

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Energiatekniikan koulutusohjelma

Jouni-Juhani Häkkinen

PARTIKKELIMITTAUSJÄRJESTELMÄN AUTOMAATIOSUUNNITTELU
JA TOTEUTUS

Opinnäytetyö 2011

TIIVISTELMÄ

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Energiatekniikan koulutusohjelma

HÄKKINEN JOUNI-JUHANI	Partikkelimittausjärjestelmän automaatio suunnittelu ja toteutus
Opinnäytetyö	45 sivua + 20 liitesivua
Työn ohjaaja	Lehtori Vesa Kankkunen
Toimeksiantaja	Eagle Filters Oy
Elokuu 2011	
Avainsanat	automaatio, mittaus, suodatus, suunnittelu, tuotekehitys

Tässä opinnäytetyössä kuvataan Eagle Filters Oy:lle touko - elokuussa 2011 rakennetun mittausjärjestelmän automaatio- ja ohjelmistosuunnittelun eteneminen sekä esitetään valmiin järjestelmän keskeiset toiminnot.

Automaatio- ja ohjelmistosuunnittelu tapahtui osittain valmiiksi määritettyjen ja olemassa olevien laitevalintojen perusteella ja osittain tarkoitukseen parhaiten soveltuviin ohjaus- ja ohjelmistoratkaisuiden etsimisen ja valinnan kautta. Järjestelmän suunnittelussa huomioitiin partikkelimittaukseen määräävien euronormien FprEN 779 ja EN 1822-3 asettamat vaatimukset.

Mittausjärjestelmään kuuluu kaksi erillistä, mutta toimintaperiaatteeltaan samanlaista mittauslinjaa. Toinen linjoista on tarkoitettu valmiiden suodatinelementtien mittaukseen ja toisella voidaan mitata suodatinmateriaalin näytekappaleita. Automaatiojärjestelmä ohjaa mittausjärjestelmän sähkömekaanisia komponentteja sekä kerää tietoja paine-eroista ja tilavuusvirroista. Järjestelmään kuuluvan tarkan partikkelilaskurin ohjaus ja mittauksien käsittely tapahtuu ohjelmallisesti. Järjestelmän käyttöliittymästä voidaan asettaa mittausparametreja, ohjata järjestelmän toimintaa sekä tarkastella ja tallettaa saatuja mittauksia kuvaajineen.

Mittausjärjestelmään kuuluva pieni mittauslinja otettiin käyttöön heinä - elokuun 2011 vaihteessa. Suuren mittauslinjan viimeistely on suunnitelman mukaisesti valmis elokuussa 2011.

ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Energy Engineering

HÄKKINEN, JOUNI-JUHANI

Automation Design and Implementation of a Particle Counter System

Bachelor's Thesis

45 pages + 20 pages of appendices

Supervisor

Vesa Kankkunen, Senior Lecturer

Commissioned by

Eagle Filters Oy

August 2011

Keywords

automation, measurement, filtering, machine design, RD

This final thesis describes the course and the final results of the designing project of a measurement system commissioned by Eagle Filters Oy. The project consisted of both automation planning and software design.

Some of the initial parameters and instrument definitions of the measurement system were established by the start of the project. Some parameters and solutions were chosen during the project. Part of the task was to find and introduce both practical and appropriate technologies in order to ensure a cost efficient and useful final product.

The measurement system includes two parallel measurement lines. The lines have identical functionality; however, the lines are different by size and purpose. The large line is intended for measuring a complete filter element and the small line is intended for measuring a sample piece of the filter material.

The control system controls both measurement lines. The control system controls actuators and reads the measurement information. The user interface of the system provides a way to read, manipulate and save the measurement data and graphs.

The measurement system was implemented during July and August of 2011. The small line is already operational and the finishing of the large line will be completed in August of 2011 as planned.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO	9
2	EAGLE FILTES OY	10
3	MITTAUSJÄRJESTELMÄN MÄÄRITTELY	10
	3.1 Kaksi erillistä mittauslinjaa	11
	3.2 Euronormit EN 1822-3 ja FprEN 779	11
4	MITTAUKSEN TOIMINTAPERIAATE	12
	4.1 Painehäviö	12
	4.2 Partikkelien suodatuskyky	13
5	TOIMEKSIANNON KULKU	13
	5.1 Projektisuunnitelma	14
	5.2 Laite- ja ohjelmistokokonaisuuden valinta	14
	5.3 Testilaitteiston kokoaminen laboratorioon	15
	5.4 Ohjelmistotestaukset laboratoriolaitteistolla	15
	5.4.1 Ohjelmoitavan logiikkayksikön ohjelmointi	16
	5.4.2 Visual Basic -ohjelmointi	17
	5.5 MetOne-partikkelilaskurin kytkeminen järjestelmään	18
	5.6 Terminal-ohjelman hyödyntäminen	19
	5.7 Prototyypin arviointi	19
	5.8 Tuotantolaitteiston hankinta	19
	5.9 Ohjausyksikön kokoaminen ja ohjelmistojen siirto	20
	5.9.1 Siemens-ohjelman siirto	20
	5.9.2 Visual Basic -ohjelman siirto	21
	5.10 Järjestelmän rakennus tehtaalla	21
	5.11 Kanavien kytkentä, testaus ja viritys	22
	5.12 Ohjeiden ja dokumentaation laatiminen	23
	5.13 Raporttien mallipohjat	23
	5.14 Toimeksiantajan hyväksyntä	24

6 MITTAUSJÄRJESTELMÄN KUVAUS	24
6.1 Operointityöasema	25
6.2 RS-232-kaapeli ja liikennöinti-protokolla	26
6.3 Siemens Simatic S7-1200 ohjelmoitava logiikkayksikkö	27
6.4 Moottorikäytöt	27
6.5 Metone 2100B partikkelilaskuri	28
6.5.1 Toimintaperiaate	29
6.5.2 Puskurimuistin toiminta	30
6.5.3 KytKentä virtausjärjestelmään	31
6.6 Merkkiaineannostelu	31
6.7 PAINELÄHETTIMET DPT2500-R8 AZ	31
6.8 Tilavuusvirtausmittaus kuristuslaipan avulla	32
6.9 Venttiilit ja ilmaletkut	32
6.10 Kenttäkaapelointi, kytkentärima ja releet	32
6.11 Virtausputkistot	33
7 OHJAUSJÄRJESTELMÄN TOIMINTA PÄÄPIIRTEISSÄÄN	33
7.1 Järjestelmän osien kommunikointimekanismit	34
7.2 Toimintatilat	34
7.3 Parametrien sijainnit	35
7.4 Suodattimen yli tapahtuvan painehäviön mittaus	36
7.4.1 Painehäviömittausta säätelevät parametrit	36
7.4.2 Mittausajon eteneminen	37
7.5 Partikkelilaskenta	38
7.5.1 Partikkelilaskenta-ajoa säätelevät parametrit	38
7.5.2 Partikkelilaskenta-ajon eteneminen	39
7.6 Tapahtumakirjaus	41
7.7 Käyttöliittymä	41
7.8 Raportin automaattinen muodostaminen	42
7.9 Mittausten tulosten arkistointi ja varmuuskopiointi	42
8 YHTEENVETO	42
LÄHTEET	44

LIITTEET

- Liite 1. Mittauslinjan periaatekuva
- Liite 2. Rimaliitoskytkennät
- Liite 3. Logiikkayksikön liitinten kytkennät
- Liite 4. Logiikkayksikön IO-kanavat
- Liite 5. Venttiilien ohjausreleiden kytkennät
- Liite 6. Taajuusmuuttajien rimakytkennät
- Liite 7. Taajuusmuuttajien laitekytkennät
- Liite 8. Paine-lähettimien kenttäkytkennät
- Liite 9. RS-232-kaapelin pinnijärjestys
- Liite 10. Esimerkki LAD-ohjelmarivistä
- Liite 11. Logiikkaohjelman muistipaikat eli tagit
- Liite 12. Esimerkki Visual Basic -aliohjelmasta
- Liite 13. Ohjausjärjestelmän ohjelmiston periaatekuva
- Liite 14. Paine-eron mittausohjelman vuokaavio
- Liite 15. Partikkelilaskenta-ajon vuokaavio
- Liite 16. Käyttöliittymäesimerkki
- Liite 17. Esimerkkiraportti

Käytetyt lyhenteet ja termit

Activex

Ohjelmistokomponentti, joka tarjoaa liittymän OLE-rajapintaan.

ASCII

Tietokoneissa yleisesti käytössä oleva merkkijärjestelmä.

COM-portti

Sarjamoitoista tiedonsiirtoa käyttävä tietoliikenneportti.

DDE

Dynamic data exchange. Eräs sovellusten välinen tiedonsiirtorajapinta.

DIN-rima

Automaatiolaitteiden kytkennässä tyypillisesti käytettävä mekaanisen liitoksen alusta.

LAD-ohjelma

Tikapuu- eli relekaaviomuotoinen, tyypillisesti logiikkaohjauksessa käytettävä graafinen ohjelmointikieli.

Nominaalipiste

Virtausnopeus, jossa partikkelilaskenta tehdään. Suodatinmateriaalille ominainen materiaalikohtainen virtausnopeuden normaaliarvo.

OLE, (OLE-rajapinta)

Object linking and embedding. Eräs sovellusten välinen tiedonsiirtorajapinta.

OPC

OLE for process control. Erityisesti automaatiolaitteiden käyttöön tarkoitettu versio OLE-rajapinnasta. OPC-termi on tässä lopputyössä vain tämän määritelmän mukaisessa käytössä.

(OPC on myös optical particle counter eli optinen partikkelilaskuri. Lyhenne on yleisesti käytössä esimerkiksi euronormeissa).

OPC-serveri

Ohjelmisto, joka tarjoaa ja ylläpitää OLE-rajapintaa sovellusten käyttöön. OPC-serveri on terminä vakiintunut käyttöön tässä kirjoitusasussa.

PLC

Programmable logic controller. Ohjelmoitava logiikkayksikkö.

Pulssinleveysmodulaattori

Tasavirtajärjestelmässä käytettävä tehonsäädin.

RS-232

Sarjamoitoiseen tiedonsiirtoon käytetty tietoliikenneportti eli sarjaportti

RS-485

Sarjamoitoiseen tiedonsiirtoon käytetty tietoliikenneväylä eli sarjaväylä

VTT

Valtion tekninen tutkimuskeskus

ALKUSANAT

Tämän opinnäytetyön kuvaama järjestelmän suunnittelu ja ohjelmointi on pääosin tehty Kymenlaakson ammattikorkeakoulun automaatiolaboratorion tiloissa kesällä 2011. Laboratoriossa oli rauhallista ja mukavaa työskennellä. Kesä on ohjelmointityön kannalta hyvin suotuisa vuodenaika.

Esitän kiitokseni avusta sekä ohjaajalleni Vesa Kankkuselle sekä toimeksiantaja Eagle Filters Oy:n yhteyshenkilöille Juha Kariluodolle ja Hannu Kariluodolle.

Kiitos myös yliopettaja Merja Mäkelälle tuesta ja kannustuksesta.

Kotkassa 25.8.2011

Jouni-Juhani Häkkinen

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö käsittelee Eagle Filters Oy:lle touko - elokuussa 2011 rakennetun mittausjärjestelmän ohjausautomaation suunnittelu- ja kehitysprosessin kulkua. Opinnäytetyössä kuvataan sekä suunnittelun työvaiheet että valmiin järjestelmän automaatio- ja ohjausohjelmiston rakenne ja toiminnan pääpiirteet.

Toimeksiantaja Eagle Filters Oy määritteli automaatio- ja ohjelmistosuunnittelun päämäärän ja esitti lähtökohdaksi jo tehdyt laiteratkaisut. Muilta osin toimeksiannossa on tehtävänä selvittää ja valita tekniikat ja välineet, jolla mittausjärjestelmän toteutus on sekä kustannuksiltaan että käytettävyydeltään tarkoituksenmukainen ja järkevä. Mittausjärjestelmän keskeinen osa, partikkelilaskuri MetOne 2100B, oli hankittu jo aikaisemmin käytössä olleeseen järjestelmään, ja näin ollen se oli itsestään selvä lähtökohta järjestelmän muiden komponenttien valintaan. Kyseisen partikkelilaskurin liityntämenetelmä atk-sovelluksiin on jossakin määrin vanhanaikainen ja tämä määrää osaltaan ohjelmistonkehityksen ja laitemäärittelyn linjauksia.

Automaatio- ja ohjelmistosuunnittelun päämääränä on kokonaisuus, jossa operointityöasemaan on yhdistetty partikkelilaskurin lisäksi järjestelmän kenttälaitteita ohjaava ja mittausviestejä käsittelevä ohjausyksikkö. Tehtävänä on määritellä ja valita parhaiten soveltuva ohjausyksikkö jonka jälkeen valittuun ohjausyksikköön ohjelmoidaan mittausjärjestelmässä tarvittava toiminnallisuus.

Työasemassa olevan ohjelmiston tulee ohjata partikkelilaskuria, asettaa kenttälaiteiden parametrit sekä lukea ja käsitellä mittausten tulokset. Työssä pyritään järjestelmän käyttäjän kannalta yksinkertaiseen ja havainnolliseen lopputulokseen.

Keskeinen sisällön tässä suunnittelutoimeksiannossa muodostaa ohjausjärjestelmän toimintojen suunnittelun ja ohjelmoinnin lisäksi myös käyttöönotto. Valmis järjestelmä asennetaan sille tehdasrakennuksessa erikseen varattuun tilaan ja luovutetaan toimeksiantajalle paikalleen asennettuna ja käyttökuntoisena.

Automaatio- ja ohjausohjelman toiminta kuvataan pääpiirteissään tämä opinnäytetyön loppuosassa. Laadittujen ohjelmien yksityiskohtainen kuvausta ei tässä opinnäytetyössä aiheen laajuuden takia esitetä. Varsinaista ohjelmointityötä on vaikea kuvata sanal-

lisesti, joten myös ohjelmoinnin kuvauksessa käytetään yleistyksiä. Lukijan oletetaan olevan ainakin jossakin määrin perehtynyt teollisuusautomaation keskeisiin käsitteisiin, joten peruskäsitteet selvennetään vain niissä yhteyksissä joissa se on järjestelmän toiminnan ymmärtämisen kannalta tarpeellista.

2 EAGLE FILTES OY

Eagle Filtes Oy on Kotkassa toimiva teollisuusyritys, joka tuottaa ilmansuodattimia ja suodatinelementtejä erilaisiin käyttötarkoituksiin energiantuotantolaitoksille ja muulle teollisuudelle. Suurin osa tuotannosta menee vientiin. Tuotantokapasiteetti on 80 000 suodatinta vuodessa (1).

Päätuoteryhmänä Eagle Filters Oy:llä on kaasuturbiinilaitosten puhtaan ilman sisään-tulokanavien suodattimet. Muita tuoteryhmiä ovat yleisilmanvaihtoon ja pölynpoistoon tarkoitettut suodattimet. Eagle Filters Oy suunnittelee ja valmistaa suodattimia myös asiakkaan vaatimusten mukaisesti (1).

Suodatinmateriaalien valmistusmenetelmänä käytetään paperikonetekniikkaa. Suodatinmateriaalina käytetään sekä lasikuitua että muovikuitua. Eagle Filters Oy hankkii suodatinmateriaaleja useilta eri yhteistyökumppaneilta (1).

Kaasuturbiinin tuloilmasuodatinelementin suodatinpinta-ala on tyypillisesti 18 - 45 neliometriä. Yhdessä kaasuturbiinilaitoksessa voi olla jopa tuhansia suodatinelementtejä (2).

3 MITTAUSJÄRJESTELMÄN MÄÄRITTELY

Suodattimien tuotannon laadunvalvonnassa ja tuotekehityksessä tarvitaan tarkkaa tietoa sekä valmiiden suodatinelementtien että erilaisten suodatinmateriaalien ominaisuuksista. Eagle Filters Oy on poistanut käytöstä edellisen mittausjärjestelmän tietoteknisesti vanhentuneena. Aiemmin käytössä olleen mittausjärjestelmän dokumentaatiota ei ollut saatavissa tämän suunnittelutyön aikana, ja käytöstä poistettu vanha ohjausjärjestelmä on hävitetty (3). Mittausjärjestelyä määräävät euronormit FprEN 779 ja EN 1822-3.

3.1 Kaksi erillistä mittauslinjaa

Mittausjärjestelmä koostuu kahdesta erillisestä mittauslinjasta. Toimintaperiaate ja mittaustavat ovat samanlaiset molemmissa mittauslinjoissa. Mittauslinjat eroavat toisistaan sekä koon että tilavuusvirtojen osalta. Mittauslinjojen toimintaa voidaan kuvata samanlaisilla periaatekuvilla. Yleistetty periaatekuva on liitteessä 1. Mittauslinjat koostuvat moottorinkäyttöisestä puhaltimesta, virtauskanavasta sekä mittausjärjestelmän instrumenteista. Tutkittava suodatin asetetaan lähellä virtauskanavan loppupäätä. Virtauskanavassa liikkuva ilma tulee kanavaan suodattimen läpi.

Mittauslinja 1

Mittauslinja 1 eli pieni mittauslinja on tarkoitettu pääasiassa suodatinmateriaalin ominaisuuksien tutkimiseen. Materiaalin mittauksissa riittää pinta-alaltaan pienehkön suodatinmateriaalinäytteen käsittely, joten mittauslinjakin on kooltaan verraten pieni. Virtauskanavan pituus on noin 2 metriä ja puhaltimen moottorin teho 1,2 kW. Läpimitaltaan 0,20 metriä oleva ympyrän muotoinen suodatinmateriaalinäyte asetetaan mittauslinjassa olevaan näytepitimeen.

Mittauslinja 2

Mittauslinja 2 eli suuri mittauslinja on tarkoitettu valmiiden suodatinelementtien mittauksiin. Valmis suodatinelementti on ulkomitoiltaan 592 x 592 mm, ja suuren mittauslinjan virtauskanava on loppuosaltaan mitoitettu tämän mukaan. Virtauskanava on valmistettu osittain läpinäkyvästä pleksimuovista, joten mittauskanavasta kulkevasta ilmapirrasta voidaan tehdä myös visuaalisia havaintoja. Suuren mittauslinjan virtauskanavan kokonaispituus on noin 15 metriä. Mittauslinjan puhaltimen moottorin teho on 3 kW.

3.2 Euronormit EN 1822-3 ja FprEN 779

Mittausjärjestelmän suunnittelun perustana olivat puhtaan ilman mittauksiin liittyvät euronormit EN 1822-3 ja FprEN 779. Nämä euronormit määrittelevät mittauslaitteiston rakenteen ja mittauksen suorittamisen liittyviä standardikäytäntöjä. Eagle Filters Oy:n mittalaitteiston peruskonstruktio noudattaa standardin määrittämiä (4:10).

Mittausjärjestelmän ohjausjärjestelmästä ei euronormeissa esitetä erikseen määräyksiä tai menetelmiä. Normeissa viitataan tietokoneella tapahtuvaan tiedon keruuseen ja ohjaukseen vain yleisellä tasolla, eivätkä normit sido ohjausta mihinkään tiettyyn ratkaisuun.

Ohjausjärjestelmän suunnittelussa pyrittiin lopputulokseen, jossa mittaukseen liittyvien parametrien käytönaikainen muuttaminen on mahdollista. Esimerkkinä voidaan mainita mittaustoistojen lukumäärä, josta euronormi antaa oman määräyksensä. Mittausjärjestelmän käyttäjä voi valita tämän lukumäärän käyttöliittymästä ja samalla näin päättää, noudatetaanko kyseisellä mittauskerralla euronormia. Parametrien muutoksille ei käytön aikana kuitenkaan ole todennäköisesti muuta tarvetta kuin järjestelmän itsensä testaaminen. Euronormit antavat omat määrittämisensä myös mittausjärjestelmän säännönmukaiseen testaukseen (4:17).

Euronormit määrittelevät edellisen lisäksi myös mittauksesta laadittavan raportin sisällön sekä tuloksien laskentaan ja esitystapaan liittyviä yksityiskohtia. Käyttöliittymän suunnittelussa lopullisten raporttien sisältöä ja ulkonäköä ennakoitiin mittaushavaintojen järjestelyllä määrämuotoiseen tulostaulukkoon.

4 MITTAUKSEN TOIMINTAPERIAATE

Mittausjärjestelmällä on kaksi toisistaan eroavaa mittaustapaa. Toinen mittaustapa mittaa suodattimen aiheuttaman painehäviön läpäisevän virtausnopeuden funktiona ja toinen mittaustapa mittaa suodattimen suodatuskyvyn partikkelikoon funktiona.

Molemmat mittaustavat tuottavat olennaista numeerista tietoa, joiden perusteella voidaan myös piirtää suodattimen ominaisuuksien graafinen kuvaaja.

4.1 Painehäviö

Mittauksen aikana virtausnopeutta pienennetään suuremmasta virtauksesta alaspäin ja painehäviö mitataan mittaamalla suodattimen eri puolien paine-ero. Suodattimen tulo- puolella paine on luonnollisesti suurempi ja lähtöpuolella suodattimen virtausvastuksen vaikutuksesta pienempi.

Mittauksen alkaessa virtausnopeus nostetaan mittausparametrien mukaiseen maksimiarvoon, josta sitä hitaasti lasketaan. Paine-ero rekisteröidään virtausnopeuden saavutettua ennalta asetetut arvot eli mittauspisteet. Mittauspisteinä käytetään tasavälisiä virtausarvoja, esimerkkinä 4 cm/s ja 5 cm/s. Kiinteästi määritettyjen mittauspisteiden lisäksi painehäviö mitataan myös tutkittavalle suodatinmateriaalille ominaisessa nominaalipisteessä.

4.2 Partikkelien suodatuskyky

Suodatinmateriaalin tärkein ominaisuus on luonnollisestikin sen kyky suodattaa ei-toivotut partikkelit. Suodatuskykyä kuvaavana suurena pidetään euronormien mukaan erotusastetta, joka määrittää suodattimeen jääneiden partikkelien suhteena alkuperäiseen partikkelimäärään (4:20-22).

Partikkelien suodatuskyvyn mittaaminen tapahtuu lähettämällä ilmavirtaan vakiomäärä erikokoisia partikkeleita ja laskemalla partikkelien määrä ennen suodatinta ja suodattimen jälkeen. Tässä järjestelmässä käytössä oleva partikkelimittari pystyy erottelemaan 0,1 - 1 mikrometrin läpimittaiset partikkelit. Mitta-alue on jaettu kuuteen eri partikkelikokoluokkaan eli mittauskanavaan. Mittaus suoritetaan vakiovirtausnopeudessa, jonka määrää kyseisen suodatinmateriaalin nominaalipiste.

Käytännössä erotusaste mitataan annostelemalla tähän tarkoitukseen tarkoitettua nestemäistä merkkiainetta hyvin pieninä pisaramaisina partikkeleina ja tekemällä partikkelilaskenta vuoron perään suodattimen molemmilta puolilta. Mittaus toistetaan useita kertoja, joiden perusteella voidaan muodostaa tilastollisesti pätevä ominaiserotusastekuvaaja. Euronormi EN 1822-3 määrää minimitoistomääräksi viisi kertaa (4:20).

5 TOIMEKSIANNON KULKU

Eagle Filters Oy oli ottanut yhteyttä Kymenlaakson ammattikorkeakouluun talvella 2011 ja tiedustellut mahdollisuutta teettää mittausjärjestelmän ohjelmointiosuus opiskelijatyönä. Asiasta pidettiin suunnittelukokous lehtori Vesa Kankkusen, Eagle Filters Oy:n toimitusjohtaja Juha Kariluodon ja Jouni-Juhani Häkkisen kesken maaliskuussa 2011. Kokouksen perusteella opinnäytetyö päätettiin aloittaa toukokuun 2011 alusta.

5.1 Projektisuunnitelma

Työn suorituksesta esitettiin alustava suunnitelma maaliskuussa 2011. Tämä suunnitelma hyväksyttiin opinnäytetyösuunnitelmaksi 13.3.2011. Toimeksiantaja Eagle Filters Oy:ltä saatiin hyväksyntä samana päivänä.

Projektisuunnitelmassa toimeksianto jaettiin suurehkoihin osa-alueisiin, joita myöhemmin käytännön toteutuksen edetessä takia jonkin verran tarkennettiin. Projektisuunnitelman tarkoitus oli muodostaa yleiskuva toimeksiannon pääpiirteistä. Käytännön tason työsuunnitelma muodostui työn edetessä.

Projektisuunnitelmassa oli ohjausjärjestelmän ohjelmointiosuuden valmistumispäivämääräksi asetettu 30.6.2011 ja tämä myös toteutui.

5.2 Laite- ja ohjelmistokokonaisuuden valinta

Aiemmin Eagle Filters Oy:n käytössä olleen mittausjärjestelmän ohjaus oli toteutettu LabView-ohjelmistolla ja tätä pidettiin hyvänä vaihtoehtona myös uuden järjestelmän ohjelmistoksi. Toiseksi tutkittavaksi vaihtoehdoksi valittiin Siemens Simatic S7-1200 ohjelmoitavaan logiikkayksikköön ja PC-valvomo-ohjelmistoon perustuva järjestelmä. Teknistä ratkaisua ei toimeksiantajan puolesta katsottu niinkään oleelliseksi, kunhan mittaustulokset saadaan helposti käytettävän muotoon. Mittaustulosten muodolle asetettiin vaatimus, että tuloksia voidaan tarkastella ja käsitellä esimerkiksi Excelissä.

Tarjouksia laite- ja ohjelmistoratkaisuista pyydettiin LabView-ohjelmistojen valmistajalta National Instruments Oy:ltä, Siemensin paikalliselta edustajalta LSK Electrics Oy:ltä sekä logiikkayksiköiden PC-valvomo-ohjelmistotoimittaja Klinkmann Oy:ltä. Tarjouspyyntöjen lähettämisen jälkeen jouduttiin rakennettavan laitteen teknisiä vaatimuksia vielä muutamaaan otteeseen selventämään tarjousten esittäjille. National Instruments Oy:llä ei ollut valikoimassaan sopivaa taajuusmuuttajaa, joten tarjoukset eivät olleet täysin vertailukelpoisia.

Eagle Filters Oy teki päätöksen laitevalinnasta saatujen tarjousten perusteella (5)(6). Parhaaksi vaihtoehdoksi havaittiin Siemens S7-1200 -ohjelmoitavaan logiikkayksikköön perustuva järjestelmä. Logiikkayksikön valinnan perusteena voidaan pitää sen hyvää soveltuvuutta sekä tarvittaviin laiteohjauksiin että signaalitulojen käsittelyyn.

Logiikkayksikön nopeus lisää myös järjestelmän mittaustarkkuutta. Hinnaltaan Siemens S7-1200 -järjestelmä on kilpailukykyinen ja se osoittautui hieman LabView-vaihtoehtoa halvemmaksi. Molemmissa vaihtoehdoissa ohjelmistojen osuus hinnasta oli laitteiston osuutta suurempi. Logiikkayksikön tekninen kuvaus on kappaleessa 6.3.

5.3 Testilaitteiston kokoaminen laboratorioon

Tarjouspyyntöjen ja tarjousten käsittelyn aikana oli mahdollisuus rakentaa pienimuotoinen testiympäristö Kymenlaakson ammattikorkeakoulun automaatiolaboratorioon. Testiympäristö toteutettiin Kymenlaakson ammattikorkeakoulun omistamalla kurssikäyttöön tarkoitetuilla Siemens S7-1200 -laitteistolla ja ohjelmistoilla. Käytössä olevat laitteet ja ohjelmistot eivät olleet tyypiltään täysin samanlaisia kuin myöhemmin hankittavat varsinaisen tuotantokäytön laitteet ja ohjelmistot, mutta sopivat silti hyvin testaus- ja prototyypitarkoitukseen.

Testilaitteisto koottiin tasavirralla toimivaksi järjestelmäksi, jossa keskeiset signaali-kanavat yhdistettiin fyysisiin laitteisiin. Testilaitteistolla voitiin simuloida tulo- ja lähtökanavien toiminta melko joustavasti sillä logiikkayksikön kannalta kanaviin yhdistettyjen toimilaitteiden laadulla ei ole merkitystä.

Varsinaisen mittausjärjestelmän oleelliset komponentit olivat edustettuina eri tavoin. Moottorikäyttö ja puhallin oli toteutettu pienellä 12 voltin tuulettimella ja pulssinleveysmodulaattorilla. Painelähettimenä käytettiin yhtä jo lopullista mittausjärjestelmää varten hankituista laitteista. Järjestelmän virtausputkistona toimi pahvista taiteltu ja ilmastointiteipillä tiivistetty kartio. Käytetyllä tuulettimella ei ollut mahdollista saada aikaan kovin suuria paine-eroja, mutta painelähettimen asetuksia säätämällä saatiin paine-erosignaaliin riittävästi vastetta. Testitarkoituksissa vain signaalin muutoksen määrä ja suunta olivat tarpeellisia tietoja, mittausalueella tai absoluuttisilla paine-erotiedoilla ei ollut merkitystä.

5.4 Ohjelmistotestaukset laboratoriolaitteistolla

Testilaitteiston sähkömekaanisen kokoamisen jälkeen aloitettiin ohjelmiston suunnittelu ja varsinainen ohjelmointi. Järjestelmässä oli ohjelmoitavia elementtejä kahdessa erilaisessa ympäristössä. Ohjelmointiympäristöjä yhdistää yhteinen tiedonvaihtorajapinta.

Ohjelmointiympäristöt olivat Siemens-logiikkayksikön LAD-ohjelmointi ja Excel-käyttöliittymän Visual Basic -ohjelmointi. Ohjelmien keskinäinen tiedonvaihto ja kommunikaatio tapahtuu DDE-tekniikalla OPC-serveriohjelman (Dassidirect) kautta. Testilaitteisto oli vaatimattomista ominaisuuksistaan ja viimeistelemättömästä ulkoasustaan huolimatta ohjelmistonkehityksen kannalta hyvin arvokas. Ohjelmiston toiminnan reaaliaikaisten fyysisten ja sähköisten vasteiden seuraaminen ja analysointi nopeuttivat ohjelmistonkehitystä ja helpottivat ohjelmointivirheiden eliminointia.

Ohjelmiston kehitystä ja testausta tehtiin käytännössä koko kahden kuukauden tarkoitukseen varattu aika. Ohjelmistosta tehtiin alustavasti joitakin eri versioita joista muutamia ensimmäisiä hylättiin kokonaan ja toisista hyödynnettiin lopullisessa järjestelmässä vain osia. Ohjelmistokomponenttien testaukseen laadittiin joitakin vain testi-käyttöön tarkoitettuja rutiineita.

Toimivan peruskokonaisuuden ohjelmointiin ja testaukseen kului aikaa noin kuusi viikkoa. Tämän jälkeen perusratkaisuja ei enää oleellisesti muutettu. Perusversion pohjalle ohjelmoitiin varsinainen toiminnallisuus, käyttöliittymä sekä tulosten ja parametrien käsittelymekanismit. Lopullisen ohjelman toiminta on kuvattu kappaleessa 7.

5.4.1 Ohjelmoitavan logiikkayksikön ohjelmointi

Ohjelmoinnissa käytettiin Siemens Step 7 -ohjelmointiympäristön graafista LAD-ohjelmointikieltä (eli tikapuuohjelmointia). Tässä ohjelmointiympäristössä pienin toiminnallinen ohjelmayksikkö eli ohjelmarivi on nimeltään network. Esimerkki valmiin ohjelman yhdestä network-ohjelmarivistä on liitteessä 10.

Vakiintuneen ohjelmointitavan mukaisesti aluksi määriteltiin logiikkayksikön kanavat (input/output) sekä tarvittavat muistipaikat eli tagit. Tagien määrittämisessä kiinnitettiin erikseen huomiota lopulliseen käyttötilanteeseen jossa muistipaikkoja ohjataan Excel-sovelluksesta eikä logiikkayksikön ohjaukseen tarkoitettusta valvomo-ohjelmistosta kuten yleensä. Excel-ohjaus on tässä suhteessa yllättävän joustava, sillä useiden tagien muuttaminen samalla kertaa on verraten yksinkertainen toimenpide. Samalla kuitenkin kokonaisuus tulee huomattavasti monimutkaisemmaksi hallita, sillä päällekkäisten lu-

ku- ja kirjoitustoimenpiteiden käsittelyyn on luotava ohjelmalliset tarkistusrutiinit. Logiikkayksikön input/output-kanavat ja ulkoiset ohjausmuistipaikat on esitetty liitteessä 4. Tagien listaus on liitteessä 11.

Logiikkaohjelma saatiin varsin tiiviiksi. Lyhyen pääohjelman lisäksi ohjelma käsittää muutamia funktiorakenteita. Keskeisenä ajatuksena oli kerätä sekä mittauspisteiden parametrit sekä mittauksen tulokset taulukkomuotoiseen ohjelmointiojektiin (käytetyssä ohjelmointikielessä tämä on nimeltään ”array / data block”). Ohjelmointitekniikasta hieman mutkikas tiedon käsittelytapa osoittautui tehokkaasti toimivaksi ratkaisuksi. Tiiviillä ohjelmanrakennuksella pyrittiin ohjelmasyklin nopeaan suoritukseen, sillä ohjelmasyklin mahdollisimman lyhyt kiertoaika pienentää osaltaan mittauksien virhettä. Ohjelma saatiin toimimaan riittävän nopeasti, jotta latenssin aiheuttama virhe on mitätön verrattuna esimerkiksi painelähettimien virherajoihin.

5.4.2 Visual Basic -ohjelmointi

Microsoft Excel sisältää mahdollisuuden liittää Excel -työkirjaan Visual Basic -ohjelmointikielellä tehtyjä komentosarjoja eli makroja. Makrot ovat työkirjan ohjaus-elementeillä käytettäviä taustalla toimivia aliohjelmiä. Varsinaisesti tämän toiminnallisuuden nimi on Visual Basic for Applications, yleisesti lyhennettynä VBA (7). Excelin VBA-ohjelmointikieli on syntaksiltaan ja rakenteeltaan hyvin lähellä varsinaista Visual Basic -ohjelmointikieltä. Tämän lopputyön kontekstissa Visual Basic viittaa Excelin yhteydessä tapahtuvaan VBA-ohjelmointiin.

MetOne-partikkelimittarin ohjauksen lisäksi Visual Basic -ympäristössä toteutettiin logiikkayksikön parametrien ja tulosten käsittely. Logiikkayksikön muistipaikkojen luku- ja kirjoitustoiminnot ovat Visual Basicilla melko yksinkertaisia.

Logiikkayksikön jokseenkin rajoittuneet mahdollisuudet suorittaa taulukkomuotoisen tiedon järjestelyä voitiin kiertää siirtämällä järjestelyfunktio Visual Basicille. Tietojen järjestely voidaan suorittaa ennen ja jälkeen varsinaista paine-eron mittausrutiinia, joten tämä Visual Basic -funktio ei aiheuta logiikkayksikön hidastumista. Tämä kahden järjestelmän rinnakkainen prosessointi toi ohjelmaan sekä tehoa että joustavuutta.

Logiikkayksikön ohjelmointiympäristön päivitetystä versiossa on tehokkaammat funktiot myös taulukoiden käsittelyyn. Päivitetty versio tuli saataville kesken jo aloitetun ohjelmointityön ja sen käyttöä harkittiin. Uutta versiota ei kuitenkaan otettu käyttöön.

MetOne -partikkelimittarin ohjaus ohjelmoitiin kokonaisuudessaan Visual Basicilla. Partikkelimittarin ohjaus tapahtuu logiikkayksikön ohjauksen rinnalla erillisinä komentosarjoina. Esimerkki valmiin ohjelman erästä Visual Basic -aliohjelmasta on liitteessä 12.

Testiympäristön tarpeisiin rakennettiin vain yksinkertainen ja karkea käyttöliittymä Excelin laskentataulukon. Lopullinen käyttöliittymä viimeisteltiin valmiin järjestelmän operointityöasemalla.

5.5 MetOne-partikkelilaskurin kytkeminen järjestelmään

MetOne-partikkelilaskurin liityntä ohjausjärjestelmään osoittautui hieman työläemmäksi kuin ennakoita odotettiin. Alkuperäisenä ajatuksena oli ohjata partikkelimittaria logiikkayksikön kautta erillisellä Siemens RS-485-liityntäkortilla, mutta yhteyttä ei muodostunut minkäänlaisilla parametrien yhdistelmillä tai komentosarjoilla. RS-232-yhteys saatiin sen sijaan muodostumaan suoraan työasemaan kytkettynä. Tämäkin yhteys vaatii muodostuakseen parametrien hyvin tarkat asetukset sekä liikennöintinopeuden muutoksen yhteyden aikana.

Syyksi hankaluuksiin arveltiin olevan MetOne-partikkelilaskurin sisäisen pariston loppuun kulumisen ja siitä johtuvan muistin tyhjenemisen aina laitteen ollessa virratomassa tilassa. Yhteysongelmat saattavat korjaantua tulevaisuudessa MetOne-partikkelilaskurin kalibroinnin ja huollon jälkeen.

MetOne-partikkelilaskurin kytkentä työasemaan lukitsee laitteen oman käyttöpaneelin. Lukitus tapahtuu aina ohjaustyöaseman ollessa kytkettynä, joten ohjausjärjestelmän käytön jälkeen ei partikkelilaskuria voi ohjata manuaalisesti. Lukitus ei purkaudu pelkällä kaapelin irrottamisella, vaan manuaalista käyttöä varten laite täytyy käynnistää uudelleen kaapelin ollessa irrotettuna. Manuaalista käyttöä ei kuitenkaan tässä mitausjärjestelmässä tarvita.

5.6 Terminal-ohjelman hyödyntäminen

MetOne-partikkelilaskuriin saa työasemasta yhteyden millä hyvänsä COM-tietoliikenneporttia lukevalla ja kirjoittavalla pääte-emulaattoriohjelmalla. Työaseman ja MetOnen välinen tietoliikennetestaus tehtiin sekä Microsoftin Windows XP -käyttöjärjestelmään sisältyvällä Hyperterminal-ohjelmalla että erikseen asennetulla Terminal-pääte-emulaattoriohjelmalla. Terminal-pääte-emulaattori on ilmainen yhteysohjelmisto, jonka valmistaja on Bray (8).

Terminal-ohjelma havaittiin käyttökelpoiseksi ja sitä käytettiin tietoliikenneasetusten määrittelemiseen ja ohjelmistotestauksen aikaisena varakäyttöliittymänä. Häiriötilanteiden varalle myös valmiiseen ohjausjärjestelmään asennettiin Terminal-yhteys.

5.7 Prototyypin arviointi

Prototyyppi ja sen keskeinen toimintaperiaate esiteltiin toimeksiantajalle 10.6.2011. Laboratorion laitteistolla ja ohjelmistolla rakennettu prototyyppi osoittautui soveltuvan vaadittuun tarkoitukseen hyvin.

Demonstraatiossa ohjausjärjestelmä ohjasi sekä prototyypin laitteita että partikkelilaskuria ja keräsi niistä tiedot Excel-työkirjaan. Ohjelmankehitys oli tässä vaiheessa vielä keskeneräinen esimerkiksi käyttöliittymän osalta, mutta ohjelmiston runko ja keskeiset mittausrutiinit luku- ja kirjoitustoimintoineen olivat käyttövalmiina.

Prototyyppi ja sen mukana tehdyt laite- ja ohjelmistoratkaisut hyväksyttiin ja lopullinen mittausjärjestelmä päätettiin rakentaa prototyypin mukaiseksi. Prototyypin hyväksynnän jälkeen voitiin katsoa että ohjelmistonkehityksen ei enää tarvita laboratorioympäristöä ja ohjelmistot voidaan siirtää varsinaiseen tuotantojärjestelmään.

5.8 Tuotantolaitteiston hankinta

Tuotantolaitteiston konfiguraatio ja laitteistoratkaisut erosivat useilta osiltaan prototyypin vastaavista. Kuitenkin jo toimeksiannon määrityksissä oli esitetty, että valmiin laitteiston hinta pyritään pitämään kohtuullisen matalana. Järjestelmän toiminta pyrittiin suunnittelemaan alusta alkaen mahdollisimman pitkälle yleisten vakiokomponenttien avulla. Tuotantolaitteisto voitiinkin toteuttaa samantyyppisillä perustason teolli-

suusautomaatiolaitteilla joita prototyypissäkin oli käytetty. Monikanavaista IO-yksikköä lukuun ottamatta hankitut laitteet ja perusohjelmat olivat Siemensin kampanjahintaisia ”aloituspaketin” tuotteita.

Prototyypin hyväksynnän jälkeen määritettiin mittausjärjestelmän lopullinen laite- ja ohjelmistokokoonpano ja niitä vastaavat tilaukset lähetettiin toimittajille. Toimitusaika osoittautui yhden liityntäkortin osalta pariksi viikoksi, mutta muuten tarvittavat komponentit ja ohjelmistot olivat saatavissa muutamassa päivässä. Logiikkayksikön ja siihen liittyvien komponenttien lisäksi ohjausjärjestelmään hankittiin Windows XP -käyttöjärjestelmällä varustettu operointityöasema.

5.9 Ohjausyksikön kokoaminen ja ohjelmistojen siirto

Ohjelmoitavan logiikkayksikön komponentit toimitettiin tilausten mukaisesti ja saatiin asennettavaksi hieman eri aikoina. Komponenteista koottiin lopullinen ohjausyksikkö laboratoriossa yhdelle DIN-rimalle. Keskusyksiköstä ja liityntäkortista langoitettiin tarvittavat ohjauskanavat riviliittimille ja releille. Painelähettimien jännitteensyöttö ja signaalikanavat yhdistettiin samalle rimalle.

Operointityöasemaan asennettiin tarvittavat kehitysohjelmistot. Näistä tarkemmin kappaleessa 6.1. Laboratoriotyöasemalla luodut ohjausohjelmat ja käyttöparametrit siirrettiin operointityöasemalle.

5.9.1 Siemens-ohjelman siirto

Aiemman kokemuksen pohjalta Siemens S7-1200 -ohjelmiston siirto yksiköstä toiseen tiedettiin mutkikkaaksi ja virheelliseksi. Siirtoa varten konfiguroitiin erillinen siirtoympäristö, johon oli luotu sekä luovuttavan että vastaanottavan logiikkayksikkötyypin ohjelmisto- ja teknologia-objektit. Siirto tehtiin kopioimalla objektit ja ohjelmayksiköt yksitellen niin, että ennakkoon tiedetyt muistipaikkaeroavaisuudet muutettiin kopioinnin ajaksi osoittamaan määrittelemätöntä muistiavaruutta.

Molempien logiikkayksiköiden IP-osoitteet olivat samat. Tästä johtuen saatiin siirron toimenpiteiden aikana runsaasti virheilmoituksia. Siirto onnistui virheilmoituksista huolimatta ja ohjelma kaikkine osineen oli siirron jälkeen käyttövalmis toisessa yksikössä vain pienien muutoksien jälkeen.

5.9.2 Visual Basic -ohjelman siirto

Visual Basic -ohjelman kehitysympäristönä oli alusta saakka pidetty Excel 2003 -muotoista työkirjaa, vaikka käyttöympäristönä oli sekä laboratoriotyöasemassa että operointityöasemassa Excel 2007 -versio. Tällä pyrittiin varmistamaan kaikkien ohjelmakomponenttien yhteensopivuus ja virheetön toiminta. Excel 2007 -ympäristö rajoittaa tietoturvasyistä jonkin verran enemmän makrokomentojen suoritusta ja saattaa esittää käyttäjälle suoritusten hyväksymispyyntöjä.

Excel-työkirjan siirto onnistui suoraan USB-muistitikulta tallettamalla. Ohjelma toimi siirron jälkeen virheettömästi lähes ilman muutoksia, vain RS-232-ohjaukseen tarkoitettu ActiveX-ohjausobjekti täytyi määritellä uudelleen.

5.10 Järjestelmän rakennus tehtaalla

Mittausjärjestelmä rakennettiin sille erikseen varattuun tilaan tehdasrakennuksen pohjakerrokseen. Suuren mittauslinjan vaatima pitkä virtausputkisto kulkee osittain väliseinän erottamassa tilassa, jossa myös suuren linjan moottori ja puhallin sijaitsevat. Moottorikäytöstä lähtevää melua voidaan näin pienentää. Mitattavan suodatinelementin asennuspaikka on huoneessa vapaassa työskentelytilassa.

Operointityöasemalle ja partikkelimittarille on varattu oma työpöytä. Pieni mittauslinja on asennettu työpöydän vierelle ja osittain myös työpöydän rakenteisiin. Mitattavalle suodatinmateriaalikappaleelle on kehikko työpöydässä. Ohjausyksikkö on asennettu koteloon seinälle työpöydän päälle.

Sähköurakoitsija teki mittausjärjestelmän tarvitsemat sähköasennukset sekä taajuusmuuttajien verkkovirtakytkennät valmiiksi ennen varsinaisen ohjausjärjestelmän asennusta. Ohjausjärjestelmä voitiin näin ollen siirtää tuotantopaikalle logiikkayksikkö releineen valmiiksi kytkentärimalle koottuna ja langoitettuna.

Kytkentärimasta toimilaitteille ja painelähettimille kulkeva kenttäkaapelointi tehtiin viimeiseksi. Kenttäkaapeleissa kulkevat signaalit sekä painelähettimien käyttöjännite ovat suojajännitteisiä, joten asennuksen suorittaminen oli mahdollista ilman sähkömiehen pätevyyttä.

5.11 Kanavien kytkentä, testaus ja viritys

Järjestelmän asennuksen jälkeen aloitettiin toiminnan testaus ja parametrien sovitus. Järjestelmän toimilaitteet liitettiin ohjausohjelmiston kanaviin ja kanavia testattiin erilaisilla signaaleilla.

Taajuusmuuttajat liitettiin ohjauskanaviin ja moottoreita käytettiin muutamilla eri kierrosluvuilla. Moottorien liitostapa on esitetty liitteessä 7.

Painelähtimien signaalit liitettiin tulokanaviin ja niiden toiminta testattiin. Painelähtinyksiköissä on itsessään painike nollapisteen asetusta varten, jonka avulla asetettiin ensin signaalin nollapiste. Tämän jälkeen tuotettiin ilmavirtaa ajamalla puhallinta manuaalisesti ja tarkkailtiin signaalin vastetta.

Venttiilien ohjausreleet kytkettiin venttiileihin ja niitä testattiin sekä manuaalisesti että ohjelmallisesti. Venttiilit toimivat oikein.

Ohjausjärjestelmässä sekä ohjaus- että mittaussignaalit ovat 0...10 voltin analogisia jänniteviestejä. Logiikkayksikkö tekee muunnoksen jännitetasosta kokonaislukuarvoksi liitteessä 4 olevan taulukon mukaisesti. Logiikkayksiköltä saatu kokonaislukuarvo on edelleen ohjelmallisesti muutettava SI-järjestelmän arvoksi. Järjestelmässä käytettävät SI-järjestelmän mukaiset suureet ovat paine-ero, tilavuusvirta ja virtausnopeus.

VTT on kalibroinut molempien linjojen kuristuslaipat ja määrittänyt niille ominaisfunktiot ja ominaiskäyrät (9). Ominaisfunktiot käyttävät argumenttinaan paine-eroa ja antavat tuloksen tilavuusvirtauksen.

Moottorin kierroslukua kuvaavan kokonaislukuarvon kytkeminen vastaavaan virtausnopeuteen tapahtui suorittamalla kalibrointiajo. Kalibrointiajossa moottorin kierroslukua ohjattiin koko sen toiminta-alueella muuttamalla ohjausta askeleittain hyvin hitaasti ja kirjaamalla painelähtimien vastaava arvo. Tämä tapahtui tarkoitusta varten erikseen luodulla testiohjelmalla. Saadusta suuresta tulostaulukosta muodostettiin kuvaaja, josta Excelin sisäisellä toiminnolla laskettiin ohjauksen yhteyttä virtausnopeuteen kuvaava funktio. Tämä funktio yhdistettiin kuristuslaipan ominaiskäyrästä lasket-

tuun funktioon ja näin saatu laskentakaava liitettiin ohjausjärjestelmässä sille varattuun aliohjelmaan.

Vastaavan tyyppinen kalibrointiajo suoritettiin myös paine-erolähettimien signaalien käsittelyyn. Kalibrointi tässä yhteydessä oli luonteeltaan enemmänkin tarkistusluonteinen, sillä paine-erolähettimien signaalit olivat täysin lineaarisia ja niille pystyttiin määrittelemään yksinkertaiset ja paikkansa pitävät muuntofunktiot jo muutaman havaintopisteen perusteella. Muuntofunktioiden avulla painelähettimien jännitesignaalit muutettiin tarvittaviksi SI-yksiköiksi. Muuntofunktiot sijoitettiin Excel-työkirjan funktiokirjastoon.

5.12 Ohjeiden ja dokumentaation laatiminen

Mittausjärjestelmän käyttö pyrittiin tekemään helppokäyttöiseksi. Mittausajojen suorittaminen ei vaadi kovinkaan paljon syöttötietoja käyttäjältä. Varsinaista rutiinikäyttöä varten laadittiin käyttäjälle muistin tueksi yhden A4-sivun ohje.

Excel-käyttöliittymän kautta syötettävien parametrien selitykset ja käyttö on koottu erilliseen ohjeeseen. Tämä ohje on lisätty käyttöliittymään erillisenä ohjevälilehtenä. Näiden parametrien asettamista tai muutoksia ei kuitenkaan käytännön mittauksissa juurikaan tarvita.

Operointityöaseman ohjelmistosta ja asetuksista laadittiin lyhyt yhteenveto sekä joitakin niihin liittyviä yleisiä ohjeita. Työasemassa asetettiin taustakuvaksi muutaman rivin pikaohje.

Laitteiston komponenttien, kuten partikkelimittarin ja taajuusmuuttajien ohjekirjat ja ohjausyksikön kytkentäkaaviot arkistoitiin sähköisesti ja sen lisäksi tulostettiin paperikopioina mittaushuoneeseen sijoitettuun kansioon. Kenttälaitteiden kaapelointikuvat ja muut arkistoidut piirustukset tulostettiin niin ikään paperikopioiksi ja liitettiin kansioon.

5.13 Raporttien mallipohjat

Excel-käyttöliittymässä mittausjärjestelmästä kerätty tieto on alustavasti käsitelty ja järjestetty määrämuotoiseksi taulukoksi. Näistä voidaan joko muodostaa ohjelmalli-

sesti vakioasuotoinen raportti kuvaajineen tai siirtää tietoja käyttäjän muokkaamaan raporttiin tai muuhun käyttöön. Käyttöliittymään muodostettiin raporttien mallipohjat, joihin tietoja voidaan siirtää tarkoitukseen luotujen apuohjelmien avulla.

Raportin mallipohja toimii myös reaaliaikaisena näkymänä mittauksen etenemiseen. Kuvaaja muodostuu mallipohjaan mittauksen edetessä ja mittauspisteiden havaintoarvot kerääntyvät mallipohjan taulukkoon. Näin voidaan mittauksen vielä kestäessä tehdä päätelmiä mittauksen onnistumisesta.

5.14 Toimeksiantajan hyväksyntä

Ohjausjärjestelmän asennuksen ja käyttöönoton aikana mittauslinjojen rakenteellisten osien asennus oli vielä osittain kesken. Pieni mittauslinja saatiin pääosiltaan toimintakuntoiseksi heinä-elokuun 2011 vaihteessa, jonka yhteydessä ohjausjärjestelmän toimunnoista suoritettiin katselmointi. Ohjausjärjestelmän toiminta täytti sille esitetyt vaatimukset. Katselmoinnin yhteydessä Eagle Filters Oy vastaanotti ja hyväksyi ohjausjärjestelmän.

Katselmoinnin jälkeen jatkettiin suuren mittauslinjan käyttöönottoa. Suuren mittauslinjan mekaaninen asennus muutaman yksityiskohdan osalta vielä viimeistelemättä, mutta mittaus tuloksia on jo saatu. Linjalla mitattujen suodatinelementtien painehäviöt ovat vastanneet referenssiarvoja hyvin (2).

6 MITTAUSJÄRJESTELMÄN KUVAUS

Varsinainen tuotantokäytössä oleva mittausjärjestelmä koostuu kahdesta erillisestä mittauslinjasta. Mittauslinjoilla on hieman eri käyttötarkoitukset, kuten kappaleessa 3 on kuvattu.

Mittauslinjoilla on erilliset virtausjärjestelmät (moottori, puhallin, merkkiaineannostelu ja virtausputkisto) sekä erilliset paine-eromittarit. Yhteisiä osia mittalaitteilla ovat operointityöasema, ohjausyksikkö sekä partikkelilaskuri MetOne. Partikkelilaskuri on kytketty mittauslinjoihin linjakohtaisilla venttiileillä ja putkistoilla.

Periaatteessa on mahdollista suorittaa joitakin mittauksia molemmilla mittauslinjoilla samanaikaisesti. Ohjelmisto on kuitenkin alusta alkaen suunniteltu niin, että käytössä on vain yksi mittauslinja kerrallaan.

6.1 Operointityöasema

Mittausjärjestelmän operointityöasemaksi hankittiin normaali toimistokäyttöön tarkoitettu PC-työasema. Operointityöasema jää yksittäiseksi, verkottamattomaksi työasemaksi, jonka ainoa käyttötarkoitus on kerätä mittaustuloksia ja toimia mittausjärjestelmän ohjauksen käyttöliittymänä. Työaseman käyttöjärjestelmäksi valittiin Microsoft Windows XP, koska tämän käyttöjärjestelmän tiedettiin olevan yhteensopiva järjestelmässä käytettyjen automaatiosovellusten kanssa. Myös uudempia käyttöjärjestelmiä harkittiin, mutta niiden vakaasta toiminnasta ei ollut käytännön kokemusta.

Työasemaan asennettiin kiinteä IP-osoite samaan osoitevaruuteen kuin logiikkayksikön IP-osoite. Muita tietoliikenneasetuksia ei muutettu käsin. Asennetut ohjelmistot muuttivat asennuksen aikana työaseman asetuksia omien tarpeidensa mukaisesti sekä asensivat joiltakin osilta tarpeettomia apuohjelmia ja ohjelmakomponentteja. Näitä ei kuitenkaan poistettu, sillä pyrkimyksenä oli pysyä mahdollisimmin pitkälle oletusasennusten mukaisessa konfiguraatiossa.

Työasemaan asennettiin Microsoft Office 2007 -toimisto-ohjelmisto mukautettuna asennuksena, jolloin työasemaan asentuivat myös tarvittavat Visual Basic – kehitystyökalut. Office 2007 -ohjelmisto on laboratoriotyöasemasta poiketen suomenkielinen. Tämä ei kuitenkaan aiheuttanut ongelmia.

Siemensin logiikkayksikön mukana toimitetulta ohjelmistopaketalta asennettiin Total Integrated Automation Portal V10.5 Basic (tunnetaan lyhenteellä TIA). Toimituksessa oli mukana myös TIA:n uunituore versio (V11.0 Basic) mutta sitä ei asennettu. Tähän oli syynä laitetoimittajalta saatu tieto siitä, että versioiden välillä saattaa olla joitakin eroavaisuuksia, jotka estävät ohjelmiston suoran kääntämisen ja siis saattavat vaatia ohjelmistokonvertointia. Koska toimivaa logiikkaohjausohjelmaa ei haluttu millään lailla muuttaa, pysyttiin aiemmassa versiossa.

Valvomo-ohjelmistoksi asennettiin Intouch Wonderware 10.5. Ohjelmiston toimituksen mukana oli erillisillä asennusmedioilla valikoima OPC-servereitä, valvomo-ohjelmiston kehitysympäristö, sovelluksen ajoympäristö ja lisenssiohjelmisto. Kaikki Intouch-ohjelmistot asennettiin. OPC-servereistä asennettiin tarvittava Siemensin versio, tarkemmalta versioltaan Arcserve DAserver Siplus 2.0 (lyhennetään Dassidirect). Dassidirect oli versioltaan uudempi kuin laboratorion kehitysympäristössä, mutta tarvittavien taustaprosessien osalta täysin yhteensopiva. Varsinaista Intouch-kehitysympäristöä ei ohjausjärjestelmässä käytetä lainkaan vaan se ohitetaan Excel-ohjauksella.

RS232-portin ohjaukseen käytettävä Microsoft Communications Control 6.0 (MSComm) ei tarvitse varsinaista asennusta, ainoastaan ajuritiedoston kopioimisen ja rekisteröimisen. Nämä toimenpiteet tehtiin ja lisäksi asennettiin Microsoft Visual Basic -ajotiedoista MSComm-ohjelmaa tukeva versio (VB5.0 Runtime environment).

Operointityöasemaan asennettiin myös Terminal-pääte-emulaattoriohjelma. MetOne-partikkelilaskuria voi mahdollisen häiriötilanteen sattuessa ohjata tätä kautta manuaalisesti. Tämä on tarpeen esimerkiksi tilanteessa, jossa varsinaisen ohjausohjelmiston virhetilanteen johdosta partikkelilaskuri jää virheelliseen toimintatilaan.

Operointityöasemalle luotiin yksinkertainen hakemistorakenne, jonka eri alikansioihin voidaan tallettaa niin kehitysversioiden välitalletukset kuin lopullisen ohjelman ajotiedostot. Raporteille, ohjeille ja ohjekirjoille luotiin myös omat alihakemistot.

6.2 RS-232-kaapeli ja liikennöinti-protokolla

MetOne-partikkelilaskurin kytkentä työasemaan tapahtuu RS-232-kaapelin avulla (10:7). Kaapelin pinnijärjestys on valmistajan määrittelemä, ja dokumentaatiosta selvisi kytkentä 25-napaiseen PC-liittimeen. Prototyypin rakentamisen yhteydessä määritettiin kytkentä 9-napaiseen liittimeen. Kaapeli valmistettiin tätä määritystä vastaavaksi. Pinnijärjestys on kuvattu liitteessä 9.

Syynä RS-232-liitynnän valintaan nopeamman RS-485-yhteyden sijaan on RS-485-yhteyden muodostamisessa koetut ongelmat. Yhteyttä logiikkayksiköltä mittalaitteelle ei saatu lainkaan muodostettua. Tämän takia käytettiin suoraan työasemaan kytkettyä

RS-232-liityntää, jolla ohjaus toimii täysin RS-485-liityntää vastaavasti mutta jonkin verran hitaammin.

RS-232-kanavan liikennöinti tapahtuu valmistajan määrittelemällä ASCII-merkkejä käyttävällä komentokielellä. Liikennöinnin asetukset asetettiin valmistajan ohjekirjan mukaan (10:8-9). Käytännössä kuitenkin havaittiin, että toimiva liikennöintiyhteys muodostuu vasta, kun liikennöintinopeutta muutetaan kertaalleen yhteyden aikana. Tämä verraten erikoinen virhetoiminto johtunee siitä, että partikkelilaskurin sisäinen paristo on tyhjentynyt ja yhteysasetukset palaavat joka käynnistyksellä alkuarvoihinsa. Liikennöintiyhteyden varmistamiseksi luotiin erillinen Visual Basic -rutiini, joka hoi-taa taustalla tarvittavan yhteyden kaksinkertaisen alustuksen.

6.3 Siemens Simatic S7-1200 ohjelmoitava logiikkayksikkö

Logiikkayksiköksi valittiin Siemens Simatic S7-1200 -sarjan keskusyksikkö 1214C/DC/DC/RLY (11). Keskusyksikössä itsessään on 10 digitaalista relelähtöä sekä kaksi analogista viestitulokanavaa. Keskusyksikön analogiset tulot kuitenkin jätettiin käyttämättä, sillä viestituloja tarvittiin neljä. Siemensin lisälaittevalikoimasta hankittiin analogikanavien käyttöön viestimoduuli S7-1234, jolla saatiin käyttöön juuri tarvittava määrä analogisia lähtö- ja tulokanavia. Viestimoduulin ja keskusyksikön analogikanavien resoluutio on erilainen, joten pelkän viestimoduulin käyttämisellä on etuna kaikkien käytettävien kanavien yhdenmukaisuus.

Logiikkayksikön jännitelähteeksi hankittiin Siemens Simatic -sarjaan kuuluva 24 voltin yksikkö PM1207, jota käytettiin myös venttiileiden ohjauspiirien suojareleiden, painelähtimien ja taajuusmuuttajien ohjausviestien jännitelähteenä. Releiden ja painelähtimien tehontarve on alle yksi watti laitetta kohti joten PM1207-yksikön teho riittää hyvin. PM1207-yksikön huipputeho on noin 60 VA.

6.4 Moottorikäytöt

Sekä pienen että suuren linjan ilmavirran yhteydessä käytetään tässä yhteydessä termiä ”puhallin”, vaikka tämä ei täsmälleen pidäkään paikkaansa Pienen linjan ilmavirtauksen tuotto tapahtuu käytännössä virtauslinjan loppupäässä, mutta laitteiston toiminnan kannalta tämä on yhdentekevää.

Mittauslinjojen ilmavirta tuotetaan taajuusmuuttajaohjatuilla sähkömoottorikäyttöisillä puhaltimilla. Taajuusmuuttajia ohjataan logiikkayksiköltä 0 ... 10 voltin ohjaussignaaleilla. Taajuusmuuttajat säätävät ohjauksensa mukaan niihin kytkettyjen moottorien kierroslukua.

Eagle Filters Oy:llä oli entuudestaan käytössä Siemens Micromaster taajuusmuuttaja, jolla ohjataan suuren mittauslinjan kolmivaihemoottoria. Tämä lisäksi hankittiin normaalilla verkkovirralla toimiva taajuusmuuttaja Siemens Simatic G110, joka asennettiin ohjaamaan pienen laitteiston yksivaihemoottoria.

Suuren linjan moottorin teho on 3 kW ja pienen linjan moottorin teho on 1,2 kW. Suuren linjan puhallin on erillinen, koteloitu puhallinsiivistö. Pienen linjan puhaltimena on Puzer-keskuspölynimurin modifioitu keskusyksikkö, joka pienen kokonsa perustella soveltuu hyvin testilinjan puhaltimeksi. Puzer-imurin keskusyksiköstä purettiin laitteen oma ohjauselektroniikka ja taajuusmuuttaja kytkettiin suoraan moottoriin.. Suora napoihin kytkentä on välttämätön, sillä imurissa oleva pehmökäynnistysjärjestelmä estää taajuusmuuttajan ohjauksen imurin oman ohjauspiirin läpi. Puzerin valmistaja ei ymmärrettävästi toimita ohjauselektroniikan kaavioita (12). Taajuusmuuttajien ohjauskytkennät on kuvattu liitteessä 6 (13).

6.5 Metone 2100B partikkelilaskuri

Mittausjärjestelmän varsinaisen ydin on tarkka partikkelilaskuri MetOne 2100B. Partikkelilaskuri laskee partikkelien määrän kuudessa eri kokoluokassa välillä 0,1 – 1,0 mikrometriä. Kokoluokka 0,1 mikrometriä on hyvin tarkka ja tällaiseen erottelutarkkuuteen pystyvät laitteet ovat hankintahinnaltaan kymmeniä tuhansia euroja. Eagle Filters Oy on hankkinut tämän laitteen 1990-luvulla. Kyseessä on verraten suuri investointi joten laitetta on tarkoituksenmukaista käyttää edelleen.

Kuten muutkin mittalaitteet, on partikkelilaskurikin kalibroitava. Kalibroitua ei kuitenkaan vielä tehty mittausjärjestelmän käyttöönoton yhteydessä vaan se jäi myöhemmäksi. Kalibrointi ja huolto tapahtuvat partikkelilaskurin Yhdysvaltalaisen valmistajan Suomen edustajan toimesta.

MetOne 2100B -partikkelilaskuri on tarkoitettu FrpEN 779-normin mukaisiin puhtaan ilman mittauksiin (14:23-25). Liian suuret partikkelikonsentraatiot aiheuttavat mittaus tulosten vääristymistä ja laskentayksikön likaantumista. Laskuri ilmaisee merkkivallolla mikäli mitattavassa ilmassa on liikaa epäpuhtauksia. Eagle Filters Oy:n mittauslinjojen ilmanottopäihin on asennettu suodatanelementit ja mittausjärjestelmässä kulkeva ilma on huoneilmaa puhtaampaa

MetOne 2100B -partikkelilaskurin valmistaja Pacific Scientific Instruments on yrityskauppojen seurauksena lakannut olemasta omana itsenäisenä yrityksenään. MetOne-tuotemerkin markkinointia ja teknistä tukea jatkaa Hach Company Ltd (15).

6.5.1 Toimintaperiaate

Partikkelilaskurin toiminta perustuu laskurin mittausyksikölle kulkevan ilmavirtauksen sisältämien erikokoisten partikkelien erotteluun lasersäteeseen perustuvalla ilmaisimella. Ilmavirtauksen saa aikaan laskurin sisäinen ilmapumppu, joka imee ilmaa anturiletkun kautta ilmaisimelle, josta ilmavirta poistuu laitteen takaosan kautta ulos. Partikkelilaskennan kannalta on oleellista, että ilmavirtaus on edustava näyte mitattavasta ilmasta, joten laskenta on aina aloitettava niin sanotulla huuhtelulla. Tämä tarkoittaa sitä, että laitteen läpi imetään tietty määrä ilmaa ennen varsinaista mittausta. Huuhtelulla varmistetaan, että imuletkuissa ja laitteessa itsessään oleva edellisen mittauksen jäännösilma poistuu.

Käytännössä partikkelilaskuri siis imee ilmaa anturiletkun kautta mittausyksikölle ja laskee ilmavirrassa olevat partikkelit. Ilmavirtauksen määrä on vakio, yksi kuutiojalka minuutissa (laite on valmistettu USA:ssa, josta johtuu SI-järjestelmään kuulumaton suure. Yksi kuutiojalka on noin $28 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$). Euronormi FrpEN 779 asettaa ilmavirralle tietyt raja-arvot joiden sisällä laskenta tapahtuu (14:13). Rakennetun mittausjärjestelmän tarpeisiin tarkka tilavuusvirta sinänsä ei ole oleellinen tieto, koska mittauksia verrataan toisiinsa eikä absoluuttista partikkelikonsentraatiota tarvita. (Laskurilla on myös muita käyttötapoja, joissa tilavuusvirran on oltava tarkka ja laskurissa olevan hienosäätömahdollisuuden avulla tilavuusvirtaa voidaankin tarvittaessa säätää. Tässä lopputyössä laskurin muut käyttötavat sivuutetaan).

Laskuri laskee partikkeleita joko ennalta säädetyn mittausjakson ajan tai manuaalisella käynnistys/pysäytys -käyttötavalla. Mitatut partikkelimäärät näytetään laitteen omassa LED-näytössä ja tallennetaan puskurimuistiin, josta ne voidaan myöhemmin lukea. Partikkelilaskuria voidaan ohjata ja puskuria lukea myös tietokoneliitännän kautta. Laskurissa itsessään oleva tulostin on poistettu käytöstä.

Laskurin laskentakapasiteetilla on tietty yläraja, jonka jälkeen laskennan tulos ei ole enää luotettava. Tätä rajaa kutsutaan maksimipartikkelimääräksi. Mittausyksikön lasertoiminen mittapää käyttää tietyn latenssiajan (nanosekunteja) mittauksia kohti, ja mikäli partikkeleita on liikaa, saattaa osa partikkeleista jäädä havaitsematta. Laskuri ilmoittaa liian suuresta partikkelimäärästä merkkivalolla. Myös partikkelilaskennan ohjausjärjestelmän ohjelmistoon on tehty liian suuren partikkelimäärän havaitseva hälytysrutiini.

6.5.2 Puskurimuistin toiminta

Partikkelilaskurin puskurimuistiin tallentuu yhdestä laskentakerrasta yksi määrämittainen ja määrämuotoinen rivi. Rivillä on laskurin sisäisen kellon mukainen päivämäärä ja kellonaika, partikkelikokojen mukaisesti järjestetyt laskentatulokset sekä muutamia käyttämättömiä kenttiä. Käyttämättömissä kentissä on tilaa erilaisten antureiden mittaustiedoille, joita Eagle Filters Oy:n laskurissa ei ole hyödynnetty. Puskurimuistiin tallentuva mittaustieto lyhenee kuuden merkin mittaiseksi (sadat tuhannet), vaikka laitteen itsensä mittauskapasiteetti on seitsemän merkin mittainen (miljoonat). Mikäli mittauksen lukuarvo on enemmän kuin yksi miljoona, tallentuu puskurimuistiin merkikijono 999999. Tämä rajoittaa jossakin määrin automatisoidun mittaustapahtuman parametrien määrittelyä.

Puskurimuistin kapasiteetti on 500 riviä joka siis tarkoittaa samaa määrää talletettuja mittaustietoja. Puskurimuistia purettaessa laskuri lähettää vanhimman talletetun tietorivin. Puskurimuistista lähetetyt rivit tyhjennetään, kuitenkin niin, että viimeisin luettu rivi voidaan lukea uudelleen. Tyhjää puskurimuistia luettaessa saadaan vastaukseksi vain ohjausmerkki.

6.5.3 KytKentä virtausjärjestelmään

Mittausjärjestelmässä mitataan kahden eri mittauslinjan partikkelimääriä. Molempien mittauslinjojen partikkelimäärät mitataan sekä ennen suodatinta että suodattimen jälkeen. Partikkelilaskurissa on kuitenkin itsessään vain yksi sisääntulo, joten ilmavirtauksen johtaminen partikkelilaskurille on toteutettava ulkoisilla venttiileillä. Venttiilien sijoitus selviää havainnekuvasta liitteessä 1. Mittauksen aikana ohjausjärjestelmä avaa kyseisen mittauslinjan sen hetkisen mittaustilanteen mukaiset venttiilit ja johtaa huuhtelu- ja mittaushilman partikkelilaskurille.

6.6 Merkkiaineannostelu

Mittausjärjestelmään syötetään merkkiainetta, jonka partikkelimäärät lasketaan ennen ja jälkeen suodattimen. Nestemäinen merkkiaine hajotetaan paineilmalla jolloin siitä muodostuu hyvin hienojakoisia pisaroita eli aerosolia. Pisarot kulkevat ilmavirran mukana suodattimeen, jossa osa pisaroista jää kiinni suodattimeen ja osa läpäisee sen. Merkkiaineannostelun ohjaus tapahtuu annostelulaitteen paineilmaventtiilin avulla.

Merkkiaine jakaantuu erikokoisiksi pisaroiksi, jotka partikkelilaskuri erottelee koon perustella. Merkkiaine on tämän tyyppisissä mittaustarkoituksissa yleisesti käytettyä DEHS-valmistetta (14:28-29).

6.7 PAINELÄHETTIMET DPT2500-R8 AZ

Laitteistojen painetietoja mittaa neljä kappaletta HK Instruments DPT2500-R8 AZ-tyyppisiä paine-eroa mittaavia painelähtimiä. Mittaustapana näissä laitteissa on pietsoresistiivinen mittaus (16). PAINELÄHETTIMET ovat itsenollaavia, eli ne kalibroivat nol-lakohtansa automaattisesti.

DPT2500-painelähtimen mittausalue voidaan asettaa useilla eri vaihtoehdoilla välillä 0 ... 2500 Pa. Tässä mittausjärjestelmässä käytettiin mittausalueita 0 ... 2000 Pa kuristuslaipan yli vallitsevalle paine-erolle ja 0 ... 250 Pa suodattimen painehäviölle.

DPT2500-painelähtimissä on itsessään pieni nestekidenäyttö, josta voidaan lukea sen hetkinen paine-ero. Paine-ero muunnetaan myös 0 ... 10 voltin jänniteviestiksi, joka voidaan lukea laitteen ulostuloliitännästä.

6.8 Tilavuusvirtausmittaus kuristuslaipan avulla

Laitteistojen tilavuusvirtaustiedot saadaan kuristuslaippaan perustuvan paine-eromittauksen perusteella. Tämän järjestelmän kuristuslaipat ovat rakenteeltaan putken säteen suuntaisesti jyrkästi suppenevia virtausputkiliitoksia. Kuristuslaipan läpi kulkeva ilmavirta aiheuttaa paine-eron laipan suppenemiskohdan tulo- ja lähtöpuolille. Paine-erolähetin muuttaa paine-eron 0 ... 10 voltin jännitesignaalksi joka luetaan logiikkayksikön analogisessa tuloliitynnässä.

Järjestelmän kuristuslaipoille on määritetty ominaiskäyrät sekä ominaisfunktiot. Määrittäminen on tehty VTT:llä (9). Ominaisfunktioiden avulla voidaan mittausjärjestelmän signaalitiedoista laskea niitä vastaavat SI-järjestelmän mukaiset suureet. Laskenta tapahtuu paine-eron perusteella ja tulokseksi saadaan tilavuusvirta ja tästä edelleen virtausnopeus.

6.9 Venttiilit ja ilmaletkut

Järjestelmän venttiileinä käytettiin kahta Geva Sol 85 M - magneettiventtiiliä ja neljää Sirai Z130A -magneettiventtiiliä. Venttiilien virtalähteenä on erillinen 24 voltin Siemensin logiikkayksikön tasavirtalähde. Venttiileiden magneettikelat ovat teholtaan 10 W (Geva Sol) ja 13W (Sirai) (17)(18). Geva Sol -venttiilit asennettiin merkkiaineannostelun ohjaukseen ja Sirai-venttiilit partikkelilaskurin näytteensyöttöjärjestelmään.

Venttiilien ohjaukseen asennettiin logiikkayksikön ja venttiilin virransyötön väliin erilliset ohjausreleet. Magneettiventtiilin kela voi toimiessaan aiheuttaa virtapurskeita, jotka voivat olla vahingollisia ohjauslaitteelle. Edullinen rele toimii tässä logiikkayksikön suojana.

Vaikka kyseessä ei ole varsinainen paineilmalaitte, ilmaletkuina käytettiin paineilmaletkua, jonka sisähalkaisija on 6 millimetriä. Paineilmaletkujen käytöllä on etuna taitoskohtien aiheuttamien virtausvastusten vähäisyys.

6.10 Kenttäkaapelointi, kytkentärima ja releet

Logiikkayksiköltä langoitettiin sisään - ja ulostulot kytkentärimalla sijaitseville rivi-liittimille ja releille. Kenttäkaapelointi puolestaan alkaa kytkentärimasta. Näin voidaan

logiikkayksikön sijoitusta tarpeen vaatiessa muuttaa purkamatta varsinaiseen logiikkayksikköön tehtyjä kytkentöjä. Kaapeloinnin kytkennät on kuvattu liitteissä 2, 3, 5, 6 ja 8.

Releinä käytettiin perusmallisia vaihtoreleitä (Phoenix Contact 2961105). Releiden lähdöt on asennuksen helpottamiseksi langoitettu erillisen kytkentäriman numeroituihin riviliittimiin.

6.11 Virtausputkistot

Laitteistojen ilmapirtaukset ovat moottorien tehojen sekä virtausputkistojen kokoeron takia hyvin erilaisia. Suuremmassa laitteistossa tilavuusvirtaus voi nousta 1,7 kuutiometriin sekunnissa, pienemmässä taas tilavuusvirta on maksimissaan 3 litraa sekunnissa.

Pienemmän laitteiston virtausputkena toimii muoviputki, jonka pituus on 2,2 metriä ja halkaisija (maksimikohdaltaan) on alle 0,05 metriä. Suurempi laite on osittain pellistä valmistettua 0,4 metrin läpimittaista ilmanvaihtoputkea, jonka lisäksi siinä on erillinen läpinäkyvä muoviosuus virtauksen tarkasteluun. Muoviosuus on poikkileikkaukseltaan neliön muotoinen. Suuremman laitteiston virtausputkiston kokonaispituus on noin 15 metriä ja virtausputki tekee jyrkän käännöksen keskivaiheillaan. Suoraa osuutta on kuitenkin mittauskohtaan tultaessa riittävästi, jotta käännöksen aiheuttama virtauksen turbulenssi ei vaikuta mittauksiin (9).

7 OHJAUSJÄRJESTELMÄN TOIMINTA PÄÄPIIRTEISSÄÄN

Ohjausjärjestelmän ohjelmisto jakaantuu edellä kuvatun (kappale 5.4) mukaisesti sekä LAD- että Visual Basic -osuuteen. Tässä käsitellään ohjausjärjestelmää yhtenä kokonaisuutena, eikä eri ohjelmistoympäristöjen toimintoja erotella ellei tämä tieto ole toiminnan kuvaamisen kannalta oleellista. Ohjausjärjestelmän periaatekuva on liitteessä 13.

Siemens Step 7 -ohjelmointiympäristön näkymästä tulostetut ohjelmiston muistipaikat eli tagit on esitetty liitteessä 11. Näiden lisäksi ohjausjärjestelmästä kuvataan tässä kappaleessa keskeiset ohjelman kulkua suoraan säätelevät parametrit ja muistipaikat mittausohjelmiston toiminnan kuvauksen yhteydessä.

7.1 Järjestelmän osien kommunikointimekanismit

Logiikkayksikön ja Excel-käyttöliittymän välinen kommunikointi tapahtuu DDE-rajapinnan kautta. Partikkelilaskurin ohjaus tapahtuu ActiveX-ohjausobjektin avulla OLE-rajapinnan kautta.

OPC-serverinä toimiva Dassidirect lukee ja kirjoittaa logiikkayksikön muistipaikkoja ja tarjoaa DDE-rajapinnan työaseman sovelluksille. Ohjausohjelmiston Visual Basic -sovellus kytkeytyy tähän DDE-kanavaan, jonka lisäksi se lukee ja kirjoittaa Microsoft Communications Control -ohjausobjektin OLE-kanavaan.

7.2 Toimintatilat

Ohjausjärjestelmällä on kuusi erilaista toimintatilaa eli moodia. Moodin määräämiseen käytetään samaa muistipaikkaa kuin ohjattavan laitteen valitsemiseen. Tämä on yksinkertaisin tapa varmistaa, että eri toimintatiloissa ohjataan oikeita laitteita ja seis-moodissa kaikki kanavat ovat nolatilassa. Toimintatilat ovat toisensa poissulkevia, eli vain kyseisen toimintatilan osoittamia lähtöjä voi ohjata. Testitila poikkeaa muista toimintatiloista ja siinä on tarkoituksellisesti vapautettu lähtöjen suora ohjaus.

Toimintatilat ovat seuraavat:

- Seis (moodi 0)
Seis-tilassa kaikki binääriset ja analogiset ulostulot ovat arvossa nolla. Tässä tilassa ei tapahdu mitään ja järjestelmä odottaa toimintatilan muutosta.
- Linjan 1 painehäviömittaus (moodi 1)
Toimintatilassa 1 ohjataan pientä mittauslinjaa. Sisään tulevat signaalit luetaan paine-eromittareista 1 ja 2 (muistipaikat IW96 ja IW98). Pienen linjan moottoria ohjataan taajuusmuuttajalla 1. Moottorin käynnistyskomento annetaan ulostulosta Q0.6 ja kierrosluku säädetään analogisen lähdön muistipaikalla QW96.
- Linjan 2 painehäviömittaus (moodi 2)
Toimintatilassa 2 ohjataan suurta mittauslinjaa. Sisään tulevat signaalit luetaan paine-eromittareista 3 ja 4 (muistipaikat IW100 ja IW102). Suuren linjan moottoria ohjataan taajuusmuuttajalla 2. Moottorin käynnistyskomento anne-

taan ulostulosta Q0.7 ja kierrosluku säädetään analogisen lähdön muistipaikalla QW98.

- Linjan 1 partikkelilaskenta (moodi 3)
Toimintatilassa 3 ohjataan pientä mittauslinjaa Puhallus on mittauksen ajan vakioarvossa. Tilavuusvirtaus luetaan paine-eromittarista 1. Moottorin ulostulokanavat kuten moodissa 1. Venttiilien ohjaus tapahtuu releillä 1,2 ja 3 (Q0.0–Q0.2).
- Linjan 2 partikkelilaskenta (moodi 4)
Toimintatilassa 4 ohjataan suurta mittauslinjaa Puhallus on mittauksen ajan vakioarvossa. Tilavuusvirtaus luetaan paine-eromittarista 3. Moottorin ulostulokanavat kuten moodissa 2. Venttiilien ohjaus tapahtuu releillä 4,5 ja 6 (Q0.3–Q0.5).
- Testitila (moodi 5)
Testimoodissa voidaan lukea ja kirjoittaa kaikkia logiikkayksikön muistipaikkoja ja kanavia manuaalisesti erillisen komentoikkunan kautta. Testitilaan pääsy on käyttöön otetussa ohjausjärjestelmässä oletusarvoisesti piilotettuna.

7.3 Parametrien sijainnit

Toiminnan kannalta keskeiset taustaparametrit on koottu Excel-työkirjan ”parametrit”-välilehdelle. Suurin osa parametreista on muutettavissa suoraan vaihtamalla arvoa soluun, jossa parametri sijaitsee. Parametritaulukkoa ei ole tarkoitus muuttaa käyttöönoton jälkeen vaan se on apuneuvona järjestelmän virittämisessä. Parametritaulukko on virityksen jälkeen lukittu.

Muutettavat parametrit ovat ohjausvälilehtien soluissa. Muutettavia parametreja ovat mittauslinjan valinta, nominaalipiste sekä mittauskierrosten lukumäärä.

Ohjelmakoodiin on kiinnitetty muutamia numeroarvoja, joiden muuttamiseen ei todennäköisesti ole tarvetta. Näitä ovat esimerkiksi sisäisten silmukoiden kierrosten lukumäärät, odotusaikojen kestot ja tietyt lajittelu- ja interpolointifunktiot. Ohjelmakoodin muuttaminen laitteiston käytön aikana on hyvin epätodennäköistä. Tämä mahdollisuus on kuitenkin olemassa. Ohjelmakoodi on normaalisti piilotettuna.

7.4 Suodattimen yli tapahtuvan painehäviön mittaus

Suodattimen aiheuttaman painehäviön mittaus tapahtuu nostamalla suodattimen läpi virtaavan ilman virtausnopeus järjestelmän laskemaan virtauksen huippuarvoon josta virtausta hitaasti vähennetään. Suodattimen yli vaikuttava painehäviö tallennetaan virtausnopeuden saavuttaessa ennalta määritetyt mittauspisteet (mukaan lukien nominaalipiste). Virtausnopeuden säätö tapahtuu puhaltimen moottorin kierroslukua säätämällä.

7.4.1 Painehäviömittausta säätelevät parametrit

- Toimintatilan valinta, moodi 1 tai 2.
Käyttäjä valitsee mittauslinjan, ja moodin numero on tässä mittauksessa sama kuin mittauslinjan numero.
- Nominaalipiste
Nominaalipiste syötetään laskentataulukossa sille varattuun ruutuun. Puhalluksen käynnistyessä aliohjelma sijoittaa nominaalipisteen mittauspisteiden väliin. Nominaalipiste ja lähtöpiste on taulukoitu rinnakkain niin, että SI-järjestelmän arvoa (esimerkiksi tyypillinen 1,75 cm/s) vastaa logiikkaohjaukselle syötettävä kokonaisluku.
- Puhaltimen moottorin ohjausjännitteen vähennysparametrit
Puhalluksen tulee laskea riittävän hitaasti, jotta paine-eron rekisteröinti tapahtuu mahdollisimman tarkasti samalla hetkellä, kun tilavuusvirtaus saavuttaa mittauspisteen. Puhalluksen muutosta säätelee kaksi parametria, jotka ovat vähennysaskel ja vähennysaika. Vähennysaskel on numeerinen arvo, esimerkiksi 25, joka vähennetään moottorin ohjaussignaalin arvosta tasaisin väliajoin. Tämä väliaika (esimerkiksi 20 millisekuntia) on toinen määräävä parametri. Näiden parametrien kombinaatio määrää tilavuusvirran muutoksen luonteen. Vähennysparametrit on määritetty laitteiston käyttöönoton yhteydessä.
- Mittauspisteet
Mittauspisteet ovat ennakolta määrättyjä virtausnopeuden arvoja, esimerkiksi 5,3 cm/s. Kuristuslaipan paine-eromittarilta saadaan tilavuusvirtatieto 0...10 voltin jänniteviestinä, jonka kokonaislukuarvoksi muutettu esitys luetaan ana-

logisesta tulokanavasta. Kanavan viestin perusteella lasketaan virtausnopeus. Virtausnopeuden laskenta perustuu kuristuslaipan ominaisfunktioista ja painelähettimen muuntokertoimesta johdettuun laskentakaavaan.

7.4.2 Mittausajon eteneminen

Mittausajo käynnistetään ”käy” -painikkeella. Painikkeen painaminen antaa suorituskomennon aliohjelmalle, joka puolestaan ajon edetessä kutsuu muita ali- ja apuohjelmia. Järjestelmä osoittaa mittaukselle yksiselitteisen mittausnumeron.

Mittauspisteet järjestellään alenevaan järjestykseen nominaalipiste huomioiden. Parametrit siirretään logiikkayksikölle omiin muistipaikkoihinsa. Mittauspisteet talletetaan taulukkomuistipaikkaan ja tulostaulukon solut nollataan. Mittauksen kulkua säätelevä mittausindeksi nollataan.

Puhaltimen moottori käynnistetään alkuarvonsa mukaiseen kierroslukuun. Puhallus saavuttaa halutun arvon joissakin sekunneissa, joten järjestelmä odottaa määrätyn ajan ennen kuin jatkaa. Odotusaika riippuu linjan moottorin ylösajon asetuksista ja on linjakohteisesti 8 - 12 sekuntia.

Puhalluksen saavutettua lähtöarvonsa käynnistetään puhalluksen pienentäminen. Järjestelmä tarkkaillee virtausnopeutta kuristinlaipan paine-eron perusteella. Kun virtausnopeus saavuttaa indeksin määräämän seuraavan mittauspisteen arvon, kirjataan suodattimen paine-erolähettimen arvo vastaavalla indeksillä tulostaulukkoon. Indeksia lisätään yhdellä ja sykli alkaa alusta uudella indeksin osoittamalla virtausnopeuden arvolla. Tämä jatkuu kunnes indeksin osoittama seuraava mittauspiste on nolla. Tässä vaiheessa kaikki mittauspisteet on käyty läpi ja niitä vastaavat paine-erot on kirjattu taulukkoon. Järjestelmä asettaa itsensä seis-tilaan (moodi 0).

Apuohjelma kirjoittaa saatuja tuloksia reaaliaikaisesti mittauksen aikana Excel-työkirjaan. Tulostuloksissa on rinnakkain sekä parametriksi annettu virtausnopeus että sitä vastaava paine-ero. Mittaustuloksista muodostuu jo mittauksen edetessä myös kuvaaja, jonka pisteet muuttuvat mittaustuloksen mukaisesti. Käyttäjä voi seurata mittausajon etenemistä myös pienen tilaindikaattorin avulla.

Tulostaulukosta voidaan lukea mittauksen tulokset myös ajon päätyttyä. Tulokset nolataan uuden ajon alkaessa, johon saakka edelliset tulokset säilyvät logiikkayksikön muistissa sekä niihin osoittavissa Excel-taulukon soluissa. Mittauksen tuloksista muodostetaan varmuuskopio joka nimetään ja talletetaan mittausnumeron mukaisella nimellä työaseman varmistushakemistoon. Mittausajon yksinkertaistettu vuokaavio on esitetty liitteessä 14.

7.5 Partikkelilaskenta

Partikkelilaskennan ohjausohjelma kommunikoi partikkelilaskurin kanssa lähettämällä RS-232-väylän kautta yhden ASCII-merkin mittaisia komentoja sekä vastaanottamalla laitteen puskurimuistista tietoa yhden rivin verran kerrallaan. Puskurimuistin rivit ovat määrämuotoisia merkkijonoja, jossa on mukana myös ASCII-järjestelmään kuuluvia ohjausmerkkejä.

Ohjausohjelmistoon on rakennettu joukko rutiineita, jotka avaavat RS-232-kommunikointiväylän ja lähettävät komentoja. Tyypillisesti tämänkaltainen toistuva toiminto on ohjelmointiteknisesti järkevää toteuttaa erillisenä funktiona. Komentojen tarkan ajoituksen ja toimintavarmuuden vuoksi on kuitenkin päädytty toistamaan komentorutiinia joka kerran erikseen pääohjelman sisäisenä toimintona. Tämä pidentää jonkin verran ohjelmistostausta mutta ei kuitenkaan tee ohjelmasta mutkikkaampaa.

7.5.1 Partikkelilaskenta-ajoa säätelevät parametrit

- Mittauslinjan valinta, moodi 3 tai 4
Pienen mittauslinja partikkelilaskenta tapahtuu toimintatilassa kolme, suuren mittauslinjan partikkelilaskenta toimintatilassa neljä. Käyttäjälle tämä toimintatila ei näy, vaan käyttäjä valitsee vain mittauslinjan numeron, jonka perusteella ohjelmisto asettaa moodin.
- Laskentakierrosten määrä
Yhden laskentakierroksen aikana lasketaan partikkelit sekä suodattimen tuloetta lähtöpuolelta. Laskentakierrokseen sisältyy siis kaksi laskentakertaa ja niihin kuuluvat kaksi huuhtelukertaa. Laskentakierrosten määrän voi valita käyttäjä vapaana parametrina. EN 1822-3 määrittää laskentakierrosten minimilukumääräksi viisi (4:20).

- **Nominaalipiste**
Nominaalipiste syötetään laskentataulukossa sille varattuun ruutuun. Puhalluksen käynnistyessä puhaltimen moottorin kierrosluku asetetaan nominaalipistettä vastaavaan virtausnopeuteen, jossa se pidetään koko partikkelilaskennan ajan.
- **Huuhteluaika**
Ennen laskennan suorittamista tehdään järjestelmään huuhtelu, eli mitattavaa ilmaa johdetaan mittalaitteen läpi sitä kuitenkaan mittaamatta. Huuhteluaika on vapaasti asetettava parametri, jonka yksikkönä on sekunti. Huuhteluajan määrää mittalaitteen pumpun kiinteä tilavuusvirta ja siitä laskettu virtausmäärä.
- **Laskenta-aika**
Laskennan kesto-aika on vapaasti asetettava parametri, jonka yksikkönä on sekunti. Laskenta-ajan määrää mittalaitteen pumpun kiinteä tilavuusvirta ja sen perusteella laskettu tarvittavan näytteen tilavuus.

Huuhtelu- ja laskenta-ajoiksi on järjestelmän käyttöönoton ja virityksen yhteydessä määrätty mittauslinjalinjakohtaiset arvot, joita ei ole laitteen normaali-käytön aikana tarpeen muuttaa.

7.5.2 Partikkelilaskenta-ajon eteneminen

Laskenta-ajo tapahtuu vakiotilavuusvirtauksessa joka samalla on myös vakiovirtausnopeus. Tilavuusvirtaus käynnistetään erikseen käynnistypainikkeella. Painikkeen painaminen lukee syötetyn nominaalipisteen ja käynnistää sen mukaisen puhalluksen. Virtausnopeus saavuttaa nominaalipisteen valitusta mittauslinjasta riippuen joidenkin sekuntien kuluessa.

Käyttäjä voi säätää puhallusta mikäli se on tarpeen. Käytännössä tarvetta yleensä onkin, sillä eri suodatinmateriaalien virtausvastus on erilainen, eikä järjestelmään ole ohjelmoitu automaattista virtausvastuksen kompensointia. Myös esimerkiksi ulkoisen ilmanpaineen vaihtelu voi aiheuttaa säätämistarvetta. Partikkelilaskenta-ajon yksinker-taistettu vuokaavio on liitteessä 15.

Virtausnopeuden saavutettua halutun arvon käyttäjä käynnistää laskentarutiinin. Järjestelmä määrää laskentakerralle yksilöivän mittausunumeron. Laskentarutiini lukee ja tallettaa parametrit ja aloittaa laskentakierrokset. Laskentakierrosten lukumäärä on yksi parametreista. Yksi laskentakierros käsittää laskennan huuhteluineen sekä suodattimen tulo- että lähtöpuolelta. Laskentakierrosten indeksi aloitetaan nollassa. Suodattimen yli vaikuttava painehäviö talletetaan.

Laskentakierros alkaa suodattimen tulopuolen huuhtelulla. Partikkelilaskurin venttiilit asetetaan tulopuolen mukaiseen asentoon ja merkkiaineen annosteluventtiili avataan. Partikkelilaskuri käynnistetään huuhtelukomennolla. Tässä tilassa partikkelilaskuri imee mitattavaa ilmaa mutta mittausta ei tapahdu. Huuhtelu kestää parametreissa määritetyn ajan.

Huuhtelun jälkeen tapahtuu varsinainen laskenta. Venttiilien asentoa ei muuteta. Virtausnopeus talletetaan omaan taulukkokuulujaansa mittauksen numeron mukaisella indeksillä. Partikkelilaskurille annetaan mittauskomento ja laskuri tutkii läpivirtaavaa ilmaa parametreissa määritetyn ajan.

Suodattimen tulopuolen huuhtelun ja laskennan jälkeen sama rutiini toistetaan lähtöpuolella. Ohjelmalistauksessa rutiinit ovat identtisiä, ainoastaan venttiileitä ohjaavan aliohjelman parametrit poikkeavat tulo- ja lähtöpuolen mittauksissa.

Tulo- ja lähtöpuolen huuhtelu- ja mittauskierroksen jälkeen lisätään mittauskierrosten indeksiä yhdellä ja verrataan sitä asetettuun arvoon. Laskentakierroksia toistetaan kunnes haluttu määrä laskentakierroksia on saavutettu.

Laskentakierrosten täytyttyä pysäytetään puhallus ja asetetaan toimintatilaksi ”seis” (moodi 0) sekä käynnistetään partikkelilaskurin puskurimuistin luku. Puskurimuistin luku suoritetaan omassa aliohjelmassaan.

Partikkelilaskurin puskurimuistin lukeminen tapahtuu yksi mittaustapahtuma kerrallaan. Laskurille lähetetään lukukomento ja laskuri vastaa lähettämällä vanhimman puskurimuistilla olevan tulosrivin. Tulosrivi luetaan ja tutkitaan. Mikäli tulosrivi on tyhjä tai identtinen edellisen tulosrivin kanssa, se hylätään virheellisenä. Tulosrivien kyselyä jatketaan, kunnes puskurimuisti on tyhjä.

Laskurilta saadut tulokset sekä talletettu painehäviö kirjoitetaan taulukkomuodossa Excel-laskentataulukoon. Tuloksia verrataan järjestelmään määritettyyn maksimipartikkelimäärärajaan, ja rajan ylittyessä saa käyttäjä tilanteesta virheilmoituksen. Laskenta-ajon tuloksista muodostetaan varmuuskopio joka nimetään ja talletetaan mittausnumeron mukaisesti työaseman varmistushakemistoon.

7.6 Tapahtumakirjaus

Järjestelmässä on mahdollisuus kirjata automaattisesti tapahtumia ja parametrien arvoja erilliseen ”log”-välilehteen. Kirjattavat tapahtumat voivat olla aliohjelmien käynnistyksiä tai suorituksia, venttiileiden ja moottorinohjauksen parametritietoja, virhetilanteita tai luettuja mittausarvoja. Tapahtumat kirjataan aikajärjestyksessä työaseman kellon mukaisella aikaleimalla varustettuna. Tästä toiminnosta ei käytännön mittauksissa ole sanottavasti hyötyä, joten se on kytketty oletusarvoisesti pois päältä.

Tyypillinen tapahtumakirjauksen avulla selvitettävissä oleva virhe on MetOne-partikkelilaskurin puskurimuistin luku- ja tietoliikennevirheet. Tapahtumakirjaukseen tallentuu MetOnen puskurimuistista saatu merkkijono muokkaamattomana aikaleimoineen josta mittauksen aikaista mahdollista virhetilannetta voidaan jälkikäteen selvittää.

7.7 Käyttöliittymä

Käyttöliittymänä toimii Excel-työkirja. Mittausten operointiin on omat laskentataulukonsa jotka voidaan valita työkirjan välilehdiltä. Näiden lisäksi parametrit ja tapahtumakirjaus ovat omalla välilehdellään. Esimerkki käyttöliittymän ulkoasusta on liitteessä 16.

Käyttöliittymän suunnittelussa on pyritty yksinkertaiseen ulkoasuun, jossa keskeisillä toiminnolla on omat painikkeensa. Käytännön mittauksilanteessa käyttöliittymässä tarvitaan syöttöarvona vain suodattimen nominaalipiste. Käytettävä mittauslinja valitaan omalla painikkeellaan, jonka jälkeen mittauksen käynnistyspainiketta painamalla mittaus alkaa ja etenee automaattisesti. Mittauksien tulokset esitetään yksinkertaisessa taulukkomuodossa, josta voidaan muodostaa raportti joko automaattisella muotoilulla tai manuaalisesti.

7.8 Raportin automaattinen muodostaminen

Järjestelmään on luotu muutamia valmiita rutiineita, joilla voidaan suorittaa tietojen jatkokäsittelyä ja muodostaa yhdenmukaisia raportteja. Mittaustulokset ovat mittauksien jälkeen yksinkertaisessa taulukkomuodossa. Tiedoista voidaan muodostaa erilaisia kuvaajia tai muokattuja taulukoita.

Keskeiset tiedon jatkokäsittelytarpeet ovat partikkelilaskennan tulosten perusteella laskettu erotuskyky sekä paine-eroa esittävä kuvaaja. Käyttöliittymän painikkeilla voidaan käynnistää lyhyitä rutiineita, jotka poimivat tietoja raporttipohjalle. Raportti on englanninkielinen. Esimerkki raporttipohjalle luodusta raportista on liitteessä 17.

7.9 Mittausten tulosten arkistointi ja varmuuskopiointi

Jokainen suoritettu mittaus saa yksilöivän mittauseron. Mittausero on yksinkertainen juokseva numero. Mittauksen päätyttyä tulokset talletetaan automaattisesti muokkaamattomana tulostaulukkona mittauseron mukaisella tiedostonimellä. Tällä menettelyllä pyritään varmistamaan mittaustulosten jälkikäteen tapahtuva tarkistaminen ja vertailu.

Varmuuskopioilla on käyttöä lähinnä, mikäli varsinaisen mittauseraportin muodostamisen yhteydessä epäillään mittaustuloksien lasku- tai käsittelyvirhettä. Varmuuskopio toimii tarvittaessa myös raportin liitteenä, josta selviävät mitatut, käsittelemättömät havainnot.

8 YHTEENVETO

Mittausjärjestelmän suunnittelu ja käyttöönotto onnistuivat suunnitellulla tavalla ja toimeksiantaja Eagle Filters Oy katsoi järjestelmän olevan sovitun mukainen. Ensimmäiset mittaukset ja niiden perusteella laaditut raportit valmistuivat elokuun 2011 alussa.

Mittausjärjestelmän ohjelmistokokonaisuudesta muodostui kahden eri ohjelmointiympäristön rajapinnat ylittävä kokonaisuus, jossa sekä PC-työasemalla toimiva sovellus että logiikkayksikössä toimiva ohjelmisto täydentävät ja tukevat toisiaan. Käyttöliittymäksi valittu Microsoft Excel -työkirja on logiikkaohjauksien yhteydessä jossakin

määrin epätyypillinen ratkaisu. Mittaustietojen käsittelyssä Excel on lähes välttämätön ja kenttälaiteohjauksen suora liittäminen samaan ympäristöön on mahdollista. Tulokseksi saatu ohjausmenetelmä on käyttäjän näkökulmasta normaali Excel-työkirja, jossa logiikkayksikön ohjaus toimii taustaprosessina.

Ohjausjärjestelmän suunnittelun ja ohjelmoinnin vaatima työmäärä oli lopullisen ohjelman rivimäärään verrattuna melko suuri. Pyrkimyksenä oli toteuttaa selkeä ja tehokas ohjelmakoodi, jonka toimintaan liittyvät asetukset ovat helposti muutettavissa. Jälkikäteen tarkasteltuna lopullisen ohjausjärjestelmän ratkaisut vaikuttavat itsestään selviltä, mutta ohjelmistonkehityksen ja testauksen aikana esillä oli runsaasti muitakin mahdollisia toteutustapoja. Microsoft Excel on käyttöliittymänä haasteellinen ja valinta sen ja Intouch-valvomo-ohjelmiston välillä oli vaikea. Loppukäyttäjän kannalta uskoisin kuitenkin ”yhden sovelluksen” periaatteen olevan selkeämpi ja helppokäyttöisempi.

Tehtävissäni oli mahdollisuus tehdä hyvinkin itsenäistä työtä, joka sopi minulle hyvin. Laitteiden määrityksen, hankinnan ja käyttöönoton osalta kokemusta karttui myös perinteisen insinöörin toimenkuvaan tyypillisesti kuuluvien työtehtävien ulkopuolelta.

Tukea ja apua ongelmatilanteissa sain laite- ja ohjelmistotoimittajilta sekä eri asiantuntijoiden keskustelupalstoilta Internetistä. Ongelmatilanteet ratkesivat yleensä varsin nopeasti ja työ edistyi tasaiseen tahtiin.

Opinnäytetyön kirjoituksen pääsin aloittamaan jo ennen mittausjärjestelmän viimeistelyä. Opinnäytetyön muodoksi valitsin rakenteen, jossa korostuu järjestelmän rakenne ja toiminta kokonaisuutena ohjelmiston yksityiskohtien sijaan. Katsoin toisaalta tärkeäksi tuoda esiin toimeksiantoon liittyvät pienetkin työvaiheet, koska työhön liittyi varsinaisen ohjelmoinnin lisäksi myös huomattava määrä muutakin suunnittelua.

Toivon, että nyt käyttöönotetusta järjestelmästä on Eagle Filters Oy:lle hyötyä ja mitauslinjojen käytettävyys säilyy hyvänä vuosia eteenpäin. Käyttöönoton aikana järjestelmän käyttäjiltä saatu palaute ja parannusehdotukset saattavat aikanaan johtaa mittausjärjestelmän jatkokehitykseen.

LÄHTEET

1. Kariluoto, J. Henkilökohtaiset haastattelut 2.5.2011–19.8.2011. Kotka: Eagle Filters Oy.
2. Savolainen, J. Henkilökohtaiset haastattelut 2.5.2011–19.8.2011. Kotka: Eagle Filters Oy.
3. Kariluoto, H. Henkilökohtaiset haastattelut 2.5.2011–19.8.2011. Kotka: Eagle Filters Oy.
4. EN 1822-3. 1998. Korkean erotusasteen ilmansuodattimet (HEPA ja ULPA). Osa 3: Tasomateriaalipalan testaus. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS ry. Tulostettu Eagle Filters Oy:n käyttöön SFS:n verkkokaupasta 4.3.2008.
5. Ngyen, M. National Instruments, tarjous. Sähköposti 16.5.2011.
6. Virolainen, T. LSK Electrics Oy, tarjous ja lisätietoa. Sähköpostikirjeenvaihto 2.5.2011–30.6.2011.
7. Microsoft Corporation. Microsoft Visual Studio for Applications. Saatavissa: <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/ms974548.aspx> [viitattu 25.8.2011]
8. Bray. Terminal-ohjelman kotisivut. Saatavissa: <http://sites.google.com/site/terminalbpp/> [viitattu 13.7.2011]
9. VTT:n ja Eagle Filters Oy:n välinen sähköpostiviestintä. Ei julkisesti saatavissa.
10. MetOne operating guide. Julkaisija, julkaisupaikka ja julkaisuaika tuntematon. Lähteenä käytetty 18.10.2003 päivättyä telefax-viestiä, jossa 10 sivun osuus julkaisusta, sivunumerot 15–24.
11. Siemens. Siemens Simatic S7-1200 -järjestelmän kotisivut. Saatavissa: <http://www.automation.siemens.com/mcms/programmable-logic-controller/en/simatic-s7-controller/s7-1200/Pages/Default.aspx> [viitattu 25.8.2011]

12. Solio, H. Puzer-pölynimurin säätö. Sähköposti 28.7.2011.

13. Siemens. Siemens Simatic -taajuusmuuttajien tukisivut. Saatavissa:
<http://support.automation.siemens.com/WW/llisapi.dll?func=cslib.csinfo&lang=en&objid=6SL32110AB112LA1&caller=view> [viitattu 25.8.2011]

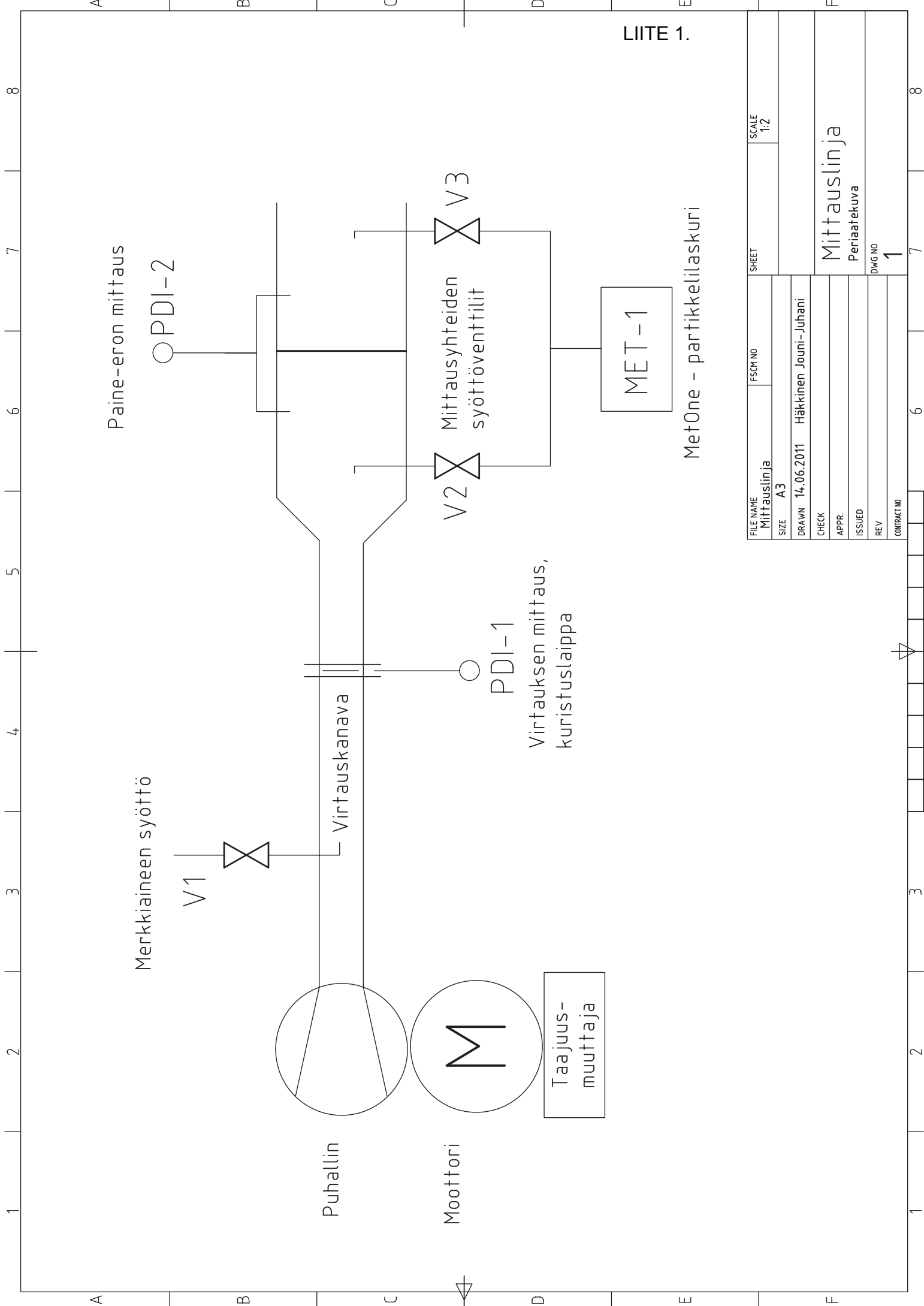
14. FprEN 779. 2011. Particulate air filters for general ventilation - Determination of the filtration performance. Bryssel: European committee for standardization. Tulostettu Eagle Filters Oy:n käyttöön SFS:n verkkokaupasta 23.2.2011.

15. Hach Company. Air Particle Counter Instruments. Saatavissa:
<http://www.hach.com/air-particle-counter-instruments/category?productCategoryId=7640484322> [viitattu 13.7.2011]

16. HK Instruments Oy. Low pressure devices. Saatavissa:
<http://www.hkinstruments.fi/dpt> [viitattu 25.8.2011]

17. Geva Sol. Tuotteeseen painettu merkintä. Eagle Filters Oy:n hallussa.

18. Sirai Elettromeccanica. Pinch solenoid valves. Saatavissa:
<http://www.sirai.de/inglese/serieP.html> [viitattu 25.8.2011]



LIITE 1.

MetOne - partikkelilaskuri

FILE NAME	Mittauslinja	FSCM NO	SHEET	SCALE
SIZE	A3			1:2
DRAWN	14.06.2011	Häkkinen Jouni-Juhani		
CHECK				
APPR.				
ISSUED				
REV				
CONTRACT NO				
			DWG NO	
			1	

Mittauslinja
Periaatekuva

1

LIITE 2.

Rimaliitoskytkennät

Tulot logiikalta

Lähdöt kenttälaitteille

Venttiili 1 PLC Q0	R1	R1	Venttiili 1
Venttiili 2 PLC Q1	R2	R2	Venttiili 2
Venttiili 3 PLC Q2	R3	R3	Venttiili 3
Venttiili 4 PLC Q3	R4	R4	Venttiili 4
Venttiili 5 PLC Q4	R5	R5	Venttiili 5
Venttiili 6 PLC Q5	R6	R6	Venttiili 6
Taajuusmuuttaja 1 käy Q6	7	7	Taajuusmuuttaja 1 käy
Virtalähde M	-	-	Taajuusmuuttajat 1 & 2 käy, gnd
Taajuusmuuttaja 2 käy Q7	9	9	Taajuusmuuttaja 2 käy
Taajuusmuuttaja PLC AQ0M	10	10	Taajuusmuuttaja 1, ohjaus +0...10 V
Taajuusmuuttaja PLC AQ0	11	11	Taajuusmuuttaja 1 gnd
Taajuusmuuttaja PLC AQ1M	12	12	Taajuusmuuttaja 2, ohjaus +0...10 V
Taajuusmuuttaja PLC AQ1	13	13	Taajuusmuuttaja 2 gnd
PL 1 signaali 0+	14	14	PL 1 signaali +0...10V
PL 2 signaali 1+	15	15	PL 2 signaali +0...10V
PL 3 signaali 2+	16	16	PL 3 signaali +0...10V
PL 4 signaali 3+	17	17	PL 4 signaali +0...10V
Virtalähde M	-	-	Painelähtetimelle -
Virtalähde L+	+	+	Painelähtetimille +24 V

Logiikkayksikön liitinten kytkennät

CPU	Q0	Venttiili 1, rele 1
CPU	Q1	Venttiili 2, rele 2
CPU	Q2	Venttiili 3, rele 3
CPU	Q3	Venttiili 4, rele 4
CPU	Q4	Venttiili 5, rele 5
CPU	Q5	Venttiili 6, rele 6
CPU	Q6	Taajuusmuuttaja 1 käy, rima 7
CPU	Q7	Taajuusmuuttaja 1 käy, rima 9
CPU	Q8	
CPU	Q9	
CPU	Q10	

AQ	0M	Taajuusmuuttaja 1 säätö, rima 10
AQ	0	Taajuusmuuttaja 1 säätö, rima 11
AQ	1M	Taajuusmuuttaja 2 säätö, rima 12
AQ	M	Taajuusmuuttaja 2 säätö, rima 13

AI	L+	Virransyöttö +24V
AI	M	Virransyöttö, maa (gnd)
AI	gnd	Signaalin maataso (gnd)
AI	0+	Paine 1 signaali 0...10 V, rima 14
AI	0-	Painelähetin 1 maa (gnd)
AI	1+	Paine 2 signaali 0...10 V, rima 15
AI	1-	Painelähetin 2 maa (gnd)
AI	2+	Paine 3 signaali 0...10 V, rima 16
AI	2-	Painelähetin 3 maa (gnd)
AI	3+	Paine 4 signaali 0...10 V, rima 17
AI	3-	Painelähetin 4 maa (gnd)

IO - kanavat ja niitä vastaavat muistipaikat

Digitaaliset lähtökanavat ON/OFF

Q0.0	Venttiilirele 1 päälle/pois
Q0.1	Venttiilirele 2 päälle/pois
Q0.2	Venttiilirele 3 päälle/pois
Q0.3	Venttiilirele 4 päälle/pois
Q0.4	Venttiilirele 5 päälle/pois
Q0.5	Venttiilirele 6 päälle/pois
Q0.6	Taajuusmuuttaja 1 päälle/pois
Q0.7	Taajuusmuuttaja 2 päälle/pois

Analogiset lähtökanavat 0...10 V

QW96	Taajuusmuuttaja 1 kierrosluku
QW98	Taajuusmuuttaja 2 kierrosluku

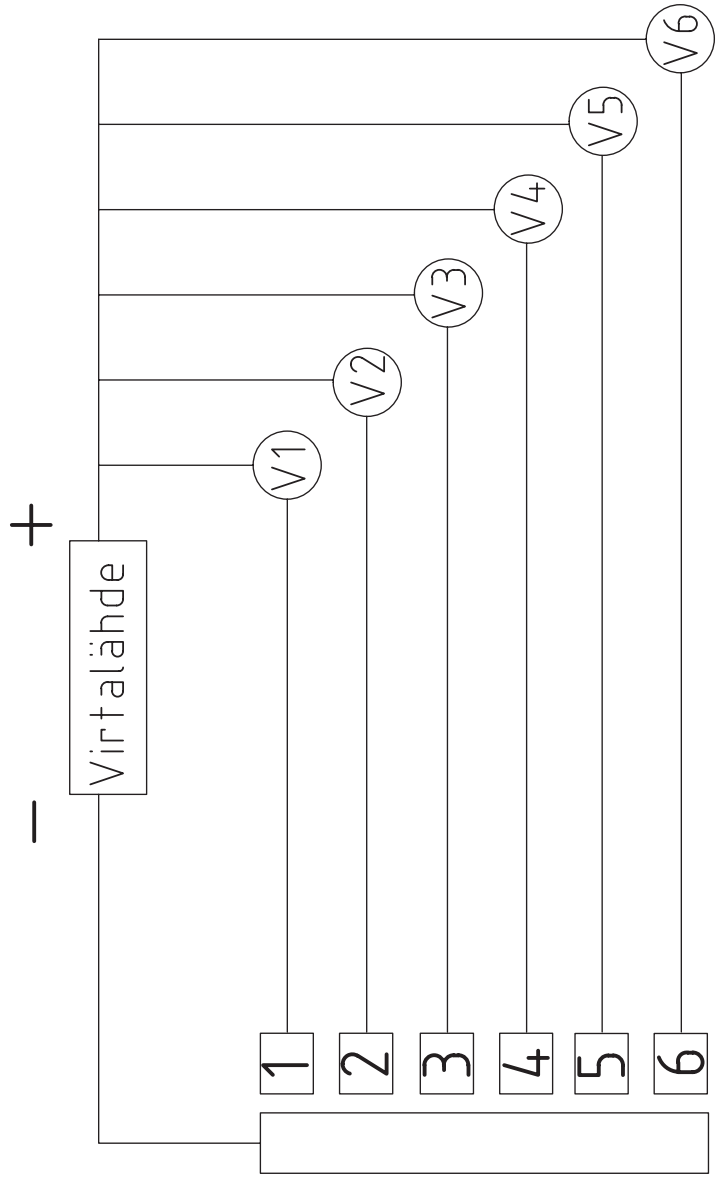
Analogiset tulokanavat 0...10 V

IW96	Linja 1 kuristuslaipan paine-ero
IW98	Linja 1 suodattimen paine-ero
IW100	Linja 2 kuristuslaipan paine-ero
IW102	Linja 2 suodattimen paine-ero

Analogisten kanavien jännitealue 0...10V

Jännite	Kanavan arvo
0 V	0
0.3617 mV	1
7.5 V	20736
10 V	27648

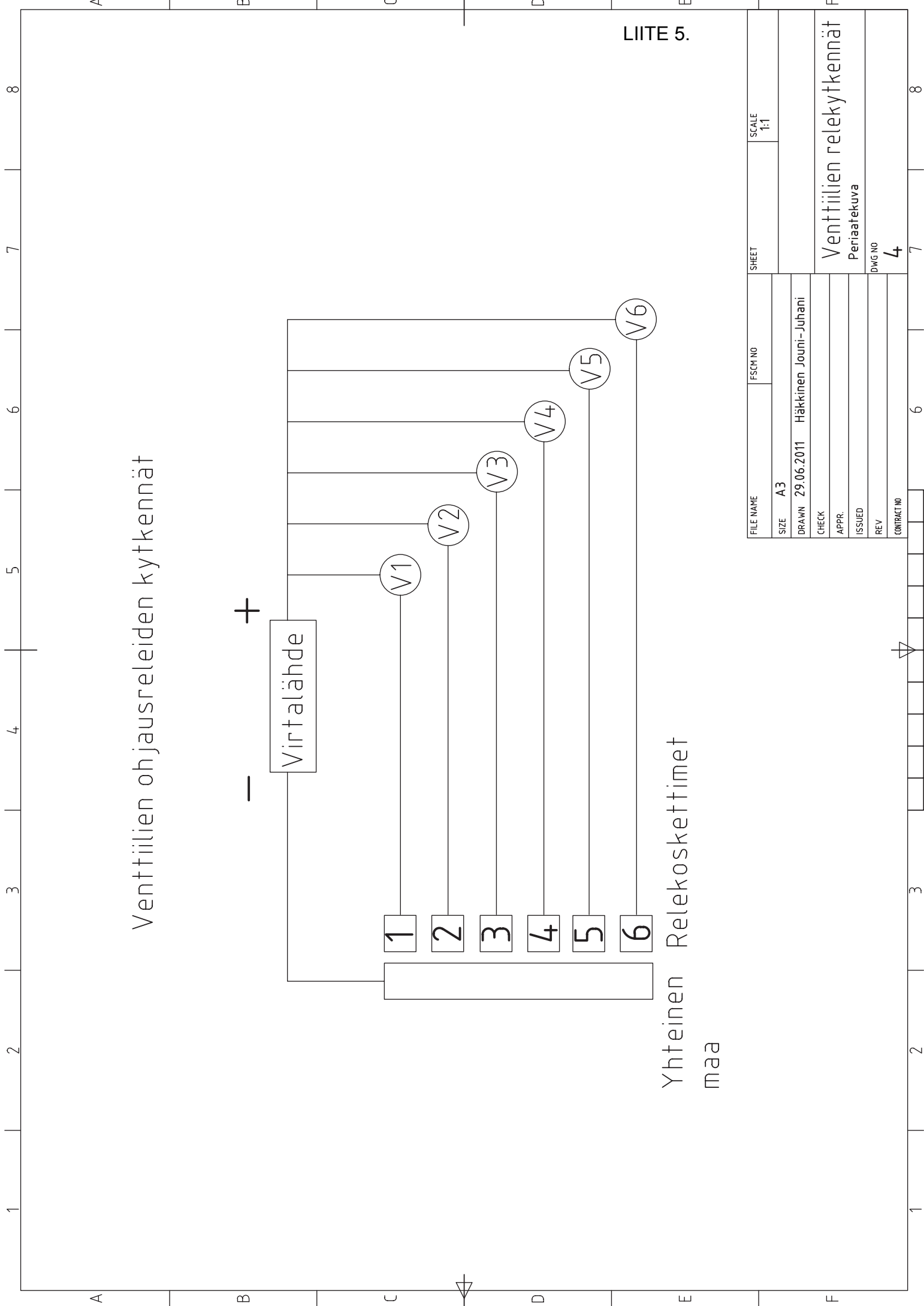
Venttiilien ohjausreleiden kytkennät



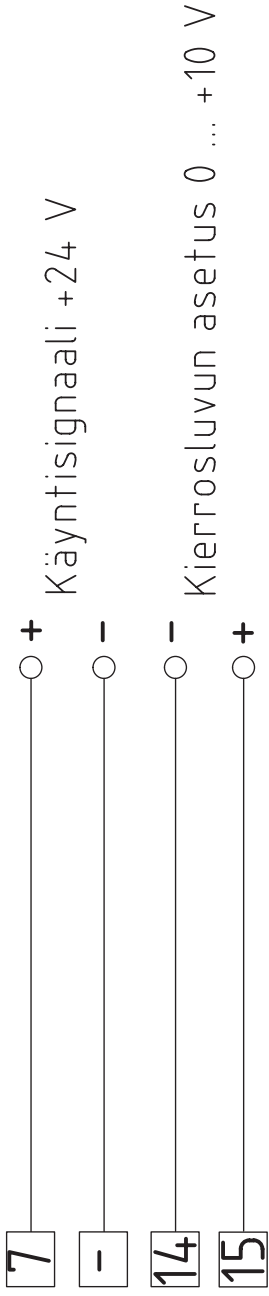
Yhteinen Relekoskettimet
maa

LIITE 5.

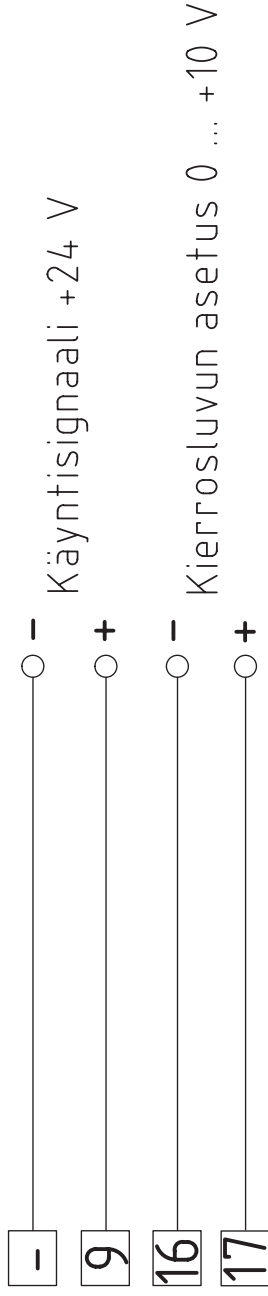
FILE NAME	FSCM NO	SHEET	SCALE
SIZE	A3		1:1
DRAWN	29.06.2011	Häkkinen Jouni-Juhani	
CHECK			
APPR.			
ISSUED			
REV			
CONTRACT NO			
Venttiilien relekytkennät			
Periaatekuva			
DWG NO	4		



Taajuusmuuttajan 1 ohjaus



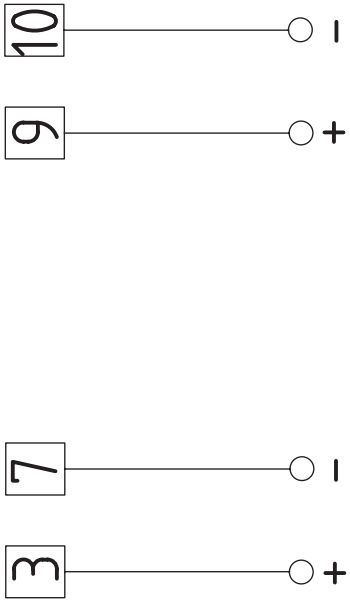
Taajuusmuuttajan 2 ohjaus



LIITE 6.

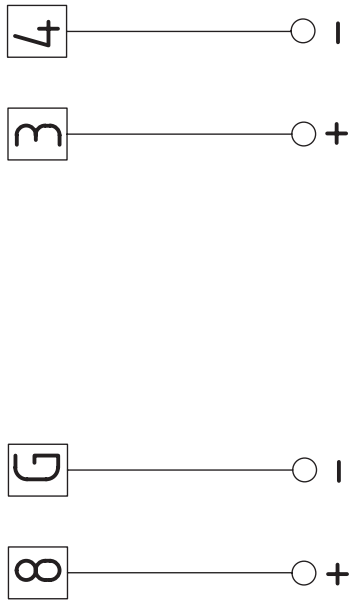
FILE NAME	FSCM NO	SHEET	SCALE 1:1
SIZE A3	DRAWN 29.06.2011 Häkkinen Joumi-Juhani		
CHECK	Moottorikäyttöjen kenttäykennät		
APPR.			
ISSUED			
REV	DWG NO 5		
CONTRACT NO	7		

Siemens Sinamics G110 ohjauskytkentä



Käyntisignaali +24 V Kierrosluvun asetus 0 ... +10 V

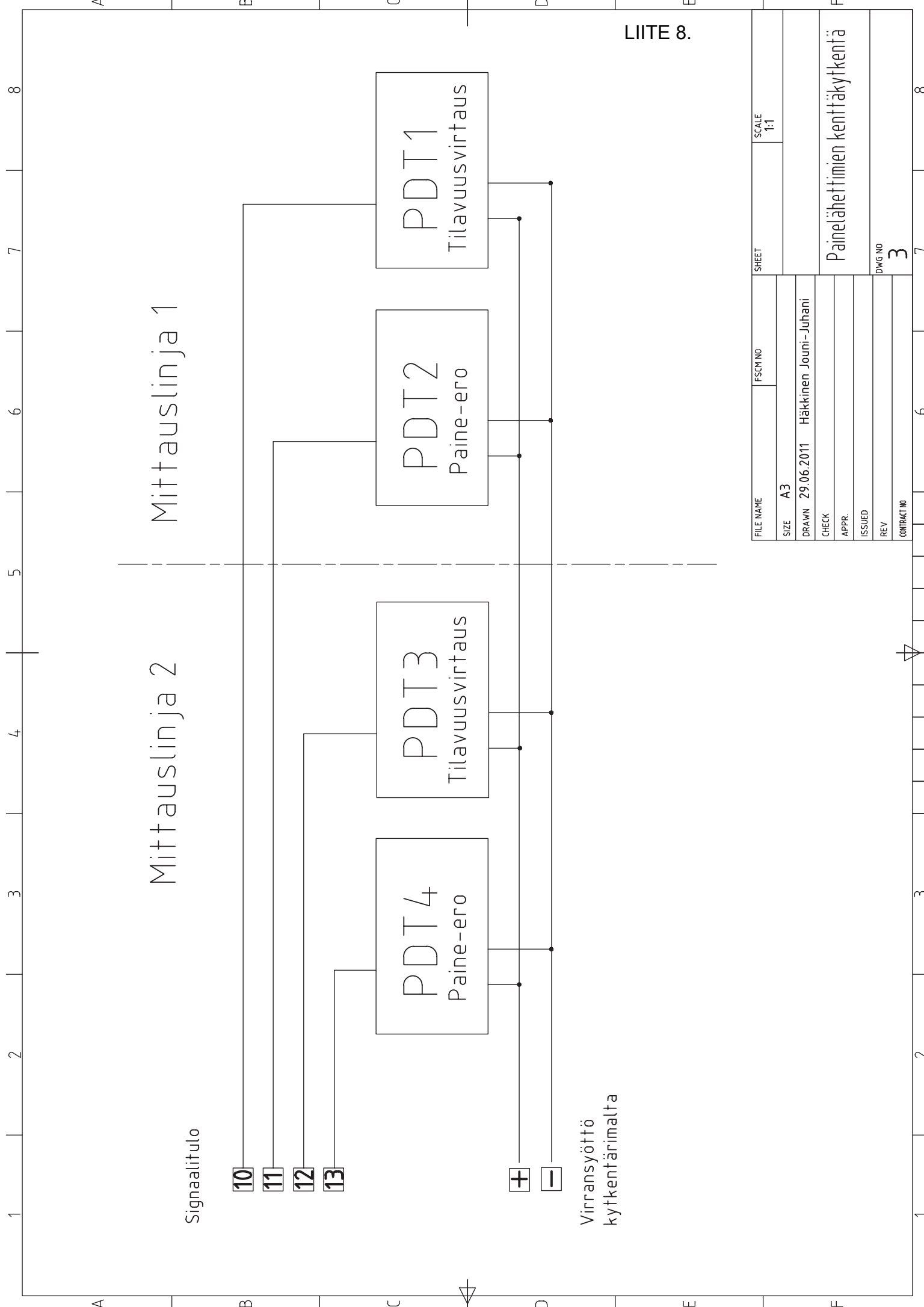
Siemens Micromaster ohjauskytkentä



Käyntisignaali +24 V Kierrosluvun asetus 0 ... +10 V

LIITE 7.

FILE NAME	Taajusmuuttajien kytkennät	SHEET	SCALE
SIZE	A3		1:1
DRAWN	12.07.2011 Häkkinen Jouni-Juhani		
CHECK			
APPR.			
ISSUED			
REV			
CONTRACT NO			
Taajusmuuttajien liitännät			
Liitännumerot			
DWG NO			
14			

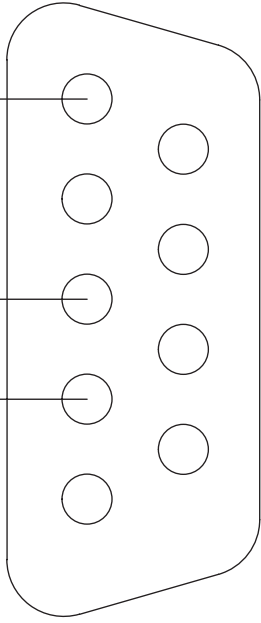


LIITE 8.

FILE NAME	FSCM NO	SHEET	SCALE
SIZE	A3		1:1
DRAWN	29.06.2011	Häkkinen Jouni-Juhani	
CHECK			
APPR.			
ISSUED			
REV			
CONTRACT NO			
Painelähttimien kytkentä			DWG NO
			3
			7
			8

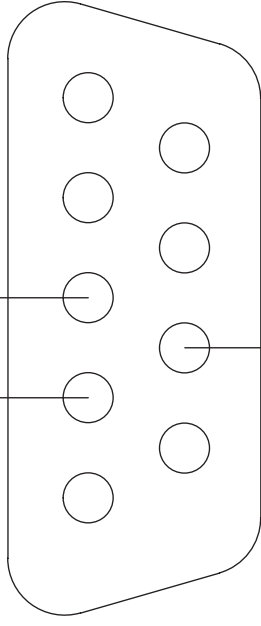
PC - liitin

RCV TX GND
2 3 5



MetOne - liitin

TX RCV
2 3

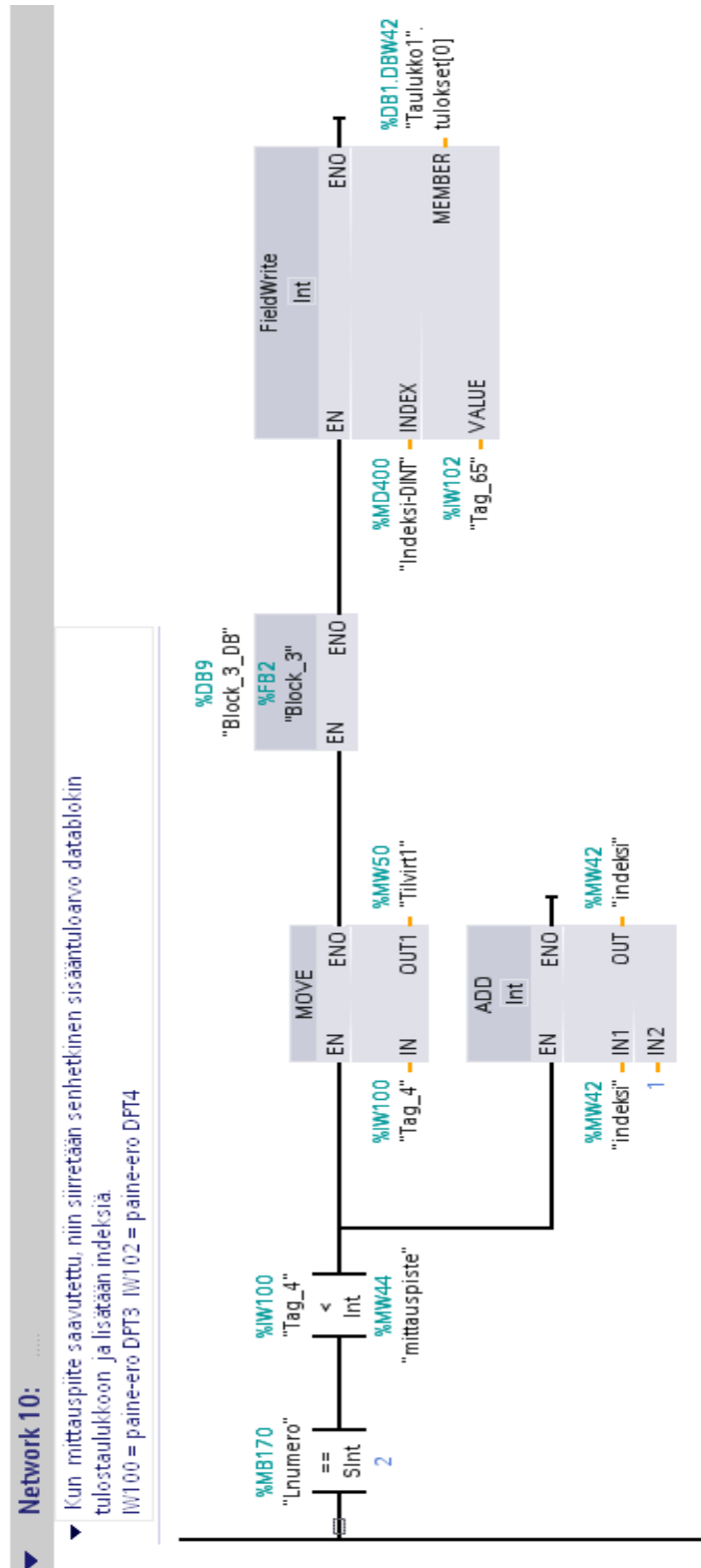


GND - pinnit kytketään yhteen
RCV / TX - pinnit kytketään ristiin

LIITE 9.

















FILE NAME	RS232 - LIITTIMET	SHEET	SCALE
SIZE	A3		2:1
DRAWN	29.06.2011 Häkkinen Jouni-Juhani		
CHECK			
APPR.			
ISSUED			
REV			
CONTRACT NO			
		RS232 - LIITTIMET	
		DWG NO	
		2	

Esimerki S7-1200 -logiikkayksikön LAD-ohjelmarivistä.



PLC tags

	Name	Data type	Address	Retain	Comment
	Tilavuusvirtaus1	Word	%IW96	<input type="checkbox"/>	PDT1
	Paine-ero1	Word	%IW98	<input type="checkbox"/>	PDT2
	Tilavuusvirtaus2	Word	%IW100	<input type="checkbox"/>	PDT3
	paine-ero2	Int	%IW102	<input type="checkbox"/>	PDT4
	rele1	Bool	%Q0.0	<input type="checkbox"/>	L1 V1 ohjaus
	rele2	Bool	%Q0.1	<input type="checkbox"/>	L1 V2 ohjaus
	rele3	Bool	%Q0.2	<input type="checkbox"/>	L1 V3 ohjaus
	rele4	Bool	%Q0.3	<input type="checkbox"/>	L2 V1 ohjaus
	rele5	Bool	%Q0.4	<input type="checkbox"/>	L2 V2 ohjaus
	rele6	Bool	%Q0.5	<input type="checkbox"/>	L2 V3 ohjaus
	M1-kay	Bool	%Q0.6	<input type="checkbox"/>	L1 tamu kayntilupa
	M2-kay	Bool	%Q0.7	<input type="checkbox"/>	L2 tamu kayntilupa
	Moottori1	Word	%QW96	<input type="checkbox"/>	L1 tamu kierrokset
	Moottori2	Word	%QW98	<input type="checkbox"/>	L2 tamu kierrokset
	Tag_6	Bool	%M0.0	<input type="checkbox"/>	apumuistipaikka
	Tag_12	Bool	%M0.1	<input type="checkbox"/>	apumuistipaikka
	Tag_14	Bool	%M0.2	<input type="checkbox"/>	apumuistipaikka
	Tag_24	Bool	%M0.4	<input type="checkbox"/>	apumuistipaikka
	kay_apu	Bool	%M0.7	<input type="checkbox"/>	apumuistipaikka
	Tag_25	Bool	%M1.0	<input type="checkbox"/>	apumuistipaikka
	Tag_13	Bool	%M4.7	<input type="checkbox"/>	apumuistipaikka
	kayntilupa	Bool	%M5.0	<input type="checkbox"/>	Kaynnistyskomento
	indeksi	Word	%MW42	<input type="checkbox"/>	Mittauspistetaulukon indeksi
	mittauspiste	Word	%MW44	<input type="checkbox"/>	Seuraava mittauspiste
	Tilvirt1	Word	%MW50	<input type="checkbox"/>	Tilavuusvirtaus_apu
	Lnumero	Byte	%MB170	<input type="checkbox"/>	Laitenumero
	maika	Time	%MD180	<input type="checkbox"/>	Moottorihjauksen muutoksen aikavali
	Moottori_out	Word	%MW198	<input type="checkbox"/>	Ulostulon syottoarvo
	Indeksi-DINT	DInt	%MD400	<input type="checkbox"/>	Indeksi, Dint-muodossa
	M1_pm	Word	%MW410	<input type="checkbox"/>	M1 vakiokaynti
	M2_pm	Word	%MW412	<input type="checkbox"/>	M2 vakiokaynti
	Tag_27	Int	%MW500	<input type="checkbox"/>	Tulostaulukon siirtomuisti
	Tag_28	Int	%MW502	<input type="checkbox"/>	Tulostaulukon siirtomuisti
	Tag_29	Int	%MW504	<input type="checkbox"/>	Tulostaulukon siirtomuisti
	Tag_30	Int	%MW506	<input type="checkbox"/>	Tulostaulukon siirtomuisti
	Tag_31	Int	%MW508	<input type="checkbox"/>	Tulostaulukon siirtomuisti
	Tag_32	Int	%MW510	<input type="checkbox"/>	Tulostaulukon siirtomuisti
	Tag_33	Int	%MW512	<input type="checkbox"/>	Tulostaulukon siirtomuisti
	Tag_34	Int	%MW514	<input type="checkbox"/>	Tulostaulukon siirtomuisti
	Tag_35	Int	%MW516	<input type="checkbox"/>	Tulostaulukon siirtomuisti
	Tag_36	Int	%MW518	<input type="checkbox"/>	Tulostaulukon siirtomuisti
	Tag_37	Int	%MW520	<input type="checkbox"/>	Tulostaulukon siirtomuisti
	Tag_38	Int	%MW522	<input type="checkbox"/>	Tulostaulukon siirtomuisti

	Name	Data type	Address	Retain	Comment
	Tag_39	Int	%MW524	<input type="checkbox"/>	Tulostaulukon siirtomuisti
	Tag_40	Int	%MW526	<input type="checkbox"/>	Tulostaulukon siirtomuisti
	Tag_41	Int	%MW528	<input type="checkbox"/>	Tulostaulukon siirtomuisti
	Tag_42	Int	%MW530	<input type="checkbox"/>	Tulostaulukon siirtomuisti
	Tag_43	Int	%MW532	<input type="checkbox"/>	Tulostaulukon siirtomuisti
	Tag_68	Int	%MW534	<input type="checkbox"/>	Tulostaulukon siirtomuisti
	Tag_45	Int	%MW536	<input type="checkbox"/>	Tulostaulukon siirtomuisti
	Tag_46	Int	%MW538	<input type="checkbox"/>	Tulostaulukon siirtomuisti
	Tag_47	Int	%MW540	<input type="checkbox"/>	Tulostaulukon siirtomuisti
	normipiste	Word	%MW560	<input type="checkbox"/>	Nominaalipisteen haku
	maskel	Word	%MW580	<input type="checkbox"/>	Moottoriohjauksen muutoksen askel
	lahtopiste	Word	%MW582	<input type="checkbox"/>	Moottorin lahtoarvo
	Tag_51	Word	%MW600	<input type="checkbox"/>	Ei käytössä
	Tag_52	Word	%MW602	<input type="checkbox"/>	Ei käytössä
	Tag_53	Word	%MW604	<input type="checkbox"/>	Ei käytössä
				<input type="checkbox"/>	

```

Sub mittaussilmukka()

ActiveWorkbook.Worksheets("parametrit").Range("E2") =
ActiveWorkbook.Worksheets("parametrit").Range("E2") + 1
mittausnumero = ActiveWorkbook.Worksheets("parametrit").Range("E2")
'luodaan mittauskerralle yksilöivä numero

Call logt("mittaus alkaa")
Call logt("Mittausnumero: " & mittausnumero)
'kirjotetaan logiin

If ThisWorkbook.Sheets("RSCOM").Range("j6") = 0 And ThisWorkbook.Sheets("RSCOM").Range("J7") = 0
Then

str2$ = "Käynnistä puhallus ensin"
tt$ = ""
Call statusrivi("", str2$, "")
logt ("mittauksen käynnistysyritys ilman puhallusta")
Exit Sub
End If
'tarkastetaan, että puhallus on päällä

Call Manual_mode
'asetetaan laskurin mittaustapa

ThisWorkbook.Sheets("RSCOM").Range("A24:K100").Clear
'tyhjennetään vanhat tulosrivit

mittauslkm = ThisWorkbook.Sheets("RSCOM").Range("D16")

mittausaika = ThisWorkbook.Sheets("RSCOM").Range("D14")

huuhteluaika = ThisWorkbook.Sheets("RSCOM").Range("D12")

laite = ThisWorkbook.Sheets("RSCOM").Range("D6")

'haetaan parametreja

Dim pero(100)
paineidx = 1
'paine-eron taulukko ja taulukon indeksi

Call Pumppu_start
logt ("pumppu käyntiin")
'metone valmiustilaan

str2$ = "Mittaus alkaa. " & mittauslkm & " mittausta"
Call statusrivi("", str2$, "")
'ilmoitus käyttäjälle

Call odota(1)

For I = 1 To mittauslkm
'pääsilmukka

logt ("mittauskierros " & I)

'partikkelipuolen huuhtelu
'asetta venttiilit

If laite = 1 Then
Call venttiilit(1)
Else
Call venttiilit(3)
End If

```

```

str2$ = I & ". tulopuolen huuhtelu käynnissä"
Call statusrivi("", str2$, "")
Call huuhtelu(huuhteluaika)
'kutsutaan huuhtelurutiini

Chan = DDEInitiate("DASSIDIRECT", "device_paine")
If laite = 1 Then

pz1 = DDERequest(Chan, "IW98")

End If

If laite = 2 Then

pz1 = DDERequest(Chan, "IW102")

End If

DDETerminate Chan

'talletetaan paine-ero partikkelilaskennan alkaessa

'paine-ero valitusta mittauslinjan lähettimeltä
'pero(paineidx) = pz2

pz2 = (pz1(1))

pero(paineidx) = muuntola(paineidx)
paineidx = paineidx + 1
'muunetaan signaali funktion avulla si-yksiköksi
'talletaan ja lisätään indeksiä

pw1$ = "Paine-ero, " & paineidx & ".mittaus " & pz2
str2$ = I & ". tulopuolen mittaus käynnissä"

Call statusrivi("", str2$, pw1$)
Call logt(str2$)
Call logt(pw1$)

Call Mittaus_start(mittausaika)

'tulopuolen huuhtelu & mittaus suoritettu
'-----

If laite = 1 Then
Call venttiilit(2)
Else
Call venttiilit(4)
End If

'venttiilit lähtöpuolen asentoon

stat$ = I & ". lähtöpuolen huuhtelu käynnissä"
'raprivi = raprivi + 1
Call statusrivi("", stat$, "")
Call logt(stat$)

Call odota(1)

Call huuhtelu(huuhteluaika)
'huuhtelu

stat$ = I & ". lähtöpuolen mittaus käynnissä"

Call logt(stat$)
Call statusrivi("", stat$, "")

```

```

Chan = DDEInitiate("DASSIDIRECT", "device_paine")
If laite = 1 Then

pz1 = DDERequest(Chan, "IW98")

End If

If laite = 2 Then

pz1 = DDERequest(Chan, "IW102")

End If

DDETerminate Chan
'haetaan paine-ero tieto

pz2 = (pz1(1))

pw1$ = "Paine-ero, " & paineidx & " .mittaus " & pz2

Call statusrivi("", stat$, pw1$)
Call logt(pw1$)

pero(paineidx) = muuntola(paineidx)
paineidx = paineidx + 1
'muunetaan signaali funktion avulla si-yksiköksi
'talletaan ja lisätään indeksia

Call Mittaus_start(mittausaika)
'partikkelipuolen laskenta

Next I
'mittaussilmukka

Call Mittaus_seis
'mittaussilmukka on täynnä

Call odota(1)

Call venttiilit(0)
Call lopeta_nominaalipuhallus
'venttiilit kiinni, puhallus seis

For ic = 1 To mittauslkm * 2

tx = ic + 25
ThisWorkbook.Sheets("RSCOM").Range("B" & tx) = pero(ic)
Next ic
'kirjotetaan paine-eron arvot taulukkoon

stat$ = "Luetaan mittaustuloksia, odota"

Call statusrivi("", stat$, "")

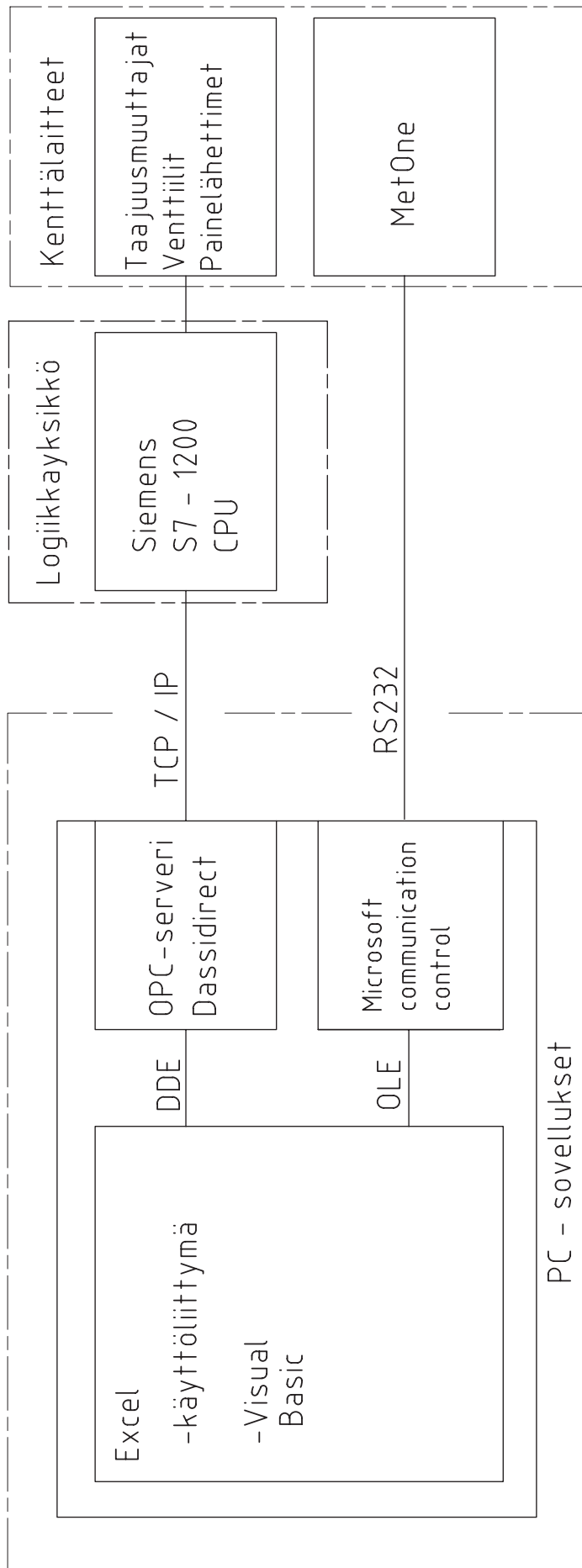
Call Mittaus_seis
Call odota(1)
'varmistetaan seis-tila

Call Puskuri_kysely
'kutsutaan tulostenhakurutiinia

End Sub

```

Periaatekuva ohjausjärjestelmän ohjelmistorakenteesta

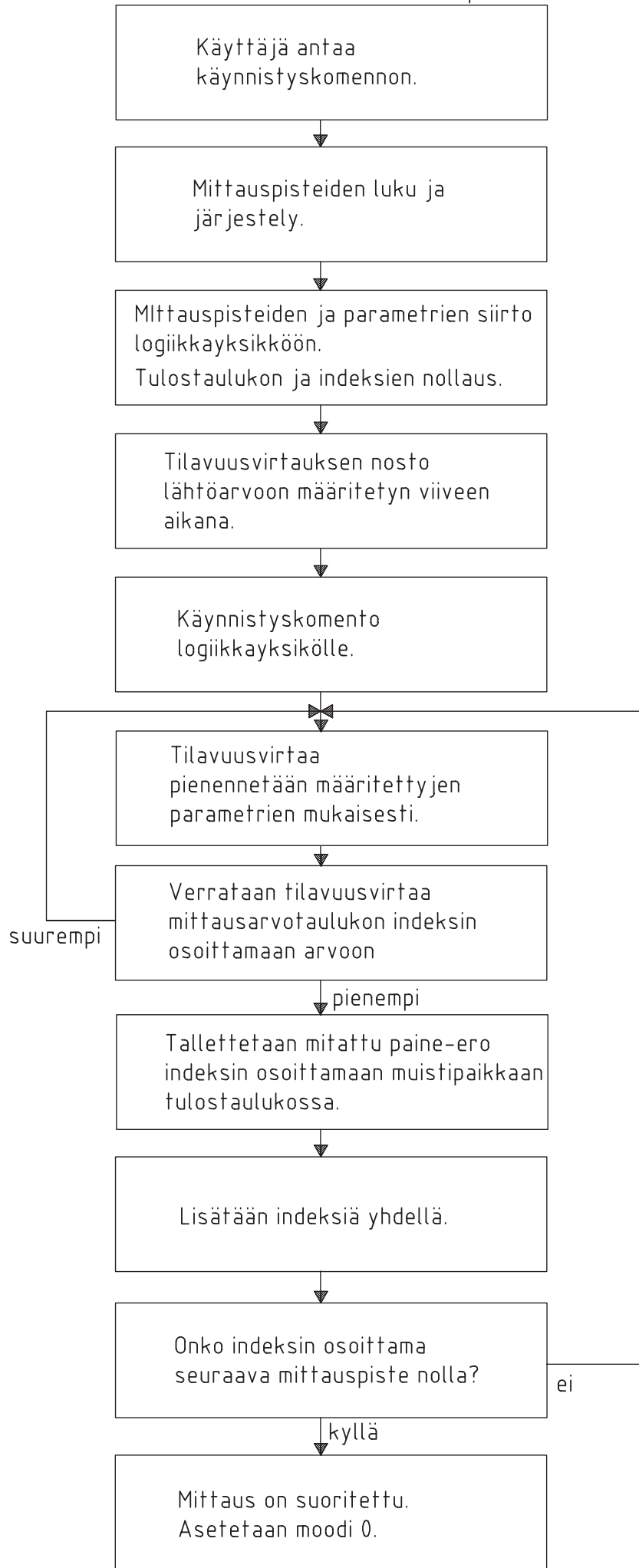


LIITE 13.

FILE NAME	FSCM NO	SHEET	SCALE
SIZE	A3		1:1
DRAWN	04.07.2011	Häkkinen Jouni - Juhani	
CHECK			
APPR.			
ISSUED			
REV			
CONTRACT NO			
Ohjausjärjestelmä			
periaatekuva			
DWG NO			
6			

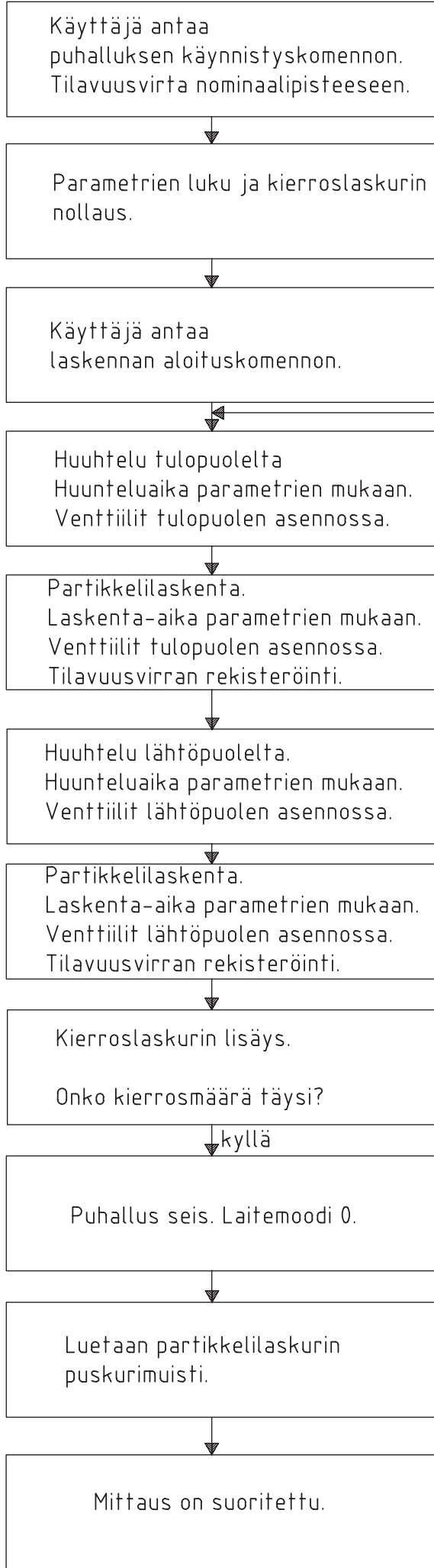


LIITE 14.



FILE NAME	FSCM NO	SHEET	SCALE 1:1
SIZE A3			
DRAWN 06.07.2011 aen9joha			
CHECK			
APPR.			
ISSUED			
REV			
CONTRACT NO			
		Vuokaavio Painehäviön mittausproseduuri DWG NO 12	

LIITE 15.



FILE NAME	FSCM NO	SHEET	SCALE
SIZE	A3		1:1
DRAWN	06.07.2011	aen9joha	
CHECK			
APPR.			
ISSUED			
REV			
CONTRACT NO			
		Vuokaavio	
		Partikkelilaskenta	
		DWG NO	
		13	

Esimerki käyttöliittymän ulkoasusta.

Yhdistä MetOne		Testaa yhteys		PUMPPU		SEIS		F	
Laitenumero	1	1	2	Puhallin päälle		+		Puhallin seis	
Nominaaliasetus	500			-					
Mitattu tilavuusvirta									
Huuhtelu aika	2 s								
Mittausaika	2 s								
Mittausten lukumäärä	2 kierrosta							MITTAUS	

Nominaalipuhallus, linja 1

Mittausnumero:	10217							
1. TULO	1	103429	32564	2142	55	0	0	0
2. LÄHTÖ	2	103435	32691	2087	44	0	0	0
3. TULO	3	103440	32913	2176	39	1	0	0
4. LÄHTÖ	4	103446	32721	2307	54	0	0	0

Kuva 1. Ruutukaappaus partikkelilaskennan ohjauskäyttöliittymästä.

Toimintopainikkeet ja parametrien kentät sijaitsevat näkymän yläosassa. Järjestelmän tila ja tietoja mittauksen etenemisestä on esillä inforuudussa. Mittaustulokset kerätään näkymän alaosaan.

MEASUREMENT REPORT 1.8.2011
Pressure loss

MEASUREMENT NUMBER 10467



EAGLE FILTERS LTD

SAMPLE

Media	Test material number 002
Batch	August 10-10-10
Roll	3

Nominal face velocity 5,3 cm/s

v (cm/s)	10	8	7	6	5,3	5	4	3	2	1	0
ΔP (Pa)	92	74	65	55	48	46	36	27	18	9	0

