

Lauri Keskinen

## Painemoduulien testiympäristö

Metropolia Ammattikorkeakoulu  
Insinööri (AMK)  
Elektroniikan koulutusohjelma  
Insinöörityö  
17.04.2012

## **Alkulause**

Tämä insinööriyö on tehty Metropolian Ammattikorkeakoulun elektroniikan koulutusohjelmassa. Kiitän työni ohjaajia elektroniikan lehtori Timo Kasurista ja kehitysjohtaja Antti Pitkästä.

Haluan kiittää Antti Pitkästä myös projektin mahdollistamisesta. Kiitän myös tutkinta- ja kehitysprojektipäällikkö Hannu Huotaria LabView-ohjelmaan perehdyttämisestä. Lisäksi kiitän kaikkia projektissa mukana olleita.

Vantaalla 9.4.2012

Lauri Keskinen

Tekijä Otsikko	Lauri Keskinen Painemoduulien testiympäristö
Sivumäärä Aika	52 sivua + 10 liitettä 17.04.2012
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	elektroniikan koulutusohjelma
Suuntautumisvaihtoehto	elektroniikka
Ohjaajat	elektroniikan lehtori, Timo Kasurinen kehitysjohtaja, Antti Pitkänen
<p>Insinöörityönä rakennettiin painemoduulien testiympäristö tuotekehityksen käyttöön. Tämä tapahtui selvittämällä ja valitsemalla parhaat laitteet testiympäristön rakentamiseksi. Työssä aluksi esitelty laitteisto olisi ollut paras mahdollinen tapa toteuttaa testiympäristö, mutta erilaisista syistä johtuen päädyttiin käyttämään eri laitteita. Valitut laitteet esitellään parhaimpien valintojen jälkeen. Valituilla laitteilla ei päästy aivan kaikkiin testiympäristölle esitettyihin vaatimuksiin, mutta laitteilla saavutettiin kuitenkin tärkeimmät vaatimukset.</p> <p>Työssä tehtiin ohjaus- ja käyttöliittymä LabView-ohjelmistolla. Ohjelman tehtävänä on ohjata laitteistoa, lukea referenssien ja painemoduulien mittaamia arvoja sekä muokata mitaustulokset järkevämpään muotoon. Työssä esitelty ohjaus referensseille on tehty käyttöohjeiden mukaan, mutta ei ole testattu käytännössä. Paineen ja lämpötilan säätelyyn tehty ohjaus sen sijaan päästiin testaamaan. Lisäksi painemoduuleille tehtyä ohjausta päästiin testaamaan.</p> <p>Testiympäristöä ei saatu valmiiksi asti, koska referenssien toimitusajat olivat pitkiä. Testiympäristö tullaan kuitenkin rakentamaan valmiiksi, kunhan puuttuvat komponentit saapuvat. Tämän jälkeen tullaan suorittamaan testiajoja ja ohjelmiston muokkausta paremmaksi. Lopuksi testiympäristöstä kirjoitetaan käyttöohje Vaisalalle.</p>	
Avainsanat	painesäädin, painemoduuli, LabView, sarjaväyläkommunikaatio

Author Title	Lauri Keskinen Test Environment for Pressure Modules
Number of Pages Date	52 pages + 10 appendices 17 March 2012
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electronics
Specialisation option	
Instructors	Timo Kasurinen, Senior Lecturer Antti Pitkänen, Development Manager
<p>The aim of the engineering project was to build a pressure module test environment for R&amp;D. This was done by solving and choosing the best devices for the test environment. In this project the devices that are presented first would have been the best choices to implement the test environment. The chosen devices will be presented after the best ones. The test environment that was built with the chosen devices does not achieve all the required demands about the test environment but it achieves the most important demands.</p> <p>In this project, control interface and user interface were done with LabView software. The tasks of the program are to control devices, to read references and pressure modules measured values and to modify the measured values to be more transparent. The software for the references that are presented in this project, is done by using a manual but is not tested in a practice. The software for the regulation of pressure and temperature was tested. Also the software for the pressure modules was tested.</p> <p>The test environment did not complete because of the long delivery time of the references but it will be finished when the missing components will arrive. After that, there will be test drives and software will be changed to better. Finally, a manual will be written about the test environment for Vaisala.</p>	
Keywords	pressure controller, pressure module, LabView, serial line communication

## Sisälllys

**Alkulause**

**Tiivistelmä**

**Abstract**

**Sisälllys**

**Lyhenteet ja käsitteet**

<b>1 Johdanto</b>	1
<b>2 Testiympäristön vaatimukset</b>	2
<b>3 Testiympäristön toteutusidea</b>	3
<b>4 Testiympäristöä varten olemassa oleva laitteisto</b>	3
4.1 Paineammio	3
4.2 Lämpötilakaappi	4
<b>5 Testiympäristöön tarvittavien komponenttien vertailu</b>	5
5.1 Paineen säätämiseen tarvittavien komponenttien vertailu	5
5.1.1 Painesäädin ja painereferenssi	5
5.1.2 CPC 3000, 6000 ja 8000 -painesäätimet	6
5.1.3 Ruska 7250i -painesäädin	8
5.1.4 DHI PPC4-HI-A100KP Prerium Q-RPT -painesäädin	10
5.1.5 Ylipainesuojaventtiili	13
5.1.6 Paineregulaattori	14
5.1.7 Magneettiventtiili	15
5.1.8 Tyhjiöpumput	16
5.1.9 Diaphragm pump MP 101 V -tyhjiöpumppu	17
5.1.10 Scrollvac-tyhjiöpumput	17
5.1.11 Valitut komponentit paineensäätämiseksi	18
5.2 Lämpötilareferenssit	19
5.2.1 Paineammion lämpötilagradientin selvittäminen	20
5.2.2 Magneettiventtiilin ohjaus	21
5.3 Komponentit laitteiston ohjaamiseksi	22

<b>6 Testiympäristön laitteisto</b>	23
6.1 Lämpötilakaappi ja painesäädin	23
6.2 Painereferenssi	24
6.3 Lämpötilareferenssit	25
<b>7 Laitteiston ohjaus</b>	25
7.1 Ilmakehäsimulaattorin ohjaus	25
7.2 Painereferenssin ohjaus	29
7.3 Lämpötilareferenssien ohjaus	31
7.4 Painemoduulien ohjaus	32
7.4.1 Kaapelin suunnittelu ja teko	33
7.4.2 Painemoduulien kanssa kommunikointi	35
<b>8 Testiympäristön toiminta</b>	36
8.1 Testiajon alkuasetukset	36
8.2 Testiympäristön toiminta manuaaliohjauksella	43
8.3 Testiympäristön toiminta automaattisesti	43
8.4 Kerätyn tiedon muokkaaminen	43
8.5 Testiajon päättyminen	45
8.6 Käyttöliittymän ulkoasu	45
<b>9 Tulevaisuuden näkymiä</b>	46
<b>10 Yhteenveto</b>	46
<b>Lähteet</b>	48
<b>Liitteet</b>	
Liite 1. Painelinjojen kytkentäkaavio	
Liite 2. Suunnitellun testiympäristön kommunikoinnin kytkentäkaavio	
Liite 3. Toteutetun testiympäristön kommunikoinnin kytkentäkaavio	
Liite 4. Alkuasetuksien totuustaulu	
Liite 5. Testiympäristön vuokaavio manuaaliohjauksessa	
Liite 6. Testiympäristön vuokaavio automaattiajossa	
Liite 7. Käyttöliittymän ensimmäinen välilehti	
Liite 8. Käyttöliittymän toinen välilehti	
Liite 9. Käyttöliittymän kolmas välilehti	
Liite 10. Käyttöliittymän neljäs välilehti	

## Lyhenteet ja käsitteet

ASCII	tietokoneiden merkistö; sisältää ensisijaisesti amerikanenglannissa tarvittavat kirjaimet, numerot, väli- ja erikoismerkkejä sekä eräitä ohjauskoodeja
FS	Full Scale; lukeman tarkkuus lasketaan koko alueen mukaan
G	graafinen ohjelmointikieli, johon LabView-ohjelmisto perustuu
IS	IntelliScale; prosenttiluku, jolla ilmoitetaan lukeman epävarmuus tai tarkkuus
RS-232	kahden laitteen väliseen tietoliikenteeseen tietoliikenneportti; tieto siirtyy bitti kerrallaan asynkronisesti sarjamuodossa

## 1 Johdanto

Insinööri työ on tehty yhteistyössä Vaisala Oyj:n kanssa. Yritys on maailman johtava olosuhteiden ja teollisuuden mittausratkaisuja tarjoava yritys. Yritys palvelee asiakkaitaan usealla eri ympäristömittausmarkkinoilla, joihin kuuluvat esimerkiksi meteorologia, lentokentät, tiet, puolustus, uudet säämarkkinat, *life science* ja *High Technology*, rakennusautomaatio sekä valikoidut teolliset sovellukset.

Työ käsittelee painemoduulien testi ympäristön rakentamista tuotekehityksen käyttöön. Projekti on toteutettu, jotta tuotekehityksellä olisi tuotannosta riippumaton painemoduulien testaus-, tutkimus- ja kehitysmahdollisuus.

Työssä pyritään löytämään paras mahdollinen tapa toteuttaa testi ympäristö, selvittämällä ja valitsemalla parhaat laitteet testi ympäristön rakentamiseen. Lisäksi työhön sisältyy ohjauksen tekeminen LabView-ohjelmistolla.

Ohjelmiston on ohjattava tarvittavaa laitteistoa, lukea painemoduulien mittaamia arvoja ja tarvittavien referenssien arvoja. Lisäksi ohjelmiston on tallennettava mittaustulokset järkevässä muodossa tiedostoon.

Työssä esitellään kaksi laitteistoa, joilla voidaan toteuttaa testi ympäristö. Aluksi selvitetään parhaat valinnat toteuttaa projekti. Sen jälkeen käydään läpi, mitkä laitteet saatiin.

Työhön ei kuulu testi ympäristön kokoaminen loppuun asti, koska eräiden osien ja laitteiden toimitusajat ovat erittäin pitkiä. Työssä esiteltävä ohjausohjelmisto on joidenkin laitteiden kohdalla tehty käyttöohjeiden perusteella, mutta ohjelmistoa ei ole vielä testattu käytännössä.



## 2 Testiympäristön vaatimukset

Painemoduulien testiympäristön tavoitteena on saada mahdollisimman tarkka paineen-säädettävyys, yksinkertainen kokoonpano sekä helppokäyttöinen ohjausjärjestelmä paineen- ja lämpötilansäätöön. Testiympäristön vaatimukset ovat seuraavat:

- olosuhteet
  - paine 3...100 hPa, painotus alueella 3...100 hPa
  - lämpötila -40...60 °C, painotus alueella -40...20 °C
  - painemittaus yli lämpötila-alueen
  - paineensäätötarkkuus  $\pm 1$  hPa
  
- referenssit
  - painereferenssin tarkkuus  $< 0,1$  hPa
  - lämpötilareferenssin tarkkuus  $\pm 0,5$  °C
  - kalibroituavuus
  
- kokoonpano
  - helppo siirrettävyys
  - osien vaihdettavuus
  
- ohjausjärjestelmä
  - käyttäjäystävällisyys
  - mittauksen reaaliaikainen seurauus
  - automaattinen tiedon muokkaus ja tallennus.

Testiympäristön rakentamiseen on annettu budjetti, jossa tulisi pysyä. Lisäksi testiympäristön tulisi olla kokonaan tuotekehityksen käytössä.

### 3 Testiympäristön toteutusidea

Testiympäristön toteutusideana on laittaa painekammio lämpötilakaapin sisään. Lämpötilakaapissa simuloidaan eri lämpötilapisteitä halutulta alueelta. Tämän jälkeen painekammioon pumpataan tyhjiöpumpun ja painesäätimen avulla haluttu paine. Painekammion sisällä on emolevy, johon saadaan kiinni 16 painemoduulia kerrallaan. Jokaiselta painemoduulilta käydään mittaamassa paine ja lämpötila käyttäjän säätämään tahtiin.

### 4 Testiympäristöä varten olemassa oleva laitteisto

Aluksi pitää kartoittaa, mitä laitteita on jo valmiiksi hankittuna. Näin ollen on helpompi lähteä rakentamaan niiden ympärille testiympäristöä. Koska kyseessä on erittäin tiukat rajat paineen suhteen (ks. luku 2), laitteiston hinta voi nousta erittäin korkeaksi.

#### 4.1 Painekammio

Tuotannon tiloissa on käyttämätön painekammio (kuva 1). Se toimi prototyyppinä, kun tuotantoon rakennettiin omaa kalibrointiasemaa painemoduuleille. Kammio on terästä ja painaa n. 10 kg, minkä takia se ei kelvannut tuotannon tarkoituksiin. Tuotannossa tärkeintä on nopeus ja tämänkokoinen teräspalikka ei tasaannu nopeasti lämpötiloihin. Tuotekehitykselle nopeus ei ole niin tärkeää. Tämän takia kammio soveltuu testiympäristöön.



Kuva 1. Painekammio

Jotta osattaisiin valita oikeat painesäädin ja pumppu, pitää selvittää painekammion tilavuus. Koska kammio on tehty mittatilaustyönä, siitä ei ole datalehtiä, minkä takia kammion tilavuus täytyy arvioida laskemalla. Kammion muoto muistuttaa eniten lieeriötä, jonka tilavuuden laskukaava esitetään yhtälössä 1. Säteen ja korkeuden pystyy selvittämään käyttäen rullamittaa. Tilavuuden tarkka arvo ei ole niin tärkeä, kunhan saadaan suuntaa antava arvo. Kammion säde ja korkeus ovat n. 5 ja 38 cm. Kun nämä arvot muutetaan metreiksi ja laskee tilavuuden, saadaan arvo  $0,003 \text{ m}^3$ , joka on n. 3 l.

$$V = \pi r^2 h$$

$$V = \pi * 0,05\text{m}^2 * 0,38\text{m} \approx 0,003\text{m}^3$$

$$1\text{m}^3 = 1000\text{l} \rightarrow 0,003\text{m}^3 = 3\text{l} \quad (1)$$

V on lieriön tilavuus  
r on lieriön pohjan säde  
h on lieriön korkeus [1].

## 4.2 Lämpötilakaappi

Vaisalassa on lähestulkoon käyttämätön Vötsch VT 7010 -lämpötilakaappi (kuva 2). Tämän kaapin lämpötilasäädettävyys on  $-70...180 \text{ }^\circ\text{C}$  ja säätönopeus on  $3 \text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$ , joka on riittävä testiympäristön tarpeisiin. Kaapin mitat ovat  $55 \times 55 \times 35 \text{ cm}$ , eli painekammionkin on mahdollista asentaa tämän sisään [2]. Kammion sivuissa on myös riittävän isot läpiviennit, jotka mahdollistavat tarvittavan johdotuksen painekammionle.



Kuva 2. Vötsch VT 7010 -lämpötilakaappi [2]

## 5 Testiympäristöön tarvittavien komponenttien vertailu

### 5.1 Paineen säätämiseen tarvittavien komponenttien vertailu

Paineen säätäminen alhaisille painearvoilla (ks. luku 2) on erittäin vaikea toteuttaa. Markkinoilla ei ole yhtään kaupallista säädintä, joka pystyisi säätämään 3 l kammion 3 hPa:iin. Tätä varten joudutaan toteuttamaan kaksihaarainen paineletku, jossa on magneettiventtiili painesäätimen ohitukseen. Toimintaperiaate on seuraavanlainen: kun säädin on päässyt alhaisimpaan säädettävään arvoon, annetaan ohjelmasta käsky. Tämä käsky lopettaa säätämisen ja sulkee säätimen sisäisen magneettiventtiilin. Sitten avataan ohituslinjan magneettiventtiili ja annetaan tyhjiöpumpun pumpata haluttu paine. Kun haluttu paine on saavutettu, suljetaan myös ohitusventtiili. Koska kammio on lähestulkoon ilmatiivis, siellä pysyy sinne pumpattu paine kauan.

Vaisalassa on sisäinen typpilinja, josta saadaan painesäätimen avulla paineen kasvattaminen mahdolliseksi. Linjassa on n. 7 000 hPa. Tämän vuoksi on hankittava paineregulaattori, koska korkein paine, mitä testiympäristössä tarvitaan, on 1 100 hPa. Lisäksi kannattaa hankkia ylipainesuoja, joka laitetaan painekammion ja paineilmaletkun väliin. Näin saadaan varmistettua, että paine ei kasva kammiossa vaarallisen suureksi.

#### 5.1.1 Painesäädin ja painereferenssi

Tavoitteena on hankkia tarkka painesäädin, jota voitaisiin myös käyttää painereferenssinä. Erillisenä ostettuna referenssi ja säädin voivat maksaa jopa yli 25 000 €. Lisäksi niiden asentaminen erillisenä tarkoittaisi enemmän työtä. On myös mahdollista ostaa erittäin tarkka referenssi ja rakentaa säädin magneettiventtiileillä. Säätimen rakentaminen tällä menetelmällä on kuitenkin erittäin vaikeata saada tarkaksi etenkin, jos paineet ovat korkeat. Kun etsitään tarkkoja painesäätimiä, nousee kolme valmistajaa ylitse muiden: CPC, Ruska ja DHI.

### 5.1.2 CPC 3000, 6000 ja 8000 -painesäätimet

CPC 3000 -sarjassa (kuva 3) on mahdollista hankkia malli, jossa säädettävyys on 0:sta 1 600 hPa:iin.



Kuva 3. CPC 3000 -painesäädin [4]

Säätimelle on annettu säädetyin arvon stabiilisuudeksi 0,004 % FS [3]. Tämä kertoo, että säädetyin arvon virheellisyys on 0,004 % koko säätöalueesta. Näin ollen säätövirhe voidaan laskea yhtälön 2 avulla, jolloin virheeksi tulee 0,064 hPa.

$$\frac{0,004}{100} * 1600hPa = 0,064hPa \quad (2)$$

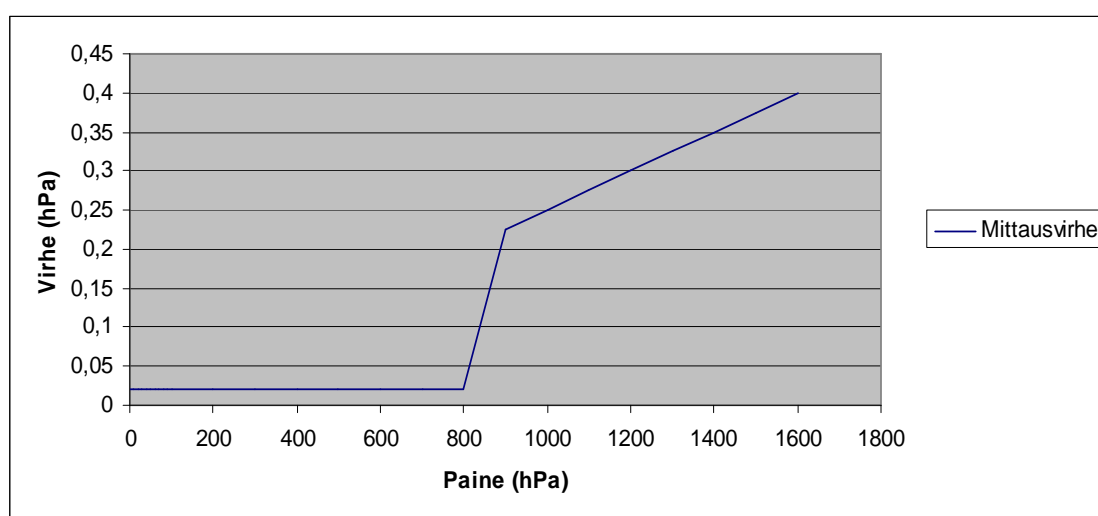
3000-sarjan malleissa on mittausarvon paikkansa pitävyys määritelty seuraavasti: 0,025 % IS-50 [5]. Merkintä kertoo, että mitattavan arvon virheellisyys on 0,025 % lukemasta, kun ollaan koko säätöalueen yläpäässä. -50 tarkoittaa taas sitä, kun mennään säätöalueen puolenvälin alapuolelle, mitattavan arvon virheellisyys on 0,025 % x 50 % x säätöalueen maksimiarvo [3]. Mittausvirhe voidaan laskea koko painealueelle Microsoft Excelin avulla. Tämä tapahtuu sijoittamalla painearvot yhteen sarakkeeseen ja yhtälön 3 viereiseen sarakkeeseen:

$$=IF(A2<= \$A\$27/2;(0,025*50)/100000* \$A\$27;0,025/100*A2) \quad (3)$$

A2 on mitattava painearvo

\$A\$27 on suurin säädettävien painearvo.

Yhtälö 3 (ks. s. 6) toimii siten, että se lukee esimerkiksi solussa A2 olevan lukuarvon ja vertaa, onko se pienempi tai yhtä suuri säätöalueen puolenvälin kanssa. Jos kyseessä on pienempi tai yhtä suuri arvo, yhtälö laskee mittausvirheen kertomalla prosenttiluvut 0,025 ja 50 keskenään sekä jakamalla tämän luvun sitten 100 000:lla. Tällä muutetaan prosentit lukuarvoiksi. Tämän jälkeen lukuarvo kerrotaan säätöalueen maksimiarvon kanssa. Jos säädetty arvo sen sijaan on yli säätöalueen puolenvälin, yhtälö laskee sille mittausvirheen aluksi jakamalla luvun 0,025 sadalla. Tämä muuttaa virheprosentin lukuarvoksi. Tämän jälkeen lukuarvo kerrotaan mitatun painearvon kanssa. Kuvassa 4 esitetään mittausvirheen muuttuminen 0:sta 1 600 hPa:iin:



Kuva 4. CPC 3000 -sarjan mittausvirheen muuttuminen paineen noustessa

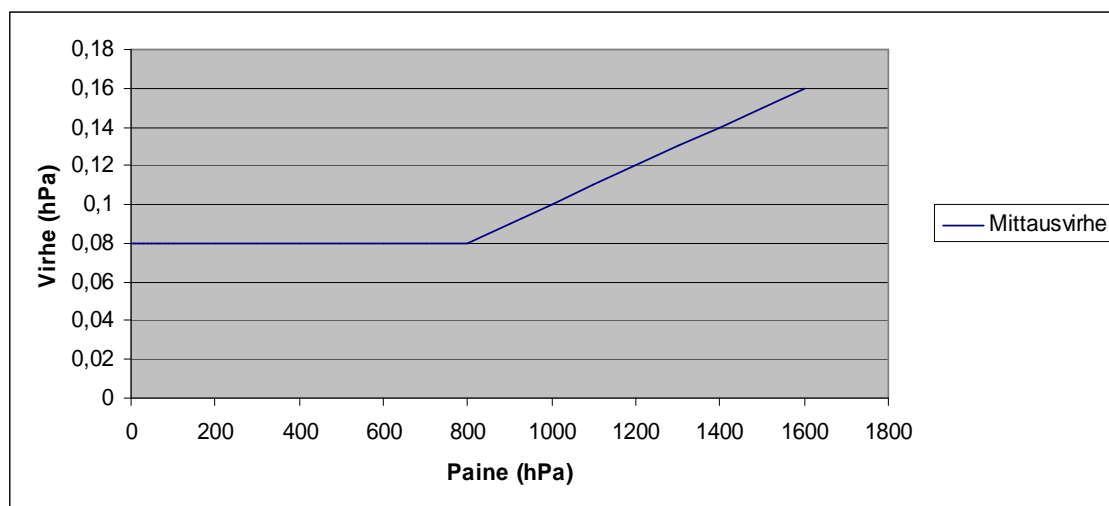
Kuten kuvassa 4 esitettiin, mittausvirhe on yli 0,1 hPa n. 850 hPa:n jälkeen. Tämän takia CPC 3000 ei sovellu testiympäristön tarpeisiin.

CPC 6000- ja 8000-sarjassa (kuva 5, ks. s. 8) on myös mallit, joille säätöalue on määriteltä 0:sta 1 600 hPa:iin. Tälle alueelle luvataan säätöstabiilisuudeksi 6000-sarjalle 0,003 % FS ja 8000-sarjalle 0,001 % FS [6; 7]. Koska molemmat prosenttiluvut ovat pienempiä kuin CPC 3000 -sarjalla, voidaan todeta säätötarkkuuden riittävän testiympäristölle.



Kuva 5. Vasemmalla CPC 6000- ja oikealla CPC 8000 -painesäädin [8; 9]

Lisäksi molemmille ilmoitetaan mitatun arvon tarkkuudeksi 0,01 % IS-50. Kun yhtälöön 3 (ks. s. 6) sijoitetaan 0,025:n tilalle 0,01, saadaan kuvassa 6 esitettävä virhekäyrä:



Kuva 6. CPC 6000- ja 8000-sarjan mittausvirheen kasvaminen paineen noustessa

Kuten kuvassa 6 esitettiin, mittausvirhe on yli 0,1 hPa n. 1 000 hPa:n jälkeen. Tämän takia kumpikaan ei kelpaa testiympäristön laitteeksi.

### 5.1.3 Ruska 7250i -painesäädin

Ruska 7250i:ssä (kuva 7, ks. s. 9) on mahdollista valita painealueen säädettävyys absoluuttipaineesta 400 hPa:iin tai jopa 4 000 hPa:iin asti. Tämä vaikuttaa paineensäätö ja painereferenssin tarkkuuteen. Mitä suurempi säätöalue, sitä suurempi on virheellisyys. Ruskalle ilmoitetaan säätötarkkuudeksi 0,001 % FS [10]. Tämä tarkoittaa, että

säätötarkkuus painemoduulien testiympäristön tarpeisiin lasketaan seuraavasti:  $0,001 \% \times 1\,100 \text{ hPa} = 0,011 \text{ hPa}$ , eli säätötarkkuus riittää testiympäristön tarpeisiin.



Kuva 7. Ruska 7250i -paineensäädin [11]

Painereferenssin tarkkuus ilmoitetaan seuraavanlaisesti: 25 - 100 % FS 90 päivän ajaksi 0,006 % lukemasta ja vuodeksi 0,009 % lukemasta. Alle 25 %:n luvataan taas  $0,006 \% \times 25 \% \times \text{FS}$  [10]. Mittausvirhe voidaan laskea Microsoft Excelin avulla sijoittamalla painearvot yhteen sarakkeeseen ja yhtälön 4 toiseen:

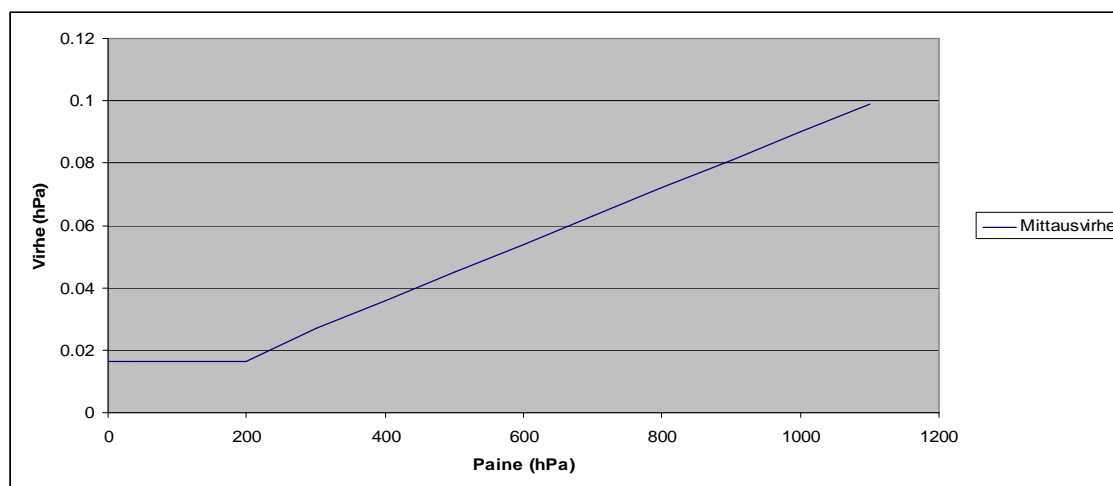
$$=IF(A2<=A\$27*0,25;0,006/100*A\$27*0,25;0,009/100*A2) \quad (4)$$

A2 on mitattava paine-arvo

A\$27 on suurin säädettävä painearvo.

Yhtälö 4 toimii seuraavasti: jos painearvo on esimerkiksi solussa A2 suurempi tai yhtä suuri kuin 25 % säätöalueesta, yhtälö laskee virheen muuttamalla virheprosentin 0,006 lukuarvoksi. Tämän jälkeen lukuarvo kerrotaan 25 %:n säätöalueella, eli  $25 \% \times \text{FS}$ . Jos painearvo sen sijaan on suurempi kuin 25 % säätöalueesta, yhtälö laskee virheen muuttamalla virheprosentin 0,009 lukuarvoksi ja kertomalla mitatulla painearvolla. Kun tämä lasketaan ja piirretään kuvaajaan koko testiympäristön säätöalueelle, saadaan kuvassa 8 esitettävä käyrä (ks. s. 10):





Kuva 8. Ruska 7250i:n mittausvirheen kasvaminen paineen noustessa

Kuten kuvasta 8 voitiin todeta, Ruska 7250i täyttää testiympäristön vaatiman tarkkuuden referenssin suhteen. Huonona puolena Ruskassa on, että aina muutaman vuorokauden käyttötouon jälkeen, sille pitäisi tehdä ns. nollakalibrointi. Tämä tapahtuu kytkemällä tyhjiöpumppu painekammioon ja pumppaamalla sinne absoluuttipaine. Tämän jälkeen mitataan Ruskalla tuota painetta ja korjataan virhe [12]. Tämän vuoksi Ruska 7250i päätettiin hylätä.

#### 5.1.4 DHI PPC4-HI-A100KP Prerium Q-RPT -painesäädin

DHI PPC4-HI-A100KP Prerium Q-RPT (kuva 9, ks. s. 11) on painesäädin, jonka alue on 0:sta 1 100 hPa:iin ja säätötarkkuus  $\pm 4$  ppm Q-RPT-alue tai  $\pm 0,4$  ppm HI Q-RPT -alue, suuremman mukaan. Q-RPT-alueella tarkoitetaan säätöalueen suurinta arvoa eli 1 100 hPa. Kun taas HI Q-RPT -alueella tarkoitetaan, säätimen sisään rakennetun paineanturin aluetta, joka on tässä tapauksessa 2 MPa [13]. Nämä säätötarkkuudet voidaan laskea yhtälön 5 avulla:

$$10000 \text{ ppm} = 1\% \rightarrow 4 \text{ ppm} = \frac{4}{10000} \% * 1100 \text{ hPa} = 0,044 \text{ hPa}$$

(5) [14]

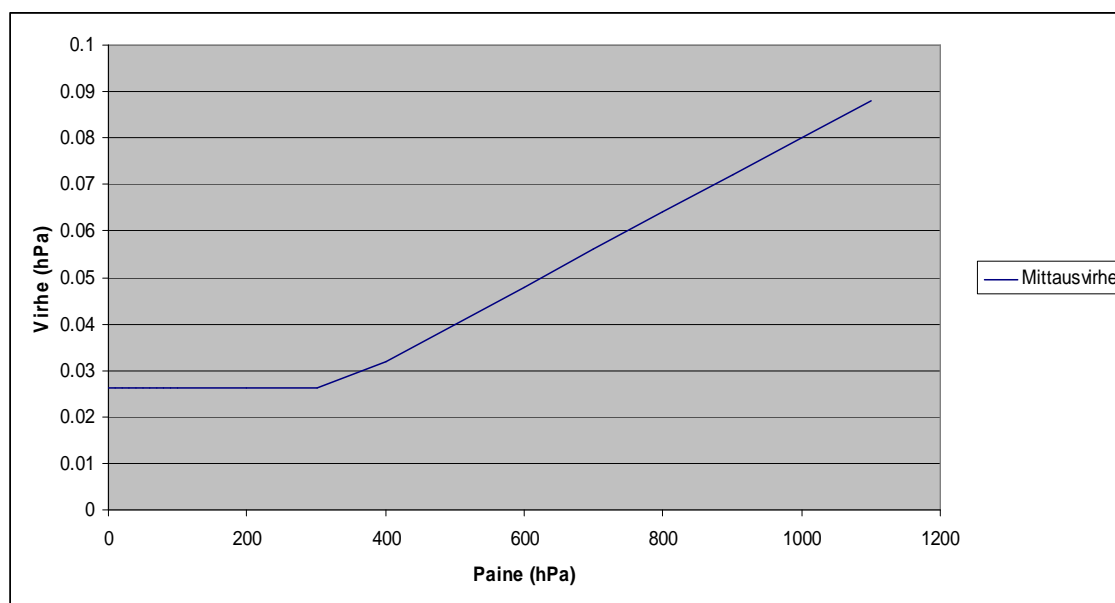
$$0,4 \text{ ppm} = \frac{4}{100000} \% * 2 \text{ MPa} = 0,008 \text{ hPa}$$



Kuva 9. DHI PPC4 -paineensäädin [15]

Kuten tuloksista voitiin todeta, säätötarkkuus tälle DHI:lle on 0,044 hPa, mikä riittää testiympäristön tarpeisiin.

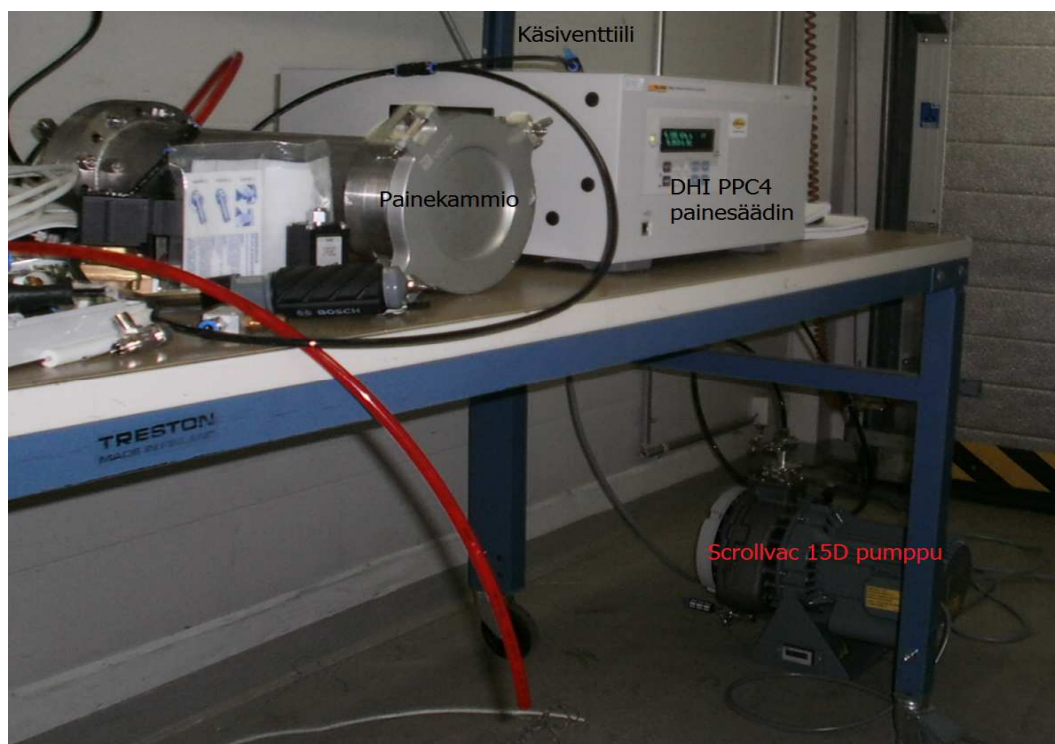
DHI PPC4-HI-A100KP Prerium Q-RPT:lle on ilmoitettu painemittauksen tarkkuus seuraavasti: tarkkuus on  $\pm 0,005$  % lukemasta, mikäli lukema on 30 - 100 % säätöalueesta. Jos ollaan alle 30 % säätöalueesta, tarkkuus on  $\pm 0,005$  % x 30 % säätöalueesta [13]. Kuten määrittämisestä voidaan todeta, se on melkein sama kuin Ruskalla (ks. luku 5.1.3). Tämän takia sijoittamalla yhtälöön 4 (ks. s. 9) virheprosenttien tilalle 0,005 ja muuttamalla 25 % 30 %:ksi saadaan kuvassa 10 esitettävä käyrä:



Kuva 10. DHI PPC4-HI-A100KP Prerium Q-RPT:n mittausvirhe paineen noustessa

Kuvasta 10 (ks. s. 11) voitiin todeta, että ollaan testiympäristön rajojen sisällä. Lisäksi Vaisalassa on useita vastaavanlaisia laitteita, jotka kuuluvat kalibroinnin piiriin. Ainoa laitteen huono puoli on sen tilavuuden koko, mille säädin on tehty eli  $1\ 000\ \text{cm}^3$  [13]. Kyseinen tilavuus vastaa yhtä litraa, ja painekammion tilavuus on n. 3 litraa.

Paineensäädintä piti testata, ennen kuin sellainen hankittaisiin. Tämä onnistui lainaamalla vastaavanlaista säädintä ja Scrollvac 15 D -tyhjiöpumppua. Säädin laitettiin painekammion ja pumpun väliin mutteriliittimien ja 6 mm letkun avulla. Tämän jälkeen laitettiin pumppu päälle, ja säätimestä asetettiin säädettäväksi paineeksi 3 hPa. Tämä on alhaisin arvo, mihin painemoduulien pitää päästä. Painesäädin lopetti säätämisen n. 8 hPa:n kohdalla. Seuraavaksi matalin piste on 10 hPa, joten säädin asetettiin siihen pisteeseen. Säädin jaksoi pitää kyseistä pistettä erittäin hyvin. Tämän jälkeen rakennettiin pumpulle säätimestä ohituslinja, johon laitettiin käsiventtiili (kuva 11).



Kuva 11. DHI PPC4 -painesäätimen testikytkentä

Kun säädin oli taas päässyt 10 hPa:iin, kytkettiin säädin manuaalisesti pois päältä ja avattiin käsiventtiili pumpulle. Pumppu jaksaa pumpata kolmen litran kammion alle 1 Pascalin. Lisäksi pumppaus tapahtuu verraten hitaasti, joten venttiilin sulkeminen esimerkiksi 2 hPa:ssa onnistuu helposti vaikka käsiventtiilillä (kuva 12).



Kuva 12. DHI PPC4 -painesäädin säädettyinä ohitusventtiilin avulla 2 hPa:iin

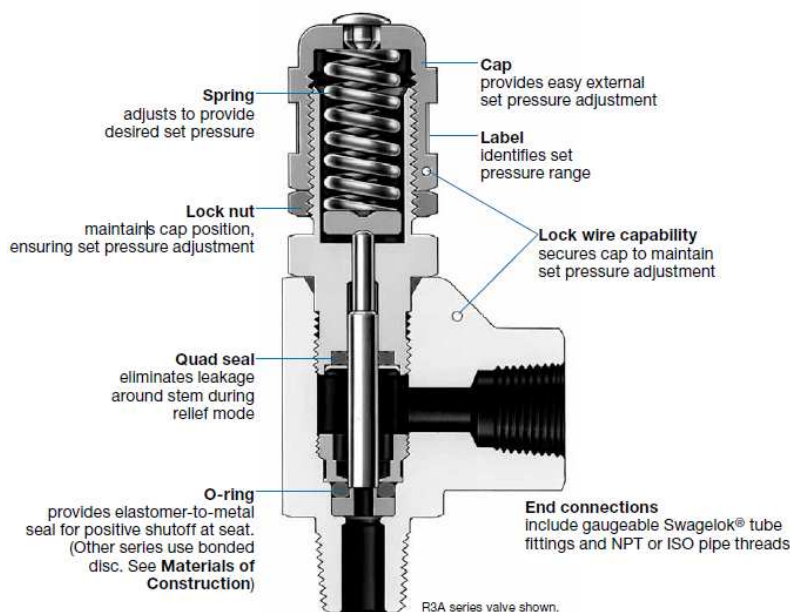
Koska DHI PPC4-HI-A100KP Prerium Q-RPT on yksi tarkimmista kaupallisista painesäätimistä ja painereferensseistä, se päätettiin valita osaksi painemoduulien testiympäristöä. Päätöstä tuki myös kalibroituavuus sekä helppokäyttöisyys.

#### 5.1.5 Ylipainesuojaventtiili

Painekammioon voi syntyä 7 000 hPa:n paine, jos säätimessä ja tyypilinjassa tapahtuu jokin paha virhe. Tämä paine oletettavasti räjäyttää kammion, ja se voi rikkoa muuta laitteistoa tai pahimmassa tapauksessa aiheuttaa henkilövahinkoja. Tämä on estettävä laittamalla painekammion sisäänmenolinjaan ylipainesuojaventtiili. Se tulee siis lämpötilakaapin sisään. Kyseisen suojan on siis kestettävä lämpötilavaihteluja -40:stä 60 °C:een ja kestettävä 7 000 hPa:n paine.

Ylipainesuojia löytyy erittäin monelta valmistajalta, mutta kyseiselle lämpötila-alueelle on erittäin vaikeata löytää oikeanlainen suoja. Swagelokin RL3S8MM-ylipainesuojaventtiili on paras vaihtoehto testiympäristön tarpeisiin. Tämä ylipainesuoja kattaa läm-

pötilä-alueen -40:stä 148 °C:een, sekä ylipainesuojan säädettävyyden 680:stä 15 500 hPa:iin [16]. Ylipainesuojaventtiili toimii seuraavanlaisesti: laitetaan ylipainesuojaventtiili kiinni kammioon. Säädetään mutterista maksimipaine, mikä sallitaan syntyvän kammioon. Jos maksimipaine ylittyy, jousi antaa periksi ja tasaa paineen kammiossa (kuva 13).



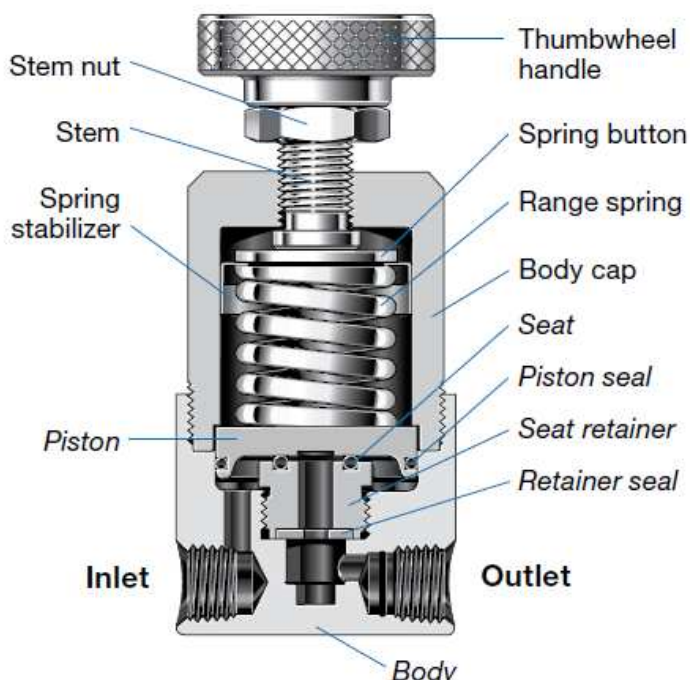
Kuva 13. Esimerkki ylipainesuojaventtiilin toiminnasta [16]

### 5.1.6 Paineregulaattori

Paineregulaattori tulee Vaisalan sisäisen typpilinjan ja painesäätimen väliin. Sen tehtävänä on pienentää typpilinjassa olevaa 7 000 hPa, jotta painesäädin ei rasittuisi. Koska paineregulaattori on koko ajan huoneenlämmössä, sen ainoana vaatimuksena on pysyä pienentämään 7 000 hPa 1 100 hPa:iin.

Paineregulaattoreita on erittäin monella valmistajalla, mutta testiympäristöön päätettiin valita Swagelokin regulaattori. Valmistajalla on mm. tällainen paineregulaattori nimeltään SS Compact BP Regulator. Edellä mainitulla regulaattorilla on säätöalue nolasta 1 700 hPa:iin. Tämä alue riittää erittäin hyvin testiympäristön tarpeisiin [17].

Säätimen toimintaperiaate selviää kuvasta 14. Kuvasta voidaan havaita, että säätöpyörästä vääntämällä jousi joko painaa tai vetää mäntää. Näin ollen mäntä joko kasvattaa tai pienentää virtausta sisäänmenon ja ulosmenon välillä.



Kuva 14. Paineregulaattorin toimintaperiaate [17]

### 5.1.7 Magneettiventtiili

Magneettiventtiilin tarkoituksena on luoda ohitus tyhjiöpumpulta painekammioon, kun säätimestä loppuu säädettävyys. Tämän takia venttiilin tulee toimia myös absoluuttipaineessa, jotta kammiossa pysyisi sinne säädetty paine. Magneettiventtiili on koko ajan huoneen lämmössä, joten lämpötilan puolesta sillä ei ole erikoisvaatimuksia.

Koska magneettiventtiilillä ei ole erikoisvaatimuksia, päätettiin käyttää Festo Oy:n magneettiventtiilejä. Valmistajalta löytyy mm. tällainen magneettiventtiili kuin Solenoid valve VZWD-L-M22C-M-G18-60-V-1P4-4-R1 (kuva 15 ks. s. 16).



Kuva 15. Solenoid valve VZWD-L-M22C-M-G18-60-V-1P4-4-R1 [18]

Tämän magneettiventtiilin toiminta-alue on absoluuttipaineesta 4 000 hPa:iin, mikä riittää testiympäristön tarpeisiin. Kyseisen magneettiventtiilin käyttöjännite on 24 VDC ja kuluttama teho 11 W [18]. Jotta osattaisiin luoda venttiilille oikeanlainen ohjaus, on hyvä laskea sen käyttämä virta. Virran laskukaava on esitetty yhtälössä 6, jolloin virraksi tulee 0,458 A.

$$P = UI \rightarrow I = \frac{P}{U} \quad (6)$$

$$I = \frac{11W}{24V} \approx 0,458A$$

P on magneettiventtiilin kuluttama teho  
 U on magneettiventtiilin käyttöjännite  
 I on magneettiventtiilin kuluttama virta.

### 5.1.8 Tyhjiöpumput

Tyhjiöpumpun tehtävänä testiympäristössä on pumpata painekammioista ilmaa pois, jolloin paine laskee. Kun painekammioon ollaan pumppaamassa alle 10 hPa:n painetta, pumppausnopeus pienenee huomattavasti. Tämä johtuu siitä, ettei kammiossa ole enää paljon ilmaa, mitä voitaisiin pumpata pois. Näin ollen pumppausnopeus pitää myös huomioida pumppua valittaessa. Lisäksi valintakriteereihin kuuluu, että pumpun pitää olla öljytön ja pumpusta syntyvän melun pitää olla siedettävä. Kun etsitään pumppuja, jotka pystyvät luomaan absoluuttipaineen ja täyttämään muut kriteerit, esiin nousee kaksi valmistajaa: Ilmvac ja Scrollvac.

### 5.1.9 Diaphragm pump MP 101 V -tyhjiöpumppu

Imvacilta löytyy vakuumpumppu Diaphragm pump MP 101 V (kuva 16). Kyseiselle pumpulle luvataan alhaisimmaksi painepisteeksi alle 1 hPa ja pumppaus nopeudeksi 1 000 l/h [21]. Hinta on n. 1 700 €, joka on paljon halvempi kuin Scrollvac-pumppujen [22].



Kuva 16. Diaphragm pump MP 101 V -vakuumpumppu [20]

Kun erästä pumppuasiantuntijaa haastateltiin, hän kertoi, että pumpun pitää päästä vähintäänkin 10 kertaa pienempään paineeseen kuin säätöalueen minimi. Jos pumpu ei pääse niin alhaiseen, se pumppaa koko ajan maksimiteholla. Tämä taas lyhentää pumpun elinikää huomattavasti [21]. Tämän takia Ilmvacin pumpu ei kelvannut testiympäristölle.

### 5.1.10 Scrollvac-tyhjiöpumput

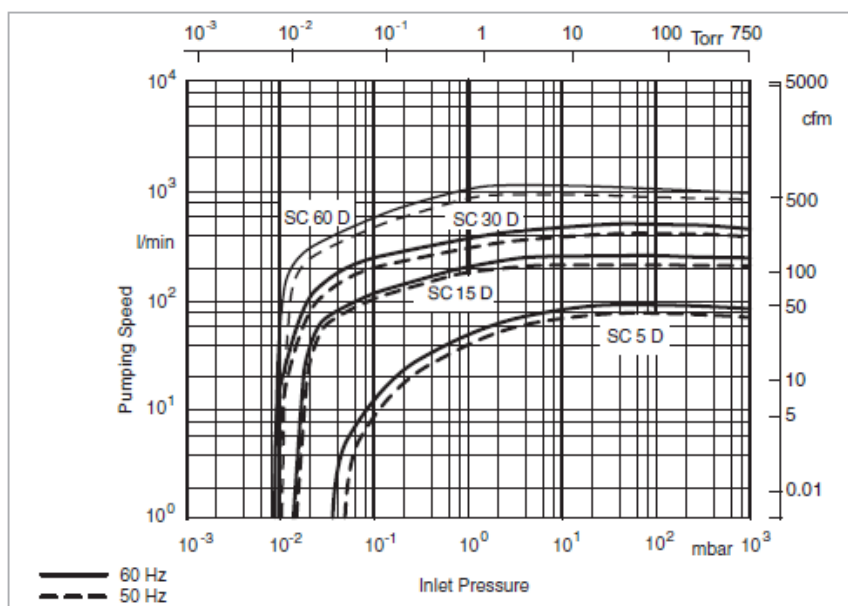
Scrollvacilta löytyy ainakin 4 kpl tyhjiöpumppuja, jotka kelpaavat testiympäristön tarpeisiin. Nämä ovat Scrollvac 5 D, 15 D, 30 D ja 60 D (kuva 17).



Kuva 17. Scrollvac-tyhjiöpumput oikealta vasemmalle 60 D, 30 D, 15 D ja 5 D [22]



Kuvassa 18 on esitetty kaikkien pumppumallien pumppausnopeuden hidastuminen paineen pienentyessä:



Kuva 18. Scrollvac pumppujen pumppausnopeuden hidastuminen paineen laskiessa [22]

Kuten kuvasta 18 voitiin todeta, kaikki pumput jaksavat pumpata alle 10<sup>-1</sup> mbar paineeseen. Tämä paine on sama kuin 0,1 hPa, koska 1 hPa = 1 mbar [23]. Kyseinen paine on alle kymmenen kertaa pienempi kuin pienin säädettävä paine. Kuvasta 18 voitiin myös todeta, että pumppausnopeus on suurin 60 D -mallilla ja pienin 5 D -mallilla. Koska nopeus ei ole niin tärkeä osa tuotekehityksen testiasemalle, Scrollvac 5 D on paras valinta testiympäristön tarpeisiin. Lisäksi tämän pumpun melutaso on alle 52 dB, mikä ei ole liian kova [22].

#### 5.1.11 Valitut komponentit paineensäätämiseksi

Nyt on saatu valittua kaikki komponentit paineensäätämiseen. Kaikissa valinnoissa päästiin testiympäristön vaatimiin tavoitteisiin (ks. luku 2). Näiden kalleimpien laitteiden lisäksi on myös hankittava paineilmaletkua sekä liittimiä. Taulukossa 1 esitetään vielä kaikki laitteet, ja valintakriteerit (ks. s. 19). (Ks. liite 1, Painelinjojen kytkentäkaavio.)

Taulukko 1. Valitut laitteet

Laite	Valintakriteerit
DHI PPC4-HI-A100KP Prerium Q-RPT -painesäädin	tarkka paineensäädettävyys, kelpaa referenssiksi, kalibroituavuus
RL3S8MM-ylipainesuojaventtiili	lämpötila-alue, painealue
SS Compact BP Regulator -paineregulaattori	painealue
Solenoid valve VZWD-L-M22C-M-G18-60-V-1P4-4-R1 -magneettiventtiili	painealue, virran kulutus
Scrollvac 5 D -tyhjiöpumppu	pumppausnopeus, pumpattava minimi, melutaso
Paineilmaetku, liittimet	laitteiden mukaan

## 5.2 Lämpötilareferenssit

Lämpötilareferensseinä päätettiin käyttää Vaisalan omia lämpötilamittareita. Vaisalalla on ainakin kaksi testiympäristön vaatimuksiin sopivaa lämpötilanmittauslaitetta. Nämä ovat HMT300-lähetin ja PTU300-lähetin (kuva 19). Molempien mittarien kanssa voidaan kommunikoida RS-232-sarjaväylän välityksellä. Suurimpana erona lämpötilalähettimillä on, että toiseen saa kaksi lämpötila-anturia ja toiseen vain yhden.



Kuva 19. Vasemmalla HMT300- ja oikealla PTU300-lähetin [25; 26]

Lämpötilamittauksen vaatimuksena on, että painemoduulin mittaaman lämpötilan eroavaisuus lämpötilareferenssiin ei johdu painekammion lämpötilagradientista. Jotta tiedettäisiin, kuinka monta lämpötilareferenssiä tarvittaisiin, ja kumpaa laitetta käytettäisiin, on mitattava painekammion lämpötilagradientti.

### 5.2.1 Paineammion lämpötilagradientin selvittäminen

Mittauksen tarkoituksena on selvittää, miten lämpötila vaihtelee painekammion sisällä. Tämän mittauksen tulosten perusteella valitaan lämpötilareferenssien määrä sekä käytettävä laite lukemaan niitä. Mikäli kammion päissä on yli 0,5 °C:n ero lämpötila-antureiden välillä, päädytään käyttämään useampaa lämpötilareferenssiä.

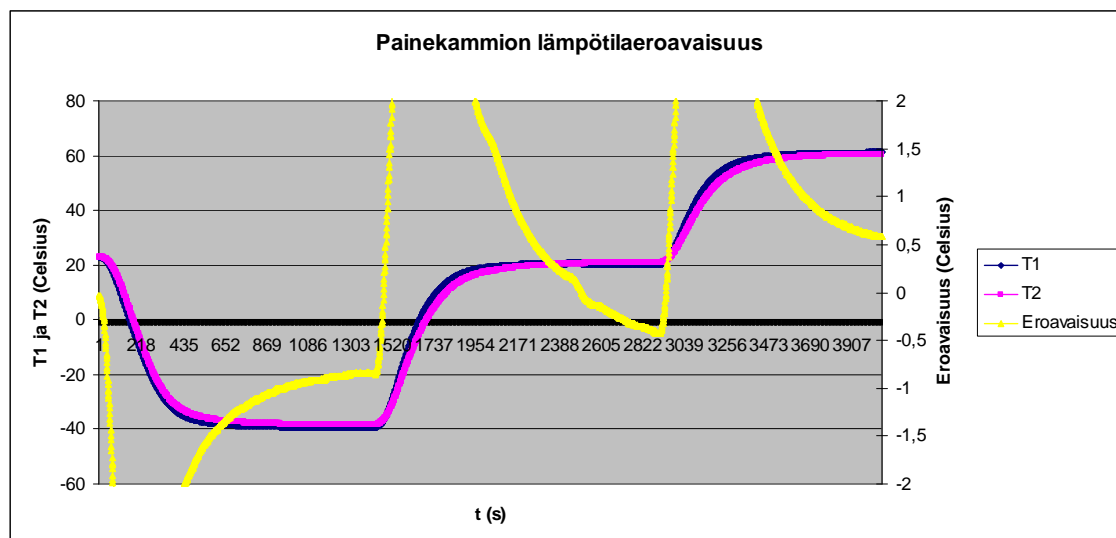
Mittaus suoritettiin laittamalla painekammio lämpötilakaapin Vötsch VT 7010 sisään. Paineammion sisään teipattiin kaksi lämpötila-anturia ja niitä lukemaan valittiin PTU200-lähetin. Anturit sijoitettiin kammion molempiin päihin ja teipattiin alumiiniteipillä kiinni seinämään. Tämän jälkeen painekammio suljettiin ja johdoista syntyvä rako teipattiin umpeen alumiiniteipillä (kuva 20).



Kuva 20. Paineammio sijoitettuna lämpötilakaappiin

Kun mittauskokoontaminen saatiin valmiiksi, lämpötilakaappi ajettiin kolmeen eri lämpötilapisteeseen manuaalisesti. Nämä pisteet olivat -40, 20 ja 60 °C. Samaan aikaan PTU200:lta kerättiin ja tallennettiin mittaustuloksia viiden sekunnin välein tekstitiedostoon HyperTerminal-ohjelman välityksellä. Lämpötilojen annettiin tasaantua n. 2 h/lämpötilapiste.

Kun mittaus saatiin valmiiksi, mittaustulokset siirrettiin Microsoft Exceliin, jossa niille laskettiin lämpötilaeroavaisuus vähentämällä mittaustulosten arvot keskenään. Tämän jälkeen lämpötilojen erotus ja lämpötilat piirrettiin kuvaajaksi (kuva 21, ks. s. 21).



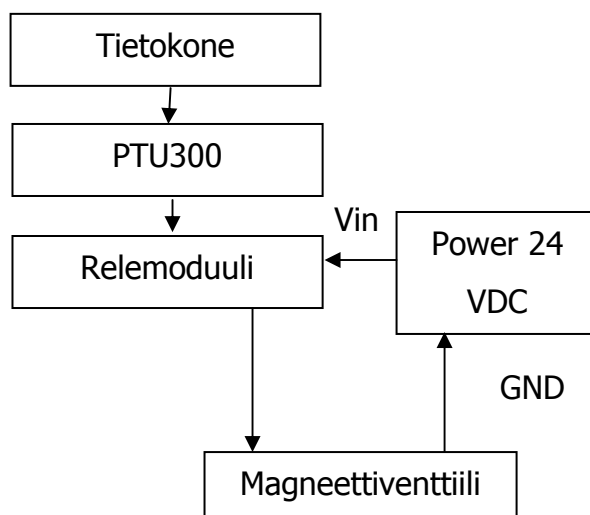
Kuva 21. Painekammion lämpötilaeroavaisuus

Kuvassa 21 esitetyt T1 ja T2 ovat lämpötila-antureiden mittaamia lämpötiloja ja eroavaisuus on lämpötila-antureiden erotus. Kuten kuvasta 21 voitiin todeta, lämpötila painekammion päissä vaihtelee yli 0,5 °C:ta. Tämän takia päädyttiin käyttämään kahta lämpötilareferenssiä testiympäristössä. Testiympäristöön päätettiin valita PTU300-lähetin, koska siihen on mahdollista kytkeä kaksi lämpötila-anturia kiinni.

### 5.2.2 Magneettiventtiilin ohjaus

Magneettiventtiili, millä luodaan ohitus painesäätimeen, tarvitsee toimiakseen 24 VDC ja virtaa n. 0,458 A. Magneettiventtiiliä ei voida ohjata suoraan tietokoneella, joten sen ohjaamiseksi täytyy keksiä jokin toinen keino.

PTU300-lähettimeen saa lisävarusteena relemoduulin, jonka kautta voidaan syöttää maksimissaan 0,5 A virran. Tätä moduulia pystyy ohjaamaan RS-232-sarjaväylän ja PTU300-lähettimeen kautta [25, s. 1 ja 5]. Jotta rele saadaan johtavaksi, PTU300-lähettimeelle pitää antaa käsky sarjaväylän kautta. Niinpä laittamalla magneettiventtiilin ja jännitelähteen väliin tämän moduulin, voidaan ohjata magneettiventtiiliä auki ja kiinni (kuva 22, ks. s. 22).



Kuva 22. Magneettiventtiilin ohjaus

### 5.3 Komponentit laitteiston ohjaamiseksi

Koska kaikki testiympäristön laitteet tukevat RS-232-sarjaväyläkommunikointia, laitteiston liittämiseksi tietokoneeseen tarvitaan yhteensä 19 kappaletta sarjaväyläportteja. 16 kpl painemoduuleille ja 3 kpl muulle laitteistolle. Tietokoneeseen suoraan liittäminen on siis mahdotonta. Jotta laitteet saataisiin yhtä aikaa kiinni tietokoneeseen, kannattaa hankkia sarjaportti-laajennusyksiköjä. Wintel Finland Oy:ltä löytyy sellaiset tuotteet kuin Edgeport/416, 16xRS-232 (DB9) ja Edgeport/8, 8xRS232 (DB9) (kuva 23). Nämä laitteet voidaan kiinnittää tietokoneeseen USB-kaapelilla ja niistä saadaan 16 ja 8 kpl RS-232-sarjaväyläporttia eli yhteensä 24 kpl portteja. (Ks. liite 2, Suunnitellun testiympäristön kommunikoinnin kytkentäkaavio.)



Kuva 23. Edgeport/416, 16xRS-232 (DB9) vasemmalla ja Edgeport/8, 8xRS232 (DB9) oikealla [27; 28]

## 6 Testiympäristön laitteisto

Tässä luvussa esitellyillä laitteilla testiympäristö toteutettiin. Kyseisillä laitteilla ei päästy kaikkiin testiympäristölle esitettyihin vaatimuksiin (ks. luku 2), mutta niillä saavutettiin tärkeimmät vaatimukset.

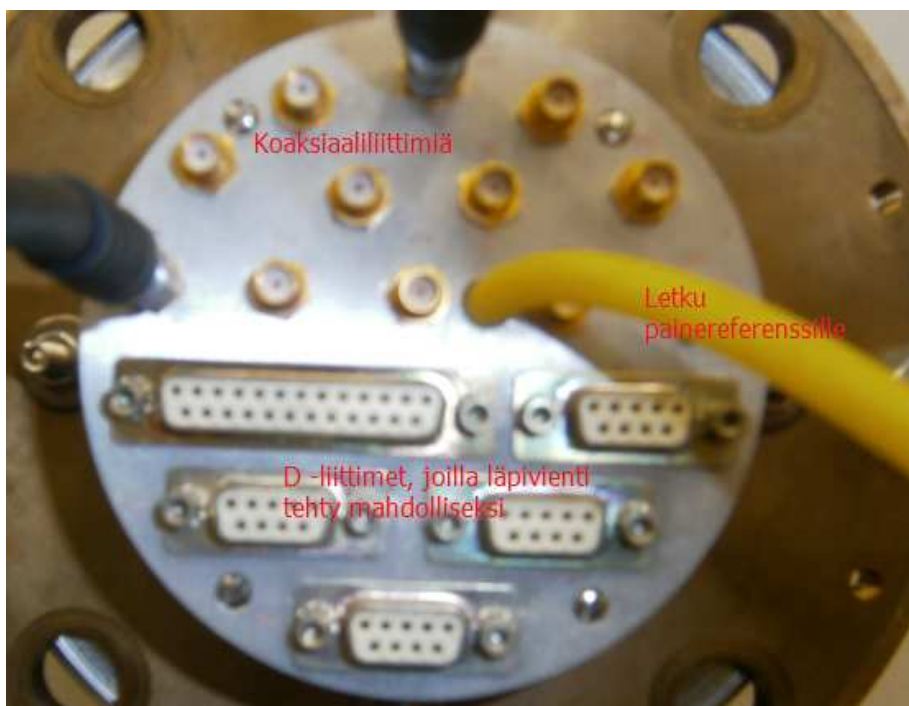
### 6.1 Lämpötilakaappi ja painesäädin

Vaisalalla on ns. ilmakehäsimulaattori (kuva 24). Tämä simulaattori pystyy luomaan painetta alueelta 3...1 200 hPa sekä lämpötilaa -100...+80 °C [29, s. 1 ja 4]. Testiympäristön luomiseen ei tarvita enää erillistä painekammiota, jossa säädetään painetta pumpun ja painesäätimen avulla.



Kuva 24. Ilmakehäsimulaattori

Ongelmana tässä simulaattorissa on, että kammioon on tehty läpiviennit mahdolliseksi yhdellä D25-liittimellä, neljällä D9-liittimellä sekä 12 koaksiaalikaapelille (kuva 25, ks. s. 24). Koska kommunikointiin 16 painemoduulin kanssa tarvitaan vielä emolevyä, joudutaan suunnittelemaan ja rakentamaan kaapeli, joka tekee kommunikoinnin mahdolliseksi.



Kuva 25. Läpivientilaippa ilmakehäsimulaattoriin

Lisäksi ilmakehäsimulaattori on aina silloin tällöin tuotannon käytössä. Vaatimuksena oli tehdä tuotannosta riippumaton painemoduulien testiympäristö, mutta tästä jouduttiin luopumaan.

## 6.2 Painereferenssi

Koska ilmakehäsimulaattoriin ei sisälly tarpeeksi tarkkaa painereferenssiä, se joudutaan vielä valitsemaan. DHI:ltä voidaan ostaa erillisenä painereferenssin RPM-HI-A100KP Premium Class RPT (kuva 26), jota käytetään myös DHI PPC4-HI-A100KP Prerium Q-RPT -painesäätimessä. Kyseisellä referenssillä on samat määritelmät tarkkuuden suhteen kuin painesäätimellä (ks. luku 5.1.4), eli tarkkuus riittää testiympäristön tarpeisiin [30].



Kuva 26. Painereferenssi RPM-HI-A100KP Premium Class RPT [31]

### 6.3 Lämpötilareferenssit

Testiympäristössä päätettiin käyttää edelleen PTU300-lähetintä, mutta ilman relemoduulia. Ilmakehäsimulaattorin kammio on kooltaan 800 x 800 x 800 mm [29, s. 3]. Tämän takia kammiossa on odotettavissa enemmän lämpötilahajontaa. Koska kammiossa on enemmän lämpötilahajontaa, lämpötilareferenssien määrää päätettiin nostaa kahdesta neljään.

## 7 Laitteiston ohjaus

Laitteiston ohjaamiseksi luotiin ohjausliittymä LabView-ohjelmistolla. LabView-ohjelmointi perustuu graafiseen ohjelmointiin nimeltä G. Sen toteutus määräytyy, rakenteen graafiseen lohko-kaavioon, johon ohjelmoija yhdistää eri funktiosolmuja vetämällä johdot. Nämä johdot levittävät muuttujia solmupisteisiin, kun solmupiste on saanut kaikki tarvittavat muuttujat, se voi toteutua. G pystyy myös rinnakkaistoimintoihin [32].

Kaikki testiympäristön laitteet tukevat RS-232-sarjaväyläkommunikointia. LabView'sta löytyy valmiina Basic Serial Write and Read.vi -ohjelma. Tämän avulla laitteiden ja tietokoneen välinen kommunikointi on helppoa luoda. (Ks. liite 3, Toteutetun testiympäristön kommunikoinnin kytkentäkaavio.)

### 7.1 Ilmakehäsimulaattorin ohjaus

Ilmakehäsimulaattori säätää itsestään sille asetettuja paine- ja lämpötila-arvoja. Se myös vahtii, ettei käyttäjä aseta arvoja yllärajojen. Säädin tukee kahta liitännäprotokollaa. Nämä ovat ASCII-1 ja ASCII-2, jotka ovat tietokoneiden käyttämiä merkistöjä [34]. Koska simulaattori joudutaan jakamaan tuotannon kanssa, ja tuotanto käyttää ASCII-2:a, mahdollisten sekaannuksien välttämiseksi on testiympäristönkin käytettävä ASCII-2:a [33: liite 1].

Aina, kun ilmakehäsimulaattorin käynnistää tai kommunikoi simulaattorin kanssa, on sille määriteltävä digitaalikanavat ykköseksi tai nollaksi (taulukko 2, ks. s. 26).



Taulukko 2. Ilmakehäsimulaattorin digitaalikanavat [33, s. 33]

Digitaa- likanava	Nimi	Toiminta
1	Käynnistys	Kytkee laitteen ja lämpötilan säätelyn käyttövalmiuteen.
2	Kosteus	Kytkee kosteussäätelyn päälle.
3	Kastesuoja	Kytkee kastesuojan päälle.
4	Paine	Kytkee paineensäätelyn päälle.
5	Cold finger	Kytkee kylmäkoneen ja magneettiventtiilin päälle kylmäpinnan muodostamiseksi testitilassa.
6	Seinä säätely	Kytkee seinätemperoinnin paineesta riippumatta päälle.
7	LN <sub>2</sub>	Kytkee LN <sub>2</sub> -jäähdytyksen päälle.
8	Huuhtelu	Kytkee typpikaasunsyötön päälle.
9-12	Asiakas	Asiakaslähdöt 1-4
13-16	Vara	

Kun simulaattori käynnistetään painemoduulien testiympäristöä varten, sille on määriteltävä digitaalikanavat taulukon 3 mukaisesti:

Taulukko 3. Digitaalikanavien määrittely lähdettä mukailten [33, s. 33 - 37]

Kanava	Päällä 1 / Pois päältä 0	Syy
1	1	Käynnistää laitteen ja tekee lämpötilasäädöt mahdolliseksi.
2	0	Kosteussäätely on kytketty kokonaan pois käytöstä.
3	0	Kastesuojaa ei tarvita, koska kosteussäätelyä ei ole.
4	1	Saadaan paineensäätely mahdolliseksi.
5	0	Tarvitaan tarkasti säädettävissä oleva jäähdytys.
6	1	Saadaan lämmitys mahdolliseksi.
7	1	Saadaan jäähdytys mahdolliseksi.
8	0	Mahdollistaa matalien kastepistelämpötilojen saavuttamisen, joita ei tarvita.
9-12	0	Ei tarpeellisia
13-16	0	Ei tarpeellisia

Simulaattoriin käynnistys tapahtuu RS-232-sarjaväylän kautta lähettämällä komento 1:

```
$01E 0023.0 0020.0 1013.0 01001011000000000<CR> (1)
```

\$ on merkkijonon alkua ilmaiseva ASCII-merkki

01E on simulaattorin väyläosoite

0023.0 on lämpötilan asetus huoneenlämpöön

0020.0 on kosteuden asetus; tämä tarvitaan vaikka kosteutta ei voida säätää

1013.0 on paineen asetus pintapaineeseen

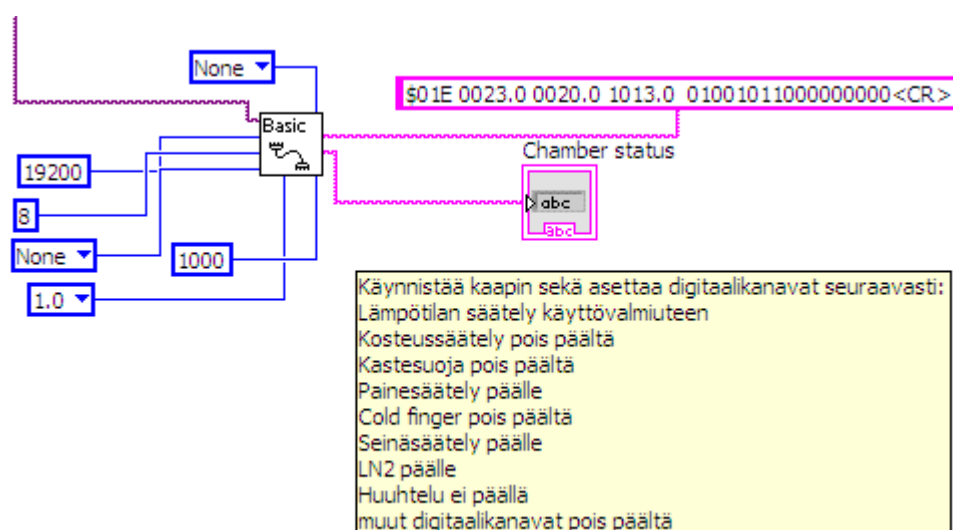
01001011000000000 on digitaalilähtöjen asetukset; ensimmäinen 0 on käyttämätön digitaalinen lähtö

<CR> on merkkijonon päätöstä ilmaiseva Carriage Return -merkki [33, s. 7 - 9].

LabView-ohjelmistossa tämä tapahtuu aluksi alustamalla Basic Serial Write and Read.vi -ohjelman asetukset simulaattorin vaatimiksi. Simulaattorin vaatimat asetukset ovat seuraavat:

- 9 600 tai 19 200 baudia
- 1 alkubitti
- 8 tietobittiä
- ei pariteettia
- ei kättelyä [33, liite 1].

Tämän jälkeen kirjoitetaan komento 1 ja luetaan vastaus (kuva 27, ks. s. 27).

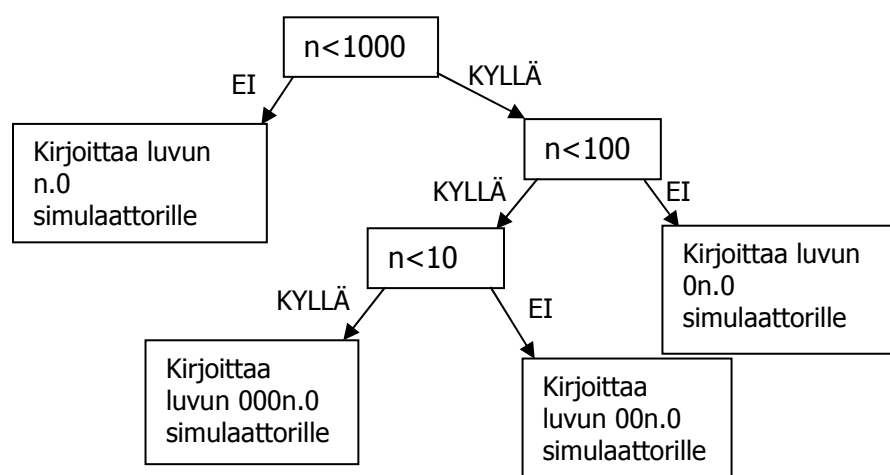


Kuva 27. Alustaa kaapin käyttämän sarjaväyläportin, kirjoittaa käynnistyskäskyn ja lukee kaapin vastauksen

Kun kaappiin halutaan asettaa jokin simuloitava piste, on sille aina lähetettävä myös kaikki digitaalikanavien asetukset uudestaan. Uudet lämpötila- ja painelukemat lähetetään kirjoittamalla komennossa 1 (ks. s. 27) 0023.0 ja 1013.0 tilalle esimerkiksi 0-40.0 ja 0003.0. Nämä muuttavat simuloitavaksi pisteeksi  $-40\text{ °C}$  ja  $3\text{ hPa}$ .

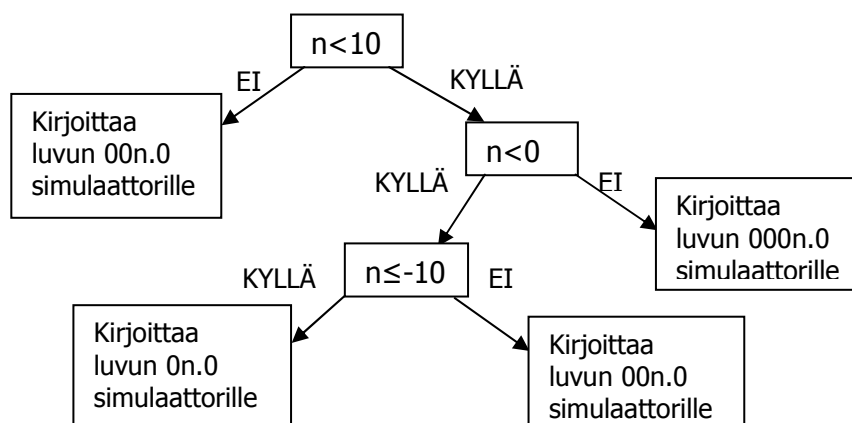
LabView:ssa komennon lähettäminen ei ole niin helppoa, koska lähetettävän lukeman pitää aina olla muotoa xxxx.x. Kun käyttäjä määrittelee halutun pisteen, hän ei halua kirjoittaa koko numerosarjaa vaan pelkästään halutun pisteen. Kun käyttäjä asettaa painepisteen, sille on tehtävä vuokaavion 1 mukainen vertailu:

Vuokaavio 1. Käyttäjän kirjoittaman painepisteen n vertailu

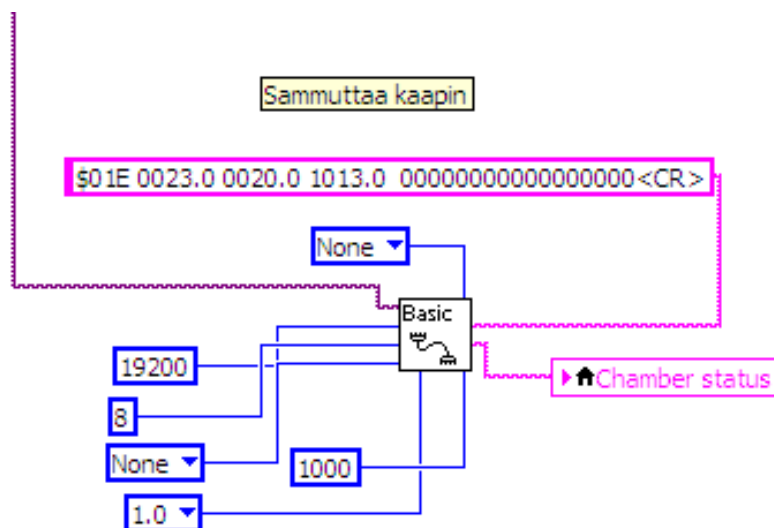


Kun käyttäjä kirjoittaa lämpötilapisteen, sille on tehtävä vuokaavion 2 mukainen vertailu:

Vuokaavio 2. Käyttäjän kirjoittaman lämpötilapisteen n vertailu



Lopuksi, kun testiajo on käyty läpi, kaappi pitää sammuttaa. Tämä tapahtuu kirjoittamalla komenttoon 1 (ks. s. 27) kaikkien digitaalikanavien kohdalle nolla ja lähettämällä ne simulaattorille (kuva 28).



Kuva 28. Simulaattorin sammutus

## 7.2 Painereferenssin ohjaus

Painereferenssin kanssa kommunikointia varten on asetettava Basic Serial Write and Read.vi -ohjelma aluksi seuraavanlaisesti:

- 2 400 baudia
- 1 lopetusbitti
- 7 tietobittiä
- pariteetti tasan
- ei kättelyä.

Nämä ovat oletusasetukset painereferenssin RS-232-portille käynnistettäessä [35, s. 63]. Lisäksi tuotanto käyttää samaa referenssiä, mutta he kommunikoivat GPIB-väylän välityksellä. Sen käyttöönottoa varten RS-232-portti on aina palautettava perusasetuksille.

Aluksi on vaihdettava nämä oletusasetukset nopeammiksi. Tämä tapahtuu lähettämällä komento 2 oletusasetuksilla. Tämän komennon jälkeen sarjaväyläkommunikoinnissa on käytettävä uusia asetuksia.

COM1=19200,N,8,1 (2)

COM1 on portti, jolle asetukset määritellään  
19200 on uudet baudit  
N on pariteettibitin poistaminen käytöstä  
8 on uudet tietobitit  
1 on lopetusbitti [35, s. 91].

Tämän jälkeen on asetettava referenssille oikea mittausmoodi. Koska sen on tarkoitus mitata absoluuttipainetta, on sille määriteltävä absoluuttimoodi päälle. Tämä tapahtuu lähettämällä komento 3:

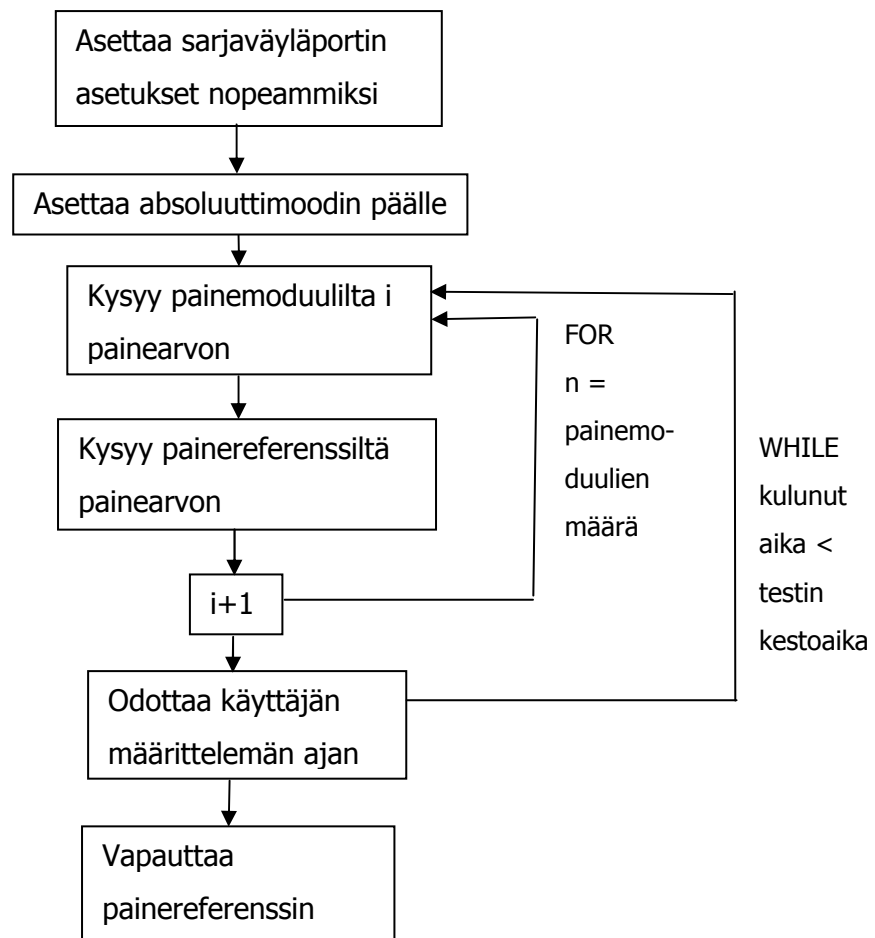
MMODE1=A (3)

MMODE1 on paineanturi, jota komento koskee  
A on absoluuttimoodin asettaminen päälle [35, s. 95].

Alkuasetuksien jälkeen pitää painereferenssiltä kysyä paine käyttäjän määrittämän ajan välein, sekä jokaisen painemoduulin jälkeen. Kysely tapahtuu lähettämällä komento *PR1* painereferenssille. Tämä komento tulostaa viimeisimmän painemittauksen tuloksen [35, s. 97].

Kun referenssin kanssa kommunikoi esimerkiksi sarjaväylän kautta, referenssi lukittuu ja referenssi ei anna yhteyttä muuten kuin sarjaväylän kautta. Testin jälkeen on painereferenssi vapautettava, jotta muutkin voivat sitä käyttää. Tämä tapahtuu lähettämällä komento *LOCAL* [35, s. 94]. Painereferenssin ohjaus esitetään vuokaaviossa 3 (ks. s. 31):

Vuokaavio 3. Painereferenssin ohjaus



$n$  on *for*-rakenteen kierrosten lukumäärä

$i$  on *for*-rakenteessa oleva kierroslaskuri, joka aina kierroksen loppuun kasvaa yhdellä; alkuarvo on nolla. Tässä sen avulla ilmaistaan painemoduulia.

### 7.3 Lämpötilareferenssien ohjaus

Lämpötilareferenssien kanssa kommunikoidaksesi on alustettava PTU300-lähetin seuraavasti:

- 115 200 baudia
- 1 lopetusbitti
- 8 tietobittia
- ei pariteettia
- ei kättelyä.

Tämä tapahtuu lähettimen etupaneelissa olevasta MENU-painikkeesta, joka avaa asetusvalikot. Lisäksi kaikuominaisuus on otettava pois käytöstä. Kyseinen ominaisuus lähettää ennen vastausta lähettimelle lähetetyn komennon takaisin, joka sotkee Basic Serial Write and Read.vi -ohjelman. Tämän jälkeen ei ole tarpeen muuta kuin alustaa ohjelma samoille asetuksille kuin lähetin ja lähettää komento *send*, joka tulostaa mittauksen tulokset [36, s. 94].

Yksittäinen lämpötila-anturi mittaa lämpötilasta riippuvaa vastusta nelipistemittauksella. Kun lämpötila-anturit viedään ilmakehäsimulaattoriin, joudutaan anturin johdot katkaistamaan ja asentamaan molempiin katkaistuihin päihin D9-uroslititimet. Tämä mahdollistaa anturien läpiviennin ilmakehäsimulaattoriin. Yhteen D9-liitimeen tulee kaksi anturia eli yhteensä kahdeksan johtoa.

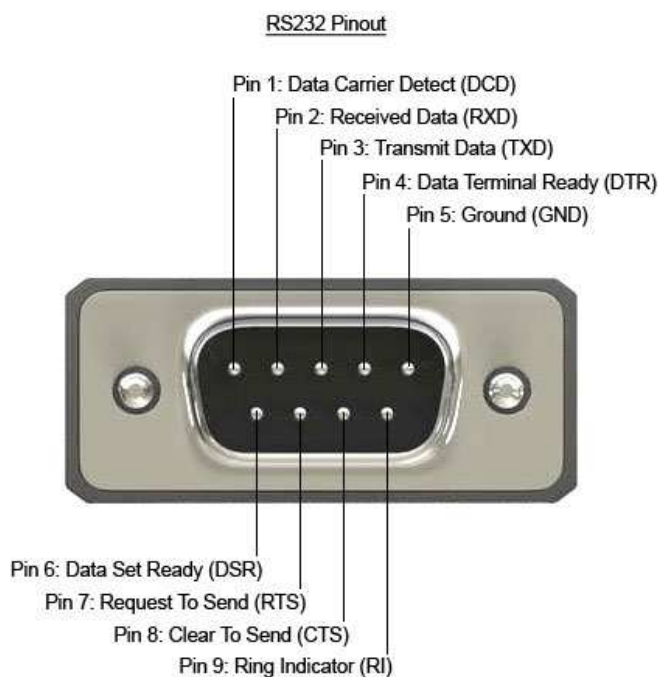
#### 7.4 Painemoduulien ohjaus

Painemoduulien kanssa kommunikointia varten on suunniteltava ja tehtävä kaapeli. Tämä johtuu siitä, että ilmakehäsimulaattorin läpivientilaipassa on vain yksi D25-, neljä D9- ja 12 koaksiaaliliitintä.

##### 7.4.1 Kaapelin suunnittelu ja teko

Jokainen tässä sovelluksessa käytetty painemoduuli, tukee RS-232-sarjaväyläkommunikointia. Perussarjaväyläkommunikointiin tarvitaan vain kolme johtoa: RxD, TxD ja GND. RxD on tiedon vastaanottamiseksi, TxD on tiedon lähettämiseksi ja GND on maajohto.

Koska painemoduulit liitetään Edgeport/416:n porteihin, on järkevää hankkia valmiiksi koottuja RS-232-sarjaväyläkaapeleita. Edgeport/416:ssa on liitännät D9-naarasliittimille. Kun D9-liittimiä käytetään sarjaväyläkommunikoinnissa, on sen pinnijärjestys kuvan 29 mukainen (ks. s. 33):



Kuva 29. D9-liittimen pinnijärjestys [37]

Kun sarjaväyläkaapelista leikkaa ja kuorii toisen pään, yleismittarin resistanssimittauksella on helppo selvittää, mitkä johdot ovat pinnien 2, 3 ja 5.

Jotta säästettäisiin D9-liittimiä läpiviennissä toisiin tarkoituksiin, päädyttiin käyttämään D25- ja yhtä D9-liitintä painemoduulien kanssa kommunikointiin. Tämä tapahtui yhdistämällä 12 sarjaväyläkaapelien GND-johdot sekä liittämällä niihin yksi johto juottamalla. Tämä yksi johto juotettiin D25-liittimen yhteen pinniin ja muihin 24 pinniin juotettiin sarjaväyläkaapelien RxD- ja TxD-johdot. Näin saatiin D25-liittimen kautta 12 kpl sarjaväyläportteja. D9-liittimelle tehtiin muuten samoin paitsi, että neljällä sarjaväyläkaapelilla (kuva 30, s. 34).





Kuva 30. Edgeport/416:sta ilmakehäsimulaattorin läpivientilaipalle yhdistävä kaapeli

Simulaattorin sisäpuolella olevassa laipassa on täsmälleen samat liittimet. Ainoana erona ovat kaapelit. Sisäpuolella olevat kaapelit pitää yhdistää emolevyyn, jossa on liittimet kahdelle 26 pinniselle lattaakaapeliliittimelle. Lisäksi kyseisten pinnien kautta syötetään käyttöjännite emolevylle. Jotta liittäminen olisi mahdollista, tehtiin toinen kaapeli lattaakaapelista. Tässä kaapelissa on läpivientilaipalle menevässä päässä D25- ja kaksi D9-liitintä. D25- ja toinen D9-liitin sarjaväylille ja yksi D9-liitin käyttöjännitteelle. Emolevylle menevässä päässä sen sijaan on kaksi 26 pinnistä lattaakaapeliliitintä (kuva 31).



Kuva 31. Ilmakehäsimulaattorin läpivientilaipasta emolevylle yhdistävä kaapeli

#### 7.4.2 Painemoduulien kanssa kommunikoiminen

Yksittäisen painemoduulin kanssa on helppo kommunikoida. Aluksi Basic Serial Write and Read.vi -ohjelma tarvitsee alustaa seuraavasti:

- 19 200 baudia
- 1 lopetusbitti
- 8 tietobittiä
- ei pariteettia
- ei kättelyä.

Kun ohjelma on alustettu, tarvitsee aina kysyttäessä uutta mittausta lähettää komento *send*. Haasteena on, että painemoduuleita on 16 kpl. Yhden moduulin mittausta ja vastaus kestää n. 500 ms. Lisäksi ohjelman pitää lukea painereferenssin ja lämpötilareferenssien mittaamat arvot, joiden vastausajat ovat n. 500 ms. Lisäksi jokaisen kierroksen aikana syntyy viivettä n. 2 s, ja tavoitteena on päästä alle 30 s:n yhdessä kyselykierroksessa.

Yhdessä kyselykierroksessa käydään kysymässä erikseen jokaiselta painemoduulilta ja jokaisen painemoduulin välissä käydään kysymässä referensseiltä paine- ja lämpötila-arvot. Jos lasketaan miten kauan kuluu aikaa, kun käydään kysymässä jokaiselta laitteelta erikseen, saadaan arvoksi  $16 \times 500 \text{ ms} + 16 \times 500 \text{ ms} + 2 \times 16 \times 500 \text{ ms} + 16 \times 2 \text{ s} = 64 \text{ s}$ . Kyselykierros kestää siis 34 sekuntia liian kauan.

LabView pystyy rinnakkaistoimintoihin, joten kyselykierroksen aikana kysytään aina yhdeltä painemoduulilta, painereferenssiltä ja molemmilta lämpötilareferensseiltä samaan aikaan mittaustulokset. Näin ollen kaikilta laitteilta kysyttäessä kierrosaika on n.  $16 \times 500 \text{ ms} + 16 \times 2 \text{ s} = 40 \text{ s}$ . Kuten tuloksesta voidaan huomata, on testiympäristössä mahdotonta kysyä 16 moduulilta 30 sekunnissa mittaustulokset. Jos halutaan päästä 30 sekunnin kyselykierrosaikoihin, on painemoduuleita vähennettävä neljällä. Tällöin kierrosaika on n. 30 sekuntia, koska  $500 \text{ ms} \times 12 + 12 \times 2 \text{ s} = 30 \text{ s}$ . Taulukosta 4 (ks. s. 35) näkee, miten kyselykierrosaika nousee painemoduulien määrän kasvaessa:

Taulukko 4. Kyselykierrosajan kasvaminen painemoduulien määrän kasvaessa

Painemoduulien määrä	Kyselykierrosaika (s)
1	2,5
2	5
3	7,5
4	10
5	12,5
6	15
7	17,5
8	20
9	22,5
10	25
11	27,5
12	30
13	32,5
14	35
15	37,5
16	40

## 8 Testiympäristön toiminta

### 8.1 Testiajon alkuasetukset

Käyttäjällä on ennen testin aloittamista mahdollisuus tehdä joitain asetuksia. Nämä asetukset on hyvä tehdä, kun on painanut LabView'n oikeassa ylälaudassa olevaa *Play*-painiketta (kuva 32).



Kuva 32. LabView'n käynnistyspainike

Jos asetukset tehdään ennen tämän painamista, osa arvoista alustetaan nolliksi. Kun painiketta on painettu, ohjelma hyppää *while*-silmukkaan, joka pyörii niin kauan kunnes painetaan ABORT-painiketta, tai testi päättyy. Lisäksi ohjelmassa on START-painike, joka aktivoituu vasta, kun käyttäjä on tehnyt riittävän järkevät alkuasetukset (kuva 33, ks. s. 37).

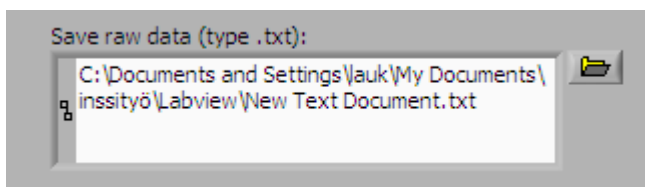


Kuva 33. START- ja ABORT-painikkeet testiajon aloittamiseen ja keskeytykseen

Ohjelma suorittaa koko ajan ns. viisiporttista NOR-logiikkapiiriä. Siinä sisäänmenonastoina ovat erilaiset asetukset, joiden pitää olla epätosia ennen kuin START-painike aktivoituu. Sisäänmenonastoina tässä toimii moduulien porttiasetukset, kyselyintervalli, painereferenssi, simuloitavat pisteet ja raakatiedon tallennusmuoto. Kaikkien asetusten ei kuitenkaan tarvitse olla epätosia testiaseman toiminnan kannalta.

Ennen kuin START-painike aktivoituu, käyttäjän on pakko määritellä raakatiedon tallennuspaikka, kyselyintervalli ei saa olla negatiivinen ja painemoduulien porttiasetukset pitää olla kunnossa. Käyttäjälle ilmoitetaan, jos painereferenssi on antanut virheilmoituksen tai testipisteitä ei ole määritelty, mutta START-painike on aktivoitu. (Ks. liite 4, Alkuasetuksien totuustaulu.)

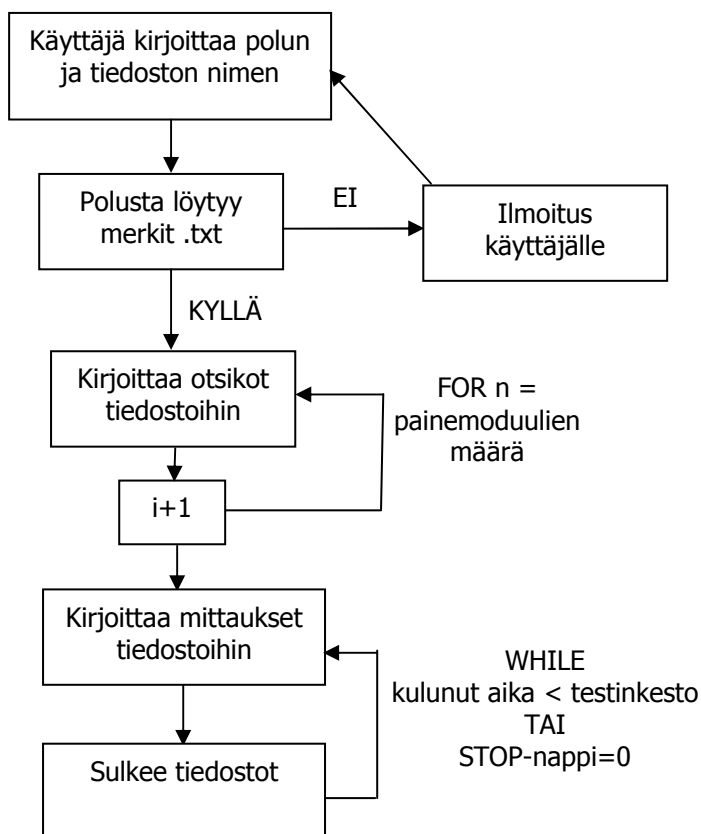
Kuvassa 34 esitetään esimerkki raakatiedon tallennuspaikasta ja tiedostotyypistä:



Kuva 34. Esimerkki raakatiedon tallennuspaikasta ja tiedostotyypistä

Kun tallennuspolku on kunnossa, ja testiajo käynnistetään, ohjelma lukee aluksi tekstitiedoston nimen ja lisää sen perään "\_RAW + painemoduulin järjestysluvun 1 - 16". Tällä menetelmällä saadaan jokaisesta moduulista oma tiedosto. Tämän jälkeen tiedostoihin kirjoitetaan otsikot ja kerätään kaikki mittaustulokset painemoduuleilta ja referensseiltä. Raakatiedon tallennus tapahtuu vuokaavion 4 mukaisesti (ks. s. 38):

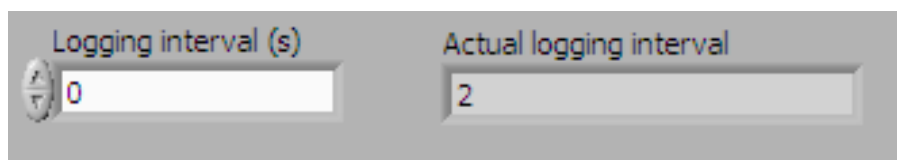
Vuokaavio 4. Raakatiedon tallennus



$n$  on *for*-rakenteen kierrosten lukumäärä

$i$  on *for*-rakenteessa oleva kierroslaskuri, joka aina kierroksen lopuksi kasvaa yhdellä; alkuarvo on nolla.

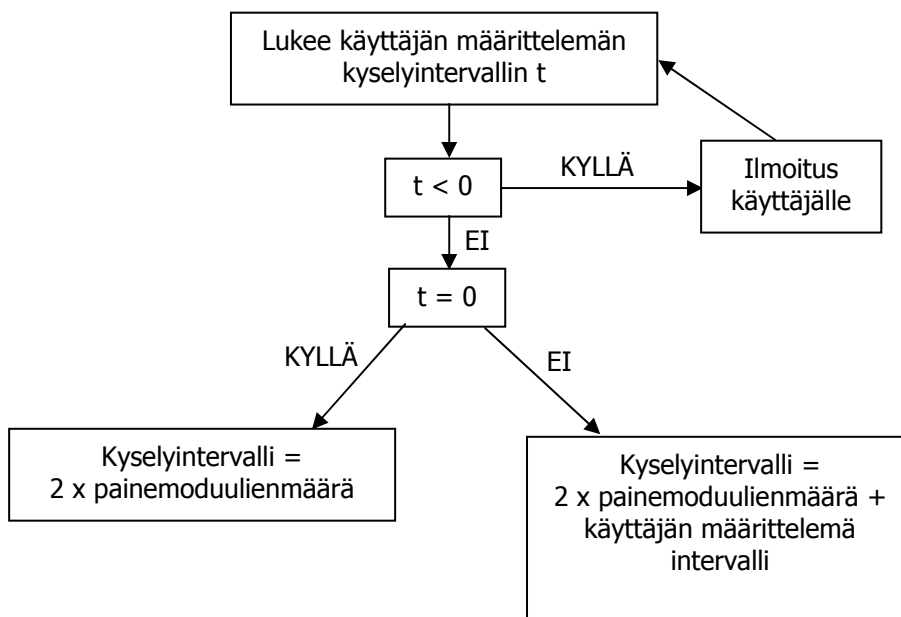
Käyttäjä voi määrittellä kyselyintervallin, joka tarkoittaa aikaa, miten usein ohjelma käy kysymässä mittaustulokset. Lisäksi ohjelma laskee oikean kyselyintervallin. Ohjelman laskemassa intervallissa on otettu huomioon systeemin viiveet (kuva 35).



Kuva 35. Käyttäjän määrittämä kyselyintervalli ja ohjelman laskema oikea intervalli

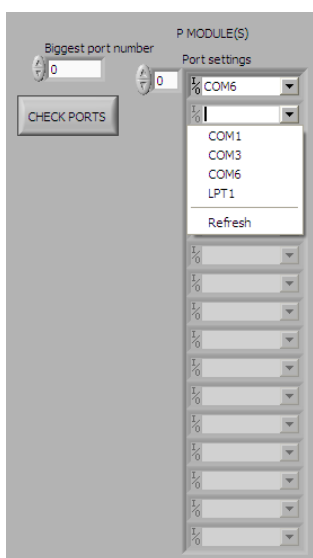
Oikean kyselyintervallin laskenta toimii vuokaavion 5 mukaan:

Vuokaavio 5. Oikean kyselyintervallin laskenta



t on käyttäjän määrittelemä kyselyintervalli.

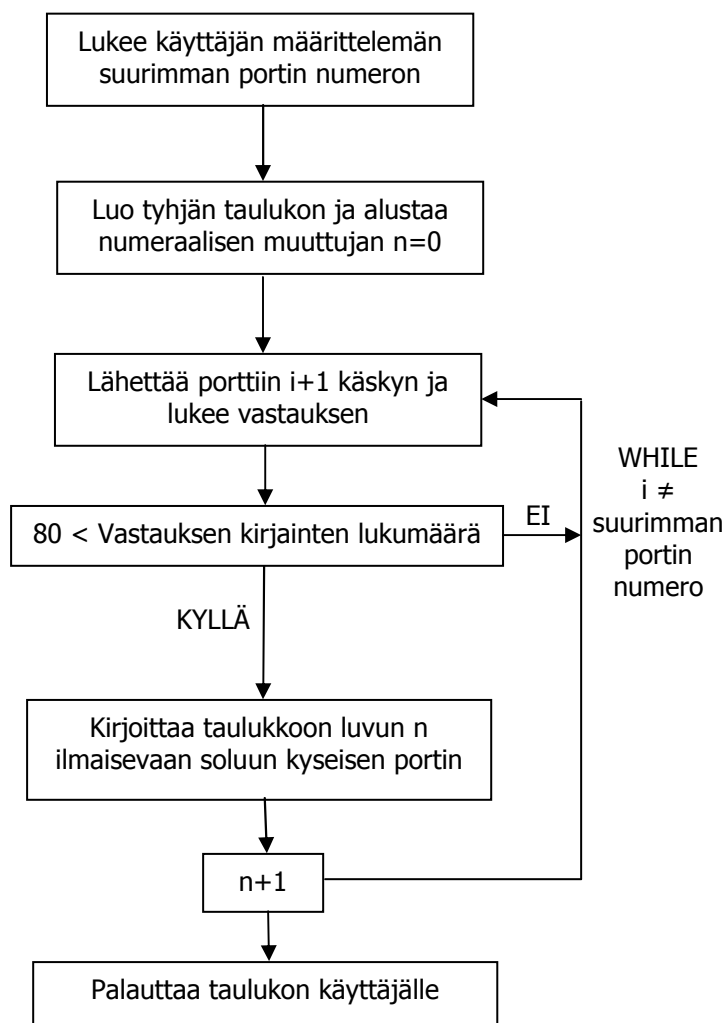
Pakollisena määrittelynä ennen START-painikkeen aktivoitumista on asettaa painemoduulien porttiasetukset. Tämä tapahtuu valitsemalla sarjaportit, joissa painemoduulit ovat kiinni (kuva 36).



Kuva 36. Painemoduulien sarjaporttiasetukset

Käyttäjällä on kaksi tapaa määrittellä portit. Hän voi joko manuaalisesti valita joka portin erikseen tai katsomalla suurimman portin numeron ja kirjoittamalla sen kuvassa 36 (ks. s. 39) näkyvään Biggest port number -kenttään. Jos käyttäjä kirjoittaa isoimman portin numeron ja painaa CHECK PORTS -painiketta, ohjelma hakee automaattisesti painemoduulien sarjaportit. Tämän ominaisuuden toiminta selviää vuokaaviosta 6:

Vuokaavio 6. Painemoduulien sarjaporttien automaattinen haku



$i$  on *while*-rakenteen kierrosten lukumäärä; alkuarvo on nolla  
 $n$  on numeraalinen muuttuja.

Vuokaaviossa 6 esitetty seuraava vertailu: onko 80 pienempi kuin vastauksen kirjainten lukumäärä selvitettiin testaamalla. Tämä tapahtui lähettämällä peruskäsky painemoduulille, jonka vastauksen tiedetään pysyvän lähestulkoon samana koko tuotekehityksen aikana.

Toiminta, joka huomautetaan käyttäjälle, mutta ei lukitse START-painiketta on testipisteiden puuttuminen. Tämä ei lukitse START-painiketta, koska on pidettävä mahdollisena käyttää ilmakehäsimulaattoria myös manuaalisesti. Jos käyttäjä haluaa tehdä testiajon automaattisesti, hänen on täytettävä kuvassa 37 oleva taulukko:

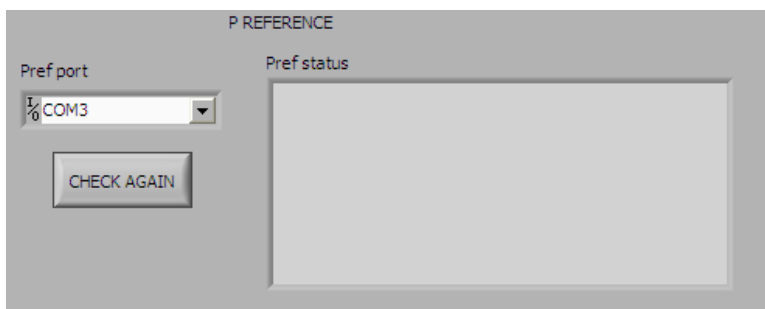
The screenshot shows a software interface for configuring test points. On the left, there is a table titled "Test points:" with three columns: "Pressure", "Temperature", and "Time". Each row in the table has three input fields, each with a small icon above it. To the right of the table, there are two input fields: "Total test time (min)" and "Time left (min)", both containing the value "0". Below these is a "Download test file:" label followed by a text input field and a "DOWNLOAD" button.

Kuva 37. Testiajon luomiseksi tehty taulukko ja ominaisuudet

Kuvassa 37 esitetyn taulukon vasemman puoleisimpaan sarakkeeseen kirjoitetaan haluttu painepiste, keskimmäiseen haluttu lämpötila ja oikeanpuoleisimpaan testipisteen aika. Käyttäjän pitää osata arvioida, miten kauan kestää lämpötilan- ja paineentasoituminen kirjoittaessaan testipisteen aikaa. Lisäksi käyttäjä voi kirjoittaa valmiiksi ajotiedoston esimerkiksi Notepad-ohjelmalla ja ladata sen taulukkoon klikkaamalla DOWNLOAD-painiketta. Lisäominaisuutena ohjelma laskee koko testiajon pituuden, ja miten paljon on vielä testiajoa jäljellä testiajon kuluessa. Nämä ohjelma ilmoittaa kuvassa 37 näkyvissä niille tarkoitetuissa kentissä.

Lopuksi ohjelma tarkistaa, onko painereferenssi lähettänyt, jonkin virhekoodin. Jos näin on käynyt, se ilmoitetaan käyttäjälle. Tämäkin on toiminta, mikä ei lukitse START-painiketta, koska painereferenssi voidaan joutua vaihtamaan joissakin testeissä. Kuvasta 38 (ks. s. 42) esitetään painereferenssin toimintaperiaate:

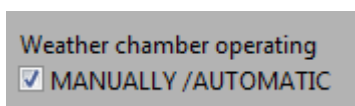




Kuva 38. Painereferenssin toimintaperiaate

Jos kuvassa 38 olevaan Pref status -kenttään tulee virheilmoitus, tämä ilmoitetaan käyttäjälle. Käyttäjä voi tämän jälkeen alustaa painereferenssin uudestaan painamalla CHECK AGAIN -painiketta (ks. luku 7.2 painereferenssin alustuksesta).

Asetus, mikä käyttäjän pitää muistaa, on asettaa ilmakehäsimulaattori toimimaan automaattisesti tai manuaalisesti. Nämä toiminnot eroavat toisistaan seuraavasti: automaattitoiminnassa simulaattori käynnistyy, asettaa simuloitavat testipisteet ja sammuttaa itsensä automaattisesti. Manuaalisessa toiminnassa ohjelma lukee pelkästään moduuleilta ja referensseiltä mittaukset ja tallentaa ne tiedostoon. Automaatti- ja manuaalitoiminto asetetaan kuvassa 39 olevalla tarkistuslaatikolla:



Kuva 39. Ilmakehäsimulaattorin toiminnan määrittely manuaaliseksi tai automaattiseksi

Kun käyttäjä on tehnyt kaikki tarvittavat ja halutut asetukset, voidaan testiajon käynnistää painamalla START-painiketta. Tämän jälkeen kaikki käyttäjän tekemät alkuasetukset lukittuu, ja niitä ei voida enää muuttaa ajon aikana. Lisäksi ABORT-painike katoaa ja START-painikkeen viereen ilmestyy STOP-painike (kuva 40):



Kuva 40. START- ja STOP-painike

STOP-painikkeen tehtävänä on pysäyttää ohjelmisto hallitusti. Jos käyttäjä painaa kesken ajon STOP-painiketta, ohjelma ilmoittaa käyttäjälle pysähtyvänsä. Kun ohjelma on saanut tehtyä kesken jääneet mittaukset ja tallennukset, se pysähtyy ja ilmoittaa käyttäjälle testin olevan valmis.

## 8.2 Testiympäristön toiminta manuaaliohjauksella

Manuaaliohjauksessa ohjelma kerää painemoduuleilta ja referensseiltä mittaustulokset, mutta käyttäjä säätää ilmakehäsimulaattoria. Manuaaliohjauksessa on huonona puolena se, että se vaatii aina testin päätyttyä STOP-painikkeen painalluksen. Muuten ohjelma jatkaa pyörimistään tietokoneen muistin loppuun asti. Hyvänä puolena taas on, että testiympäristö ei ole riippuvainen ilmakehäsimulaattorista. Halutessaan ohjelmisto ja tarvikkeet voidaan asettaa muihin simulointijärjestelmiin ja lukea silti painemoduuleilta mitattua tietoa. (Ks. liite 5, Testiympäristön toimintaperiaate manuaaliohjauksessa.)

## 8.3 Testiympäristön toiminta automaattisesti

Automaatiohjauksella ohjelma käynnistää, asettaa testipisteet ja sammuttaa ilmakehäsimulaattorin itsestään. Käyttäjän tarvitsee vain kertoa ajettavat testipisteet ja testi-aika kunkin pisteen kohdalla. Huonona puolena automaatiohjauksessa on, että käyttäjän pitää tietää, miten nopeasti lämpötila- ja painepisteet tasaantuvat simulaattorissa. Koska simulaattori toimii automaattisesti, voidaan tasaantumisajoiksi laittaa riittävästi aikaa. Automaattiajossa simulaattori voidaan jättää pitkäksikin aikaa toimimaan itsenäisesti. (Ks. liite 6 Testiympäristön toimintaperiaate automaattiajossa.)

## 8.4 Kerätyn tiedon muokkaaminen

Testiajon aikana kysytään painemoduuleilta ja referensseiltä mittaustuloksia. Koska referenssien toimitusajat ovat pitkiä, ei niiden mittaustuloksien muokkausta esitellä.

Painemoduuleilta kysyttäessä mittaustulosta, se tulostaa seuraavan tekstin:

NK1: 294871 NK2: 423999 NS: 383904 NP: 327080 S: 1759.32 P: 2341.61 Tntc: 25.84

Tmcu: 27.01 V: 2.9

NK1, NK2, NS ja NP ovat kellopulsseja, joista lasketaan lämpötilat ja paineet

S on kellopulsseista laskettu lämpötila

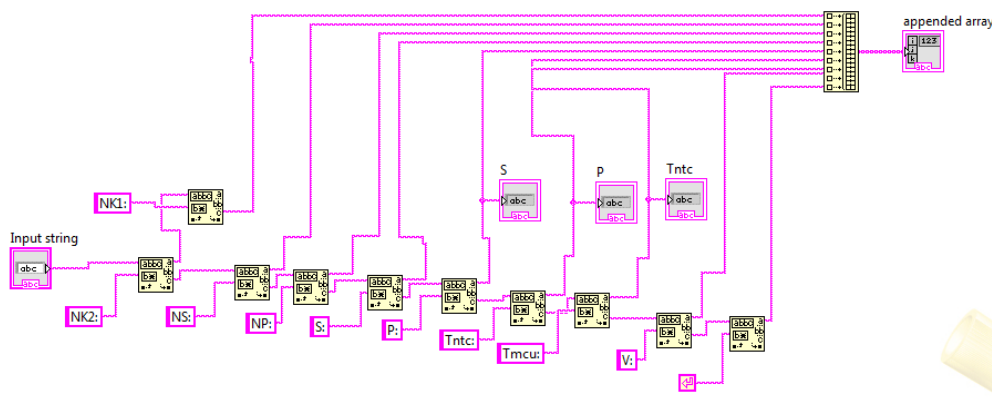
P on kellopulsseista laskettu paine

Tntc on NTC-vastuksen avulla laskettu lämpötila

Tmcu on prosessorin sisäinen lämpötila

V on käyttöjännite.

Ennen tämän tulostuksen tallennusta, on tulostusta muokattava järkevämpään muotoon. LabView:ssa on tekstinskannaustyökaluja, joilla tämä onnistuu helposti (kuva 41).



Kuva 41. Painemoduulin mittaustuloksen muokkaus

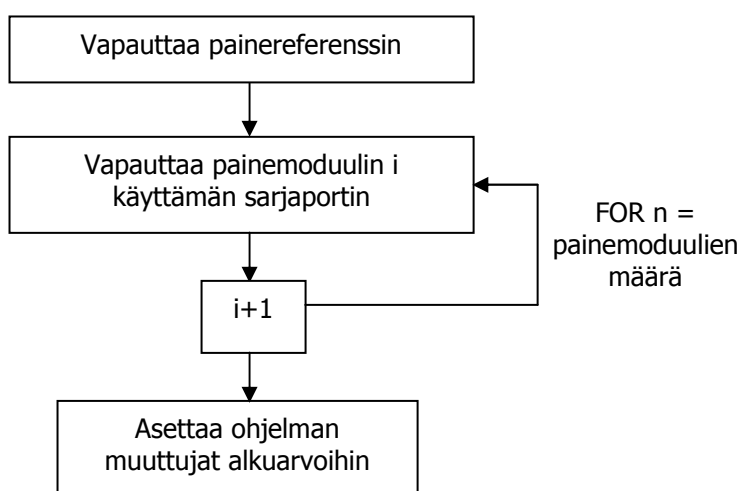
Kuvassa 41 esitetyt tekstinskannaustyökalut toimivat seuraavasti: kun haluttu merkkijono luetaan tekstistä, teksti jaetaan kolmeen osaan. Ensimmäinen osa on etsitty merkkijono. Toinen osa on ennen etsittyä merkkijonoa olevat merkit. Kolmas osa on etsityn merkkijonon jälkeen olevat merkit. Näitä tekstinskannaustyökaluja asettamalla peräkkäin on mittaustuloksen muokkaus helppoa.

Kuvassa 41 esitetty skannaus muokkaa painemoduulien mittaustulostuksen seuraavasti: ohjelma poistaa numeroarvon edessä olevan otsikon. Tämän jälkeen se kirjoittaa käyttäjälle näkyviin S:n, P:n ja Tntc:n arvot pääohjelmassa. Lisäksi se kirjoittaa kaikki painemoduulin mittaamat arvot taulukkoon ja tallentaa sen uutena rivinä raakatiedostoon.

## 8.5 Testiajon päätyminen

Testiajon päätyttyä tai STOP-painikkeen painamisen jälkeen ohjelma ei pysähdy heti, vaan ohjelma ilmoittaa pysähtyvänsä kohta. Ennen pysähtymistä ohjelma suorittaa kesken jääneet mittaukset ja tallennukset. Tämän jälkeen ohjelma vapauttaa painereferenssin ja painemoduulien käyttämät sarjaväyläportit, jotta muutkin voivat niitä käyttää. Vuokaaviossa 7 esitetään, mitä ohjelma tekee pysähtyessään:

Vuokaavio 7. Ohjelman pysähtyminen



$n$  on *for*-rakenteen kierrosten lukumäärä

$i$  on *for*-rakenteessa oleva kierroslaskuri, joka aina kierroksen lopuksi kasvaa yhdellä; alkuarvo on nolla. Tässä  $i:n$  avulla ilmaistaan painemoduulia.

## 8.6 Käyttöliittymän ulkoasu

LabView:ssa käyttöliittymän tekeminen ja koristelu on tehty helpoksi. Koska käyttäjältä vaaditaan paljon asetuksia ja käyttäjälle esitetään paljon tietoa testiajon aikana, käytettiin välilehtikäyttöliittymää. Jokaiselle välilehdelle valittiin yksi tai kaksi laitetta, joiden asetuksia käyttäjä voi muokata tai mittauksia seurata. (Ks. liite 7 – 10)

## 9 Tulevaisuuden näkymiä

Testiympäristö kootaan loppuun asti, kun puuttuvat laitteet toimitetaan. Tämän jälkeen voidaan tehdä ensimmäinen testiajo koko testiympäristölle. Kun ensimmäisen ajon tulokset on analysoitu, tehdään tarvittavat korjaukset ja tehdään lisää testiajoja. Uusinta-ajojen määrä riippuu siitä, miten hyvin testiympäristön ohjauskoodi on tehty.

Ohjelmistoa parannellaan vielä testiajojen jälkeen. Kun tiedetään lämpötilojen ja paineiden tasaantumisaikat tarkemmin, voidaan laskea ne valmiiksi käyttäjälle. Näin ollen päästään lyhyempiin testiajoihin, ja käyttäjän ei tarvitse arvioida tasaantumisaikoja. Lisäksi, kun saadaan painemoduulien kertoimien laskentapohja paremmaksi, ohjelma voi laskea kertoimet ja asentaa ne painemoduuleihin käyttäjän halutessa. (Ks. liite 8, Käyttöliittymän toinen välilehti.)

Kun testiympäristö saadaan valmiimmaksi, sitä varten laaditaan käyttöohje englanniksi. Lisäksi kaikki testiympäristössä käytetyt laitteet ja komponentit listataan ja dokumentoidaan, jotta tarvittaessa ne voidaan korvata.

## 10 Yhteenveto

Insinööriyössä aiheena oli painemoduulien testiympäristön rakentaminen tuotekehityksen käyttöön. Työssä pyrittiin etsimään paras tapa kehittää testiympäristöä. Tämä tapahtui etsimällä paras laitteisto testiympäristön rakentamiseksi. Lisäksi työssä oli tavoitteena luoda käyttäjäystävällinen käyttöliittymä LabView-ohjelmistolla, jolla ohjata testiympäristöä.

Työssä esitellyllä laitteistolla (ks. luvut 4 - 5) toteutettu testiympäristö olisi täyttänyt kaikki testiympäristön vaatimukset (ks. luku 2). Testiympäristön rakentamiseen kuitenkin käytettiin eri laitteistoa (ks. luku 6), jolla päästiin tärkeimpiin tavoitteisiin. Tärkeimpiin tavoitteisiin kuului: painereferenssin tarkkuus, paineen ja lämpötilan säätöalue, referenssien kalibroituavuus, helppo siirrettävyys ja osien vaihdettavuus.

Työssä esitelty laitteisto kasattiin yleisvaunuun, jossa on pyörät. Näin ollen helppo siirrettävyys saatiin mahdolliseksi. Koska melkein kaikki työssä esitellyt osat ovat kaupallisia, osien vaihdettavuus on helppoa. Työssä esitellyille kaapeleille (ks. luku 7.3.1) tehtiin selkeät kytkentäkaaviot ja osalistaus, jotta niiden valmistus olisi helppoa myös jatkossa.

Työssä esitellyllä käyttöliittymällä päästiin sille esitettyihin vaatimuksiin (ks. luku 2). Käyttäjystävällisyys ilmenee selkeästä asettelusta ja ohjeista, jotka käyttöliittymä tarjoaa testiajon aikana. Automaattinen tiedon muokkaus tapahtuu myös testiajon aikana ja jälkeen, joka mahdollistaa helpon tiedon analysoinnin. Lisäksi ohjelma tarjoaa reaaliaikaisen seurannan testiajon aikana (ks. liite 9 - 10).

Referenssien pitkän toimitusajan takia testiympäristölle ei päästy tekemään viimeistä testiajoa. Työssä esitelty koodi referenssien ohjaamiseksi tehtiin käyttöohjeiden perusteella. Ilmakehäsimulaattorille tehty ohjaus sen sijaan testattiin käytännössä onnistuneesti. Lisäksi painemoduuleille tehty ohjaus toimi määritellyllä tavalla (ks. luvut 7.1 - 7.4).

Testiympäristö rakennetaan loppuun, kun tarvittavat referenssit saadaan. Lisäksi ohjelmistolle tehdään joitain muutoksia (ks. luku 9). Lopuksi testiympäristöstä toimitetaan Vaisalalle käyttöohjeet sekä laite- ja komponenttilista.

## Lähteet

- 1 Lieriö. Verkkodokumentti. Wikipedia vapaa tietosanakirja.  
<<http://fi.wikipedia.org/wiki/Lieri%C3%B6>>. Päivitetty 15.2.2012 klo 16:56. Luettu 15.2.2012.
- 2 Electronics packaging and reliability research group. Verkkodokumentti. Tampere university of technology. Päivittäjä Mirja Hokkanen.  
<[http://www.ele.tut.fi/en/research-en/packaging\\_and\\_reliability/Equipment/reliability/temperature\\_chamber.htm](http://www.ele.tut.fi/en/research-en/packaging_and_reliability/Equipment/reliability/temperature_chamber.htm)>. Modified Friday, 13 August, 2010 10:41:41. Luettu 27.1.2012.
- 3 High-speed pneumatic pressure controller Model CPC3000. Verkkodokumentti. Wika Oy.  
<[http://wika.fi/upload/DS\\_CT2755\\_GB\\_6931.pdf](http://wika.fi/upload/DS_CT2755_GB_6931.pdf)>. Created 08/2011. Luettu 27.1.2012.
- 4 High-speed pneumatic pressure controller Model CPC3000. Verkkodokumentti. Wika Oy. <[http://wika.fi/CPC3000\\_en\\_co.WIKA](http://wika.fi/CPC3000_en_co.WIKA)>. Modified 27.1.2012. Luettu 27.1.2012.
- 5 What is Intelscale? Verkkodokumentti. Wika Oy.  
<[http://www.mensor.com/support\\_faq\\_intelliscale\\_en\\_um.WIKA](http://www.mensor.com/support_faq_intelliscale_en_um.WIKA)>. Modified 27.1.2012. Luettu 27.1.2012.
- 6 High-speed pneumatic pressure controller Model CPC6000. Verkkodokumentti. Wika Oy.  
<[http://www.wika.fi/upload/DS\\_CT2761\\_GB\\_1082.pdf](http://www.wika.fi/upload/DS_CT2761_GB_1082.pdf)>. Created 10/2011. Luettu 30.1.2012.
- 7 High-speed pneumatic pressure controller Model CPC8000. Verkkodokumentti. Wika Oy.

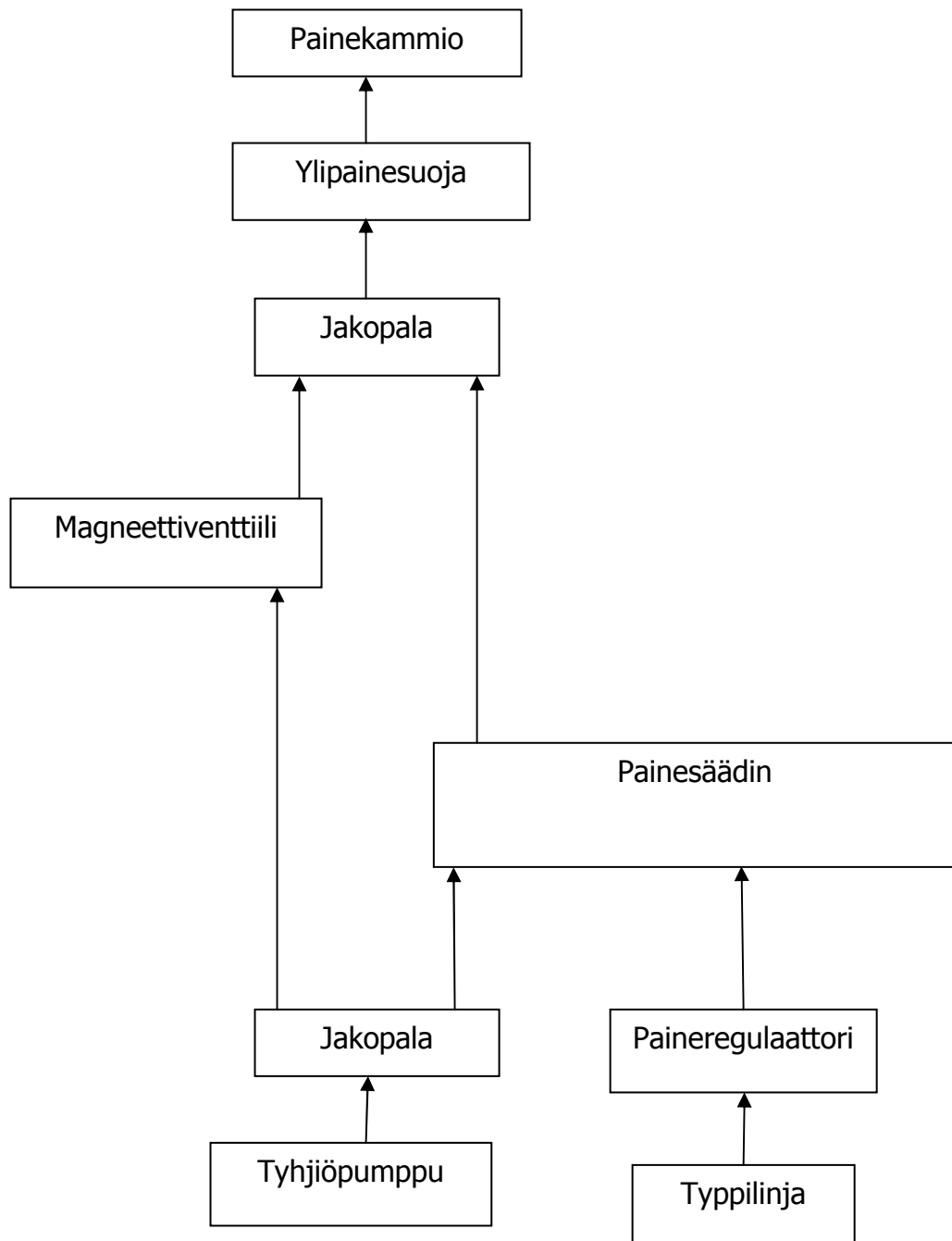
- <[http://www.wika.fi/upload/DS\\_CT2801\\_GB\\_1085.pdf](http://www.wika.fi/upload/DS_CT2801_GB_1085.pdf)>. Created 10/2011. Luettu 30.1.2012.
- 8 High-speed pneumatic pressure controller Model CPC6000. Verkkodokumentti. Wika Oy. <[http://wika.fi/CPC6000\\_en\\_co.WIKA](http://wika.fi/CPC6000_en_co.WIKA)>. Modified 30.1.2012. Luettu 30.1.2012.
- 9 High-speed pneumatic pressure controller Model CPC8000. Verkkodokumentti. Wika Oy.< [http://wika.fi/CPC8000\\_en\\_co.WIKA](http://wika.fi/CPC8000_en_co.WIKA)>. Modified 30.1.2012. Luettu 30.1.2012.
- 10 Series 7250 Ruska High-Speed Digital Pressure Controller. Datalehti. Fluke Calibration. 7250 esite.pdf. Painettu USA:ssa 8/2010.
- 11 Ruska. Verkkodokumentti. Harrico Oy. <<http://www.harrico.fi/index.php/ruska>>. Modified 25.1.2012. Luettu 25.1.2012.
- 12 Vuoristo Jussi. Myyntimies. Harrico Oy. Sähköpostikeskustelu. Vastaanotettu 25.1.2012.
- 13 PPC4 Pressure Controller/Calibrator Prerium Performance, Maximum Versatility, Outstanding Reliability. Verkkodokumentti. Harrico PTE Oy. <<http://www.harrico.fi/images/stories/DHI/PPPC4%20esite.pdf>>. Painettu USA:ssa 6/2008. Luettu 31.1.2012.
- 14 Ppm. Verkkodokumentti. Wikipedia vapaa tietosanakirja. <<http://fi.wikipedia.org/wiki/Ppm>>. Päivitetty 16.1.2012 klo 12:51. Luettu 31.1.2012.
- 15 DHI. Verkkodokumentti. Harrico Oy. <<http://www.harrico.fi/index.php/dhi>>. Modified 31.1.2012. Luettu 31.1.2012.

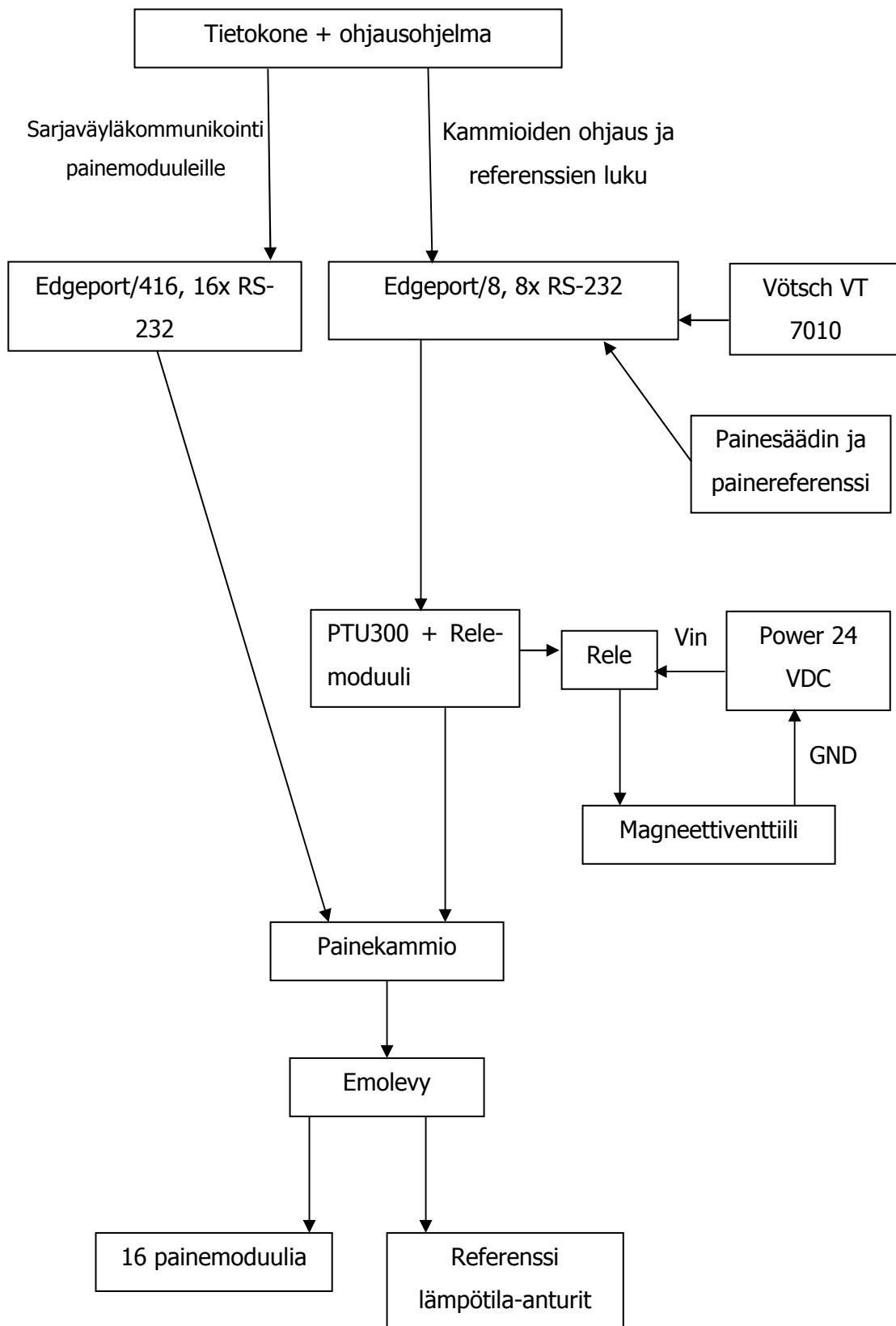


- 16 Proportional Relief Valves. Verkkodokumentti. Swagelok.  
<<http://www.swagelok.com/downloads/webcatalogs/EN/MS-01-141.pdf>>. Painettu USA:ssa 12/2010. Luettu 1.2.2012.
- 17 Pressure Regulators. Verkkodokumentti. Swagelok.  
<<http://www.swagelok.com/downloads/webcatalogs/EN/MS-02-230.pdf>>. Painettu USA:ssa 3/2010. Luettu 1.2.2012.
- 18 Solenoid valve VZWD-L-M22C-M-G18-60-V-1P4-4-R1. Verkkodokumentti. Festo Oy.  
<[http://www.festo.com/net/fi\\_fi/SupportPortal/InternetSearch.aspx](http://www.festo.com/net/fi_fi/SupportPortal/InternetSearch.aspx)>. Modified 1.2.2012. Luettu 1.2.2012.
- 19 Diaphragm pump MP 101 V. Verkkodokumentti. Welch-Ilmvac applied vacuum technology.  
<<http://www.ilmvac.com/content/products/Diaphragm-Pump-MP-101-V-230V-50-60Hz-p411544.html>>. Modified 8.2.2012. Luettu 6.3.2012.
- 20 Ilmvac MP 101 V vakuumpumppu. Tarjoupyyntö. Teo-pal Oy. Lasse Lingren. 9.1.2012.
- 21 Leskinen Tero. Testi-insinööri. Vaisala Oyj. Vantaa. Kahvitaukokeskustelu. 11.1.2012.
- 22 Oerlikin Leybold Vacuum Full Line Catalog. Datalehti. Oil-Free Vacuum Pumps.pdf.
- 23 Paineen yksikkö pascal (Pa), paineenmääritelmä. Verkkodokumentti. Mikes metrologia.  
<<http://www.mikes.fi/frameset.aspx?categoryID=3&url=page.aspx%3FpageID%3D926%26contentID%3D37>>. Modified 5.2. 2012. Luettu 5.2.2012.

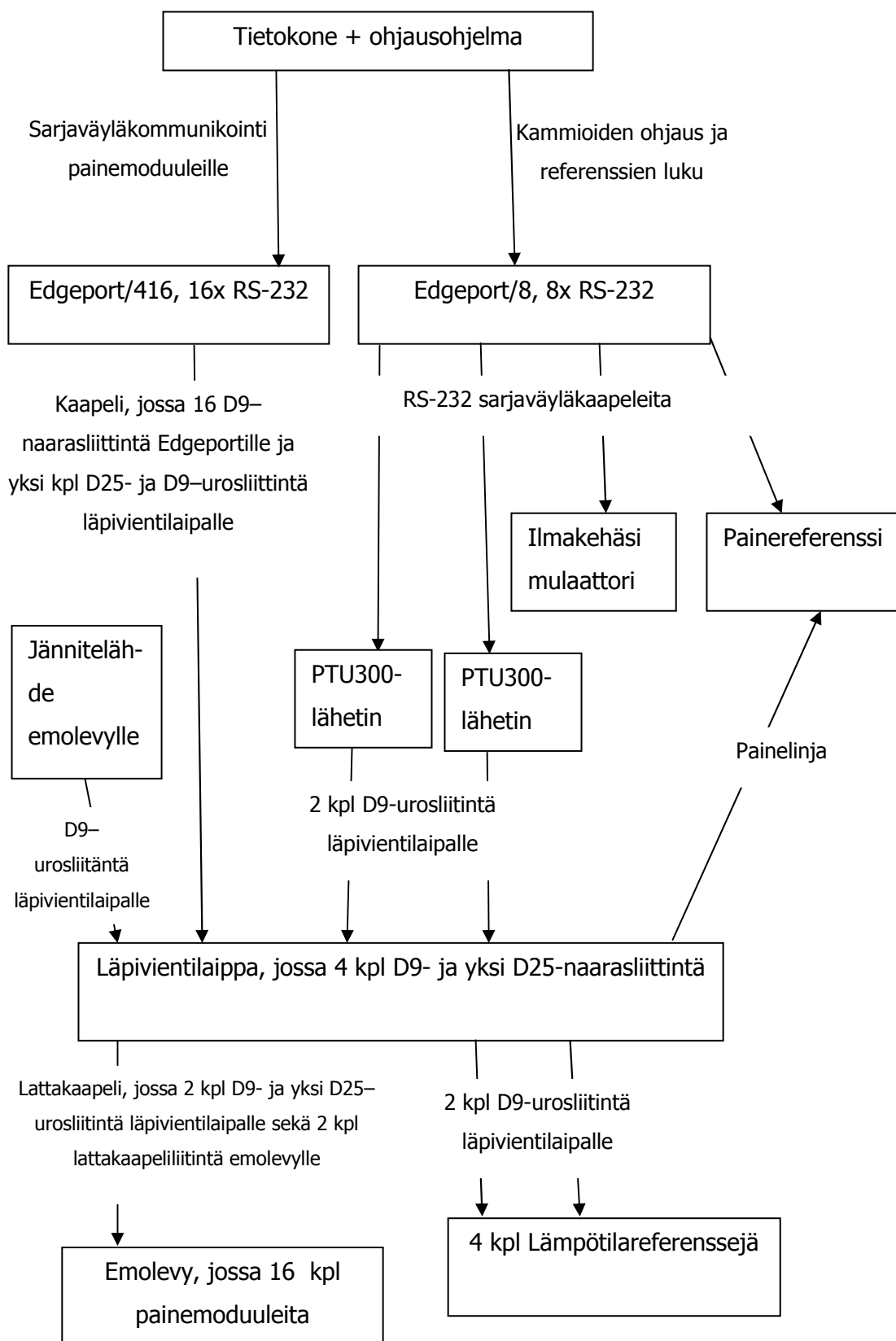
- 25 PTU300 Brochure in English.pdf. Esittelylehti. Vaisala Oyj 2010. Sivut 1 ja 5.
- 26 Vaisala HUMICAP® Humidity and Temperature Transmitter Series HMT330. Verkkodokumentti. Vaisala Oyj.  
<<http://www.vaisala.com/en/lifescience/products/transmitters/humidity/Pages/HMT330.aspx>>. Modified 4.3.2012. Luettu 4.3.2012.
- 27 Edeport/416, 16xRS-232(DB9), 4xUSB. Verkkodokumentti. Wintel Finland Oy.  
<<http://www.wintel.fi/tuotteet/index.html?tuoteryhma=Sarjaliikenne%20%28RS-232%2F422%2F485%29&alaryhma=%20USB%20-%20Sarjaliikenne%20232%2F485%2F4&id=47779881>>. Modified 16.2.2012. Luettu 16.2.2012.
- 28 Edgeport/8, 8xRS-232 DB9 (USB). Verkkodokumentti. Wintel Finland Oy.  
<<http://www.wintel.fi/tuotteet/index.html?tuoteryhma=Sarjaliikenne%20%28RS-232%2F422%2F485%29&alaryhma=%20USB%20-%20Sarjaliikenne%20232%2F485%2F4&id=47779872>>. Modified 16.2.2012. Luettu 16.2.2012.
- 29 Vötsch – Vacuum Test Chamber, Model VKH 10050/S. Datalehti. Amitra Oy. Luotu 10.11.2010. Sivut 1 ja 3-4.
- 30 Vuoristo Jussi. Myyntimies. Harrico Oy. Sähköpostikeskustelu. Vastaanotettu 26.1.2012.
- 31 dhi rpm4. Google kuvahaku.  
<[http://www.google.fi/search?hl=fi&gs\\_nf=1&cp=32&gs\\_id=9&xhr=t&q=RPM-HI-A100KP+Premium+Class+RPT&gs\\_upl=&bav=on.2,or.r\\_gc.r\\_pw.,cf.osb&biw=1366&bih=547&um=1&ie=UTF-8&tbm=isch&source=og&sa=N&tab=wi&ei=6GVCT5XIOKH24QTsyeSnCA#um=1&hl=fi&tbm=isch&sa=1&q=dhi+rpm4&pbx=1&oq=dhi+rpm&aq=](http://www.google.fi/search?hl=fi&gs_nf=1&cp=32&gs_id=9&xhr=t&q=RPM-HI-A100KP+Premium+Class+RPT&gs_upl=&bav=on.2,or.r_gc.r_pw.,cf.osb&biw=1366&bih=547&um=1&ie=UTF-8&tbm=isch&source=og&sa=N&tab=wi&ei=6GVCT5XIOKH24QTsyeSnCA#um=1&hl=fi&tbm=isch&sa=1&q=dhi+rpm4&pbx=1&oq=dhi+rpm&aq=)>

- 0S&aqi=g-  
S1&aql=&gs\_sm=3&gs\_upl=3100I5329I0I6438I7I7I0I2I2I0I109I499I2.3I5I0  
&bav=on.2,or.r\_gc.r\_pw.,cf.osb&fp=820cb436f1035d64&biw=1366&bih=  
547>. Modified 20.2.2012. Luettu 20.2.2012.
- 32 LabView. Verkkodokumentti. Wikipedia The Free Encyclopedia.  
<<http://en.wikipedia.org/wiki/LabVIEW>>. Updated 2.3.2012 klo 23:20.  
Luettu 2.3.2012.
- 33 Käyttöosa touchpanel color flash-versio 00.30. Käyttöohje. Laatija Vötsch  
industrietechnik. Laadittu 02/2006. Sivut 7-9, 33-37 ja liite 1.
- 34 ASCII. Wikipedia vapaa sanakirja. Verkkodokumentti.  
<<http://fi.wikipedia.org/wiki/ASCII>>. Päivitetty 1.3.2012 klo 14:02.  
Luettu 1.3.2012.
- 35 RPM4 Reference Pressure Monitor Operation and Maintenance Manual.  
Käyttöohje. 550129.pdf. Painettu USA:ssa 2004 - 2007. Sivut 63, 91, 94-  
95 ja 97.
- 36 Vaisala Combined Pressure, Humidity, and Temperature Transmitter  
PTU300. Vaisala 2011. Käyttöohje. PTU300 User's Guide in English  
M210796EN-F.pdf. Sivut 83 ja 94.
- 37 RS232 Pinout. Usconverters.com. Verkkodokumentti.  
<[http://www.usconverters.com/index.php?main\\_page=page&id=61&chapter=0](http://www.usconverters.com/index.php?main_page=page&id=61&chapter=0)>. Modified 22.2.2012. Luettu 22.2.2012.
- 38 RS-232. Wikipedia vapaa tietosanakirja. Verkkodokumentti.  
<<http://fi.wikipedia.org/wiki/RS-232>>. Päivitetty 26.2.2012 klo 08:55.  
Luettu 26.2.2012

**Painelinjojen kytkentäkaavio**

**Suunnitellun testiympäristön kommunikoinnin kytkentäkaavio**

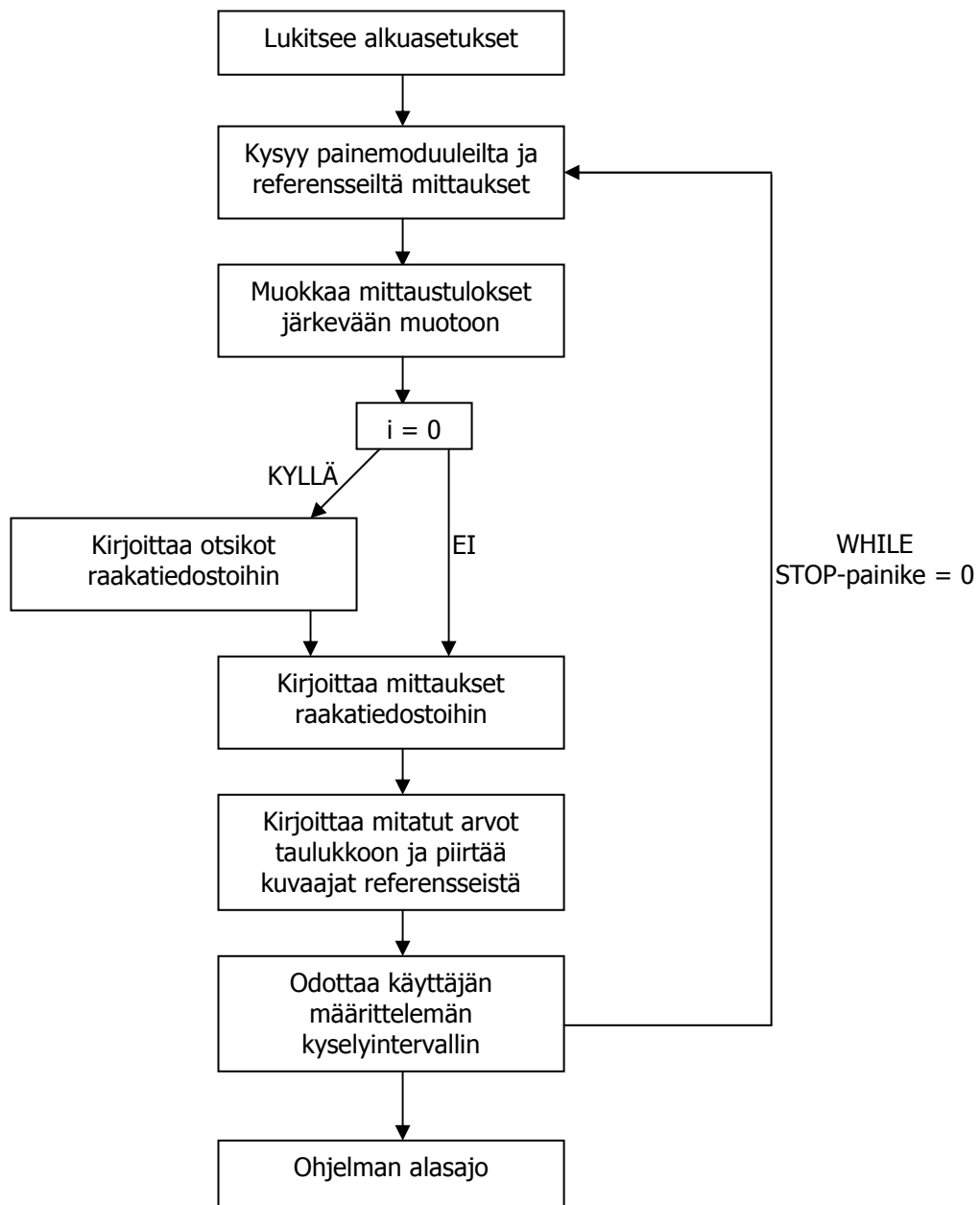
## Toteutetun testiympäristön kommunikoinnin kytkentäkaavio



## Alkuasetuksien totuustaulu

A	B	C	D	E	F	START-nappi
0	0	0	0	0	Check your settings and press start	Käytössä
0	0	0	0	1	No test points	Käytössä
0	0	0	1	0	Check pressure reference	Käytössä
0	0	0	1	1	Check pressure reference	Käytössä
0	0	1	0	0	Logging interval can not be under zero	Ei käytössä
0	0	1	0	1	Logging interval can not be under zero	Ei käytössä
0	0	1	1	0	Logging interval can not be under zero	Ei käytössä
0	0	1	1	1	Logging interval can not be under zero	Ei käytössä
0	1	0	0	0	No ports selected	Ei käytössä
0	1	0	0	1	No ports selected	Ei käytössä
0	1	0	1	0	No ports selected	Ei käytössä
0	1	0	1	1	No ports selected	Ei käytössä
0	1	1	0	0	No ports selected	Ei käytössä
0	1	1	0	1	No ports selected	Ei käytössä
0	1	1	1	0	No ports selected	Ei käytössä
0	1	1	1	1	No ports selected	Ei käytössä
1	0	0	0	0	Check your raw data save location	Ei käytössä
1	0	0	0	1	Check your raw data save location	Ei käytössä
1	0	0	1	0	Check your raw data save location	Ei käytössä
1	0	0	1	1	Check your raw data save location	Ei käytössä
1	0	1	0	0	Check your raw data save location	Ei käytössä
1	0	1	0	1	Check your raw data save location	Ei käytössä
1	0	1	1	0	Check your raw data save location	Ei käytössä
1	0	1	1	1	Check your raw data save location	Ei käytössä
1	1	0	0	0	Check your raw data save location	Ei käytössä
1	1	0	0	1	Check your raw data save location	Ei käytössä
1	1	0	1	0	Check your raw data save location	Ei käytössä
1	1	0	1	1	Check your raw data save location	Ei käytössä
1	1	1	0	0	Check your raw data save location	Ei käytössä
1	1	1	0	1	Check your raw data save location	Ei käytössä
1	1	1	1	0	Check your raw data save location	Ei käytössä
1	1	1	1	1	Check your raw data save location	Ei käytössä

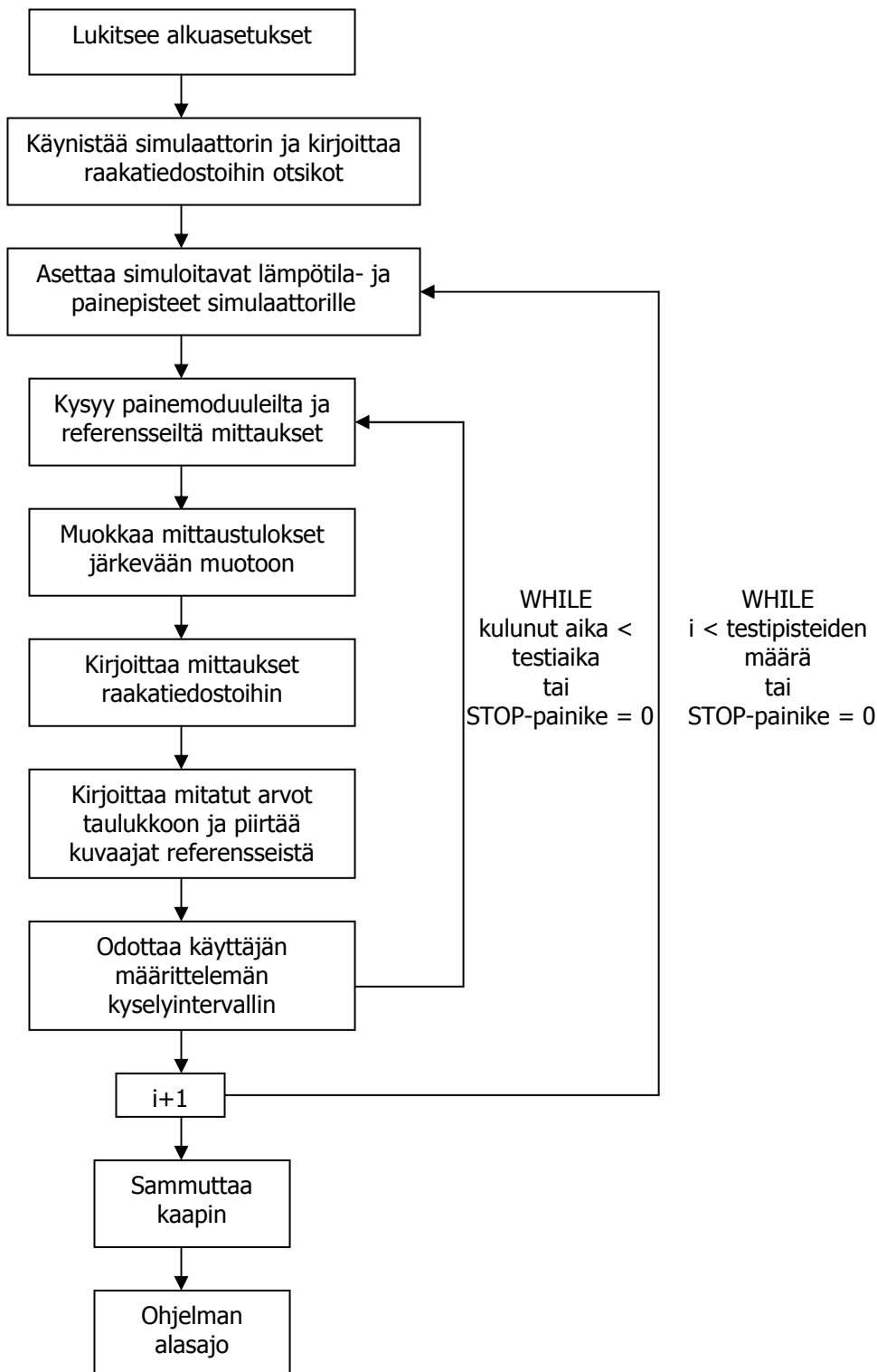
A on raakatiedon tallennuspaikka  
 B on painemoduulien porttiasetukset  
 C on kyselyintervallin tarkistus  
 D on painereferenssin tarkistus  
 E on testipisteiden tarkistus  
 F on käyttäjälle näkyvä ilmoitus.

**Testiympäristön toimintavuokaavio manuaaliohjauksessa**

$i$  on *while*-rakenteen kierrosten lukumäärä; alkuarvo on nolla.

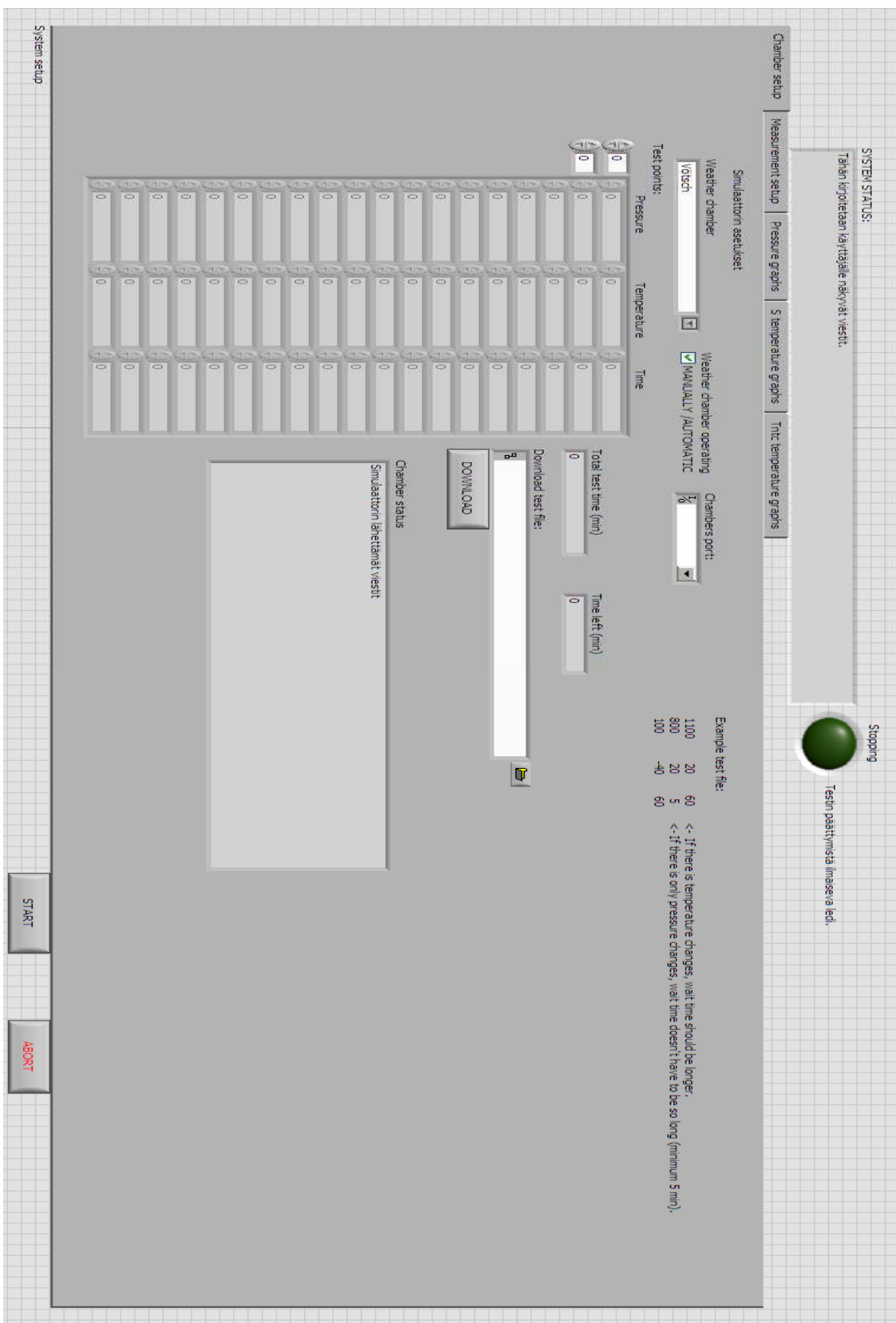


## Testiympäristön toimintavuokaavio automaattijossa

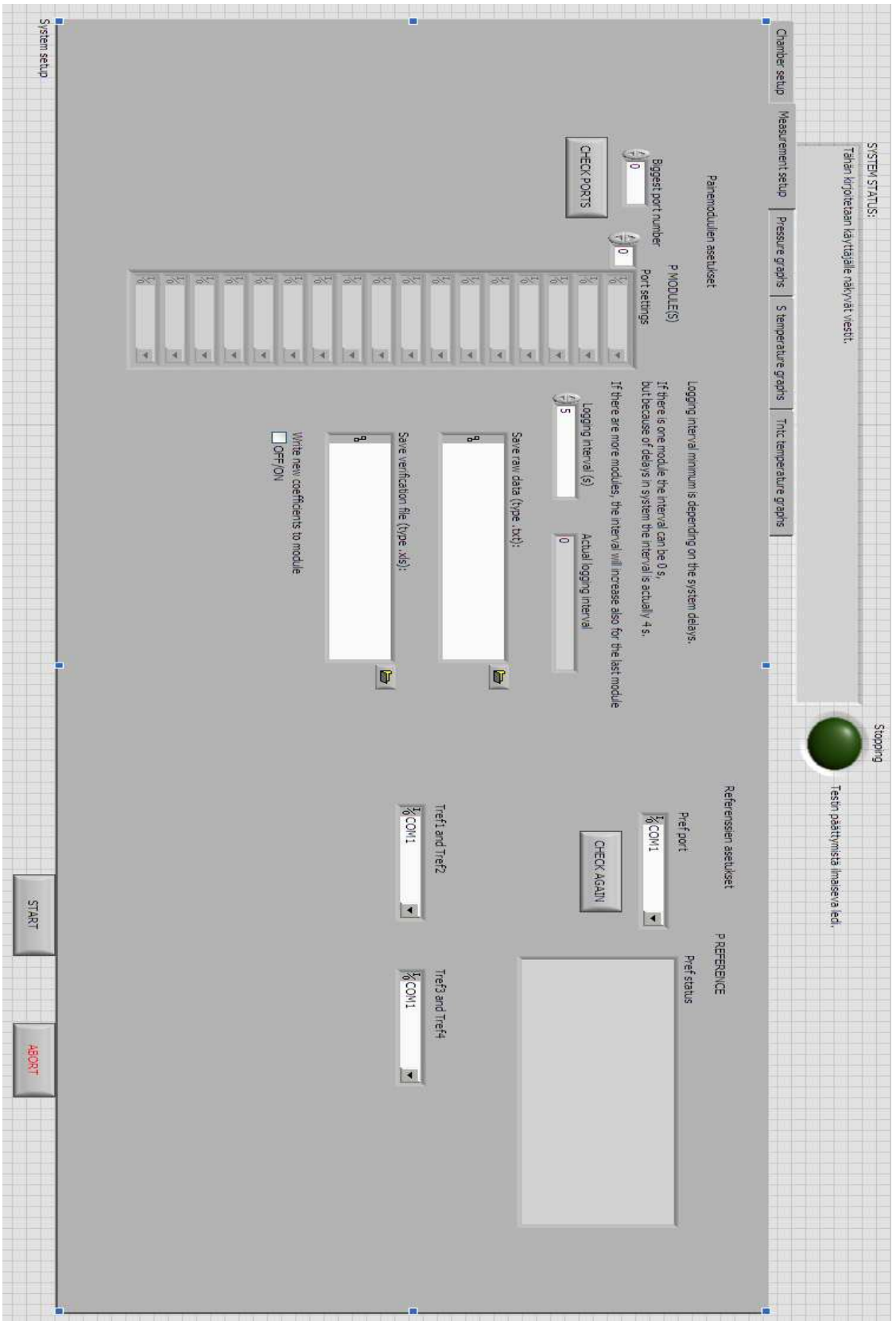


$i$  on ulomman *while*-rakenteen kierrosten lukumäärä; alkuarvo on nolla. Tässä sen avulla ilmaistaan testipistetaulukon riviä, joka kirjoitetaan simulaattorille.

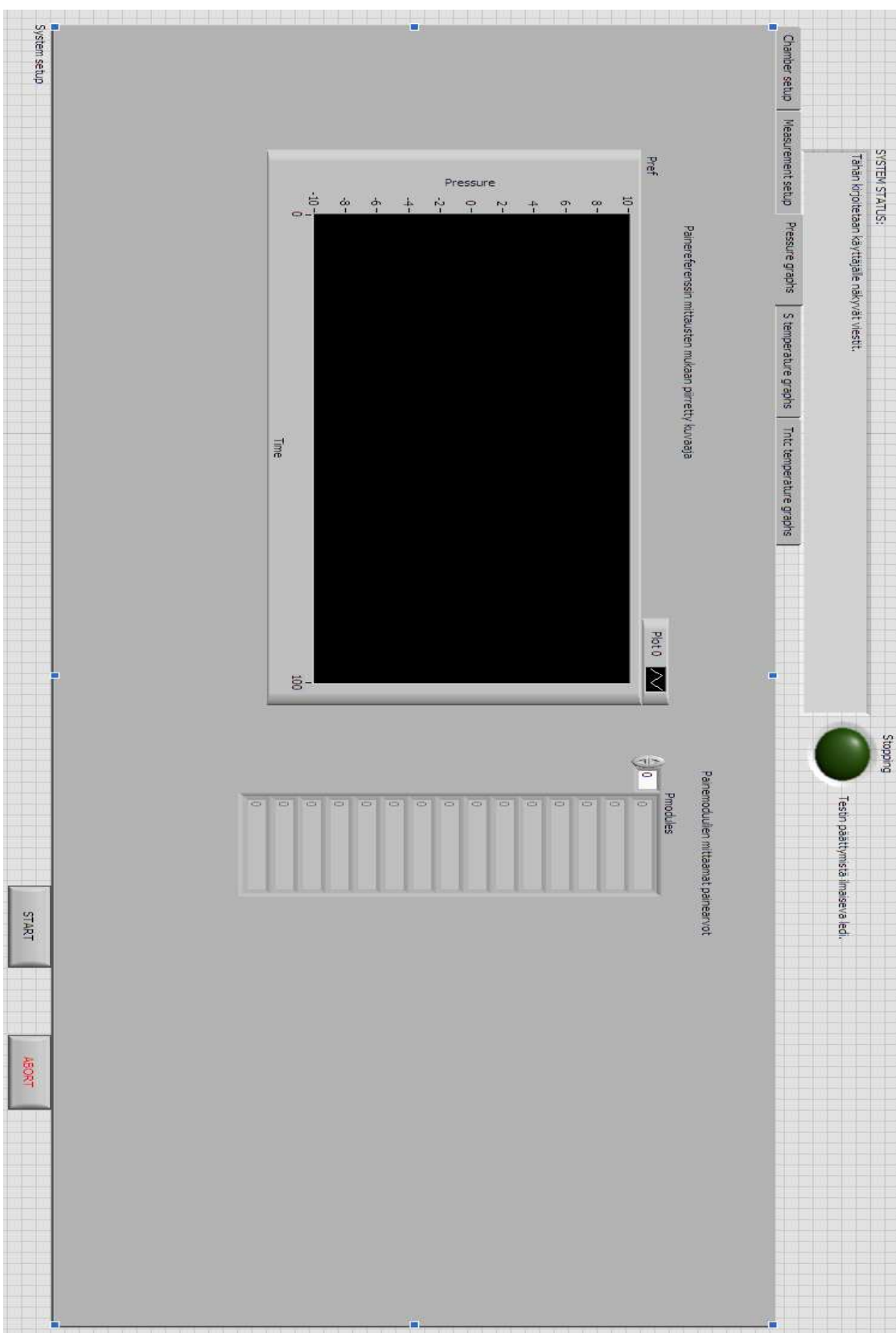
## Käyttöliittymän ensimmäinen välilehti



# Käyttöliittymän toinen välilehti



## Käyttöliittymän kolmas välilehti



## Käyttöliittymän neljäs välilehti

