööriyössäni kertomaan lyhyesti Vaisalan historiasta ja enemmän itse insinööriyön projektiin kuuluvista aiheista. Näitä ovat esimerkiksi kalibrointiprosessi, -laitteisto sekä -ohjelmisto, jonka toteutan insinööriyönä. Tavoitteenani on toteuttaa mahdollisimman hyvin ja luotettavasti toimiva kalibrointiohjelmisto. Tavoitteeksi on myös asetettu, että kalibrointiohjelmisto on mahdollisimman muokattava, jolloin sitä voisi muokata helposti sellainenkin henkilö, joka ei olet saanut koulutusta ohjelmointiin. Aion saavuttaa nämä tavoitteet tutustumalla kalibrointilaitteistoon ja kalibroitaviin massavirtasäätimiin.

2 Vaisala Oyj

Vaisala Oyj on havainto- ja mittausalalla palveluita ja tuotteita kehittävä, valmistava ja markkinoiva yritys, joka on perustettu 1930-luvulla, jolloin perustaja Vilho Väisälä kehitti radioluotaimen toimintaperiaatteita [1]. Radioluotain on mittauslaite, joka mittaa ilman lämpötilaa, kosteutta, painetta ja tuulen voimakkuutta ja suuntaa. Radioluotain lähetetään maanpinnalta kaasupalloon kiinnitettynä ja se nousee jopa 30 km korkeuteen saakka. Radioluotain lähettää noustessaan tietoa vastaanottokeskukseen [2]. Vaisala on nykyisin monilla mittausaloilla maailman markkinajohtaja ja työllistää yli 1400 henkilöä. Vaisalan tilauksista 98 % toimitetaan ulkomaille yli 140 eri maahan [1].

Vaisalan liiketoiminta jakautuu kahteen liiketoiminta-alueeseen: säähän (Weather) ja ohjattuun ympäristöön (Controlled Environment). Sää-liiketoiminta-alue palvelee säätiedoista riippuvaisia asiakkaita, joita ovat esimerkiksi:

- meteorologian laitokset
- lentokenttäorganisaatiot
- tie- ja rautatieviranomaiset
- puolustusvoimat
- energiayhtiöt
- merenkulku.

Sää-liiketoiminta-alueen tuotteet ja ratkaisut auttavat asiakkaitaan tekemään oikeita ja turvallisia päätöksiä liittyen heidän toimintaansa [3].

Ohjattu ympäristö-liiketoiminta -alue tuottaa operatiivisesti laadukkaita, tuottavia ja energiasäästöisiä sovelluksia ja tuotteita seuraaville asiakasryhmille: Life Science -markkinat (lääketeollisuus ja biotekniikan yritykset) ja valitut teollisuussovellukset [4].

3 Työn vaatimuksia ja resurssit

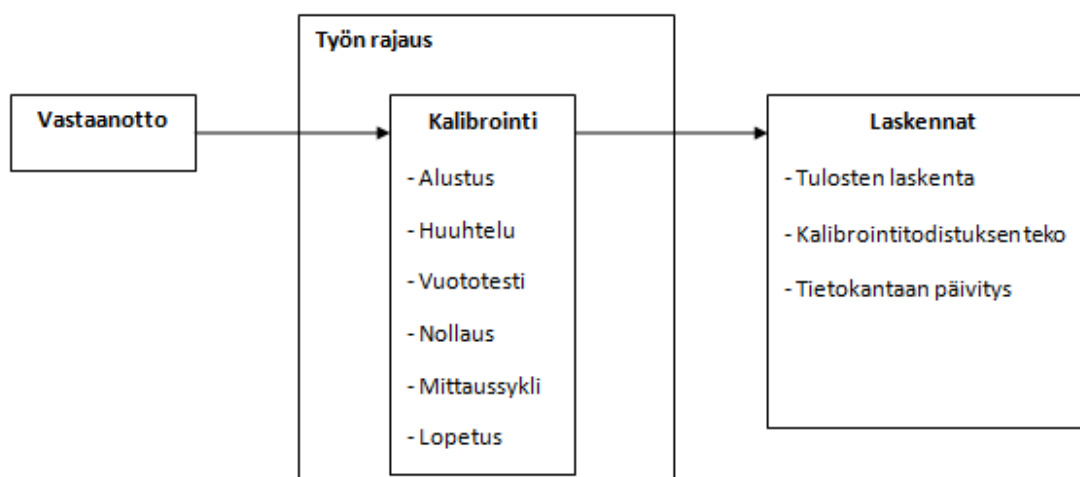
3.1 Työn tausta ja tavoitteet

Työn tarkoitus on tuottaa kalibrointiohjelmisto Vaisalan mittanormaalilaboratorioon, jossa kalibroidaan Vaisalan tuotteiden kalibrointiasemissa käytettäviä referenssimittalaitteita. Kalibrointiohjelmiston on tarkoitus ohjata kalibrointiasemaa, jossa kalibroidaan kaasun massavirtasäätimiä.

Kalibrointiohjelmistosta on ollut käytössä vanha versio, joka halutaan korvata uudemmalla ja samalla tehdä päivityksiä sekä ohjelmistoon että laitteistoon. Vanhan testiohjelmiston VTX-testausympäristökirjasto on vanhentunut versio, jossa käytetään ohjelmointikielensä Visual Basic 6:ta, jonka ylläpito on jo loppunut. Uusi ohjelmisto toteutetaan .Net C#:sta ja VTX2-testausympäristökirjastoa käyttäen. Laitteiston puolelta asemassa on ollut neljä paikkaa kalibroittaville massavirtasäätimille ja sen määrä kasvatetaan kuuteen.

3.2 Työn rajaus

Työni rajautuu kalibrointiohjelmiston ja tarvittavien laitteistoajureiden toteuttamiseen annettujen vaatimusten mukaisesti. Kuvassa 1 on esitetty, miten työ rajautuu kalibrointiprosessissa.



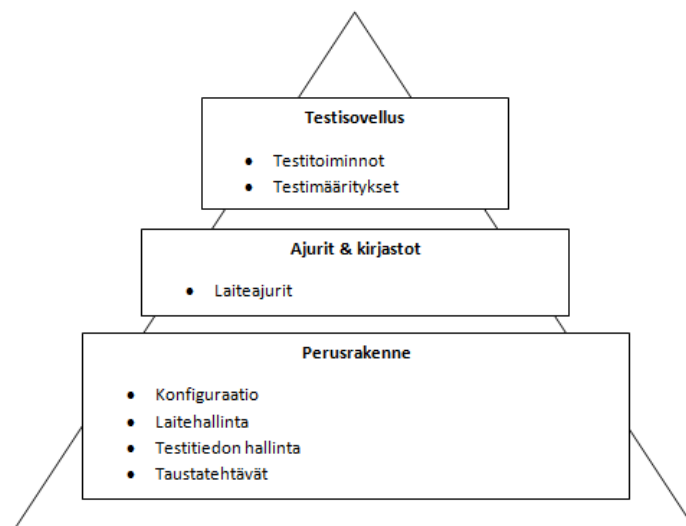
Kuva 1. Työn rajaus kalibrointiprosessissa.

3.3 Resurssit

Microsoft .NET-ympäristö on suunniteltu Windows-ohjelmien rakentamiseen esimerkiksi työpöytä-, puhelin- ja palvelinkäyttöjärjestelmissä. Se sisältää mahdollisuuden kehittää Windows-ohjelmia eri ohjelmointikielillä samassa ympäristössä. Ohjelmointikielinä voi toimia esimerkiksi Visual Basic ja Visual C#. Ympäristöön kuuluu Common Language Runtime (CLR), jonka tehtävänä on tulkata ympäristön eri ohjelmointikielet, jotta ne voidaan suorittaa. Lisäksi ympäristöön kuuluu .NET-ympäristön luokkakirjasto Framework Class Library (FCL), joka sisältää yhteiset luokat, liittymät ja muuttujatyypit [5].

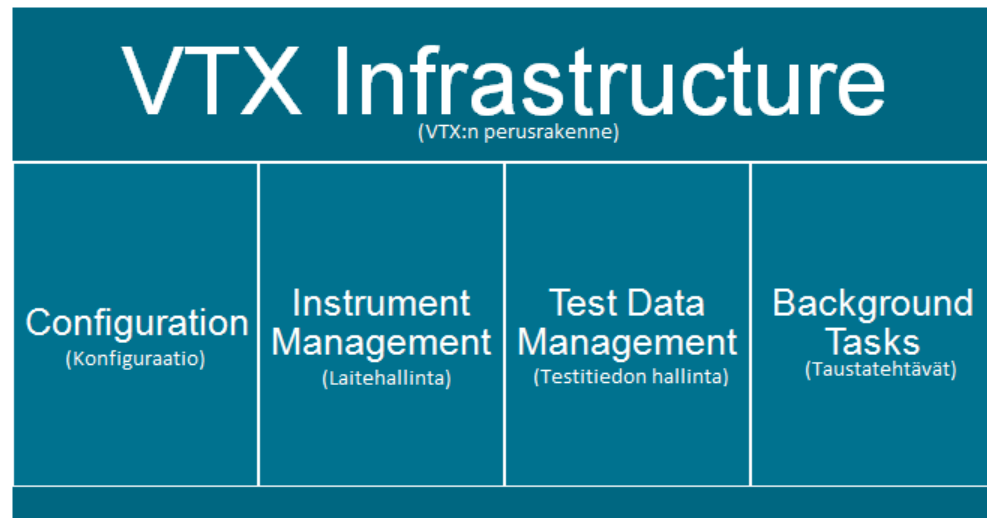
Visual C#-ohjelmointikieli (Visual C-Sharp) on Microsoft .NET-ympäristössä käytettävä ohjelmointikieli, jonka ensimmäinen versio C# 1.0 julkaistiin tammikuussa 2002. [6] Visual C# on tehokas, yksinkertainen, vahvasti tyyplitetty ja olio-ohjelmointi perusteinen ohjelmointikieli [7].

VTX2-ympäristökirjasto on Vaisalan itse kehittämä testausympäristökirjasto, jota käytetään Vaisalan omissa kalibrointi- ja testausohjelmistoissa. Tällä varmistetaan esimerkiksi testi- ja kalibrointiasemien yhtenäinen konfigurointi-, laitteisto- ja tietokantayhteyshallinta näissä ohjelmistoissa. Asemien ohjelmiston toteutuksen pitää olla mahdollisimman samankaltaisia, jotta niitä olisi helppo ylläpitää mahdollisissa ongelmatilanteissa.



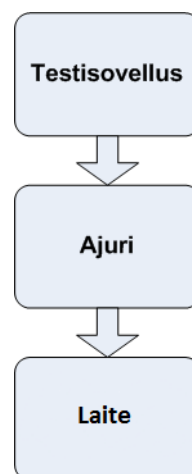
Kuva 2. VTX2-testausympäristön osat.

Kuvassa 2 on esitetty, mistä osista VTX2-ympäristö rakentuu. Alimpana osana on perusrakenne, joka sisältää seuraavia kokonaisuuksia: konfiguraatio, mittareiden hallinta, testidatan hallinta ja taustatehtävät. Seuraavana osana kuvassa on ajurit ja kirjastot, jotka koostuvat laitteiden ajureista. Kolmas osa kuvassa on jäävuoren huippu eli itse testisovellus, joka koostuu testitoiminnoista ja määritteistä.



Kuva 3. VTX2-ympäristön perusrakenteen osat.

Kuvassa 3 esitellään VTX2-ympäristön perusrakenteen osat. Konfiguraation tarkoitus on tarjota testisovelluksen tarvitsemaa konfiguraatietoa yhdistämällä useita eri lähteitä. Esimerkiksi testattavan laitteen ja mittarien yhteys-, asetus- ja ajuritiedot voidaan konfiguraatio-osan avulla tuoda testisovelluksen käyttöön. Tietolähteen formaattina toimii XML-merkintäkielellä kirjoitetut tiedostot.

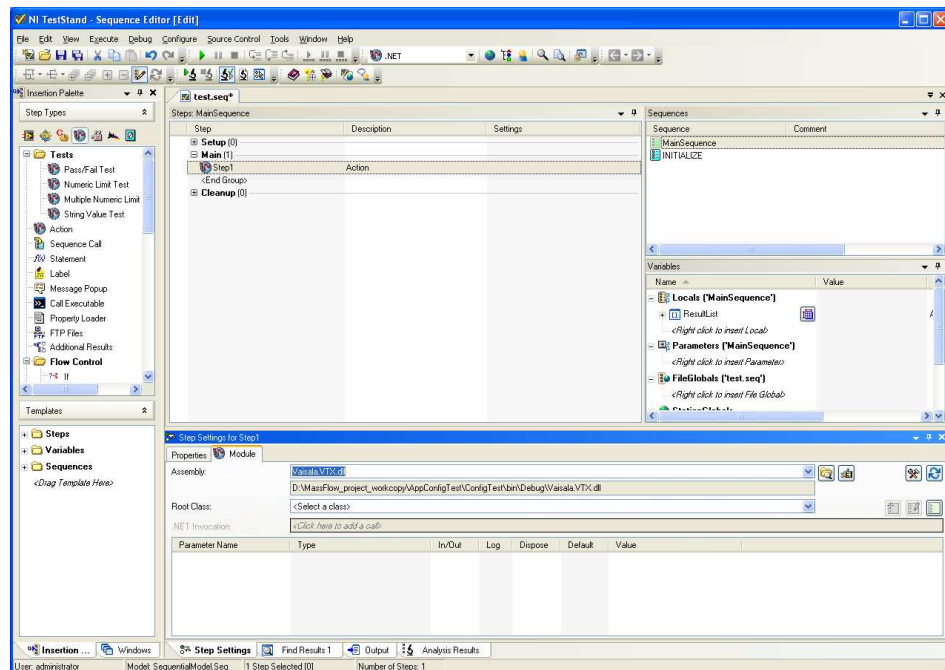


Kuva 4. Laitteiden hallinnan rajapinnat.

Kuvassa 4 näkyy kuinka ajuri ja testisovellus on irroitettu laitteesta. Kun laite on irrotettu testisovelluksesta rajapinnalla, on mahdollista vaihtaa epäkuuntoon menneen laitteen tilalle uusi laite helposti. Tämän uuden laitteen ei tarvitse välttämättä olla vastaava kuin epäkuuntoon mennyt laite, koska testisovelluksen ja laitteen välissä on ajuri, joka piilottaa eroavaisuudet. Tästä seuraa se, että testiaseman voi olettaa toimivan yhä samankaltaisesti kuin ennen. Lisäksi ajureita voidaan käyttää muissa projekteissa, mikä vähentää työtä uuden testi- tai kalibrointiaseman toteutuksessa.

NI TestStand 2010-sekvenssori. National Instruments Corporation (NI) on yhdysvaltalainen yritys, joka kehittää automaattisia testilaitteistoja, virtuaalisia mittalaitteohjelmistoja. Yleisimmät sovellukset liittyvät tiedonkeruuseen, väyläohjaimiin ja konenäköön.

NI on myös kehittänyt TestStand-ohjelman, jonka avulla voi tehdä testaussovelluksiin testisekvenssejä. Sekvenssit ovat koodilohkoja, joissa on johonkin testaustoimenpiteeseen liittyviä vaiheita eli steppejä. TestStandilla voi luoda vaiheita, jotka sisältävät millä tahansa TestStandin tukemalla ohjelmointikielellä tehdyn kirjastomodulin, josta voidaan suorittaa tietty toiminto. Esimerkiksi Vaisalan VTX2-ympäristökirjastosta voi hakea kirjastomodulin, jota vaihe voi käyttää [8].



Kuva 5. NI TestStand sekvenssieditorin käyttöliittymä.

Kuvassa 5 näkyy TestStandin käyttöliittymä. Käyttöliittymässä on keskellä iso työskentelyalue, jossa on kolme eri lohkoa: Setup, Main ja Cleanup. Näiden lohkojen sisään luodaan vaiheita, jotka suoritetaan järjestyksessä. Setup-lohko ajetaan aina ohjelman käynnistyessä ja siihen voidaan liittää sellaisia vaiheita, jotka ovat tarpeellisia, kun ohjelma alustetaan. Main-lohkoon tulee itse testaukseen liittyvät vaiheet, ja Cleanup-lohkossa on ohjelman lopettamiseen liittyviä vaiheita, jotka voidaan suorittaa joko ohjelman lopettamisen aikana tai vikatilanteesta poistuessa, ennen kuin ohjelman suoritus lopetetaan.

Kun kalibrointiohjelmiston testisekvenssit tehdään NI TestStandillä, saadaan jokaiselle tuotetyypille tehtyä omat tiedostot, jotka voidaan VTX2-käyttöliittymään ladata. Lisäksi NI TestStandille on helppo löytää ylläpito- ja ongelmatilanteissa resurssiavustusta Vaisalan alihankkijoilta.

4 Kalibrointiasema

4.1 Kalibrointiaseman rakenne

Kalibrointiasema on rakennettu massavirtasäätimien (MFC) kalibrointia varten. Alun perin asema on rakennettu Brooks 5850S -massavirtasäätimille (2002) ja päivitetty hiljattain Horiba SEC-Z512MCX -massavirtasäätimien (kuva 8) kalibrointia varten. Vaisalassa käytetään kyseisiä massavirtasäätimiä joille tarvitaan kalibrointi hiilidioksidi (CO₂) ja typpi (N₂) kaasuille alueilla 0,005 - 1,5 l/min CO₂ ja 3 - 8 l/min N₂.

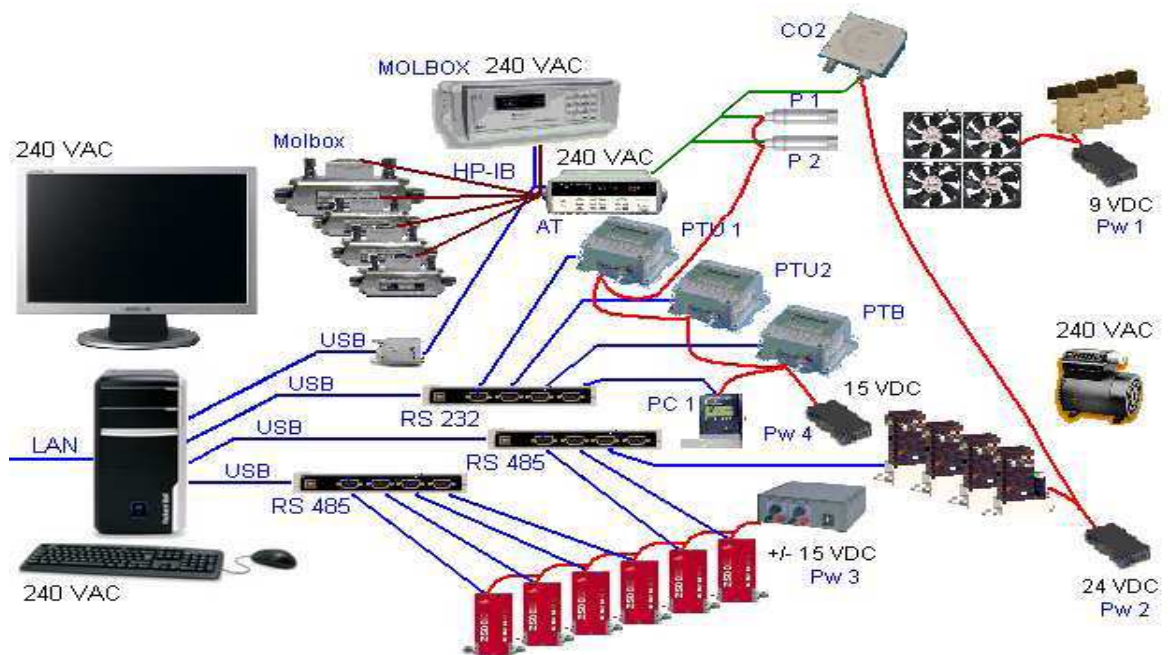
Kalibrointiasemassa käytetään referenssi-mittalaitteena Fluke (DHI) Molbox 1+ virtaustermiinaalia (kuva 9), johon on kytketty neljä Fluke (DHI) Molbloc 1+ laminaarivirtaelementtiä (kuva 10). Laitteet on kalibroitu Flukella (USA) kyseisille mitta-alueille. Kuvassa 6 näkyy kalibrointiaseman laitteisto kokonaisuudessaan.

Kalibroinnissa yhdestä kuuteen MFC:tä kytketään pneumaattisesti ja sähköisesti kalibrointiasemaan ja kukin MFC kalibroidaan erikseen (kullekin MFC:lle konfiguroidaan yksilöllinen kalibrointisykli, ja syklit suoritetaan peräkkäin). MFC:lle kytketään käyttöjännite ja digitaalinen kommunikaatioyhteys PC:lle. MFC:n kanssa kytketään sarjaan laminaarivirtaelementti, joka toimii referenssimittalaitteena.

Kalibrointijärjestelmään kytketään kaasu, jota halutaan mitata (tässä tapauksessa kaasu voi olla hiilidioksidi- tai typpikaasu) ja säädetään kalibrointijärjestelmään haluttu paine. Ennen varsinaista kalibrointia aseman putkisto huuhdellaan, jotta ollaan varmoja, että kalibroinnin aikana putkistossa virtaa vain puhdas kaasu. Huuhtelu käsittää ohjelmoituja syklejä, joissa putkistosta imetään kaasua pois tyhjiöpumpun avulla ja täytetään puhtaalla kalibrointikaasulla, kunnes ollaan varmoja että putkistoon ei ole jäänyt ilmaa tai aiemmin käytettyä kalibrointikaasua.

Kalibroinnin aluksi massavirtasäätimet nollataan ja nollauksen onnistuminen varmistetaan mittaamalla. Varsinainen kalibrointi käsittää kullekin MFC:lle suunnitellun mittaussyklin jossa MFC:llä tuotetaan valittuja virtauksia pienimmästä arvosta suurimpaan ja takaisin, stabiilisuusajan jälkeen mitataan sekä MFC:n oma näyttämä että referenssielementin näyttämä sekä muut prosessin kannalta tärkeät arvot, joita ovat muun muassa kaasun paine ja lämpötila eri osissa systeemiä.

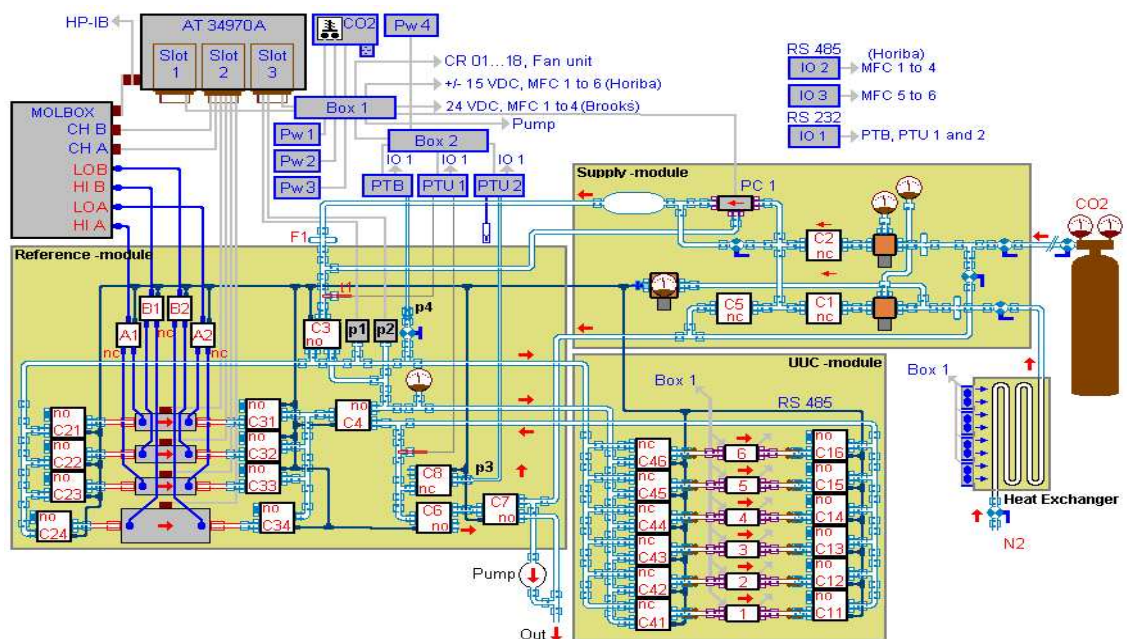
Asemalla voidaan mitata myös muita kuin edellä mainittuja standardisyklejä sekä massavirtasäätimien että systeemin testausta varten. Kalibroinnin jälkeen tulokset talletetaan käsittelyä varten. Tulosten käsittely ja kalibrointitodistusten luominen tapahtuu erillisessä Excel-laskentapohjassa. Massavirtasäätimiä ei säädetä kalibroinnin yhteydessä vaan mittausdatasta lasketaan korjausyhtälö joka talletetaan Vaisalan kalibrointitietokantaan. Tuotantoasemat, jotka käyttävät kyseisiä massavirtasäätimiä, lukevat laitekohtaiset korjauskertoimet kalibrointitietokannasta ja korjaavat massavirtasäätimien näyttämiä käyttäen annettuja korjauksia [12].



Kuva 6. Kalibrointilaitteisto.

4.2 Pneumaattinen järjestelmä

Pneumaattinen järjestelmä kuvaa sen, miten kaasut virtaavat kalibrointijärjestelmässä. Järjestelmä sisältää esimerkiksi paineensäätimiä, solenoideja ja alipainepumpun. Pneumaattinen järjestelmä on suunniteltu siten, että sen jälkeen, kun operaattori on tehnyt tarvittavat asetukset kaikki mittaukset voidaan suorittaa automaattisesti. Pneumaattinen järjestelmä sisältää kaasulinjojen käsisäätöiset venttiilit ja paineensäätimet. Kaikki muut hallintalaitteet ovat pelkästään elektronisesti käytettävissä kalibrointiohjelmiston kautta [11].



Kuva 7. Horiba SEC-Z500X:n kalibrointijärjestelmä.

Kuvassa 7 näkyy kolme eri moduulia, joista syntyy pneumaattinen järjestelmä. Nämä ovat syöttömoduuli (supply-module), referenssilaitteiden moduuli (reference-module) ja kalibroittavien laitteiden moduuli (UUC-module). Moduulien on tarkoitus helpottaa aseman muokkaamista tai vikatilanteissa jonkun moduulin vaihtamista uuteen. Moduulit ovat irrotettavissa kokonaisina helposti muutaman ruuvin irrottamalla.

4.3 Laitteisto

Horiba-massavirtasäädin

Horiba-massavirtasäätimiä kalibroidaan asemassa, johon toteutin kalibrointiohjelmiston. Kuvassa 8 näkyy, mikä näköinen ja -kokoinen laite Horiba-massavirtasäädin suunnilleen on. Horiba-massavirtasäätimessä on D-Sub 9 -liitin, josta laite saa käyttövirtansa. lisäksi siinä on RJ-45 -liitin josta laitetta voidaan ohjata. Horiba SEC-Z500X on digitaalisesti ohjattava massavirtasäädin, ohjaus tehdään RS485-portin kautta käyttäen F-NET-protokollaa. Jokaisella massavirtasäätimellä on oma osoite, jolloin niitä voidaan sijoittaa yhteen kaapeliin sarjassa.



Kuva 8. Horiba SEC-Z500X massavirtasäädin.

Massavirtasäädintä voidaan käyttää mittaamaan ja ohjaamaan kaasuja. Säädin voidaan kalibroida ohjaamaan kaasua tietyllä virtausmäärällä. Säädin valvoo virtausmäärää ja pyrkii pitämään asetetun virtausmäärän. Säätimiä voi olla digitaalisia tai analogisia. Digitaalinen säädin voi ohjata useampaa eri kaasua, kun taas analoginen voi ohjata vain sitä kaasua, mille se on kalibroitu. Kaikissa massavirtasäätimissä on tulo- ja poistoliitin, ilmamassa-anturi ja suhteellinen säätöventtiili. Säädin tarvitsee tietyn työpaineen, jotta se toimii oikein [9].

Molbox 1+ -virtaustermiinali



Kuva 9. Fluke Molbox1+ virtaustermiinali.

Fluken Molbox1+-virtaustermiinali ja siihen kytketyt Molbloc-laminaarivirtauselementit toimivat kalibrointijärjestelmän referenssi-mittalaitteina. Molbox1+ mittaa laminaarivirtauslementtien avulla elementtien läpi virtaavan kaasun virtausmäärää.

Laminaarivirtauselementit



Kuva 10. DHI Molbloc-L laminaarivirtauselementti.

Laminaarivirtauselementtien avulla voidaan mitata kaasun virtausmäärää. Elementeissä on kaksi paineanturia ja lämpötila-anturia. Anturien mittaamien painerojen ja lämpötila-anturien avulla voidaan Molbox1+-virtaustermiinalilla laskea kaasun virtausmäärää, kun virtaus on laminaarinen. Laminaarinen virtaus tarkoittaa, että virtauksessa ei ole pyörteitä. Tämä pyritään estämään siten, että kaasu kulkee hyvin ahtaiden käytävien läpi [10, s. 19.].

Agilent 34970A -dataloggeri ja kytkinyksikkö

Agilent 34970A:ssa on kolme moduulipaikkaa ja sisäänrakennettu digitaalinen yleismittari. Tässä kalibrointiasemassa kyseiseen yksikköön on laitettu kaksi rele-moduulia ja yksi multiplekseri-moduuli. Rele moduuleilla voidaan ohjata kalibrointiaseman kaasuventtiilejä ja multiplekseri-moduulilla voidaan valita haluttu mittaussignaali, joka mitataan sisäänrakennetulla yleismittarilla.

Kuvassa 11 näkyy Agilent 34970A -dataloggeri ja kytkinyksikkö. Laitetta voidaan ohjata suoraan laitteen etuosasta painikkeilla tai digitaalisesti vaikka GP-IB -väylän kautta.



Kuva 11. Agilent 34970A.

Edgeport-sarjaporttilaajennin



Kuva 12. Edgeport.

Edgeport on USB-liittimellä kalibrointiohjelmistoa suorittavaan tietokoneeseen yhteydessä oleva laite, jolla voidaan kasvattaa sarjaliikenneporttien lukumäärää tietokoneessa, näitä sarjaliikenneportteja tarvitaan, että voidaan kommunikoida esimerkiksi massavirtasäätimien kanssa. Kuvassa 12 näkyy Edgeport-sarjaporttilaajentimen etu- ja takaosa.

Recommended Standard 232 (RS232) on sarjaliikennestandardi, jonka avulla voidaan kommunikoida laitteiden välillä. Esimerkiksi kalibrointiohjelmistoa suorittava tietokone voi olla RS232-sarjaliikenneyhteydessä kalibrointitapahtumassa käytettävien mittalaitteiden kanssa, joilta saadaan informaatiota ja mittaustietoa, jota taas tietokoneessa suoritettava ohjelmisto käyttää hyväksi kalibrointiprosessissa.

Recommended Standard 485 (RS485) on myös sarjaliikennestandardi. Se voi esimerkiksi olla nopeampi kuin RS232-standardiin perustuva kommunikointi. Sen lisäksi RS485-standardin avulla voidaan olla yhteydessä useampaan eri laitteeseen yhdellä RS485-kaapelilla, kun laitteet ovat sarjaan kytkettyinä. Tällöin laitteilla on omat uniikit osoitteensa.

General Purpose Interface Bus (GP-IB) on rinnakkaisliitännästandardi. Hewlett-Packard kehitti sen HP-IB (Hewlett-Packard Interface Bus)-nimellä 1960-luvun lopulla. Lopulta myös muut valmistajat kopioivat liitännästandardin ja alkoivat kutsua sitä nimellä GP-IB. GP-IB on edelleen yleisesti käytetty liitännästandardi testausympäristöissä. Siihen voidaan liittää laitteita, joita halutaan ohjata [13].



Kuva 13. GP-IB -kaapeleita.

GP-IB (General Purpose Interface Bus) on rinnakkaisliitännästandardi. Hewlett-Packard kehitti sen HP-IB (Hewlett-Packard Interface Bus) -nimellä 1960-luvun lopulla. Lopulta myös muut valmistajat kopioivat liitännästandardin ja alkoivat kutsua sitä nimellä GP-IB. GP-IB on edelleen yleisesti käytetty liitännästandardi testausympäristöissä. Siihen voidaan liittää laitteita, joita halutaan ohjata [13].

GP-IB on joustava väylä, koska siihen voidaan liittää mikä tahansa laite, jossa on kyseinen liitännä, ja se toimii hitaimman laitteen nopeudella. Väylään voidaan liittää maksimissaan 15 laitetta samanaikaisesti, eikä väylän pituus saa ylittää 20 metrin pituutta [14]. Kuvassa 13 näkyy GP-IB kaapeleita.

4.4 Prosessi

Seuraavassa luettelossa on esitelty kalibrointiprosessin työvaiheet yksinkertaistettuina. Tämän insinööriyön tarkoitus oli suunnitella ja toteuttaa vaiheissa 3–7 esitetyt työvaiheet.

1. Kalibroitavat massavirtasäätimet vastaanotetaan Mittanormaallilaboratorioon ja kalibrointitodistusnumerot varataan Mittanormaallilaboratorion päiväkirjasta.
2. Säätimet viedään Mittanormaallilaboratorion laboratorio huoneeseen ja kytketään kiinni kalibrointiasemaan.
3. Kalibrointiohjelma käynnistetään.
4. Asema valmistellaan kalibrointia varten. Ohjelma tarkistaa kytketyt mittalaitteet ja niiden kalibrointitilanteen ennen kalibroinnin aloitusta. Järjestelmä huuhdellaan ja täytetään kalibroinnissa käytettävällä kaasulla. Tämän voi suorittaa automaattisesti tai manuaalisesti kalibrointiohjelman kautta.
5. Kalibrointi on konfiguroidaan jokaiselle kalibroitavalle säätimelle.
6. Kalibrointi suoritetaan ja mitattu tieto tallennetaan.
7. Kalibrointijärjestelmä suljetaan ja kalibroidut säätimet kytketään irti asemasta.
8. Kalibrointikertoimet on laskettu ja tallennettu kalibrointitietokantaan.
9. Stabiilisuusseuranta päivitetään ja tulokset ovat hyväksytyt tai hylätyt.
10. Tilanteessa, jossa säätimen tulokset on hylätyt, niin kyseinen säädin voidaan yrittää kalibroida uudestaan ennen säätimen hylkäämistä.
11. Kalibrointitodistukset tulostetaan ja kalibrointitarrat liimataan massavirtasäätimiin.
12. Mittanormaallilaboratorion päiväkirja ja mittalaitetietokanta päivitetään.
13. Säätimet palautetaan asiakkaalle [11].

5 Kalibrointiohjelmisto

5.1 Kalibrointiohjelmiston rakenne

Kalibrointiohjelmistoa käynnistäessä ohjelma alustaa järjestelmän ja tarkistaa kalibroinnin tilan jokaisesta mittalaitteesta, jotka ovat merkittyinä asemakohtaiseen konfigurointitiedostoon [11].

Massavirtasäätimillä on tarkoitus asettaa ja mitata hiilidioksidi- ja typpikaasujen virtausmäärää. Säätimillä on yksi tai useampi oletuskalibrointisykli, joka on tallennettu konfiguraatitiedostoon, josta se haetaan jokaiselle säätimelle. Tämän lisäksi operaattori voi valita muun kuin oletuskalibrointisyklin säätimelle ohjelman käyttöliittymässä olevasta listasta. Oletuskalibrointisykliä käytetään rutiinikalibrointiin ja valinnaiset kalibrointisyklit ovat testausta varten [11].

Kalibroinnin alussa massavirtasäädin nollataan, jos se ollaan valittu laitteen asetuksista. Mitään muita säätöjä ei aseteta säätimeen. Ennen kalibrointia kalibrointijärjestelmä huuhdellaan ja täytetään valitulla kaasulla. Tämän jälkeen tehdään vuototesti kalibrointijärjestelmään jos operaattori on sen valinnut.

Onnistuneen kalibroinnin päätteeksi ohjelma luo tiedoston, jossa ovat kaikki mittaustulokset ja tiedot. Excel-laskentapohjassa lasketaan tulokset ja sen jälkeen tulostetaan kalibroinnista kalibrointitodistus. Tämän jälkeen lopulliset tulokset eli korjauskertoimet massavirtasäätimelle tallennetaan kalibrointitietokantaan. Näitä korjauskertoimia voidaan käyttää massavirtasäätimessä, kun se on kytketty johonkin Vaisalan testaus- tai kalibrointiasemaan. Tällä tavalla massavirtasäätimen näyttämä saadaan korjattua luotettavaksi [11].

Kalibrintiohjelmisto koostuu seuraavista päätoiminnoista:

Alusta ohjelma -toiminto asettaa järjestelmän valmiustilaan ohjelman käynnistyksen tai keskeytyksen jälkeen, kun halutaan varmistaa, että järjestelmä on turvallisessa tilassa.

Puhdista ja täytä typpikaasulla -toiminto huuhtelee järjestelmän vallitsevasta kaasusta ja täyttää sen typpikaasulla.

Puhdista ja täytä hiilidioksidikaasulla -toiminto huuhtelee järjestelmän vallitsevasta kaasusta ja täyttää sen hiilidioksidikaasulla.

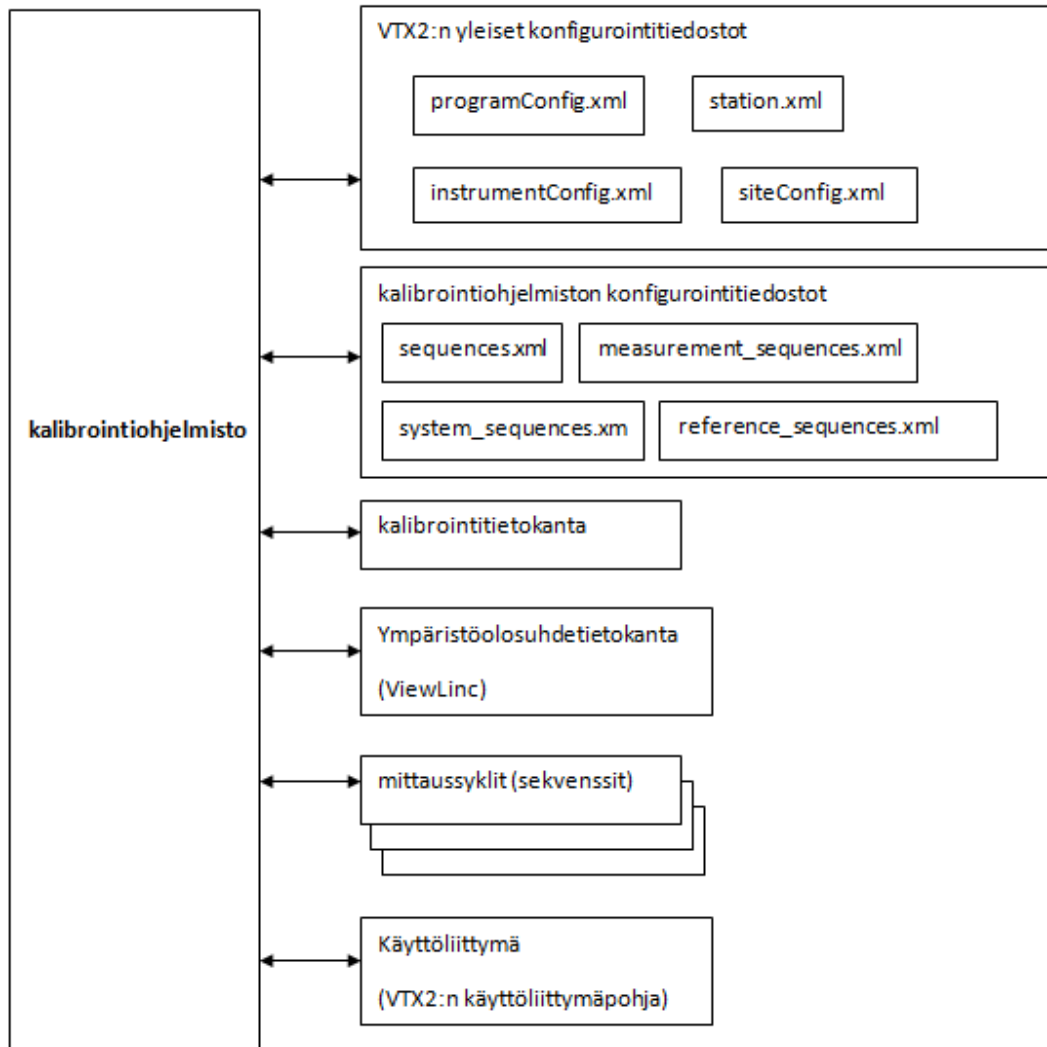
Nollaus-toiminto asettaa kalibroitavana olevan massavirtasäätimen näyttämä arvon nollassi, kun kaasu ei virtaa massavirtasäätimen lävitse ennen kalibroitua. Nollan säätöä ennen ja jälkeen tehdään mittauksia joilla varmistetaan, että nollaus on tapahtunut. Toiminto suoritetaan silloin, kun kalibrintiaseman operaattori on sen valinnut laitekohtaisista asetuksista ennen kalibroitua.

Vuototesti-toiminto tehdään ennen kalibroitua kun halutaan varmistaa, että järjestelmässä ei ole vuotoja. Esimerkiksi referenssimittalaitteen ja kalibroitavan massavirtasäätimen välissä oleva vuoto vääristäisi mittaustuloksia ja tekisi kalibroinnista hyödyttömän. Toiminto suoritetaan silloin, kun operaattori on sen valinnut laitekohtaisista asetuksista ennen kalibroitua.

Kalibrinti-toiminto suorittaa kalibroinnin valitulla kaasulla.

Sulje ohjelma -toiminto asettaa järjestelmän turvalliseen tilaan ennen ohjelman sulkemista [11].

5.2 Lohkokaavio

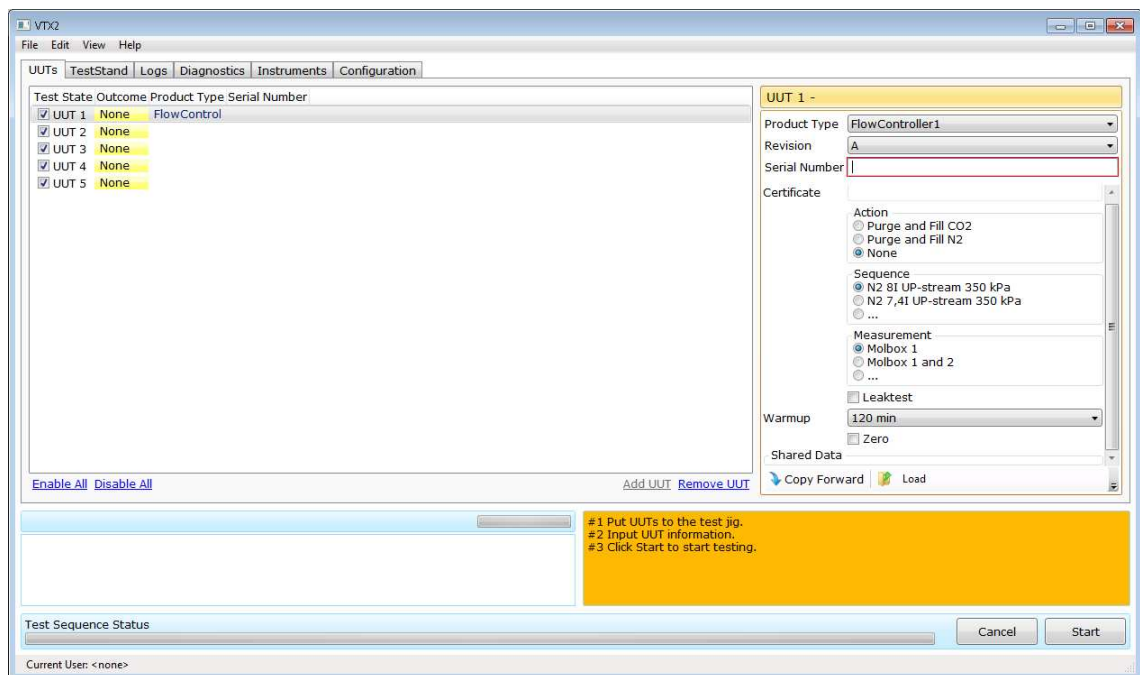


Kuva 14. Kalibrointiohjelmiston lohkoavaio.

Kuvassa 14 on kalibrointiohjelmiston lohkoavaio. Lohkoavaiossa on esitetty eri lohkoja, joista kalibrointiohjelmisto koostuu.

5.3 Käyttöliittymä

Kalibrointiohjelmiston käyttöliittymän suunnittelussa käytiin ensin pienimuotoisessa palaverissa läpi, mitä ominaisuuksia käyttöliittymässä tulisi olla ja mitä se vaatii. Näin voitiin kartoittaa, voidaanko mahdollisesti käyttää jo olemassa olevaa Vaisalan testiohjelmistojen yleistä käyttöliittymä pohjaa, jolloin käyttöliittymän rakentaminen on käytännössä hyvin nopeaa ja helppoa. Ainoa asia, joka tähän käyttöliittymäpohjaan piti muuttaa tässä vaiheessa, oli laitekohtaiset asetukset ikkunaa. Tämä onnistui helposti muokkaamalla käyttöliittymäpohjan konfiguraatitiedostoa. Kuvassa 15 näkyy kalibrointiohjelmiston käyttöliittymä suunnitteluvaiheessa.



Kuva 15. Kalibrointiohjelmiston käyttöliittymä suunnittelu vaiheessa.

XML-pohjaisessa tiedostossa käyttöliittymän luominen oli helppoa, koska käyttöliittymäpohjan perusteella rajapinta luo automaattisesti tekstinsyöttö- ja valintalaatikot. Tämä tapahtuu lukemalla XML-tiedostosta tarvittavat parametrit ja jäsentämällä tiedot.

The screenshot shows a software window titled "UUT 1 -" with the following fields and options:

- Product Type:** Horiba SEC-Z512MCX (dropdown menu)
- Serial Number:** (empty text field with a red border)
- Instrument Number:** MF 14047 (dropdown menu)
- Certificate:** (empty text field)
- Action:**
 - Purge and Fill CO2
 - Purge and Fill N2
 - None
- Sequence:** CO2 45 ml/min DOWN (dropdown menu)
- Measurement:**
 - Molbox 1
 - Molbox 1 and 2
 - ...
- Leaktest
- Warmup:** 120 min (dropdown menu)
- Zero
- Shared Data:** (empty text field)
- Buttons:** Copy Forward (with arrow icon), Load (with folder icon)

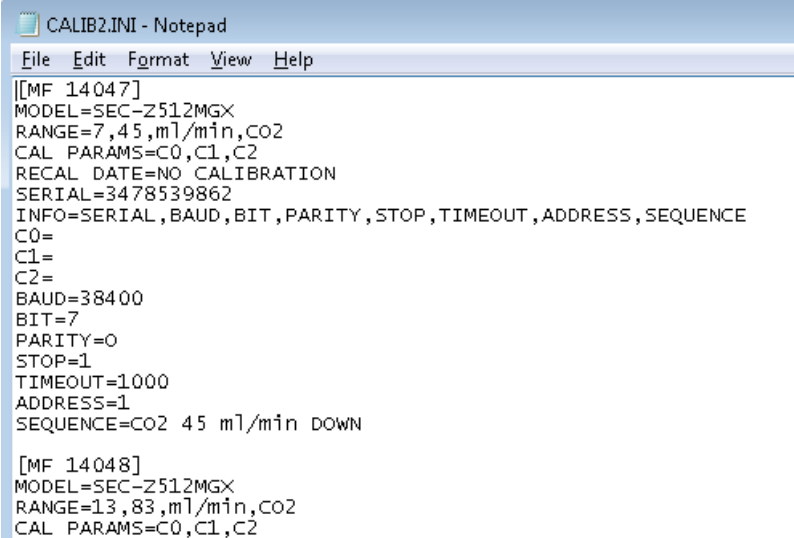
Kuva 16. Laitekohtaiset asetukset kalibrointiohjelmiston käyttöliittymässä.

Kuvassa 16 näkyvät laitekohtaiset asetukset, jotka operaattori täydentää ja hyväksyy. Seuraavassa kerrotaan, mitä nämä tarkoittavat kalibrointisyklissä.

- Product Type; Kalibroitavan laitteen tuotetypin valinta.
- Serial Number; Laitteen sarjanumero.
- Certificate; Laitteen kalibrointitodistusnumero.
- Sequence; Laitteen oletus kalibrointisykli, jonka operaattori voi vaihtaa.
- Leaktest; Kun tämä valintalaatikko on valittu tehdään laitteelle vuototesti.
- Warmup; Stabiloitumis-aika, jonka laite on oltava käynnissä ennen kuin kalibrointi aloitetaan.

- Zero; Kun tämä valintalaatikko on valittu tehdään laitteelle nollaus.

Kun kalibrointiaseman operaattori valitsee käyttöliittymän laitenumeroista MF 14047-laitenumeron, kalibrointiohjelma päivittää käyttöliittymän laitekohtaiset asetuksensa vastaamaan kalibrointitietokannassa määritettyjä asetuksia. Kalibrointitietokannasta saadaan esimerkiksi laitenumeron oletuskalibrointisykli. Lisäksi myös laitteen kommunikointiasetukset saadaan tästä tietokannasta. Kuvassa 17 näkyy kalibrointitietokannan sisältöä.



```

CALIB2.INI - Notepad
File Edit Format View Help
[[MF 14047]
MODEL=SEC-2512MGX
RANGE=7,45,m1/min,CO2
CAL_PARAMS=C0,C1,C2
RECAL DATE=NO CALIBRATION
SERIAL=3478539862
INFO=SERIAL,BAUD,BIT,PARITY,STOP,TIMEOUT,ADDRESS,SEQUENCE
C0=
C1=
C2=
BAUD=38400
BIT=7
PARITY=0
STOP=1
TIMEOUT=1000
ADDRESS=1
SEQUENCE=CO2 45 m1/min DOWN

[MF 14048]
MODEL=SEC-2512MGX
RANGE=13,83,m1/min,CO2
CAL_PARAMS=C0,C1,C2

```

Kuva 17. Kuvakaappaus kalibrointitietokannan tiedoista.

5.4 Kalibrointiohjelmiston konfigurointitiedostot

Kalibrointiohjelman konfigurointiominaisuuden toteutus oli varsin haastavaa siltä osin, että kalibrointisyklistä piti luoda mahdollisimman muokattava. Muokkaus tapahtuu XML-merkintäkielellä konfigurointitiedostoihin. Seuraavassa esitellään konfigurointitiedostot, joita kalibrointiohjelmistossa käytetään.

Oletuskalibrointisyklit

Sequences.xml on tiedosto, johon on lueteltu kaikki oletuskalibrointisyklit, joita eri tuotenumeroilla voi olla.

```

<Item name="CO2 45 ml/min DOWN" description="">
  <Task>RANGE=30..100,UP,CO2,P=350kPa,REF=1</Task>
  <Task>RANGE=100..30,UP,CO2,P=350kPa,REF=1</Task>
</Item>

```

Koodiesimerkki 1. Oletuskalibroitisykli-tiedoston sequences.xml sisältöä.

Kun laitteen tuotenumero valitaan, haetaan kalibroititietokannasta laitteen oletuskalibroitisyklin nimi. Oletuskalibroitisyklin nimen perusteella sequences.xml-tiedostosta haetaan "Item" -kohdasta vastaava nimi. Esimerkiksi oletuskalibroitisyklin ollessa "CO2 45 ml/min DOWN" sequences.xml-tiedostosta löytyy kyseiselle oletuskalibroitisyklille kaksi tehtävää. Oletuskalibroitisyklissä on mittausyklejä, jotka suoritetaan yksi kerrallaan. Mittausykladit ovat määritelty tiedostossa measurement_sequences.xml, josta kerron seuraavaksi.

Mittausykladit

```

<Item name="RANGE=30..100,UP,CO2,P=350kPa,REF=1" description="">
  <!-- Parameters -->
  <Set key="molbox" value="1" />
  <Set key="rangelow" value="30" />
  <Set key="rangehigh" value="100" />
  <Set key="rangestep" value="10" />
  <Set key="stream" value="UP" />
  <Set key="wait0" value="1" />
  <Set key="wait1" value="20" />
  <Set key="wait2" value="2" />

  <!-- Sequences -->
  <Seq execute="SELECT REF1">
    <!-- Sequence parameters -->
    <Set key="funit" value="sccm" />
    <Set key="gas" value="CO2" />
  </Seq>

  <Seq execute="SELECT CO2" />
</Item>

```

Koodiesimerkki 2. Mittausykli-tiedoston measurement_sequences.xml sisältöä.

Sequences.xml-tiedostosta saatujen mittausykliden nimien perusteella haetaan mittausykli, jossa annetaan tarkemmat tiedot mittausykliden parametreista ja käytettävästä kaasusta. Kalibroinnissa kalibroitavalle massavirtasäätimelle annetaan virtausmääräarvoja esimerkiksi 30–100 %:n väliltä. Tiedosto määrittää tarkemmin virtausmäärävalin ja siihen liittyvät rutiinit.

Järjestelmäsekvenssit

```

<!--
  Reference pressure measurement sequence
-->
<Sequence Name="PressurePD" Repeats="1">
  <Step Function="Configure">
    <Parameter Name="DeviceName" Value="DVM" />
    <Parameter Name="Channel" Value="302" />
    <Parameter Name="MeasurementType" Value="VoltageDC" />
    <Parameter Name="Range" Value="10" />
    <Parameter Name="Resolution" Value="-1" />
  </Step>
  <Step Function="Read" ResultName="P2">
    <Parameter Name="DeviceName" Value="DVM" />
  </Step>
</Sequence>

```

Koodiesimerkki 3. Järjestelmäsekvenssi tiedoston system_sequences.xml sisältöä.

Järjestelmäsekvenssejä kutsutaan kalibroinnin aikana nimi-parametrin avulla. Koodiesimerkissä 3 on kalibroitiohjelmiston koodia, jossa kutsutaan "Pressure PU"- ja "Pressure PD"-nimisiä järjestelmäsekvenssejä. Tämä "RunSequence"-toiminto suorittaa kyseiset järjestelmäsekvenssit.

```

engine.RunSequence("PRESSURE PU");
engine.RunSequence("PRESSURE PD");

```

Koodiesimerkki 4. Kalibroitiohjelmiston lähdekoodista järjestelmäsekvenssien suorituslohko.

Järjestelmäsekvensseissä on kerrottu kaikki tarvittava, jotta "RunSequence"-toiminto osaa ajaa tarvittavan komennon oikeilla parametreilla.

Viitesekvenssit

```

<RefSequence Name="PurgeAndRefillN2">
  <Step>PurgeAndRefill_Initialize</Step>
  <Step>Wait3Seconds</Step>
  <Step>PurgeAndRefillN2_Loop</Step>
  <Step>Wait3Seconds</Step>
  <Step>PurgeAndRefillN2_End</Step>
  <Step>Wait3Seconds</Step>
</RefSequence>

```

Koodiesimerkki 5. Viitesekvenssi tiedoston reference_sequences.xml sisältöä.

Tiedostossa nimeltä `reference_sequences.xml` on kalibrintiohjelmiston viitesekvenssejä. Näitä viitesekvenssejä tarvitaan, jotta voidaan kalibrintiohjelmistosta kutsua yhdellä komennolla useita järjestelmäsekvenssejä. Tämä luo mahdollisuuden muokata järjestelmäsekvenssien ajojärjestystä ja lisätä jälkikäteen järjestelmäsekvenssejä. Tässä tiedostossa on esimerkiksi mittaussekvenssi, johon on lueteltu systeemin sekvenssejä. Näitä sekvenssejä kutsutaan kalibrintiohjelmasta kalibroinnin aikana.

```
engine.RunRefSequence("PurgeAndRefillN2");
```

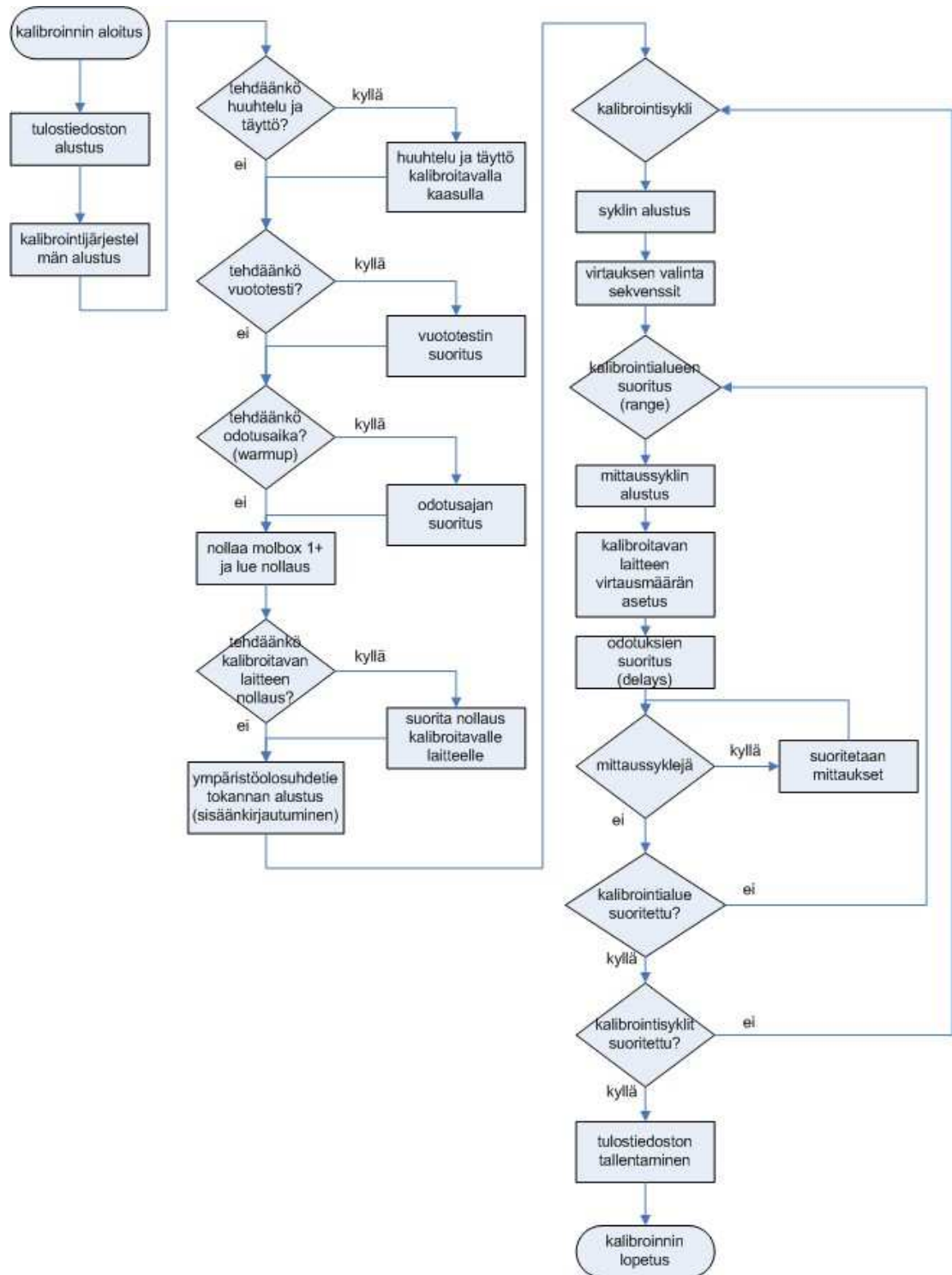
Koodiesimerkki 6. Kalibrintiohjelmiston lähdekoodista viitesekvenssin suoritus.

5.5 Ympäristöolosuhdetietokanta

Ympäristöolosuhdetietokannasta voidaan hakea tietoa testi- ja kalibrointiasemahuoneiden olosuhteista, esimerkiksi huoneen tai tilan lämpötila-, kosteus- tai paine-lukemat. Olosuhdetietoja tarvitaan testin tai kalibroinnin aikana, jotta tiedetään, että kalibrointiolosuhteet ovat olleet luotettavat. Nykyään jokaisessa testi- tai kalibrointiasematilassa on yksi mittalaite, joka mittaa tilan olosuhteita. Ennen olosuhdemittalaitteet saattoivat olla jokaisessa testi- ja kalibrointiasemassa, vaikka olosuhteet pienessä tilassa olivat jokaisessa samat.

5.6 Vuokaavio

Kuva 18 Kuvassa 18 on esitetty kalibrointiohjelmiston vuokaavio. Vuokaaviossa näkyy miten kalibrointi etenee vaihe vaiheelta.



Kuva 18. Kalibrointiohjelmiston vuokaavio

6 Yhteenveto

Insinööriytyössä oli tarkoitus suunnitella ja toteuttaa massavirtasäätimien kalibrointiohjelmisto Vaisalan Oyj:lle. Kalibrointiohjelmiston tuli olla mahdollisimman muokattava, koska kalibrointiaseman tulee mukautua muutoksiin. Työ onnistui hyvin ja tavoitteet, jotka kalibrointiohjelmistolle asetettiin, saavutettiin. Tilaajapuoli ja itse työntekijä olivat tyytyväisiä lopputuotokseen.

Näin jälkikäteen työssä olisi voinut tehdä monia asioita toisin. Esimerkiksi alussa olisi voinut eritellä työvaiheet ja luoda niistä aikataulu. Tähän työvaihe listaan olisi kuitenkin tullut muutoksia, koska työn määritykset hieman muuttuivat työn aikana. Opin työtä tehdessäni, että asioita ei kannata yleensä tehdä monimutkaisesti vaan mahdollisimman yksinkertaisesti, kun halutaan päässä hyvään lopputulokseen.

Kiireellisen aikataulun takia kalibrointiohjelmiston kaikkia toimintoja ei ehditty tehdä insinööriytyön aikana, mutta lähitulevaisuudessa esimerkiksi vuototesti-toiminto tehdään kalibrointiohjelmistoon. Lisäksi kalibrointiohjelmisto pitää dokumenttoida ja kirjoittaa kalibrointiohjeet operaattorille.

Lopuksi haluan kiittää Antero Pitkäkoskea insinööriytyön ohjaamisesta ja tuen antamisesta työn aikana, sekä esimiestäni Timo Siirtolaa, joka mahdollisti sen, että sain tehdä insinööriytyöni Vaisala Oyj:lle. Lisäksi haluan kiittää Metropolia ammattikorkeakoulun tekstinohjaajia ja lehtori Jarkko Vuorta, joka toimi ohjaavana opettajana ja antoi hyviä neuvoja työn sisällöstä ja puutteista. Kiitokset myös kollegoille ja perheeni jäsenille, jotka avustivat ja tukivat minua insinööriytyöni aikana.

Lähteet

- 1 Vaisalan historia. 2012. Verkkodokumentti. Vaisala.
<<http://www.vaisala.fi/fi/corporate/history/Pages/default.aspx>>. Luettu 15.1.2013.
- 2 Mikä on radioluotain? 2013. Verkkodokumentti. Ilmatieteenlaitos.
<<http://ilmatieteenlaitos.fi/saa-ja-meteorologia#14>>. Luettu 15.1.2013.
- 3 Organisaatio. 2012. Verkkodokumentti. Vaisala.
<<http://www.vaisala.fi/fi/corporate/organization/Pages/default.aspx>>. Luettu 15.1.2013.
- 4 Controlled Environment. 2012. Verkkodokumentti. Vaisala.
<<http://www.vaisala.fi/fi/corporate/organization/businessareas/cen/Pages/default.aspx>>. Luettu 15.1.2013.
- 5 .NET Framework 4.5. 2013. Verkkodokumentti. Microsoft.
<<http://msdn.microsoft.com/en-us/library/w0x726c2.aspx>>. Luettu 20.1.2013.
- 6 What are the different versions of C# and when was it released? 2013. Verkkodokumentti. Rapid Programming.
<<http://www.rapidprogramming.com/questions-answers/What-are-the-different-versions-of-C-Sharp-and-when-was-it-released--709>>. Luettu 20.1.2013.
- 7 C# Language Tour. 2013. Verkkodokumentti. Microsoft.
<<http://msdn.microsoft.com/en-us/library/67ef8sbd%28v=vs.71%29.aspx>>. Luettu 20.1.2013.
- 8 What is NI TestStand? 2013. Verkkodokumentti. National Instruments.
<<http://sine.ni.com/np/app/main/p/docid/nav-94/lang/fi/fmid/883/>>. Luettu 12.2.2013.
- 9 Mass Flow Controller. 2013. Verkkodokumentti. Wikipedia.
<http://en.wikipedia.org/wiki/Mass_flow_controller>. Luettu 22.2.2013.
- 10 Laakso, Simo. 2004. Termisten massavirtasäätimien soveltuvuus puhtaiden kaasujen sekoittamiseen. Insinööriyö. Espoo-Vantaan teknillinen ammattikorkeakoulu.
- 11 Pitkäkoski, Antero. 2012. MSL Flow Calibration Station. Tuotannon testausmäärittelmä.
- 12 Pitkäkoski, Antero. 2013. Kehityspäällikkö, Vaisala Oyj, Vantaa. Keskustelu 26.4.2013.

- 13 IEEE-488. 2013. Verkkodokumentti. Wikipedia.
<<https://en.wikipedia.org/wiki/IEEE-488>>. Luettu 6.5.2013.
- 14 GPIB / IEEE 488 Basics Tutorial. 2013. Verkkodokumentti. Radio Electronics.
<http://www.radio-electronics.com/info/t_and_m/gpib/ieee488-basics-tutorial.php>. Luettu 6.5.2013.