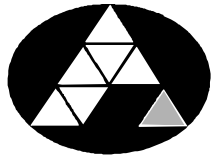


POHJOIS-KARJALAN AMMATTIKORKEAKOULU  
Tietotekniikan koulutusohjelma

Elmo Romppanen

VESIPROSESSIN KEHITYSTYÖ JA TESTAUS

Opinnäytetyö  
Huhtikuu 2012



POHJOIS-KARJALAN  
AMMATTIKORKEAKOULU

**OPINNÄYTETYÖ**  
**Huhtikuu 2012**  
**Tietotekniikan koulutusohjelma**

Karjalankatu 3  
80200 JOENSUU  
p. (013) 260 6800

Tekijä  
Elmo Romppanen

Nimeke  
Vesiprosessin kehitystyö ja testaus

Toimeksiantaja  
Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulu

Tiivistelmä

Opinnäytetyön tarkoituksena oli kehittää ja testata Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoululla olevaa vesiprosessia, jota oli suunniteltu aiemmillä automaatiotekniikan kursseilla. Tarkoitus oli luoda vesiprosessiin kierto ja siihen prosessia tukevia mittauksia. Kiertoon luotiin myös säätöpiiri, jonka avulla voitiin säätää prosessin pinnankorkeutta. Toisena pääaiheena oli luoda tehdystä kierrosta matemaattinen malli. Työssä tutkittiin myös langatonta sensoriverkkoa. Tulevaisuudessa vesiprosessin olisi tarkoitus olla opetuskäytössä.

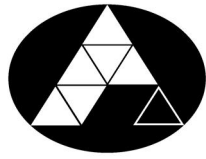
Projektissa käytettiin Siemens LOGO! Comfort, Step7- ja LabView2010-ohjelmia säätöjen ja ohjausten tekemiseen, analysointiin ja valvontaan. Mittausten analysointi tapahtui LabView2010-ohjelmassa. Säädot ja ohjaukset sekä niiden valvonta tapahtui LOGO! Comfort ja Step7-ohjelmien avulla.

Päätavoitteet eli kierto, säätöpiiri ja matemaattinen malli saavutettiin toteutuksen osalta. Prosessissa on vielä jatkokehitys aihetta, mutta sitä voidaan käyttää jo opetuksessa.

Kieli  
suomi

Sivuja 50  
Liitteet 9  
Liitesivumäärä 11

Asiasanat  
LabView, LOGO, matemaattinen malli, säätöpiiri, vesiprosessi



NORTH KARELIA  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

**THESIS**  
**April 2012**  
**Degree Programme in Information  
Technology**  
Karjalankatu 3  
FIN 80200 JOENSUU  
FINLAND  
Tel. 358-13-260 6800

Author  
Elmo Romppanen

Title  
Development and Testing of Water Process

Commissioned by  
North Karelia University of Applied Sciences

Abstract

The purpose of this thesis was to develop and test water process. Water process was designed in earlier courses in automation technology. Main aim of this work was create rotation in water process, create measurements that support the process and make control circuit what adjust water tank liquid level. Other main subject was mathematical model of the water process. Wireless sensor network was also one element in the process.

Siemens LOGO! Comfort, STEP7 and LabView2010 programs were used to make controls, analyzing and monitoring. Analysis of the measurements happens in LabView2010 program and process control and monitoring in LOGO! Comfort and STEP7.

The main goals, which were rotation in water process, control circuit and mathematical model, were reached in this thesis. The process has still some further development subjects, but it can already use in teaching.

Language  
Finnish

Pages 50  
Appendices 9  
Pages of Appendices 11

Keywords  
Control circuit, LabView, LOGO, mathematical model, water process

## Lyhenteet

AS-Interface	Actuator Sensor Interface on automaatiassa käytetty väylätekniikka.
I/O	Input/Output, tulo/lähtö.
LABVIEW	Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench, National Instrumentsin suunnittelema ohjelmointiympäristö.
NI	National Instruments. Yritys joka valmistaa automaattisia mittauslaitteistoja ja virtuaali-instrumentti-ohjelmistoja.
PI-kaavio	Prosessin instrumentointikaavio.

## Sisältö

Tiivistelmä

Abstract

Lyhenteet

1	Johdanto.....	7
2	Prosessiteoria.....	8
2.1	Prosessilaitteisto.....	8
2.1.1	Measurement & Automation Explorer (MAX).....	8
2.1.2	LabView 2010.....	9
2.1.3	Mittauskortit.....	10
2.1.4	NI Wireless Sensor Network.....	11
2.1.5	Siemens LOGO!.....	12
2.1.6	Kiertovesipumput.....	13
2.2	Prosessimittaukset.....	15
2.2.1	PT-100 lämpötila-anturi.....	15
2.2.2	Virtausvahti.....	16
2.2.3	Pinnankorkeusanturi.....	16
2.2.4	Langaton mittaus.....	17
2.3	Prosessin väylät.....	17
2.3.1	Ethernet.....	17
2.3.2	AS-Interface.....	18
3	Säätöpiiriteoria.....	19
3.1	PI-kaavio.....	19
3.2	Säätöteoria.....	20
3.2.1	P-säätö.....	20
3.2.2	I-säätö.....	20
3.2.3	Askelvaste-menetelmä.....	21
3.3	Prosessin säädön toiminta.....	21
4	Prosessisuunnittelu.....	22
4.1	Vesiprosessin sähkökytkennät.....	22
4.2	Langalliset mittaukset.....	22
4.3	Mittausten määritykset.....	23
4.3.1	Mittauskortit.....	23
4.3.2	Virtuaalikanavat ja skaalaukset.....	25
4.4	Langattomat mittaukset.....	27
4.4.1	NI WSN.....	27
4.5	Siemens S7.....	30
4.6	LabView-suunnittelu.....	31
4.7	LOGOComfort.....	32
4.8	Suunnittelun johtopäätökset.....	34
5	Prosessimallinnus.....	34
5.1	Simulink-työkalu.....	34
5.2	Matemaattisen mallin suunnittelu.....	35

5.3	Simulink-malli.....	37
5.4	NI LabView System Identification Toolkit.....	39
5.5	Mallinnuksen johtopäätökset.....	40
6	Prosessitestaus .....	41
6.1	LabView-testaus .....	41
6.2	WSN-testaus.....	42
6.3	Säätöpiiri .....	43
6.3.1	Säätöpiirin parametrit.....	43
6.3.2	Säätöpiirin simulointi .....	44
6.3.3	Säätöpiirin testaus .....	45
6.4	Mallien vertailu .....	46
7	Pohdinta.....	48
	Lähteet.....	49

## Liitteet

Liite 1	Hankintalista
Liite 2	Virtausmittausten parametrit
Liite 3	Virtaukset eri ohjausjännitteillä
Liite 4	Vesiprosessin sähkökytkennät
Liite 5	Ristikytken kytkenäkuvat
Liite 6	Siemens S7-ohjelma
Liite 7	Siemens S7-kytkennät
Liite 8	Verrannollisuuskertoimen kaava
Liite 9	Vesiprosessin käyttöohjeet

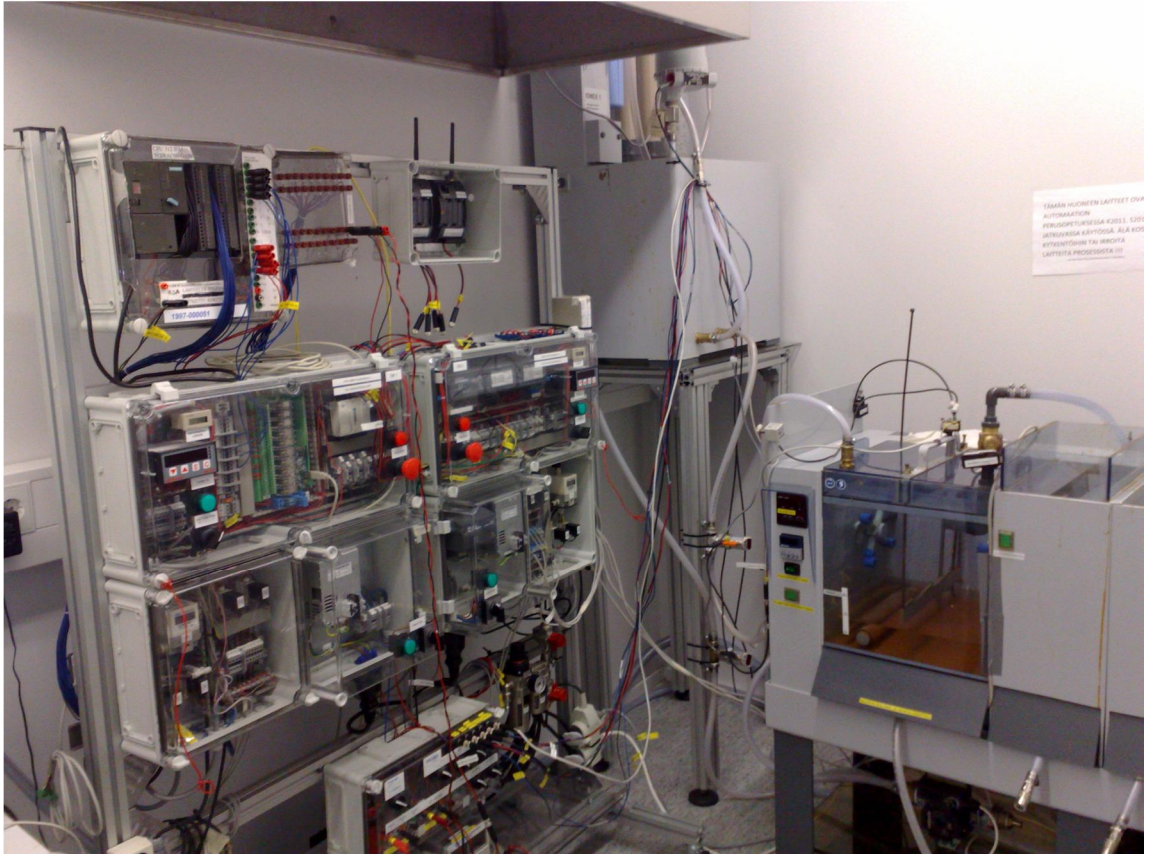
## 1 Johdanto

Opinnäytetyön tavoitteena oli toteuttaa Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulun tiloissa olevalle vesiprosessille malli ja testata sen toimivuus. Koululle oli aiemmin jo toteutettu yksi opinnäytetyö vesiprosessia koskien. Opinnäytetyössä käsiteltiin tietynlaisen vesiprosessin suunnittelua ja kustannuslaskentaa. Työ ei kuitenkaan edennyt toteutus asteelle. Tässä opinnäytetyössä lähdettiin tuottamaan uutta vesiprosessia, joka toteutettaisiin myös käytännössä.

Vesiprosessiin luotiin kierto, jolle tehtiin mittauksia. Kiertoon luotiin myös säätöpiiri, jonka avulla pinnankorkeutta pystyttiin säätämään. Tavoitteena oli myös rakentaa vesiprosessiin langaton mittaus prosessisuureille. Kierrosta toteutettiin myös vastaava matemaattinen malli. Matemaattista mallia ja kiertoa verrattiin toisiinsa ja vertailtiin tulosten tarkkuutta. Lisäksi vesiprosessikokonaisuutta siistittiin ja poistettiin ylimääräisiä johdotuksia. Prosessia muokattiin myös siten, että mittauksista saatiin nopeasti johdotuksia vaihtamalla langattomia. Teoriassa prosessissa säiliö 1 ja siinä olevat sumuttimet toimisivat piirikorttien pesulaitteena. Säiliössä 2 taas tapahtuisi pesuveden suodatus, josta se palaisi takaisin puhtaana valumavetenä säiliöön 1.

Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulu oli ostanut vesiprosessin (kuva 1) käyttöönsä Kontaktsystem Oy:ltä vuonna 2001. Prosessi oli toiminut yrityksessä piirikorttien pesulaitteena. Sitä oli muokattu koululla opetuskäyttöön soveltuvaksi. Prosessia voitaisiin käyttää automaation perusopetuksessa sekä mittaus- ja säätötekniikan opetuksessa. Prosessi soveltuisi myös rakennusautomaation ja ympäristötekniikan koulutukseen.

Tässä työssä jatkokehitetään aiemmin automaatiotekniikan kursseilla suunniteltua mittaus-, testaus- ja ohjauslaitteistoa (Kuosa, J. 2011. Vesiprosessi).



Kuva 1. Vesiprosessi

## 2 Prosessiteoria

### 2.1 Prosessilaitteisto

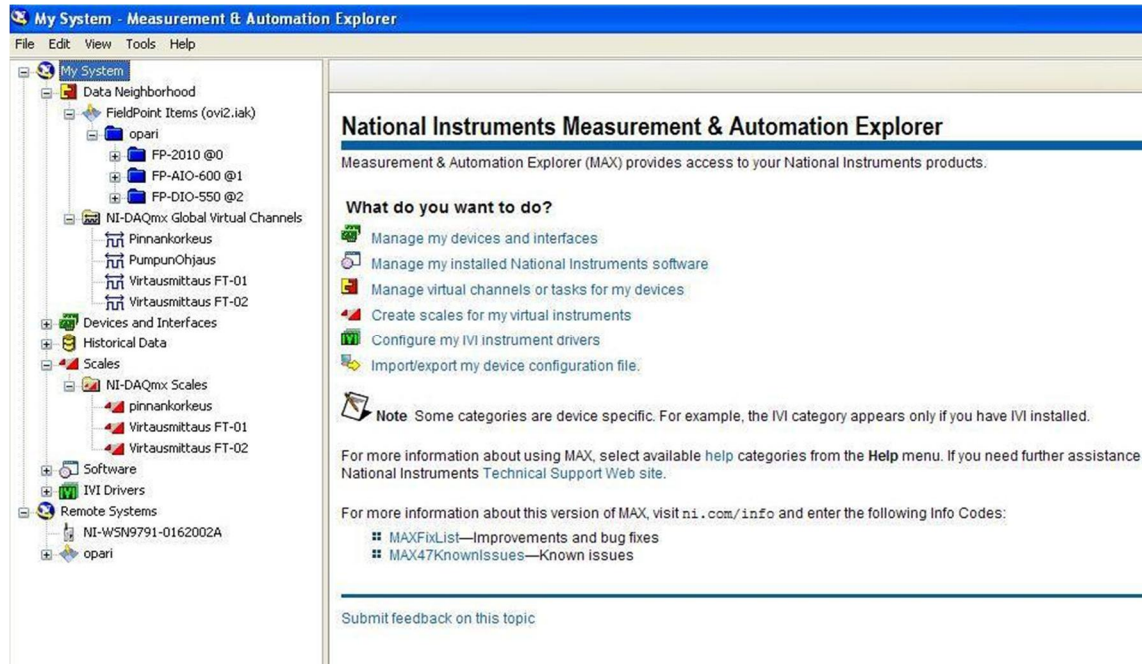
Projektiä varten täytyi hankkia lisää laitteistoa ja ohjelmistoja, koska aiemmat ohjelmat eivät riittäneet ja tarvittavia laitteita ei löytynyt koululta. Seuraavassa tarkemmat tiedot laitteista ja mihin niitä vesiprosessissa tarvittiin. Hankintahinnat löytyvät liitteestä 1.

#### 2.1.1 Measurement & Automation Explorer (MAX)

Measurement & Automation Explorer on työkalu (kuva 2), jolla hallinnoidaan erilaisia National Instrumentsin komponentteja. Ohjelmassa määritetään I/O-asetukset, laitteiden lähiverkkoasetukset ja testataan NI-laitteiston toimivuus. Measurement & Automation Explorer -ohjelmassa luodaan tiedosto (iak-



tiedosto), joka sisältää sovelluksen tarvitsemat laitteistot, I/O-asetukset, kanavi-  
en asetukset, skaalaukset ja muut määrytykset, kuten IP-osoitteet.



**Kuva 2. Measurement & Automation Explorer**

### 2.1.2 LabView 2010

LabView on graafinen ohjelmointiympäristö, jota käytetään ohjausjärjestelmissä sekä mittaus- ja testaussovelluksissa. Se on myös yleisesti käytössä teollisuus-  
automaatiossa. LabView tarjoaa myös yhteensopivuuden tuhansien eri laittei-  
den kanssa niin USB-, Ethernet- kuin Wi-Fi-yhteyksien kautta (LabView 2011).  
Alkuperäinen versio LabView'stä julkaistiin jo vuonna 1986.

Projektissa LabView toimi mittaus- ja testaussovelluksena. LabView saa tiedot  
antureilta National Instrumentsin mittakorttien kautta. LabView-ohjelmassa on  
tehty mittaussovellukset lämpötilan, pinnankorkeuden ja virtausten mittauksille.  
LabView:ssä mittaukset analysoidaan, muokataan ja skaalataan oikeiksi ja niitä  
voidaan tarpeen vaatiessa tallettaa tiedostoon myöhempää tarkastelua varten.  
Tarkempi kuvaus luodusta Labview-ohjelmasta on luvussa LabView-suunnittelu.

Koululla ollut LabView-lisenssi oli vanhentunut ja siitä käytettiin vain demover-  
siota. Ennen projektin aloitusta uusi lisenssi päätettiin hankkia hyvissä ajoin ja

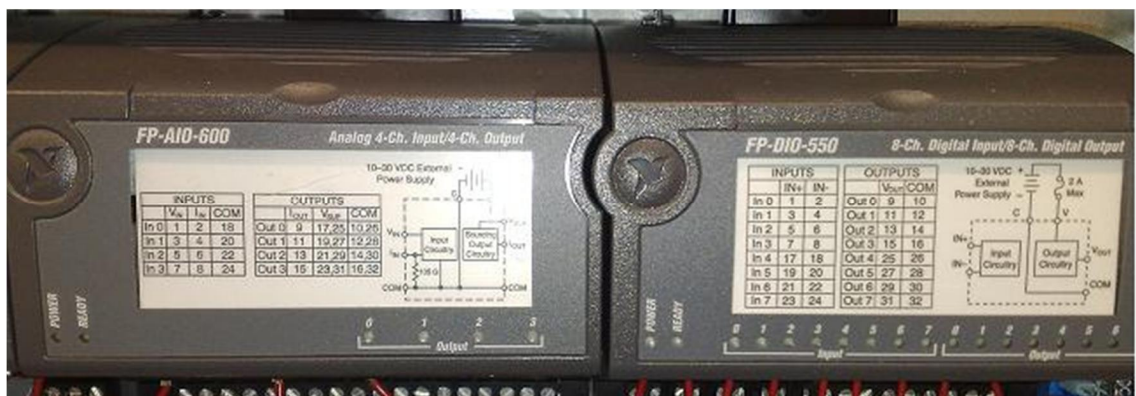
kaikista ensimmäisenä, ettei projekti kaatuisi ainakaan vanhaan ohjelmistoon. Oli myös tärkeää saada lisenssi hankittua, koska jos lisenssiä ei olisi saatu, niin se olisi ollut projektin onnistumiselle iso riski.

### 2.1.3 Mittauskortit

Mittauslaitteisto koostui National Instrumentsin laitteista. Laitteisto kommunikoi keskenään ja mittalaitteet ovat yhteydessä tietokoneeseen NI FP-2010-kommunikointimoduulin kautta. NI FP-2010-moduuli liitetään tietokoneeseen Ethernetin avulla. Moduuliin voi olla liitetty kerrallaan yhdeksän muuta moduulia (NI FP-2010 2001).

Tulo- ja lähtösignaalien käsittelyn hoitaa National Instrumentsin FP-AIO-600-analogiakortti (kuva 3). Kortissa on neljä tulo- ja lähtökanavaa. Tulokanavat voidaan määrittää vastaanottamaan 0-20 mA:n, 4-20 mA:n tai 0-30 V:n viestiä. Lähtökanavat taas tuottavat joko 0-20 mA:n tai 4-20 mA:n signaalia. Kortti saa jännitteen kommunikointimoduulin kautta (NI FP-AIO-600 2006).

National Instrumentsin FP-DIO-550-digitaalikortti (kuva 3) hoitaa digitaaliset tulo- ja lähtösignaalit. Kortissa on kahdeksan tulo- ja lähtökanavaa. Jännitesyöttö kortille tapahtuu myös kommunikointimoduulin kautta (NI FP-DIO-550 2006).



Kuva 3. FP-AIO-600 ja FP-DIO-550-mittakortit

Kolmantena mittauskorttina käytetään NI USB-6008 -korttia (kuva 4). Kortissa on kahdeksan analogiatulokanavaa ja kaksi analogialähtökanavaa. Kortissa on myös 12 digitaalitulo- ja lähtökanavaa, jotka voidaan määritellä tulo- tai lähtökanaviksi halutunlaisesti. Kortti saa jännitesyötön USB-väylän kautta, kun se on kytkettynä tietokoneeseen (NI USB-6008 2008).



Kuva 4. USB-6008 mittakortti (NI USB-6008 2008)

#### 2.1.4 NI Wireless Sensor Network

Wireless Sensor Network (WSN) on National Instrumentsin oma langattomille mittauksille suunniteltu järjestelmä LabView-ohjelmointiympäristöön (kuva 5). Projektia varten koululle hankittiin LabView WSN Module Pioneer -sovellus. Paketti sisälsi kaksi mittaussolmua, yhdyskäytävän ja ohjelmiston. Saadut mittaus-tiedot välittyvät langattomasti yhdyskäytävälle, joka yhdistyy isäntäjärjestelmään, jossa mittaustietoja voidaan analysoida ja esittää ohjelman avulla halutusti.

Mukana tullut yhdyskäytävä (NI WSN-9791) välittää solmuilta tulevat mittaustiedot isäntäkoneelle, eli se toimii linkkinä Ethernet-verkon ja langattoman sensoriverkon välillä. Yhdyskäytävä toimii 2,4 GHz taajuudella ja perustuu IEEE 802.15.4 -standardiin. Laitteessa on myös 10/100 Mbit/s Ethernet-portti, joka takaa hyvän liitettävyyden isäntäkoneeseen (NI WSN 2010).

NI WSN- mittaussolmut mahdollistavat suorat sensorikytkennät ja luotettavan kommunikoinnin. Laitteet toimivat AA-paristoilla tai vaihtoehtoisesti ulkoisen jännitelähteen avulla. Solmu NI WSN-3202 sisältää neljä  $\pm 10$  V:n analogiatuloa ja neljä kaksisuuntaista digitaalikanavaa, joista voidaan päättää ovatko ne tuloja vai lähtöjä. Toinen solmuista oli NI WSN-3212 joka sisälsi neljä termoparitulo-kanavaa ja neljä kaksisuuntaista digitaalikanavaa.



**Kuva 5. NI WSN- mittaussolmut ja yhdyskäytävä**

Isäntäkoneella ohjelmistona toimii Measurement & Automation Explorer ja LabView. Measurement & Automation Explorerin avulla luodaan yhteys langattomaan laitteistoon. LabView on taas graafinen kehitysympäristö, jossa yhdyskäytävän lähettämiä tietoja voidaan tarkastella ja analysoida. Langattomien mittaus-ten kanssa LabView-ohjelma toimii aivan samalla tavalla kuin normaalien langallisten mittakorttien kanssa.

### **2.1.5 Siemens LOGO!**

Työssä logiikkana käytettiin Siemensin yleiskäyttöistä LOGO!-logiikkamoduulia (kuva 6). LOGOssa itsessään on muutamia digitaalitulo- ja -lähtö laajennusmoduuleja, mutta siihen voidaan helposti liittää laajennusmoduuleita. Tässä työssä tarvittiin analogiatulo ja -lähtö laajennusmoduuleja sekä AS-i moduulia. LOGO liitetään tietokoneeseen USB-liitännän kautta. PC:llä on oma LOGO! Comfort-ohjelmansa. Ohjelma toimii yksinkertaisten ohjelmointilohkojen avulla. Logiikkaa voidaan esimerkiksi käyttää valvontajärjestelmissä, ohjauksia käsiteltäessä ja säätöpiireissä (Siemens LOGO!).





Kuva 6. Siemens LOGO! (Siemens LOGO! 2010)

### 2.1.6 Kiertovesipumput

Vesiprosessia varten tarvittiin kiertovesipumppu, joka pumppaisi vettä puhdistussäiliöstä valumavesisäiliöön. Pumpun avulla prosessiin saataisiin luotua kiertö. Projektiin tarvittiin pumppu, jossa olisi sisäänrakennettu taajuusmuuttaja. Et-sinnän jälkeen löytyi useampikin pumppu ja näistä valittiin kaksi pumppuu tilaukseen.

Ensimmäinen pumppu, joka tilattiin oli Calpedan NCE 25-60/180 (kuva 7). Pumppu oli taajuusmuuttajapumppuksi todella halpa (175 €). Pumppu tilattiin, koska toisella pumpuista toimitusaika oli paljon pitempi ja pumppu tarvittiin projektin aloittamiseksi. Pumppuu voitaisiin kuitenkin myös käyttää muissa tarkoituksissa, koska se oli pienikokoinen, helppokäyttöinen ja sisälsi taajuusmuuttajan (KMV 2008). Koululta ei myöskään löytynyt tämänkaltaisia pumppuja, joten se tulisi myös tarpeeseen.



**Kuva 7. Calpeda NCE 25-60/180 (KMV 2008)**

Toiseksi taajuusmuuttajapumpuksi tilattiin Grundfosin Magna 25-60/180 (kuva 8) ja siihen kuuluva Genimoduuli CS1500. Pumppu oli tehokkaampi kuin Calpedan pumppu ja sitä pystyttiin ohjaamaan myös ulkoisesti, mitä Calpedan pumpulle ei voinut tehdä. Genimoduuli mahdollisti pumpun ulkoisen ohjauksen (Grundfos 2008). Pumppu oli moduuleineen kalliimpi kuin Calpedan pumppu, mutta siitä löytyi vastaavasti myös enemmän ominaisuuksiakin. Grundfosin pumpun saavuttua se liitettiin Calpedan pumpun tilalle.



Kuva 8. Grundfos Magna 25-60/180 (Grundfos pumppu 2012)

## 2.2 Prosessimittaukset

Vesiprosessin mittauksiin tarvittiin useammanlainen anturi, että prosessista saatiin halutut tiedot ja mittaukset käyttöön. Anturit oli jo valmiiksi hankittu koululle, joten niitä ei tarvinnut hankkia enää lisää. Osa antureista oli kuitenkin vielä kiinnittämättä prosessiin, joten ensimmäisenä niiden käyttöpaikka ja -tarkoitus täytyi suunnitella huolella.

### 2.2.1 PT-100 lämpötila-anturi

PT-100-lämpötila-anturi oli jo valmiiksi asennettuna vesiprosessiin. Anturilla saatiin mitattua veden lämpötilaa prosessissa. PT-100-anturin lähettämä viesti täytyi muuttaa muuntimen avulla jänniteviestiksi, jotta sitä pystyttäisiin lukemaan mittakorteilla.

## 2.2.2 Virtausvahti

Vesiprosessiin tarvittiin kaksi virtausmittausta. Toista käytettiin pumpun tuottaman virtauksen mittaamiseen ja toista valumaveden virtauksen mittaukseen. Käytetyt virtausvahdit olivat Ifm Electronicin valmistamia ja malliltaan SA3010 (kuva 9). Virtausvahdit pystyivät näyttämään veden virtauksen maksimissaan 40 l/min saakka. Virtausnopeus näkyi suoraan anturin LED-näytöltä tai sitä voitiin lukea mittakorteilla joko 4...20 mA:n tai 0...10 V:n viestien avulla (IFM Electronic 2003). Tässä tapauksessa käytettiin jänniteviestiä. Anturi asennettiin T-kappalesovittimeen. Anturi toimii paine-eron avulla. Halutut parametrit asetettiin anturin painikkeilla. Syötetyt parametrit löytyvät liitteestä 2.



Kuva 9. SA3010 virtausvahti

## 2.2.3 Pinnankorkeusanturi

Säiliö 1:n pinnankorkeutta mitattiin paine-eromenetelmällä. Säiliön pohjassa olevaa painetta verrataan vertailupaineeseen, tässä tapauksessa ympäristön ilmanpaineeseen. Hydrostaattinen paine kasvaa mitä syvemmillä ollaan. Paine aiheutuu nestemassan puristuksesta. Anturi antaa ulos jänniteviestin, jonka avulla pinnankorkeus voidaan ilmoittaa.

Toisena pinnankorkeusanturina käytettiin Delavanin Cap Analog 4100-lähetintä. Lähetin oli kapasitiivinen ja sen syöttöjännite 24 V. Anturiosa muodostuu sauvasta, joka menee säiliön pohjaan saakka. Lähetin sijaitsi sauvan yläpäässä, josta se lähetti 4-20 mA:n viestin ulos. Delavanin pinnankorkeusanturi ei sovelunut säiliö 1:een, koska siellä olleet sumuttimet olisivat häirinneet anturin toimintaa.



## 2.2.4 Langaton mittaus

Langatonta tekniikkaa hyödynnetään päivittäin ja siitä halutaan ottaa käyttöön kaikki sen edut. Teollisuudessa langattomalla tekniikalla täytyy olla paljon suuremmat vaatimukset kuin kodin langattomilla laitteilla. Teollisuudessa täytyy tiedonsiirron olla reaaliaikaista, luotettavaa ja turvallista. Laitteiston ollessa vanhentunut mahdolliset vahingot voivat olla suuriakin. Nykyään langaton tekniikka on kuitenkin kehittynyt ja yleistynyt huomasti, joten laitteiden turvallinen käyttö on mahdollista (Interface Times 2006).

Suurimpana etuna langattomilla laitteilla on niiden helppo asennettavuus. Langattomien laitteiden kanssa ei tarvitse huolehti kaapeleiden vedosta. Johdotuksia ei välttämättä saada vedettyä kaikkiin paikkoihin, jolloin langattomat laitteet sopivat täydellisesti kohteeseen. Langattomien laitteiden kanssa on kuitenkin ostettava huomioon ympäristön vaikutus signaaliin. Signaali voi heiketä huomattavasti, jos edessä on paksuja seiniä tai muita esteitä. Säädön toiminnan kannalta tiedonsiirron viiveet voivat olla kriittisiä.

Vaikka lankaverkkojen suorituskyky on yleensä parempi kuin langattomien verkkojen, niin lankaverkot ovat kuitenkin aina alttiina fyysisille vaurioille. Johdotusten vaurioituminen, kulumisen, huonosti tehty asennus ja varomaton käsittely ovat suurimpia syitä langallisen verkon vikaantumiseen. Langattomuuden avulla näiltä kuitenkin vältytään ja vikatilanteissa tiedetään, että vika on itse laitteessa (Geier Jim, 2005, 24-27). Langattomien laitteiden käyttöä rajoittaa kuitenkin niiden hinta. Langalliset laitteet ovat vielä huomattavasti halvempia kuin vastaavat langattomat. Langattomuuden kuitenkin yleistyessä hinnatkin tulevat laskemaan.

## 2.3 Prosessin väylät

### 2.3.1 Ethernet

National Instrumentin mittalaitteet, NI Wireless Sensor Network ja PC kommunikoivat toistensa kanssa Ethernetin kautta. Reitittimenä työssä käytettiin

ZyXelin Prestige 660H/HW-D1 ADSL-reititintä. Laitteiden osoitteet alkoivat osoitteesta 169.254.0.1. Laitteiden osoitteet näkyvät taulukosta 1.

Taulukko 1. IP-osoitteet

Laite	IP-osoite	Aliverkon peite	Yhdyskäytävä
PC	169.254.0.1	255.255.0.0	0.0.0.0
NI mittakortit	169.254.0.2	255.255.0.0	0.0.0.0
NI WSN	169.254.0.3	255.255.0.0	0.0.0.0
Reititin	169.254.0.4	255.255.0.0	0.0.0.0

Reitittimen konfigurointi onnistui laitteen mukana tulleiden ohjeiden avulla. Ensimmäisenä reititin täytyi resetoida jolloin se palautui tehdasasetuksiin. Reititintä päästiin ohjelmoimaan selaimen kautta syöttämällä osoiteriville 192.168.1.1. Oletussalasana on 1234 jonka jälkeen voitaisiin halutessa luoda uusi salasana. Tämän jälkeen Wizard Setupin kautta voidaan määrittää reitittimelle kiinteä IP-osoite, joka oli 169.254.0.4. IP-osoite oli kyseinen, koska PC:n, mittakorttien ja WSN-kitin IP-osoitteet oli määritetty jo aiemmin, joten osoite oli niistä seuraava. Määrittäykset tallennettiin Save Settings-painikkeesta.

NI mittakorttien ja NI WSN-kitin IP-osoitteet määritettiin Measurement & Automation toolin kautta. Laitteille voitiin suoraan antaa halutunlaiset IP-osoitteet. Tarkemmin IP-osoitteiden määrittämisestä NI mittakorttien ja WSN-kitin konfiguroinnin yhteydessä.

### 2.3.2 AS-Interface

Työssä AS-i tekniikkaa käytetään Siemensin S7 logiikan ja LOGOn välillä. Kummassakin laitteessa on omat AS-i korttinsa, jotka mahdollistavat kommunikoinnin keskenään.

AS-i on sensoriväylätekniikkaa, joka toimii isäntä-orja periaatteella. Isäntä ja orjat on kytketty yhteen tiedonsiirtokaapelilla, joka on normaalia parikaapelia. Kaapelin kautta laitteet saavat myös tarvitsemansa virran. Yhdellä isännällä voi olla yhteensä 62 orjaa. Orjaan voidaan liittää neljä tuloa ja neljä lähtöä, mutta kun orjia on yli 31 kappaletta, niin lähtöjä voi olla vain 3 kappaletta yhdellä orjal-

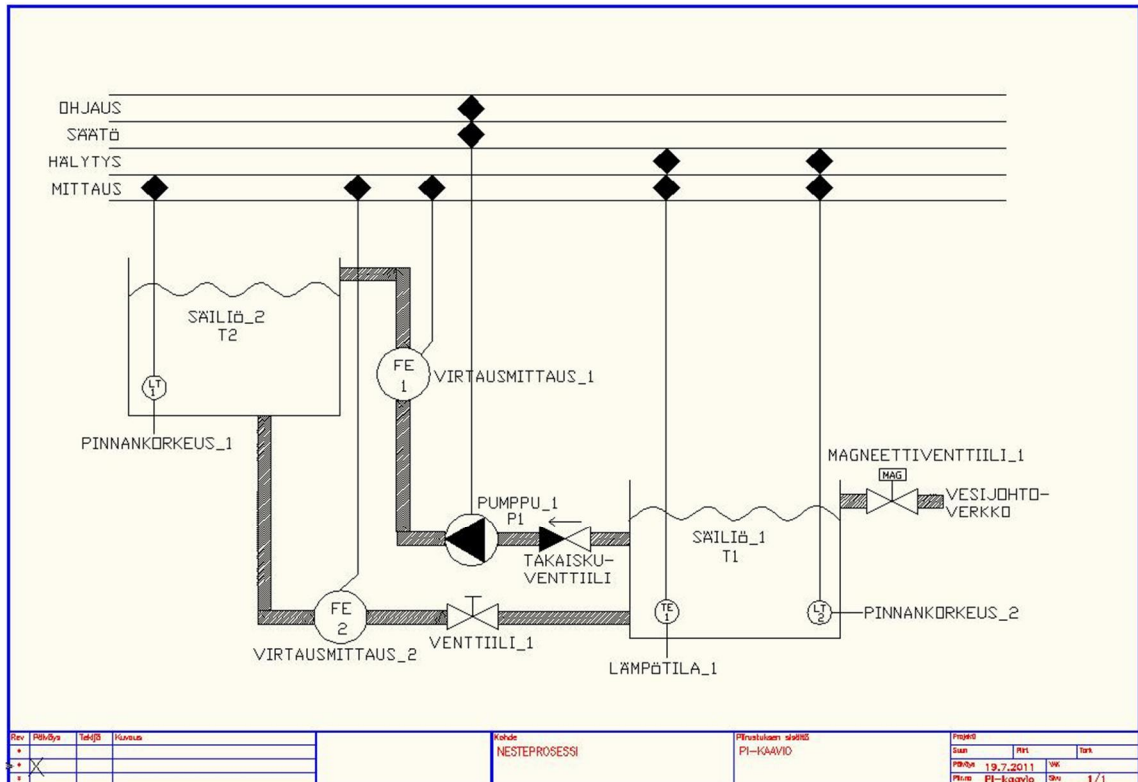
la. As-i väylän siirtonopeus on 167 kbit/s ja vasteaika 10 ms. (AS-Interface 2011).

### 3 Säättöpiiriteoria

#### 3.1 PI-kaavio

Nesteprosessin kiertoa kehittäessä aluksi suunniteltiin PI-kaavio. PI-kaavio esittää prosessissa olevat laitteet, putket ja venttiilit helposti havainnoitavasta kuvasta. Kaaviossa esitetään myös laitteiden numerot ja tunnukset. PI-kaavion piirrosmerkit ovat standardeja, joita käytetään yleisesti kaavioita tehdessä.

PI-kaavio suunniteltiin projektin alussa, koska siitä oli helppo nähdä projektissa tarvittavat laitteet ja muut tarvittavat osat. Vesiprosessiin suunniteltiin kierto jossa vesi pumpataan ylempänä olevaan säiliöön, josta vesi taas pääsee valumaan takaisin alkuperäiseen säiliöön. Prosessiin tarvittiin myös kiertovesipumppu, jonka avulla veden virtaus saatiin luotua. Pumpussa tuli olla myös nopeuden säätö mahdollisuus, jolloin virtausta oli mahdollisuus muuttaa. Pumpun tuottama virtausta ja valumaveden virtausta piti pystyä mittaamaan joten sitä varten tarvittiin virtaussensorit. Myös pinnankorkeutta ja lämpötilaa piti pystyä mittaamaan. Mittauksien avulla voitiin luoda pumpulla säättöpiiri, joka muuttaa pinnankorkeutta halutunlaisesti. PI-kaaviosta nähdään myös laitteiden toiminnot ja sijoittelut prosessissa. Kuvasta 10 nähdään vesiprosessiin suunniteltu kierto.



Kuva 10. PI-kaavio

## 3.2 Sääteoteoria

### 3.2.1 P-säätö

Pelkkä P-säätö toimii perussäätönä. P-säätö määrittyy suoraan erosuureesta. Se toimii vahvistuksena, joka nopeuttaa järjestelmän käyttäytymistä. P-säätimessä lähtösignaali on suorassa suhteessa tulosignaaliin. Heikkoutena sillä on, että se jättää pysyvän poikkeaman eikä korjaa virhettä nolaksi (PID-säädön perusteet 2011). Toisena heikkoutena säätöpiiri alkaa värähdellä suurilla vahvistuksen arvoilla.

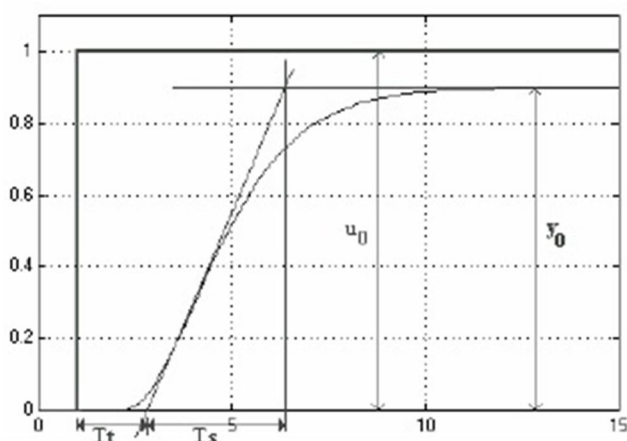
### 3.2.2 I-säätö

I-säätö toimii integraattorina eli se integroi sisään tulevaa signaalia ajan suhteen. Sen avulla pyritään korjaamaan virheen arvo nolaksi. Yleensä I-säätöä käytetään P-säädön kanssa. Tällä pyritään korjaamaan P-säädön virhe. I-säädin

pyrkii integroimaan erosuuretta niin kauan, että erosuure on nolla ja virhettä ei enää ole (PID-säädön perusteet 2011).

### 3.2.3 Askelvaste-menetelmä

Askelvastekokeen avulla määritetään kokeellisesti avoimen piirin yksikköaskelvaste. Piiriin syötetään heräte ja vasteesta määritetään aikavakio  $T_s$ , eli aika joka vasteella on kohdassa 63%. Lisäksi voidaan määrittää kuollut aika  $T_t$ . Aikavakioiden määrittämiseksi piirretään tangentti askelvasteen jyrkimpään kohtaan. Staattinen vahvistus voidaan myös määrittää käyrästä  $K = y_0/u_0$  (Oulun Yliopisto 2006). kuvasta 11 nähdään tyypillisen askelvaste.



Kuva 11. Tyypillinen askelvaste (Oulun Yliopisto 2006)

### 3.3 Prosessin säädön toiminta

Prosessissa oleva säätöpiiri toimii seuraavanlaisesti. Säätöpiirin avulla pyritään pitämään säiliössä 1 oleva pinnankorkeus haluttuna. Säädön avulla hallitaan kiertovesipumpun P1 pumppausnopeutta. Säiliöön tulee koko ajan valumavettä säiliöstä 2, jonne vettä pumpataan säiliöstä 1. Jos mitattu pinnankorkeus on pienempi kuin asetusarvo niin pumppu alkaa pumpata vettä vähemmän, jolloin valumaveden avulla saavutetaan haluttu asetusarvo. Pinnankorkeuden ollessa asetusarvoa suurempi niin pumppu lisää tehoja jolloin saavutetaan haluttu asetusarvo. Valumaveden määrää voidaan säätää käsikäyttöisellä venttiilillä 1. Jos pinnankorkeus on asetusarvossaan ja venttiiliä suljetaan, niin pinnankorkeus

lähtee pienenemään, jolloin säädön tarkoituksena on hidastaa pumpun kierroksia. Tällöin pysytään samassa halutussa pinnankorkeudessa, vaikka valumaveden määrä onkin pienentynyt. Toisaalta jos säiliöön lisätään vettä magneettiventtiilin avulla, niin pumpun teho kasvaa, koska säiliöön 1 pinnakorkeus on kasvanut. Säättö pyrkii tasaamaan pinnankorkeuden takaisin asetusarvoonsa.

## **4 Prosessisuunnittelu**

### **4.1 Vesiprosessin sähkökytkennät**

Ensimmäisenä toimenpiteenä vesiprosessin sähkökytkentöjä täytyi muuttaa, koska aiemmin tehdyt kytkennät olivat puutteellisia ja eivät soveltuneet tarvittuun käyttöön. Aiemmin päävirtakytkin katkaisi ainoastaan sumuttimen pumpun, mutta jätti lämmitysvastuksen, ajastimen ja magneettiventtiilin päälle.

Teimme kytkentöihin tarvittavat muutokset kesäharjoittelija Antti Haapalaisen kanssa. Muutosten jälkeen päävirtakytkimen kautta kulki kaikkien laitteiden syöttö, jolloin päävirtakytkimestä saatiin koko prosessin virrat pois. Liitimme myös kiertovesipumpun järjestelmään siten, että sille tulee sähkö samalta ajastimelta, josta myös sumuttimien pumppu saa sähkönsä. Ajastimelta virta kulkee releen ja kytkimen kautta kiertovesipumpulle. Kiertovesipumpulle lisättiin oma kytkimensä, josta voidaan tarvittaessa katkaista pumpun sähköt jos sitä ei tarvita. Kytkentäkuvat löytyvät liitteestä 4.

### **4.2 Langalliset mittaukset**

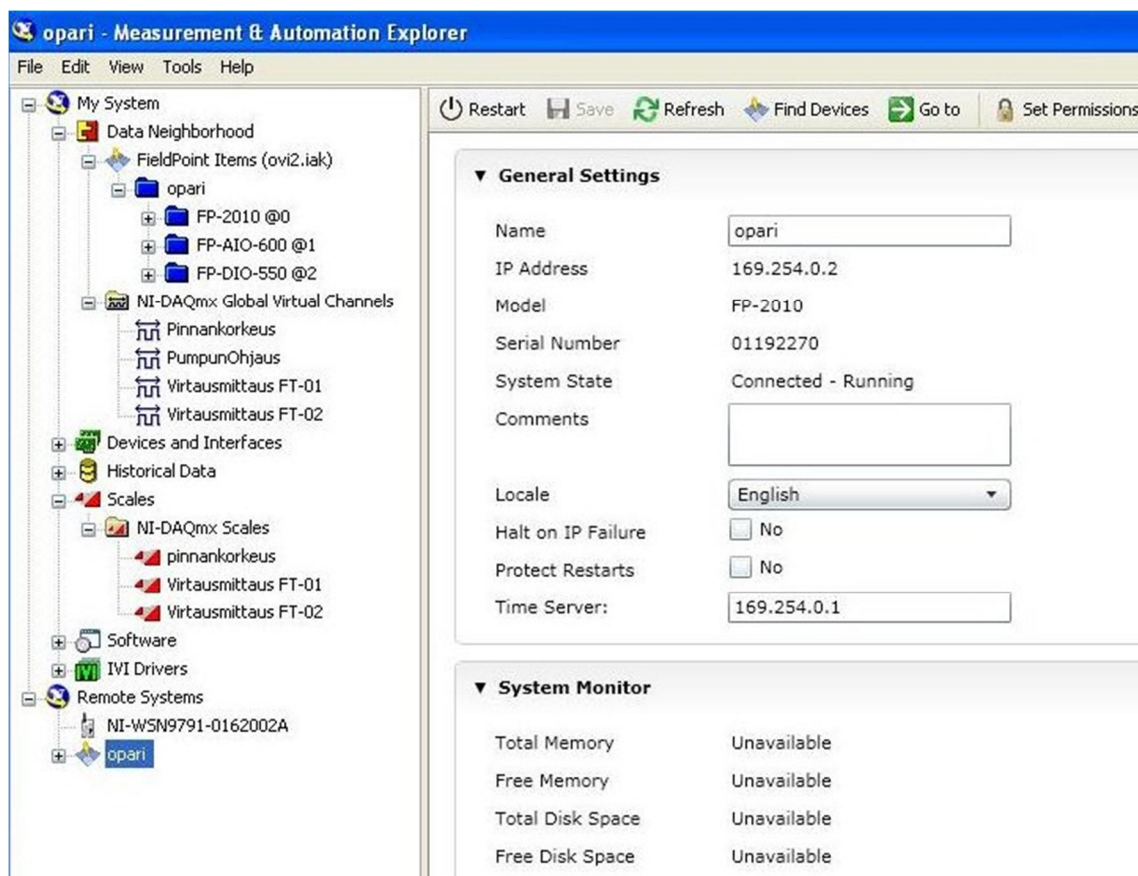
Seuraavana toimenpiteenä antureita varten rakennettiin omat kytkentänsä ristikytkentäkoteloon. Koteloon kaikki kytkennät tehtiin riviliittimien kautta, jolloin niitä oli helppo kytkeä uudestaan tarpeen vaatiessa. Anturit kytkettiin käyttöön anturiliittimien avulla. Liittimille porattiin paikat kotelon kanteen, jossa ne pysyvät tukevasti paikallaan. Anturit on helppo irrottaa pois käytöstä ja tieltä esimerkiksi kytkentätöiden ajaksi. Ristikytkennän kytkentäkuvat löytyvät liitteestä 5.

## 4.3 Mittausten määrittäykset

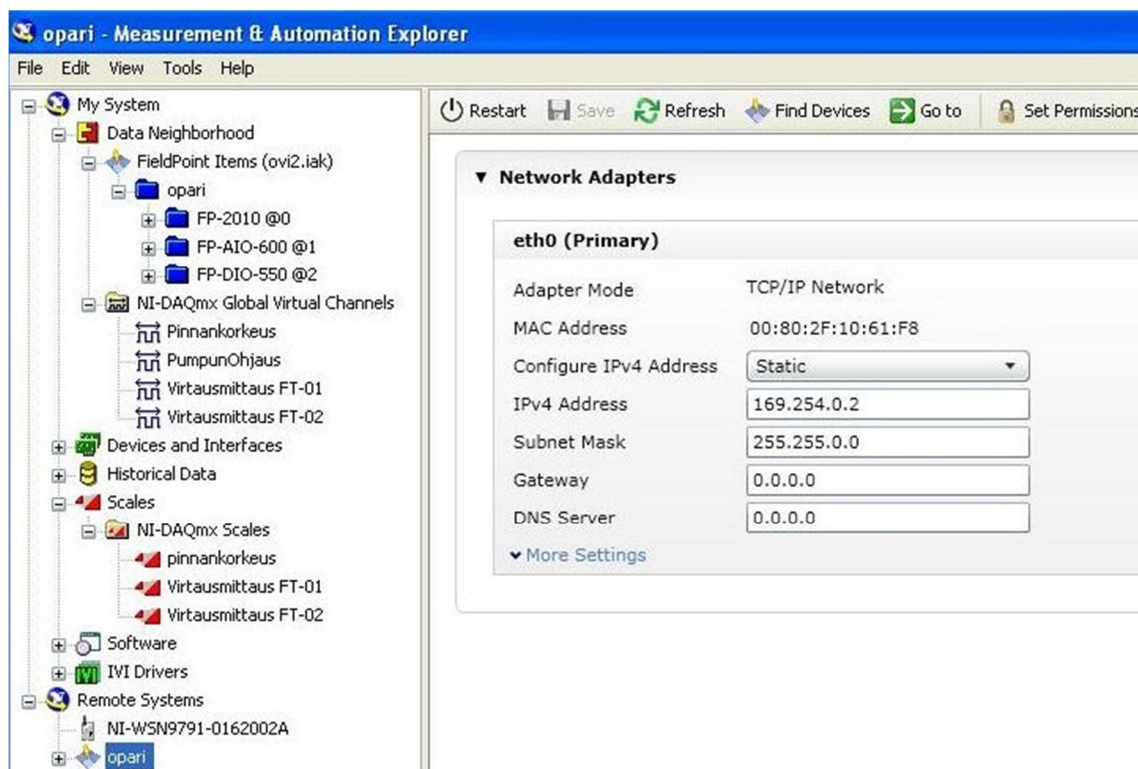
### 4.3.1 Mittauskortit

Projektin konfiguraatio (ovi2.iak) perustui lukkotestausjärjestelmään aiemmin tehtyyn pohjaan. Pohjaa oli käytetty jossain määrin opetuksessa, mutta se oli vielä puutteellinen ja tarvitsi muokkausta. Ohjelmassa oli valmiiksi määritetty jo mittauskortit, laitteiden määrittäykset ja virtuaalikanavista pinnankorkeus. Ohjelmaan kuitenkin oli vielä lisättävä loput tarvittavat mittaukset ja asetukset. Seuraavaksi täytyi suunnitella muiden mittausten toteutus- ja esitystapa.

National Instrumentsin mittakorteille tehtyt yleiset asetukset voitiin tarkistaa Remote Systemsin kohdasta opari ja sen välilehdeltä Systems Settings (kuva 12). Sieltä nähdään laitteiden nimi, IP-osoite, laitteiston malli ja systeemin tila. Laitteiston IP-osoitetta voidaan halutessa vaihtaa Network Settings välilehdeltä (kuva 13). IP-osoite voidaan määrittää kiinteäksi tai automaattisesti haettavaksi. Tässä tapauksessa IP-osoite oli määritetty kiinteäksi.



Kuva 12. NI mittalaitteiston asetukset



**Kuva 13. IP-osoitteen määrittäminen**

Fieldpoint-laitteistot oli lisätty Data Neighborhoodin Fieldpoint Items ovi2.iak alle opari kohtaan. Laitteistoja oli lisätty mittakorttien yhdyskäytävä FP-2010 ja mittauskortit FP-AIO-600 ja FP-DIO-550. Mittauskortteja voitiin testata menemällä halutun kortin kohtaan ja painamalla START-painiketta. Tällöin mittaus tulokset tulivat näkyviin VALUE kohtaan. Tulosten ja lähtöjen tila nähtiin myös STATUS kohdasta (kuvat 14–15).



FP-AIO-600 @1 - Measurement & Automation Explorer

File Edit View Tools Help

My System

- Data Neighborhood
  - FieldPoint Items (ovi2.iak)
    - opari
      - FP-2010 @0
      - FP-AIO-600 @1
      - FP-DIO-550 @2
    - NI-DAQmx Global Virtual Channels
      - Pinnankorkeus
      - PumpunOhjaus
      - Virtausmittaus FT-01
      - Virtausmittaus FT-02
  - Devices and Interfaces
  - Historical Data
  - Scales
    - NI-DAQmx Scales
      - pinnankorkeus
      - Virtausmittaus FT-01
      - Virtausmittaus FT-02
  - Software
  - IVI Drivers
  - Remote Systems
    - NI-WSN9791-0162002A
    - opari

Item Name	Address	Value	Range	Timestamp	Status
Input 0	0001	+0.000000	0 to 6 Volts	12:27:14:003	Successful
Input 1	0002	+0.000006	0 to 0.024 Amps	12:27:13:585	Successful
Input 2	0004	+3.189744	Y=1.00X + 0.00 Volts(x=0 to 6 Volts)	12:27:14:101	Successful
Input 3	0008	+0.001465	0 to 6 Volts	12:27:13:827	Successful
Output 0	0010	+0.003500	0.0035 to 0.021 Amps	12:27:02:370	Open curre
Output 1	0020	+0.000000	0 to 0.021 Amps	12:27:02:455	Open curre
Output 2	0040	+0.000000	0 to 0.021 Amps	12:27:02:521	Open curre
Output 3	0080	+0.000000	0 to 0.021 Amps	12:27:02:598	Open curre

Kuva 14. FP-AIO-600 testaus

FP-DIO-550 @2 - Measurement & Automation Explorer

File Edit View Tools Help

My System

- Data Neighborhood
  - FieldPoint Items (ovi2.iak)
    - opari
      - FP-2010 @0
      - FP-AIO-600 @1
      - FP-DIO-550 @2
    - NI-DAQmx Global Virtual Channels
      - Pinnankorkeus
      - PumpunOhjaus
      - Virtausmittaus FT-01
      - Virtausmittaus FT-02
  - Devices and Interfaces
  - Historical Data
  - Scales
    - NI-DAQmx Scales
      - pinnankorkeus
      - Virtausmittaus FT-01
      - Virtausmittaus FT-02
  - Software
  - IVI Drivers
  - Remote Systems
    - NI-WSN9791-0162002A
    - opari

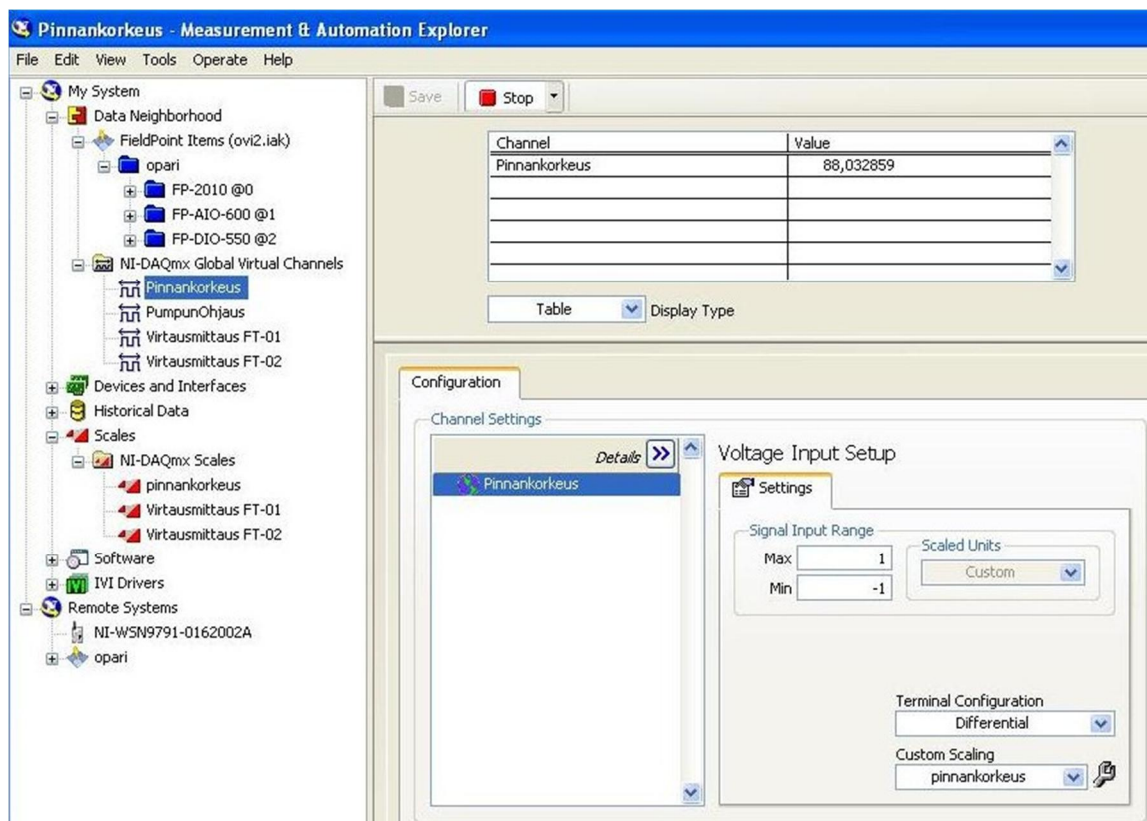
Item Name	Address	Value	Range	Timestamp	Status
Input 0	0001	1	Boolean	12:27:55:363	Successful
Input 1	0002	1	Boolean	12:27:55:418	Successful
Input 2	0004	0	Boolean	12:27:55:462	Successful
Input 3	0008	0	Boolean	12:27:55:517	Successful
Input 4	0010	0	Boolean	12:27:55:571	Successful
Input 5	0020	0	Boolean	12:27:55:615	Successful
Input 6	0040	0	Boolean	12:27:55:670	Successful
Input 7	0080	0	Boolean	12:27:55:725	Successful
Output 0	0100	0	Boolean	12:27:55:768	Successful
Output 1	0200	0	Boolean	12:27:55:812	Successful
Output 2	0400	0	Boolean	12:27:55:866	Successful
Output 3	0800	0	Boolean	12:27:55:921	Successful
Output 4	1000	0	Boolean	12:27:55:986	Successful
Output 5	2000	0	Boolean	12:27:56:039	Successful
Output 6	4000	0	Boolean	12:27:56:104	Successful
Output 7	8000	0	Boolean	12:27:56:146	Successful

Kuva 15. FP-DIO-550 testaus

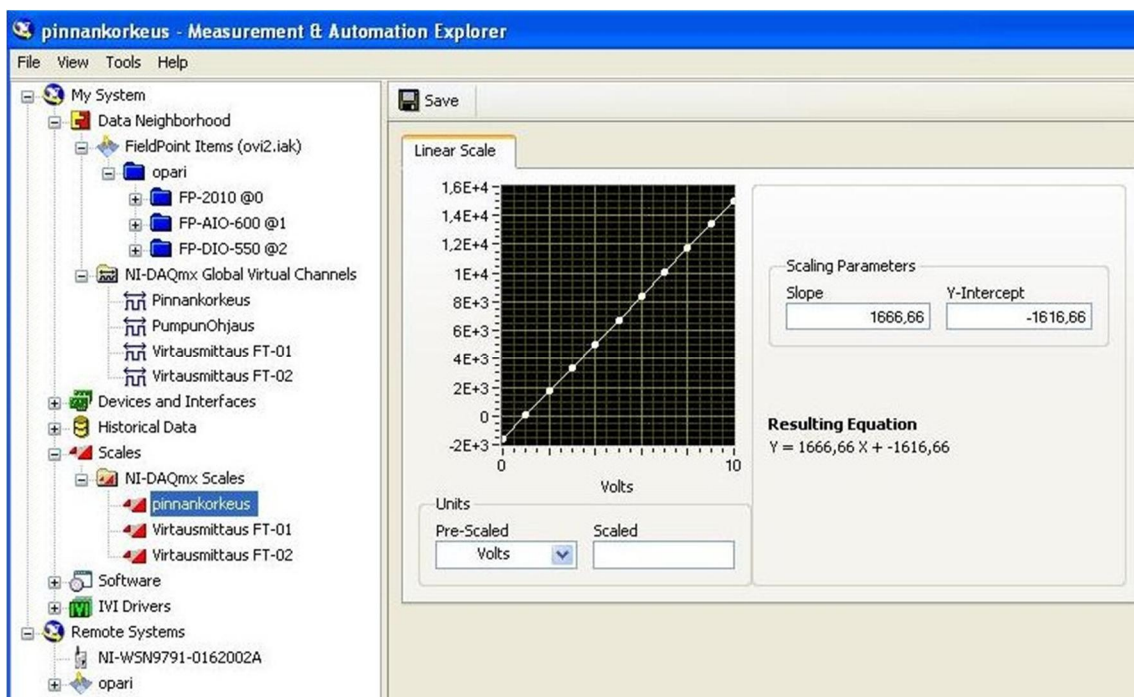
### 4.3.2 Virtuaalikanavat ja skaalaukset

Skaalausten avulla muutettiin mittaussignaalit vastaamaan todellista mittaustasoa. Virtuaalikanavien mittaukset tulevat NI USB-6008- mittauskortin kautta.

Virtuaalikanavat luodaan NI-DAQmx Global Virtual Channels valikon alle. Kanavaa luodessa sille annetaan kuvaava nimi ja valitaan minkäläistä viestiä se vastaanottaa, esimerkiksi mA- tai jänniteviestiä. Luodulle kanavalle voidaan tehdä skaalaus. Skaalaus tehdään Scales kohdan NI-DAQmx Scales polun kautta. Skaalausta tehdessä sille annetaan nimi ja valitaan skaalauksen tyyppi. Seuraavaksi annetaan skaalaukselle kulmakerroin jonka mukaan mittaus käyttäytyy. Esimerkiksi pinnankorkeus-kanavalle luotiin oma skaalauksensa, joka näkyy kuvassa 16 ja 17. Luotu skaalaus valitaan käyttöön kanavan kohdasta Custom Scaling.



Kuva 16. Pinnankorkeus



**Kuva 17. Pinnankorkeuden skaalaus**

Pinnankorkeuskanavan lisäksi samalla tavalla tehtiin kanavat ja skaalaukset myös virtausmittauksille. Kaikki tehdyt kanavat olivat jännitekanavia, koska niistä saatiin jänniteviestit. Kaikki skaalaukset olivat myös lineaarisia. Skaalausten ansiosta nyt myös ohjelma näytti samoja mittaustuloksia kuin mittaussensorit.

#### 4.4 Langattomat mittaukset

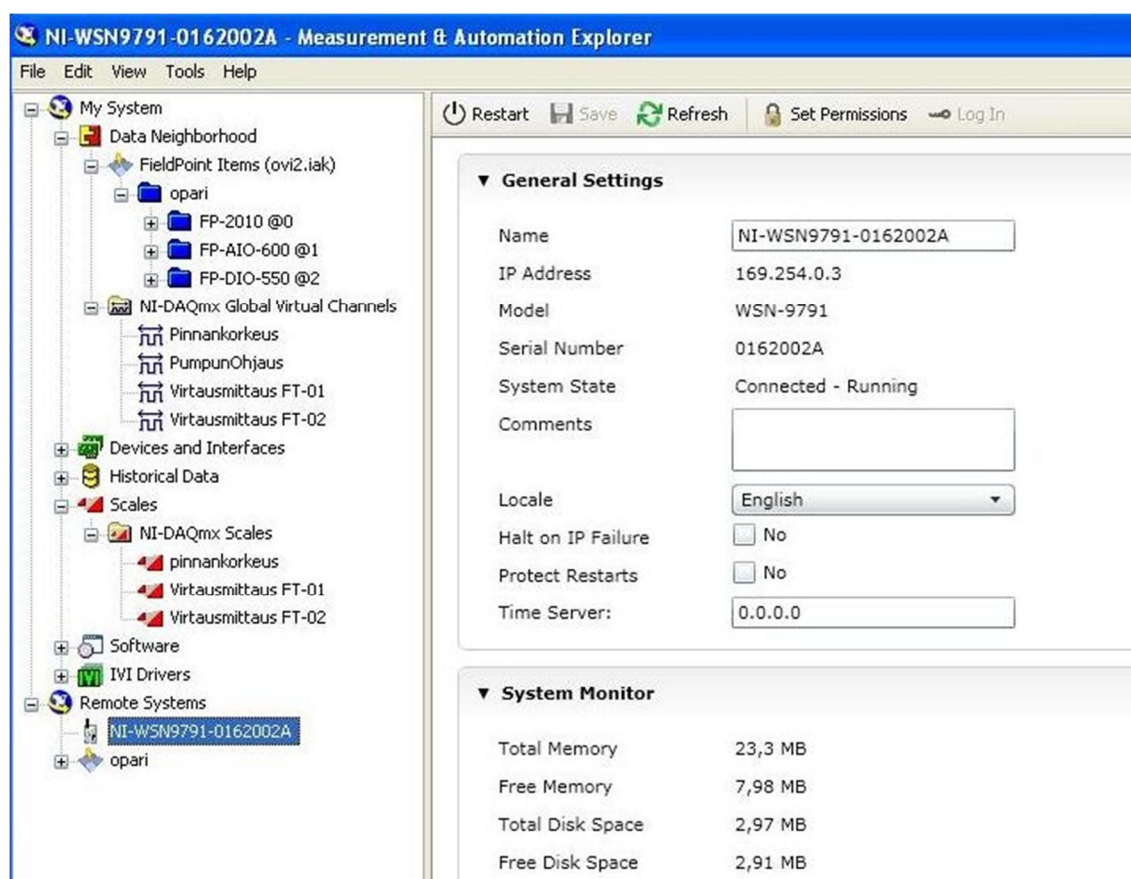
Langattomat mittaukset suunniteltiin helposti käytettäviksi anturiliitimiä hyväksikäyttäen. Langattomille mittaus solmuille rakennettiin oma kotelonsa, joka kiinnitettiin mittauslaitetelineeseen. Langaton mittaus otetaan käyttöön siten, että vaihdetaan vain anturiliittimien paikkaa langallisista mittauksista langattomaan mittaukseen.

##### 4.4.1 NI WSN

Seuraavaksi suunniteltiin langattomien mittausten asetukset. Ennen kuin langattonta National Instrumentsin Wireless Sensor Network laitteistoa pystyi käyttämään, niin täytyi asentaa mukana tullut WSN Module Pioneer CD. Ohjelman asennuksen jälkeen laitteisto konfiguroitiin Measurement & Automation Explore-

rin kautta. Mukana tullut yhdyskäytävä liitettiin tietokoneeseen Ethernet-kaapelin avulla. Measurement & Automation Explorerissa aukaistaan Remote Systems, jolloin ohjelman havaita yhdyskäytävä automaattisesti. Jos laitetta ei havaita automaattisesti, niin se voidaan lisätä manuaalisesti Create New kohdasta.

Laitteen löydyttyä sille määritellään asetukset (kuva 18). Laitteelle voidaan määrittää sen käyttämä nimi ja IP-osoite. Nimi voidaan vaihtaa Sytem Settings-välilehdeltä, josta nähdään kaikki muutkin laitteen asetukset. IP-osoite vaihdetaan Network Settings-välilehdeltä. IP-osoite voidaan määrittää kiinteäksi tai automaattisesti haettavaksi. Tässä tapauksessa IP-osoite määritettiin kiinteäksi (169.254.0.3).

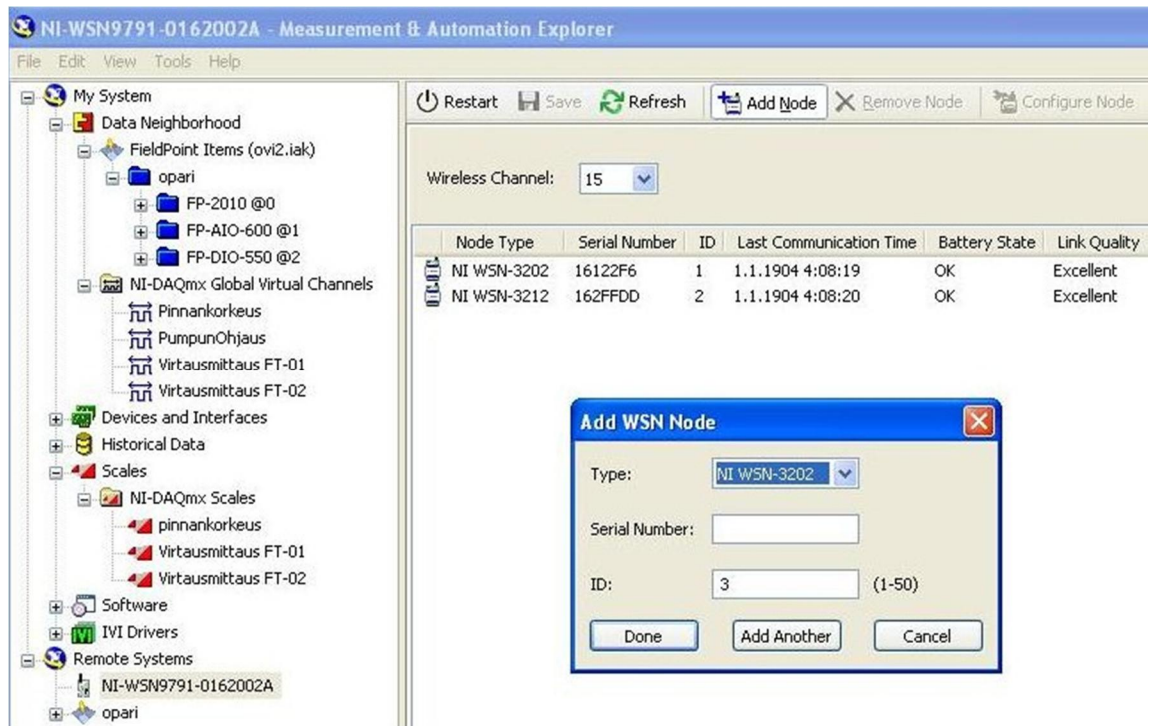


**Kuva 18. WSN System Settings**

Käytettävät mittausolmut lisätään WSN Nodes-välilehden kautta (kuva 19). Välilehdeltä löytyy painike ADD NODE, jota klikkaamalla solmujen lisääminen onnistuu. Ilmestyvästä ikkunasta valitaan mittausolmun tyyppi, mittausolmun takana oleva sarjanumero ja laitteelle tuleva ID. Valittu mittausolmu hyväksy-

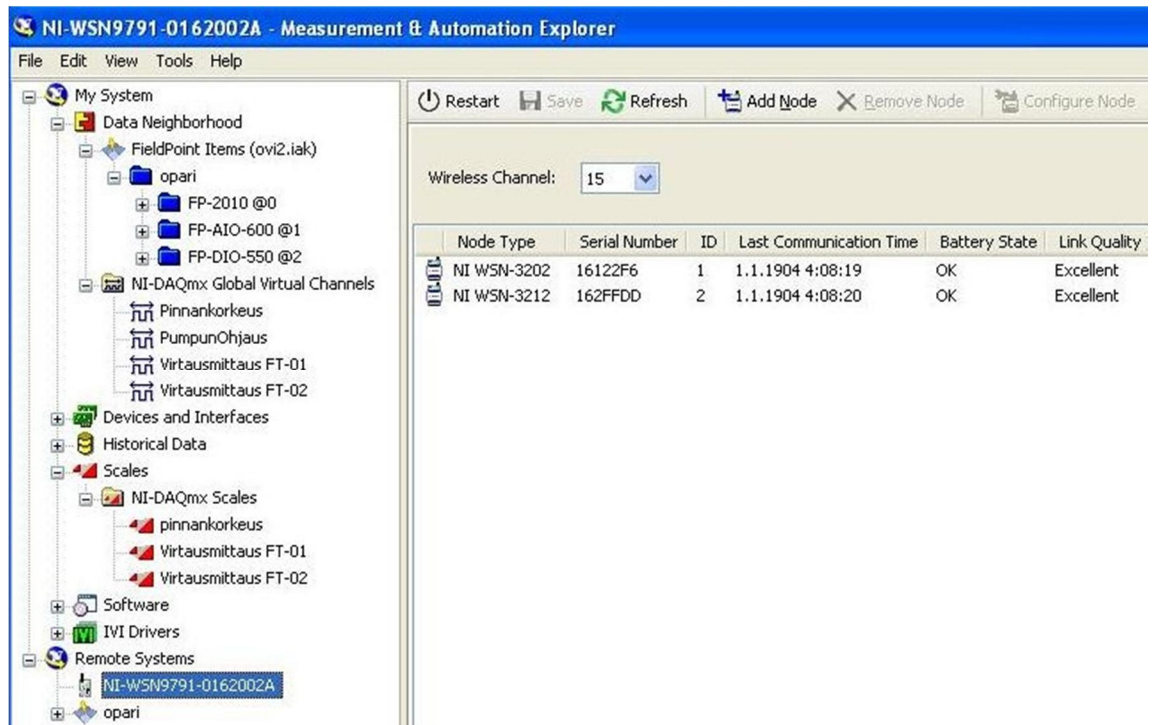


tään DONE-painikkeesta. Kun halutut mittaussolmut on määritetty, niin asetukset tallennetaan SAVE-painikkeesta.



**Kuva 19. Mittaussolmujen lisäys**

Seuraavaksi testataan yhteys määritelyihin mittaussolmuihin (kuva 20). Testaus tapahtuu samalta WSN Nodes-välilehdeltä. Painamalla REFRESH-painiketta nähdään kuinka laitteisiin on saatu yhteys. Listasta nähdään viimeisin yhteydenottoaika, pattereiden tila ja signaalin laatu. Kun yhteyden testaus on suoritettu, niin laitteet ovat valmiit käytettäväksi.



**Kuva 20. Mittaussolmujen yhteyden testaus**

Asetusten jälkeen voitiin luoda LabView-ohjelma, jonka avulla mittauksia tarkasteltiin. Langattoman mittauksen kautta tulisi näkyviin pinnankorkeus säiliö 1:stä, lämpötila, virtaukset FT-01 ja FT-02. Ohjelmassa saatiin myös näkyviin mittausolmun patterin varaus ja lähetysignaalin laatu. Luotu ohjelma löytyy kuvasta 27.

#### 4.5 Siemens S7

Siemens S7 logiikkaa käytettiin työssä välittämään digitaaliset viestit LOGOlle. Tietojen välitys tapahtui AS-i väylää pitkin. Logiikassa oli kortti jossa oli 24 digitaalituloa, 16 digitaalilähtöä, 5 analogiatuloa ja 2 analogialähtöä. Laitteisto sisälsi myös oman AS-i korttinsa, että AS-i väylää voitiin käyttää hyväksi. Laitteiston kokoonpano nähdään kuvasta 21.

Slot	Module	Order number	Firmware	MPI addr...	I address	Q address	Comment
1	PS 307 5A	6ES7 307-1EA00-0AA0					
2	CPU 314C-2 DP	6ES7 314-6CF00-0AB0	V1.0	2			
X2	DP				1023*		
2.2	DI24/DO16				124...126	124...125	
2.3	AI5/AO2				752...761	752...755	
2.4	Count				768...783	768...783	
2.5	Position				784...799	784...799	
3							
4	CP 343-2 P	6GK7 343-2AH10-0XA0			288...303	288...303	
5							

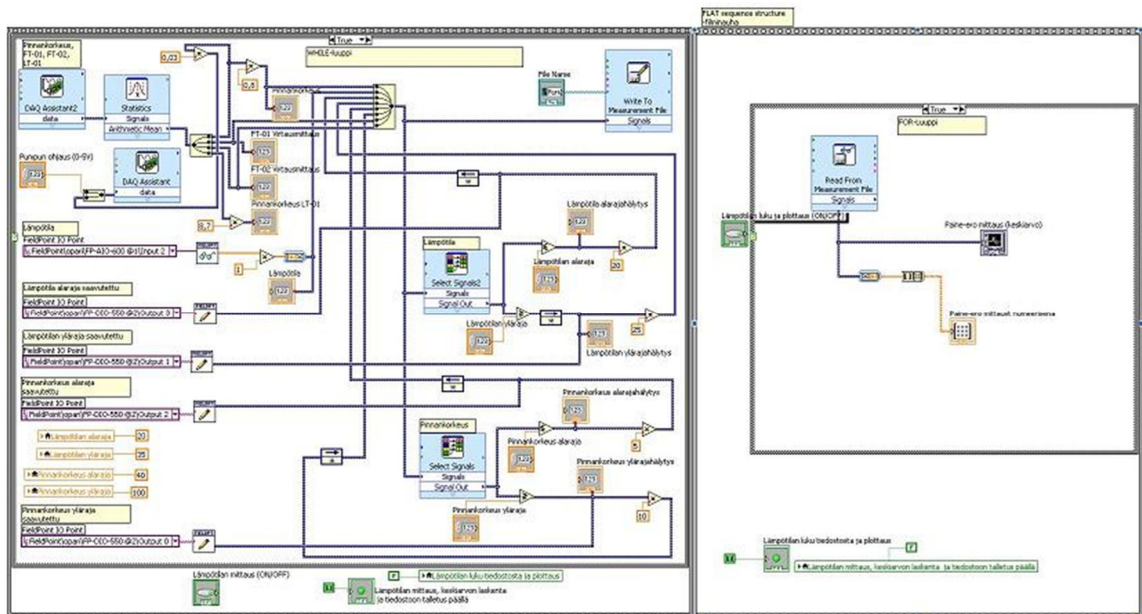
**Kuva 21. Simatic S7 Hardware**

Simatic-ohjelma oli opettaja Jussi Kuosan tekemä ja sen avulla tiedot saatiin luettua ja siirrettyä LOGOLle. Ohjelma löytyy liitteestä 6. Ohjelmassa luetaan ja siirretään tiettyjä osoitteita AS-i väylän kautta, jolloin LOGO saa haluamansa tiedot. Logiikka vastaanottaa myös LOGOLla tehtyjä komentoja ja välittää ne eteenpäin. Liitteessä 7 Siemensin disitaalitulo/lähtö kortille tulevat kytkennät.

#### 4.6 LabView-suunnittelu

Aiemmin tehtyjä mittalaite konfiguraatioita käytettiin hyväksi suunniteltaessa LabView-ohjelmaa. LabView-ohjelman pohja oli jo aiemmin toteutettu lukkotestausjärjestelmää varten, mutta sitä ei kuitenkaan suoraan voitu käyttää projektissa. Pohjaan jouduttiin lisäilemään elementtejä ja muokkaamaan toimintaa. LabView-ohjelman kautta saatiin käyttöliittymään näkymään kaikki halutut mittaukset. Mittauksista piirrettiin myös graafiset kuvaajat ja mittaukset talletettiin Excel-tiedostoon. Ohjelmassa luotiin myös mittauksille raja-arvot ja niiden hälytykset. LabView-ohjelmointi toteutettiin lohkojen avulla. Ohjelma

toteutettiin flat sequence structuren eli filminauhan avulla. Se mahdollisti toimintojen tekemisen tietyssä järjestyksessä. Filminauha toteutti itseään vasemmalta oikealle. Tässä tapauksessa ohjelma suoritti ensin mittaukset ja talletti ne test.lvm nimiseen tiedostoon. Seuraavaksi se luki mittaukset tiedostosta ja piirsi niiden avulla graafiset kuvaajat. Kuvasta 22 nähdään luotu ohjelma. Käyttöliittymä löytyy kuvasta 31.



Kuva 22. LabView-ohjelma

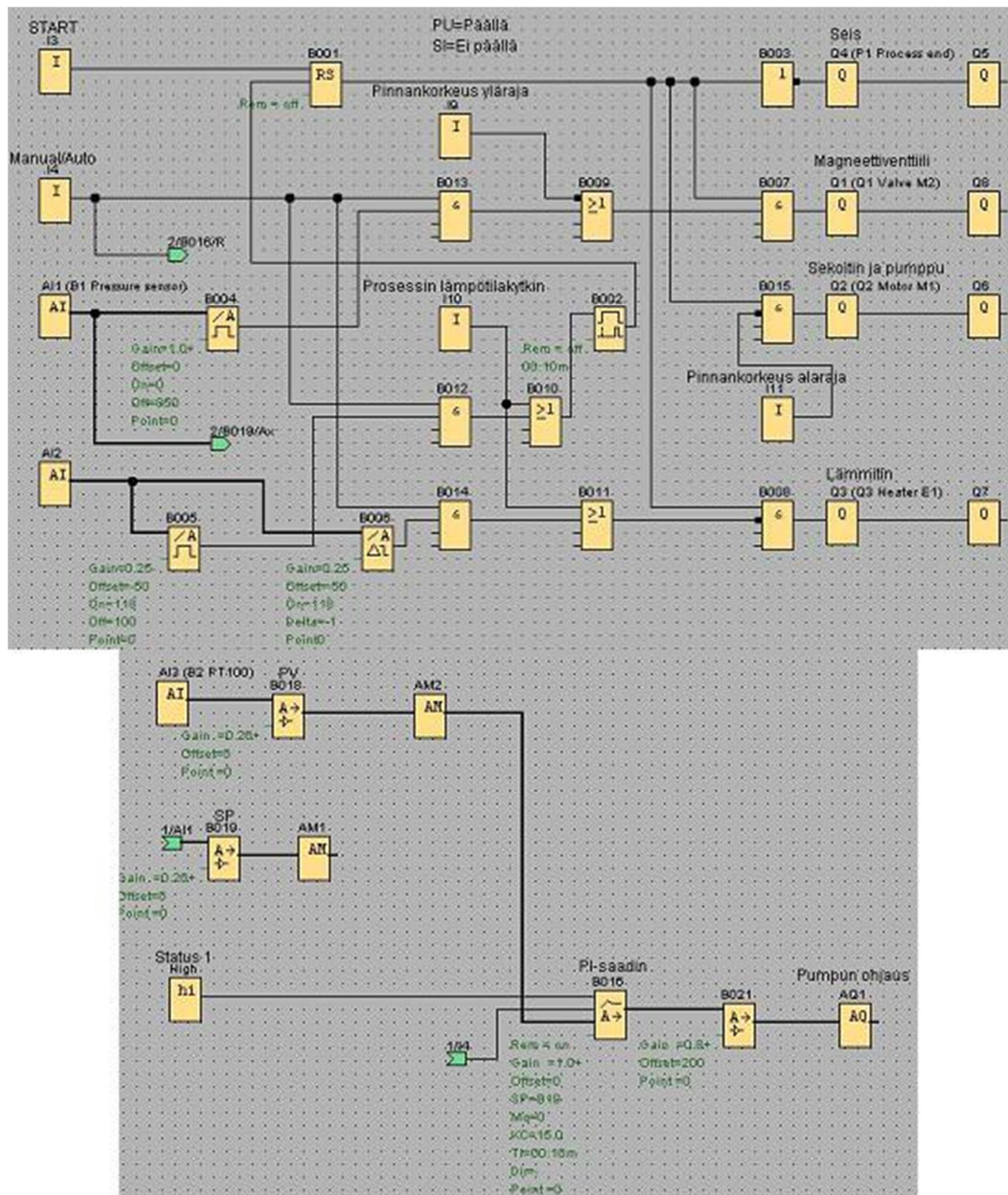
#### 4.7 LOGOComfort

Siemens LOGO-logiikalle suunniteltiin prosessin ohjaus ja seuranta. Kuvasta 23 nähtävän ohjelman yläosan pohjan on toteuttanut Jussi Kuosa ennen opinnäytetyöprosessin alkua. Ohjelmalla pystyttiin demonstroimaan vesiprosessin toimintaa. Ohjelmaa jouduttiin kuitenkin vielä muokkaamaan ja lisäämään siihen kokonaan uutena prosessin säätöpiiri.

LOGO-ohjelma sisälsi käskyt siitä mitä tapahtuu, kun asetetut raja-arvot ylittyvät. Ohjelma sisälsi myös säätöpiirin jolla säädettiin säiliössä 1 olevaa pinnan-



korkeutta. LOGOn oma PI-säätimen avulla säätöpiiri saatiin helposti toteutettua.



Kuva 23. LOGO-ohjelma

Ohjelman avulla voitiin seurata prosessin kulkua (kuva 23). Prosessin ollessa käynnissä viivojen väri ohjelmassa muuttui sen edetessä. Ohjelma oli suunniteltu seuraavasti. Prosessi käynnistyi kun painettiin LOGOssa olevaa START-nappia. Ohjelmassa käynnissä olo nähdään siitä, kun START I3:n johdin muuttaa värinsä punaiseksi eli se on toiminnassa. Samalla myös magneettiventtiilin, lämmittimen, sekoittimen ja pumpun johtimien väri muuttuu punaiseksi eli ne ovat toimintakunnossa. Prosessin pois päältä olo nähdään taas siitä, kun edellä mainitut toiminnot ovat väriltään sinisiä ja SEIS Q4 johdin on punainen. Ohjel-

maan on myös luotu raja-arvoja pinnankorkeudelle ja lämpötilalle. Jos lämpötila ylä- tai alaraja-arvo ylitetään niin prosessi sammuttaa itsensä 10 sekunnin kuluttua, ellei lämpötila palaudu tässä ajassa sallittuihin arvoihin. Tällä pyritään estämään liian korkeiden lämpötilojen saavuttaminen. Pinnankorkeuden yläraja-arvon ylittyessä estetään magneettiventtiilin käyttö jolloin säiliöön ei voida lisätä enää vettä. Pinnankorkeuden alaraja-arvon ylittyessä sammutetaan kierto-vesipumppu ja sumutin jolloin säiliö ei tyhjene aivan täysin vedestä.

PI-säätimelle taas prosessin mittausarvo tulee LOGOn analogiatulokortille. Mittaus tulee AI3-tuloon. Säätimen asetusarvo muutettiin LOGOn säätönupikasta, joka oli kytketty AI1-tuloon. Säätöpiirillä ohjattiin pumppua ja sen kierrosnopeutta. Säätöpiirin ulostulo oli AO1-lähtö. Asetusarvon määrittäminen tapahtui säätönupikalta, joka oli liitetty AI1-tuloon. Säätimeksi valittiin PI-säädin, koska LOGOssa ei ollut mahdollisuutta PID-säätimeen.

#### **4.8 Suunnittelun johtopäätökset**

PI-kaavio helpotti huomattavasti prosessin suunnittelua. Kaaviosta nähtiin millaisia laitteita prosessissa oli, joten sen avulla suunnittelua lähdettiin viemään eteenpäin. Aluksi oli epävarmaa voitaisiinko prosessiin edes tehdä säätöpiiriä, koska prosessi sisälsi paljon aikavakioita ja ei ollut mahdollisuutta tehdä kuin yksi säätöpiiri. Säätöpiiri saatiin kuitenkin toteutettua suunnitellusti.

## **5 Prosessimallinnus**

### **5.1 Simulink-työkalu**

Simulink on MathWorksin kehittämä työkalu mallintamiseen, simulointiin ja analysointiin. Simulink on osa MATLAB-ohjelmaa. Simulink käynnistetään MATLABin kautta. Simulink toimii graafisen lohko-työkalun avulla. Ohjelmaa käytetään dynaamisten järjestelmien simuloinnissa, säätöteoriassa, digitaalisten signaalien käsittelyssä ja mallipohjaisessa suunnittelussa (Simulink 2012).

## 5.2 Matemaattisen mallin suunnittelu

Vesiprosessista tehtiin matemaattinen malli Simulinkin avulla. Matemaattinen malli oli suuntaa antava ja sen avulla haluttiin perehtyä prosessin matemaattiseen toimintaan ja samalla verrata matemaattisen mallin ja varsinaisen prosessin toimintaa.

Ensimmäisenä mallia varten prosessista oli selvittävä onko siinä syntyvät virtaukset turbulenteja vai laminaareja. Virtausmittausten avulla otettiin ylös pumppun tuottamat virtaukset eri toimintajännitteillä. Saatujen virtaus arvojen avulla voitiin laskea onko virtaus turbulentti vai laminaari.

Turbulentissa virtauksessa painehäviö riippuu putken karheudesta, kun taas laminaarissa virtauksessa putken karheudella ei ole vaikutusta painehäviöön. Ensimmäisenä täytyi laskea kaavan yksi avulla onko virtaus laminaari vai turbulentti. Pumpua ohjattiin eri jännitteillä ja samalla mitattiin ylös virtausnopeuksia. Virtausnopeuksien avulla voitiin laskea Reynoldsin luku  $Re$  (kaava 1), joka määrittää onko virtaus laminaari vai turbulentti. Reynoldsin luvun jäädessä alle 2300:n virtaus on laminaari. Arvon ylittyessä virtaus on turbulentti (Putkivirtaukset 2009).

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu} \quad (1)$$

Jossa	$\rho$	= 1000 kg/m <sup>3</sup> (veden tiheys)
	$v$	= 3,1-12,0 l/min (veden virtausnopeus)
	$D$	= 0,012 m (putken sisähalkaisija)
	$\mu$	= 0,0009 kg/(s*m) (veden viskositeetti)

Kaavalla 1 laskettiin Reynoldsin luku eri virtausnopeuksilla. Pienimmällä pumppun tuottamalla virtauksella 3,1 l/min saatiin Reynoldsin luvuksi noin 689. Suurimmalla virtauksella 12,0 l/min luvuksi saatiin noin 2667. Virtauksen arvolla 10,5 l/min virtaus muuttui turbulentiksi.

Pumppua ohjattiin eri jännitteillä ja virtausnopeudet otettiin ylös taulukkoon. Kun virtauksista piirsi kuvaajan, niin huomattiin, että virtaus kasvaa melkein lineaarisesti ohjausjännitteiden arvoilla 2-7. Virtaus voitiin arvioida lineaariseksi, kun hyväksytään siinä oleva pieni virhe. Taulukko löytyy liitteestä 3. Matemaattisen mallin toteutus olisi ollut hankalaa, jos siihen olisi lähdetty mallintamaan virtauksen muutokset muualla kuin lineaarisesti kasvavalla alueella ja toiseksi myös laminaarin ja turbulentin virtauksen vaihtuminen olisi tuottanut hankaluuksia. Joten todettiin, että on helpompaa toteuttaa malli ohjausjännitteen alueelle 2-7 jossa virtauksen muutos on lineaarinen ja myös laminaari koko ajan.

Seuraavaksi laskettiin valumavedelle verrannollisuuskerroin. Verrannollisuuskerroin  $K_v$  saatiin laskettua kaavasta 3. Putkistohäviö laskettiin Reynoldsin luvun avulla kaavasta 2. Liitteessä 8 kaava, josta verrannollisuuskertoimen kaava on johdettu.

$$\lambda = \frac{64}{Re} = \frac{64}{1667} = 0,038 \quad (2)$$

Jossa  $Re$  = Reynoldsin luvun keskiarvo, joka saatiin kaavalla 1 lasketuista Reynoldsin luvuista

$$K_v = A * \sqrt{\frac{g}{1+p_f+0,5*\lambda*\frac{l}{D}}} * 0,5 * \frac{1}{h^{0,5}} \quad (3)$$

Jossa  $A$  =  $1,13*10^{-4}$  m<sup>2</sup> (putken pinta-ala)

$g$  = 9,81 m/s<sup>2</sup> (gravitaatiovakio)

$p_f$  = 0,25 (venttiilihäviökerroin)

$\lambda$  = 0,038 (putkistohäviökerroin)

$l$  = 1,9 m (putken pituus)

$D$  = 0,012 m (putken sisähalkaisija)

$h$  = 0,3 m (putken pudotus)

Verrannollisuuskertoimeksi kaavan avulla saatiin  $1,6 \cdot 10^{-4} m^3/s$ .

### 5.3 Simulink-malli

Simulink-malli toteutettiin PI-kaavion mukaisesti. Simulink-mallista pyrittiin tekemään mahdollisimman yksinkertainen ja ymmärrettävä. Mallista tuli selvitä mitä prosessissa tapahtuu matemaattisesti ja seurata myös varsinaisen prosessin toimintaa. Kummallekin säiliölle luotiin mallinsa. Säiliö 1 kuvasti prosessin varsinaista pesusäiliötä ja säiliö 2 kuvasti suodatin- ja valumavesisäiliötä.

Säiliön ainetasemallia kuvattiin kaavalla 4.

$$A_1 * \frac{dh_1}{dt} = F_1 - F_2 \quad (4)$$

Jossa  $A$  = Säiliön pinta-ala [ $m^2$ ]

$h$  = Pinnankorkeus [m]

$F$  = Virtaus [l/min]

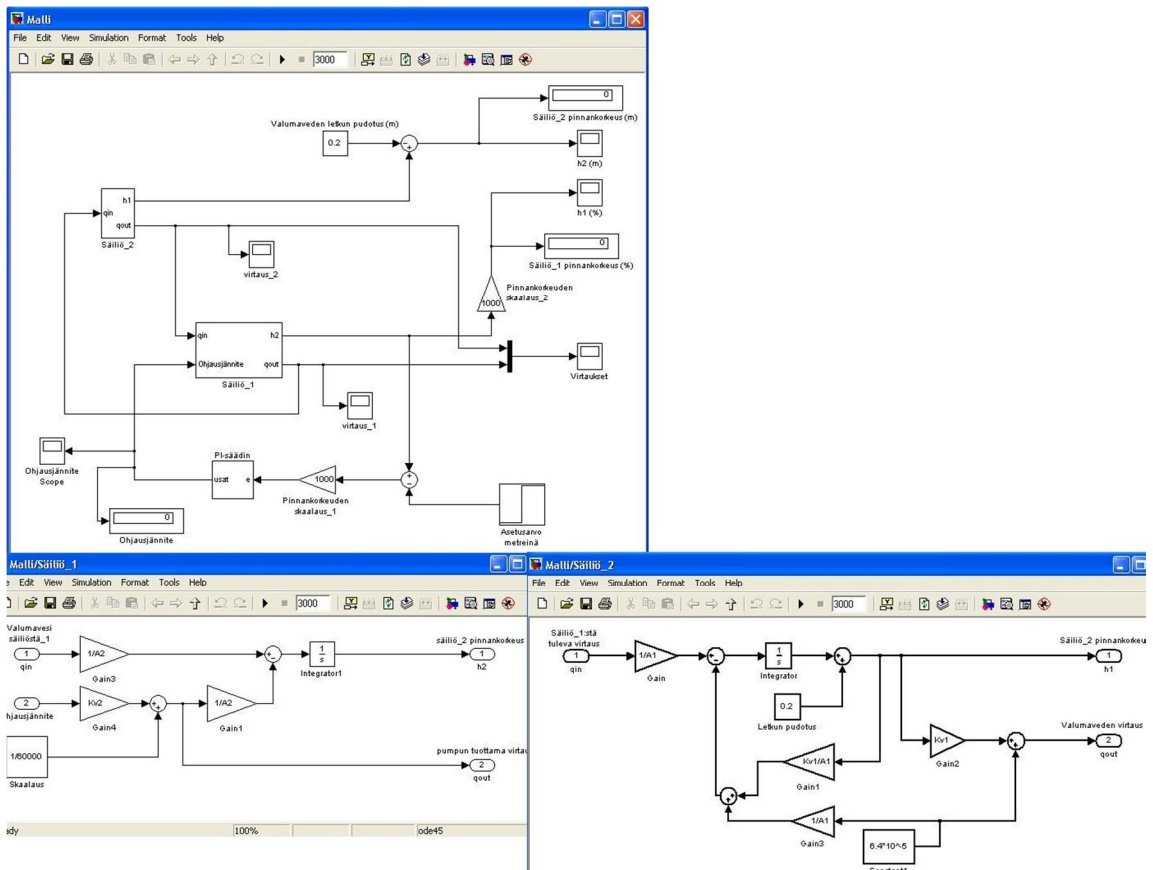
Oletetaan, että pinnankorkeuden ja lähtövirtauksen välillä on lineaarinen riippuvuus  $F_2 = K_v \cdot h$ . Tämä sijoittamalla kaavan 4, päädytään malliin, jossa neste poistuu hydraulisen paineen vaikutuksesta.

$$A_1 * \frac{dh_1}{dt} = F_1 - K_v * h_1 \quad (5)$$

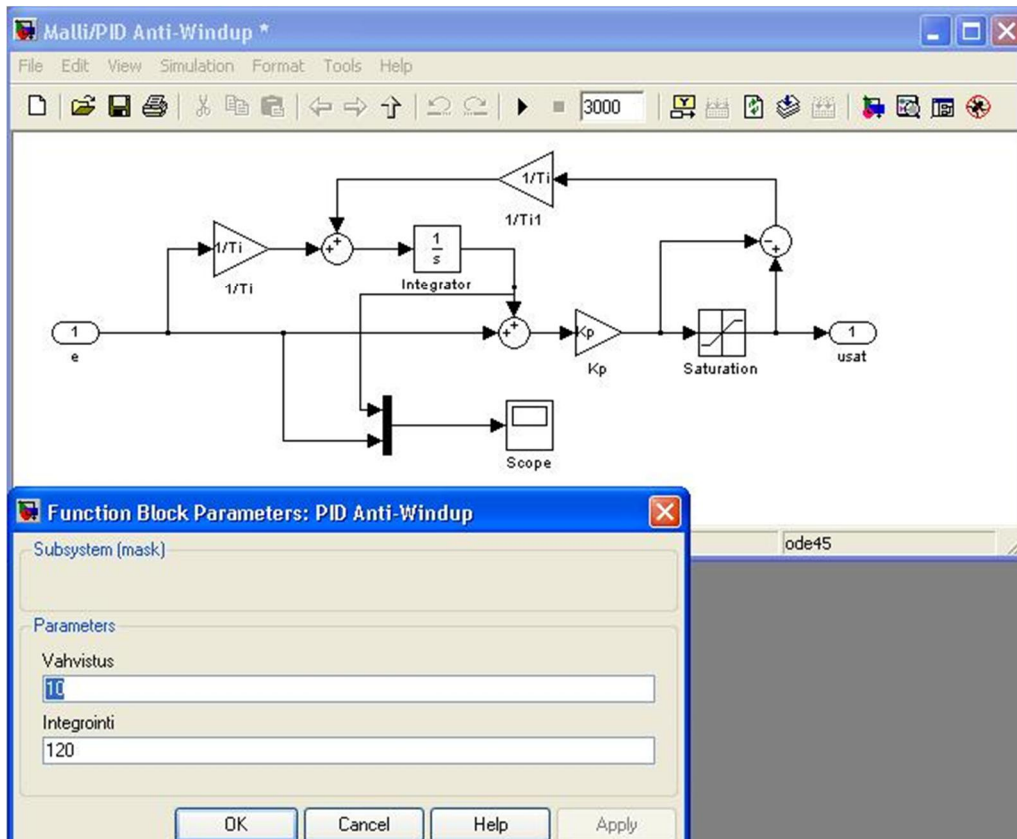
Kaavan 5 avulla säiliölle voitiin luoda malli (Säiliösystemi 2007).

Kummallekin säiliölle luotiin omat mallinsa joista tehtiin omat alisysteeminsä. Alisysteemi komento loi yhden siistin lohkon joka sisältää säiliölle luodun mallin. Kuten kuvasta 24 nähdään, niin mallissa säiliöt ovat omat siistit lohkonsa ja alla nähdään millaiset lohkot ovat sisällöltään. Mallin käyttöä helpottamaan alisysteemeille luodaan maski, joka luo käytetyille parametreille omat muuttujansa. Tämä mahdollistaa sen, että laskukaavoihin ei tarvitse syöttää lukuarvoja vaan pelkkä muuttujanimi. Maski luodaan Edit valikosta Mask Subsystem. Parametrille luodaan muuttuja jota käytetään alisysteemissä. Luotua maskia on helppo

käyttää, kun kaksoisklikkaa alijärjestelmää, niin tulee laatikko johon voidaan suoraan syöttää halutut arvot alijärjestelmän sisällä oleville parametreille. Säiliön 1 pinta-ala oli  $0,1155 \text{ m}^2$  ja säiliön 2 pinta-ala oli  $0,2378 \text{ m}^2$ . Säiliö 1:n verrannollisuuskerroin saatiin liitteessä 3 olevan kuvaajan 2-7 ohjauksjännitteiden alueilla olevan käyrän kulmakertoimesta, joka oli 2,6. Säiliö 2:n verrannollisuuskerroimeksi saatiin kaavan 2 avulla  $1,6 \cdot 10^{-4}$ .



Kuva 24. Simulink-malli



Kuva 25. Simulink säädin

Kuvasta 25 nähdään Simulink-malliin tehty PI-säädin. Säätimeen syötettiin parametrit samoin kuin säiliöihinkin eli tuplaklikkaamalla säädintä.

#### 5.4 NI LabView System Identification Toolkit

Opinnäytetyötä aloitellessa suunnitelmana oli tehdä prosessin mallintaminen LabViewin omalla System Identification Toolkit-ohjelmalla. Ajanpuutteen takia System Identification Toolkitin käyttö piti kuitenkin haudata. Ohjelman olisi ollut aivan uusi ja sen opettelu ja käyttö olisi täytynyt aloittaa aivan alusta. Tämän johdosta prosessin mallinnus päätettiin tehdä Matlabin Simulink-työkalulla. Simulink oli tutumpi ohjelma, jota ei tarvinnut lähteä opettelemaan alusta lähtien. Seuraavassa kuitenkin esittely Labview System Identification Toolkitin käyttötaroituksesta ja periaatteesta.

System Identification Toolkit tarjoaa kirjaston virtuaalisia instrumentteja (VI) ja avustajan, joiden avulla voidaan luoda systeemistä malli. Malli perustuu raakaan dataan, jota analysoidaan System Identification Toolkitin avulla. Ilman aikai-

sempaa tietoa LabViewistä System Identification Assistantin avulla voidaan luoda malleja, jotka heijastavat jonkin tietyn systeemin käyttäytymistä. Assistantin avulla voidaan luoda projekti, joka käsittää koko systeemin tunnistamis prosessin. Projektissa raaka tieto voidaan hankkia Assistantille, esikäsitellä tiedot, arvioida malli joka kuvaa systeemiä ja vahvistaa mallin paikkansapitävyys. Projektin luonnin jälkeen se voidaan kääntää suoraan LabViewin lohkokaaavioksi, jonka jälkeen sitä voidaan muokata halutunlaisesti LabViewin työkalujen avulla. Projekti voidaan kuitenkin luoda myös virtuaalisten instrumenttien (VI) avulla. Assistent on ohjattu projektin luontitapa, mutta instrumenttien avulla tehty ohjelma vaatii jo hieman tietoa ohjelmoinnista (System Identification Toolkit 2004).

Ensimmäinen askel tuntemattoman systeemin tunnistamiseen on tiedon hankkiminen. Tieto voidaan hankkia National Instrumentin tiedon keräys laitteistolla tai aiemmin tiedostoon tallettamien mittausten avulla. Mittaustiedot tulee skaalata oikeiksi, muuten saaduilla tiedoilla ei ole merkitystä. Vahvistus ja validointi systistä tarvitaan kaksi sarjaa lähtö ja tulo tietoja. Toista sarjaa käytetään laskemaan matemaattista mallia systeemille ja toista sarjaa vahvistamaan tulokset mallista. Tulosten pitäisi täsmätä, jos tulokset eivät täsmää niin mallia tulee muokata tai vahvistaa malli saatujen tietosarjojen kanssa (System Identification Toolkit 2004).

## **5.5 Mallinnuksen johtopäätökset**

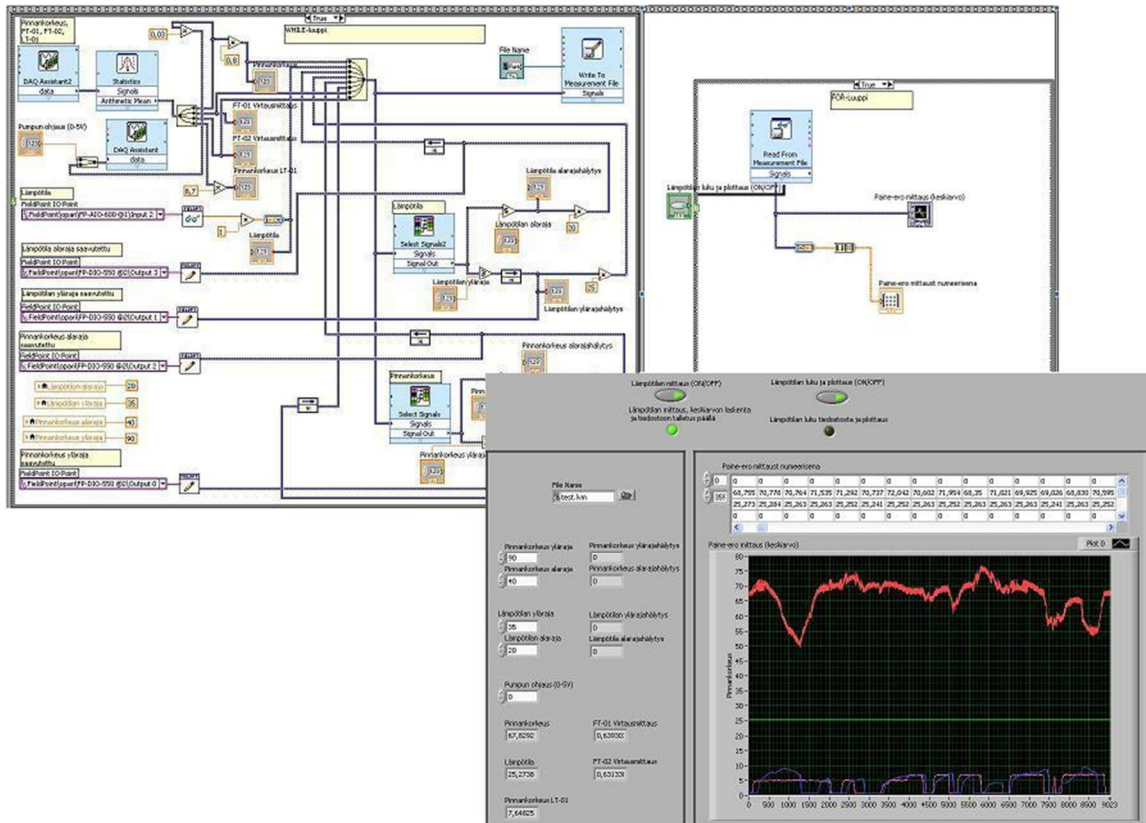
Mallia tehdessä oli noudatettava suunniteltua kiertoa. PI-kaavion avulla pystyttiin selkeästi näkemään mitä mallissa tarvitaan ja miten sen pitäisi edetä. Mallia tehdessä oli myös otettava huomioon PI-säätimen ominaisuudet. Simulinkmallin tuloksia voitiin aina välillä verrata varsinaisen prosessin tuloksiin, jolloin nähtiin mallin eteneminen.



## 6 Prosessitestausta

### 6.1 LabView-testaus

Luotu LabView-ohjelma oli nimeltään yhdistetyt\_mittaukset\_uusi.vi. LabView-ohjelma toimi prosessin käyttöliittymänä, jossa käynnistettiin mittaukset ja piirrettiin graafiset kuvaajat. Prosessin mittaukset saatiin myös talletettua Excel-tiedostoon talteen, jos mittauksia haluttiin myöhemmin tarkastella uudelleen. LabView tallentaa mittaukset test.lvm tiedostoon. LabViewin Block Diagram osasta voitiin muuttaa raja-arvojen hälytys rajoja. Prosessin käyttöliittymänä toimi LabViewin Front Panel, josta nähdään raja-arvot, onko hälytys päällä, prosessin mittaukset numeroarvoina ja piirretään mittauksista graafiset kuvaajat.

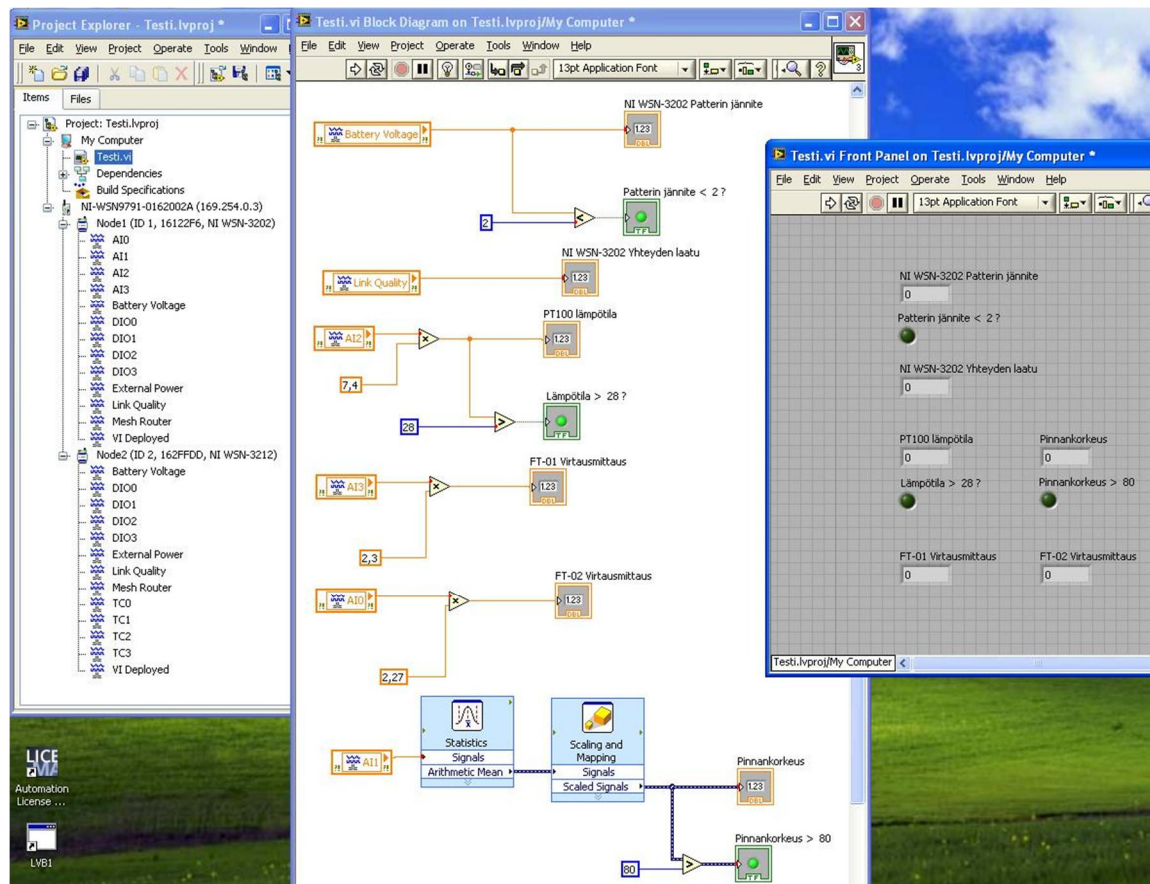


Kuva 26. LabView-testaus

Kuvasta 26 nähdään LabViewin Block Diagram ja Front Panel. Kuvasta nähdään myös käyttöliittymä toiminnassa.

## 6.2 WSN-testaus

Langatonta mittausta voitiin testata avaamalla LabView:stä Testi.lvproj. Langatonta mittaus toimi samaan tyyliin kuin varsinaisetkin mittaukset. Wireless Sensor Networkia käyttäekseen oli mittausten anturiliittimet vaihdettava langattomiin mittaussolmuihin.



Kuva 27. WSN-mittaukset

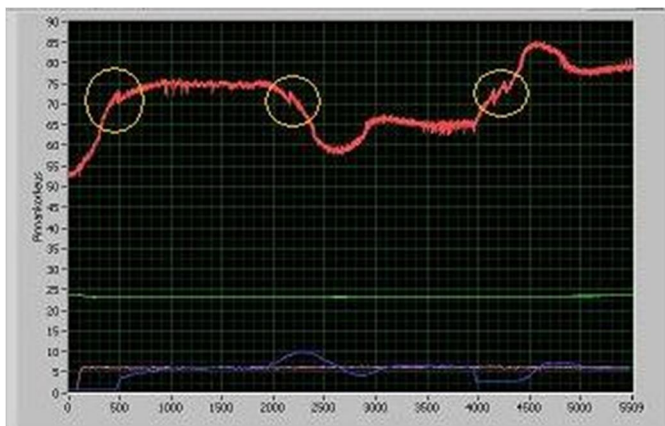
Kuvasta 27 nähdään itse ohjelma ja varsinainen käyttöliittymä, josta mittaukset nähtiin. Langatonta mittaus oli epäluotettavampi kuin langallinen mittaus, joten se ei oikein soveltunut varsinaiseen mittaukseen. Mittausväli oli liian suuri ja mittaukset epätarkkoja. Kaikki mittaukset saatiin kuitenkin näkyviin ja toimimaan kuten suunniteltiin. Langatonta mittaus ei ollut toimiva säätöpiirin kanssa, koska säätöpiiri tarvitsi jatkuvaa tietoa mittauksista ja langatonta mittaus ei sitä pystynyt riittävällä taajuudella tarjoamaan.

## 6.3 Säättöpiiri

### 6.3.1 Säättöpiirin parametrit

Vesiprosessin säättöpiiriä varten tarvittiin selvittää säätimen parametriarvot. Tässä tapauksessa askelvaste- ja värähtelyrajamenetelmä eivät toimineet, koska prosessi ei lähtenyt värähtelemään ja askelvastetta varten se oli liian hidas ja eikä se toiminut niin kuin askelvastekokeessa sen pitäisi. Tästä syystä säättöpiirin parametrit haettiin kokeilumenetelmällä. Säätimelle annettiin erilaisia arvoja ja testattiin prosessin toimintaa.

Vesiprosessi oli hidas joten se ei toiminut pienemmillä vahvistusten arvoilla. Säätimen vahvistuksen arvo täytyi olla suuri jolloin se lähti toimimaan halutusti. Seuraavaksi piti löytää integroinnin parametri.



**Kuva 28. Integrointi termin hakeminen**

Ensimmäisenä huomattiin, että I-parametri täytyi olla suuri, jottei erosuuretta esiintyisi. Kuten kuvasta 28 nähdään niin integrointi-arvo aiheuttaa virhettä säädön aikana.



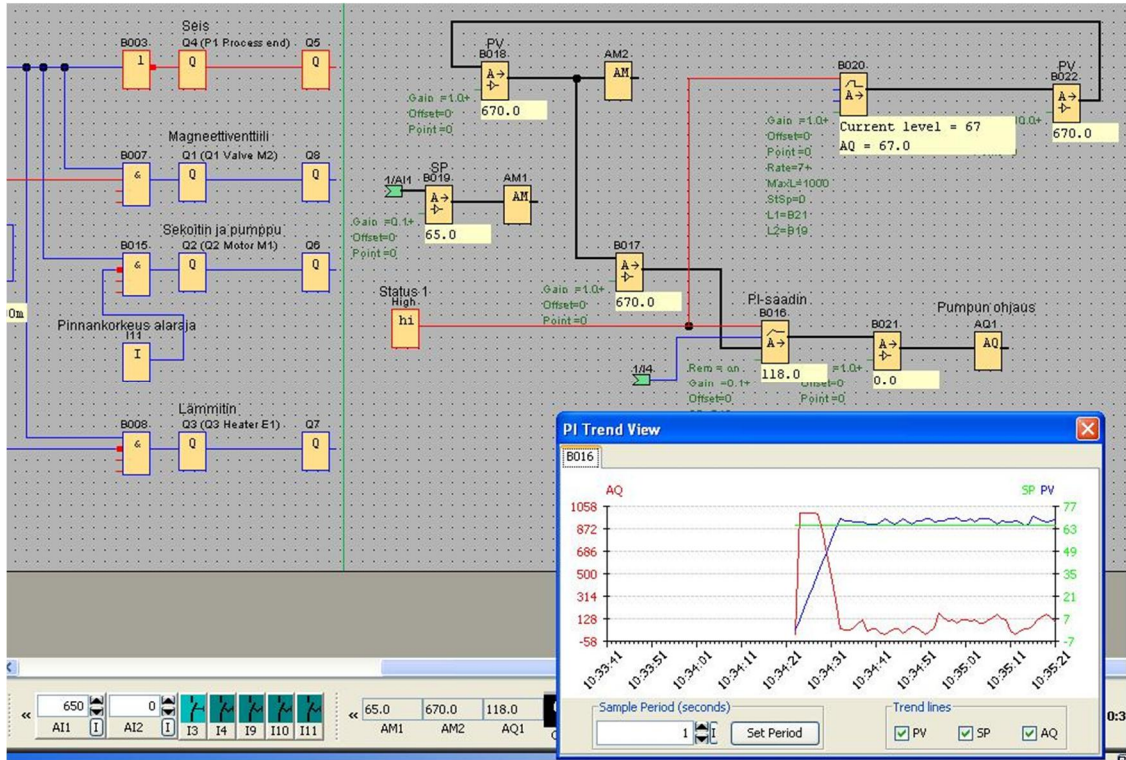
**Kuva 29. Toimiva säätöpiiri**

Integraaliarvoa kasvattamalla Saatiin virhe säädöstä poistettua, kuten huomataan kuvasta 29. Säätöpiiri saatiin toimimaan seuraavilla säätimen arvoilla  $P=10$  ja  $I=120$ . PI-säätimestä täytyi vielä muuttaa sen suunta downwardiksi, jotta säädin tekisi säädöt oikeaan suuntaan.

### 6.3.2 Säätöpiirin simulointi

LOGOlle tehtyä säätöpiiriä testattiin tekemällä sille oma simulointipiirinsä. Säätöpiiriä voitiin testata LOGOn omassa simulaatiotilassaan. Simulaation avulla pystyttiin testaamaan säätimen parametreja ja toteamaan sen toiminta. Simulointipiiri oli muuten sama kuin varsinainen säätöpiiri, mutta siihen lisättiin ramp-pilohko jolla pyrittiin simuloimaan säiliötä. Simuloinnin avulla pystyttiin tekemään askelvastekokeita, joiden avulla säätöparametreja oli helppo testata ja tutkia.



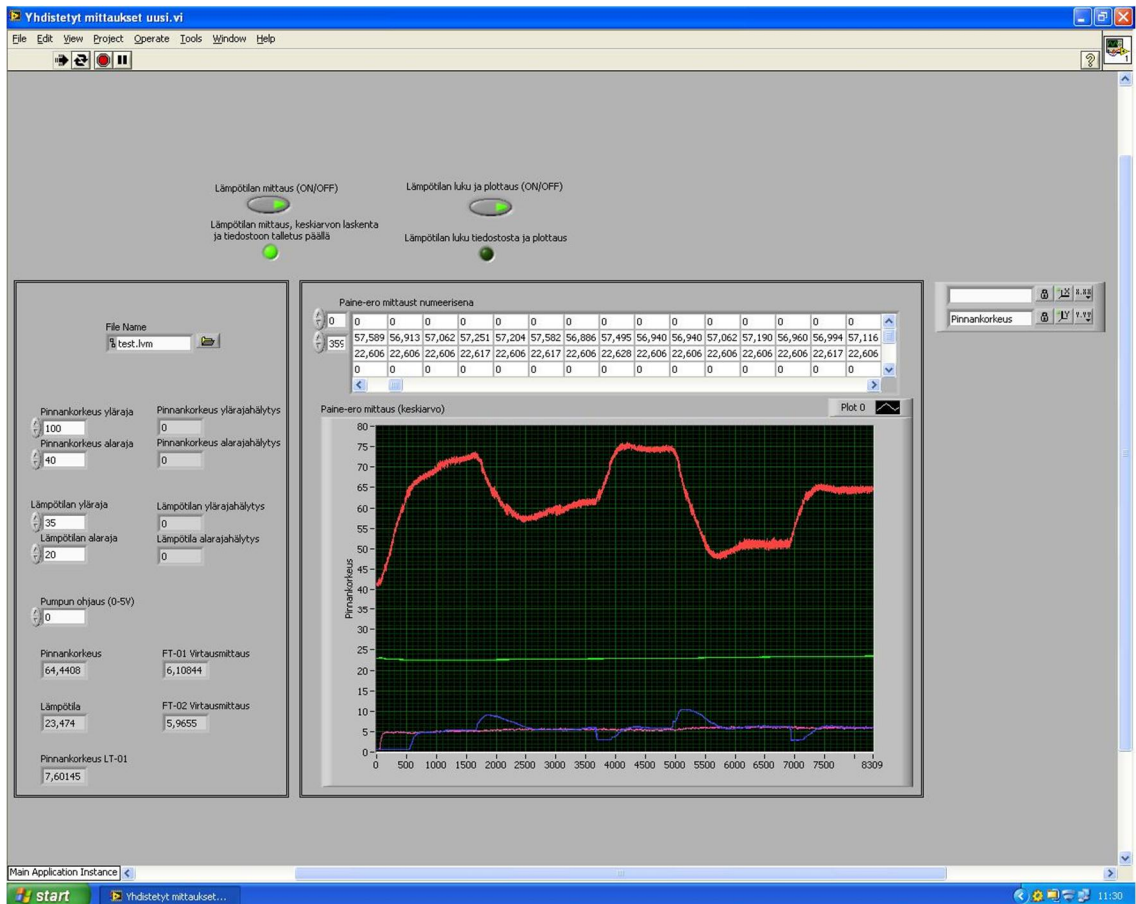


Kuva 30. Säätiöpiirin simulointi

Kuvasta 30 nähdään LOGOlle tehty simulointipiiri ja askelvaste, joka sillä toteutettiin.

### 6.3.3 Säätiöpiirin testaus

Säätimen parametrien löytymisen ja simuloinnin jälkeen voitiin testata varsinaisen vesiprosessin toimintaa säätiöpiirin kanssa. Prosessin mittaukset käynnistetään LabViewin kautta, joka toimii myös prosessin käyttöliittymänä. LOGO-logiikasta Start-nappia painamalla vesiprosessi saatiin pyörimään. LOGO Comfort-ohjelman ollessa online test tilassaan voitiin prosessin tilaa valvoa myös LOGO-ohjelman kautta. Valumaveden venttiili avattiin täysin jolloin pinnankorkeus saatiin kohoamaan. Säätiöpiirille asetusarvon muutos tehtiin LOGOlla olevasta säätiönupikasta.

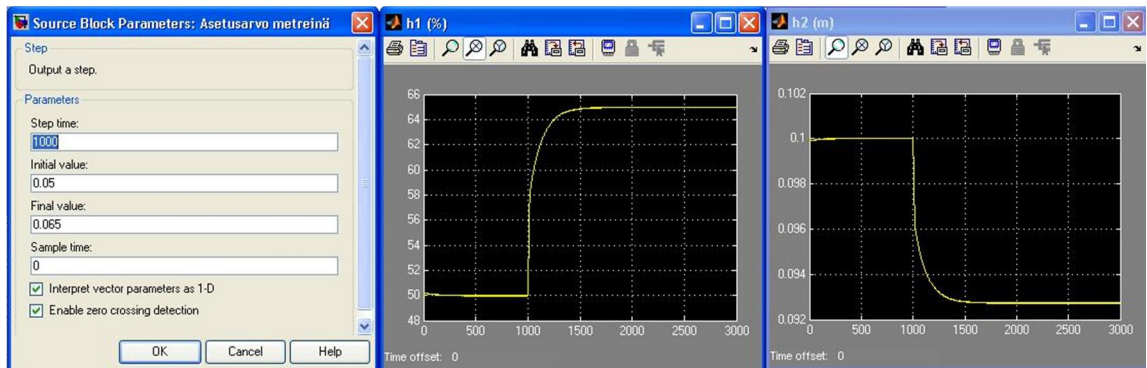


**Kuva 31. Säättöpiirin testaus**

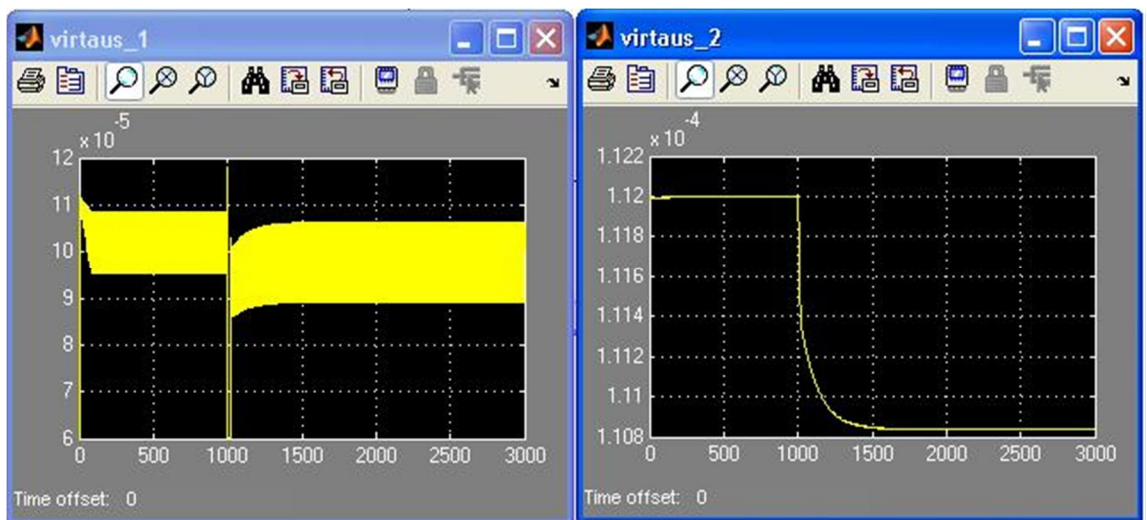
Kuvasta 31 nähdään LabViewin piirtämästä kuvaajasta asetusarvomuutokset. Kuvasta nähdään kuinka asetusarvoa on muutettu muutamaan otteeseen jolloin pinnankorkeus on joko laskenut tai noussut asetusarvo muutoksen mukaan. Nähdään kuinka pinnankorkeus on tasoittunut haluttuun asetusarvoon. Kuvajista nähdään myös virtausten määrät. Asetusarvon saavutus voitiin myös visuaalisesti havainnollistaa virtausmittauksista. Virtausvahdeissa oli ledinäytöt jotka näyttivät virtausten määrän. Tulo- ja lähtövirtausten ollessa samat pinnankorkeus pysyy samassa. Liitteestä 8 löytyvät vesiprosessin käyttöohjeet.

## 6.4 Mallien vertailu

Varsinaisella vesiprosessilla ja Simulink-mallilla tehtyjä testauksia verrattiin toisiinsa ja huomattiin, että Simulink-mallissa on oikeanlainen toimintaperiaate, mutta tulokset eivät aivan täsmää varsinaiseen prosessiin.



Kuva 32. Simulink-mallin pinnankorkeus tuloksia



Kuva 33. Simulink-mallin virtausten tuloksia

Simulink-malli oli varsinaista prosessia hitaampi ja hiukan epätarkempi. Kuvista 32 ja 33 nähdään kuinka mallissa on tehty asetusarvon muutos ja niissä tapahtuneet pinnankorkeuksien ja virtausten muutokset. Kuvassa 32 nähtävä virtaus 1:een syntyy jostain syystä värähtelyä. Värähtely johtui mallissa olleesta pinnankorkeuden skaalaus 1 kertoimesta ja Simulinkin laskentatarkkuudesta, vaikka virtaus 1 värähtelikin niin malli toimi muutoin. Matemaattisen mallin tarkkuutta pystyttäisiin säätämään hakemalla tarkempia parametreja, mutta tässä vaiheessa tulokset riittivät. Yksi syy mallin epätarkkuuteen voi olla myös PI-säätimessä. Monilla säätimillä on oma toimintamallinsa ja se voi aiheuttaa jonkinlaista heittoa malliin. Mallilla kuitenkin pystytään demonstroimaan vesiprosessin toimintaa ja tarkastelemaan matemaattista puolta.



## 7 Pohdinta

Kokonaisuutena ajatellen projekti onnistui kiitettävästi. Ainoastaan joitain tavoitteita jouduttiin muokkaamaan tai karsimaan. Tämä johtui ajanpuutteesta ja muutoksista projektin aikana. Aikataulu myös venyi projektissa olleiden hankaluuksien takia. Moni asia oli uutta, joten niiden opettelu ja tutkiminen vei oletettua kauemmin. Aikataulun venyminen ei kuitenkaan tuottanut ongelmia kummallekaan projektin osapuolelle. Keskeiset tavoitteet saatiin kuitenkin toteutettua, joten projektia voidaan pitää onnistuneena.

Säätöpiiriä ja matemaattista mallia suunnitellessa moni asia oli vielä kysymysmerkinä. Aluksi säätöpiirin toteutus oli vielä auki, että pystyttäisiinkö sitä toteuttamaan ollenkaan tai toimisiko se. Projektin edetessä asiat kuitenkin selkeytyivät ja suunnitelmat paranivat. Vähitellen säätöpiirin ja matemaattisen mallin toteutus alkoivatkin näyttää realistisilta. Ohjauksen ja perehtymisen avulla kummatkin saatiin toteutettua halutusti.

Opinnäytetyönä projekti oli monipuolinen ja haastava. Työssä oli paljon uusia haasteita ja menetelmiä joihin tutustua. Haasteista kuitenkin selvittiin. Uudet haasteet, menetelmät ja ohjelmat olivat opin kannalta hyväksi. Suunnitelmien huolellinen tekeminen ja ohjaajan apu auttoivat yli vaikeista haasteista. Onnistumiset lisäsivät itseluottamusta ja antoivat lisää energiaa pyrkiä vielä vain parempaan.

Prosessissa on kuitenkin vielä jatkokehittävää. Aikataulun takia pois jäänyt System Identification Toolkit mallinnustyökalua voitaisiin käyttää tulevaisuudessa hyödyksi prosessin mallinnuksessa. System Identification Toolkit on myös osa National Instrumentsin tuotteita, joten malli voitaisiin toteuttaa mittauskortteja hyväksikäyttäen. Valumaveden käsikäyttöinen venttiili voitaisiin vaihtaa säätöventtiiliin, jolloin sitä olisi helpompi käyttää ja siitä saataisiin parempi hyöty prosessille. PT-100 lämpötila-anturi voitaisiin myös korvata uudella, koska se on jo vanha ja siinä voi esiintyä toimintahäiriöitä. Myös toinen kiertovesipumppu voitaisiin jotenkin ottaa käyttöön. Jatkokehitys voitaisiin toteuttaa joko seuraavassa opinnäytetyössä tai tulevilla automaatiotekniikan kursseilla.

## Lähteet

- AS-Interface. 2011. The System.  
<http://as-interface.net/System/> [9.12.2011].
- Geier Jim. 2005. Langattomat verkot. Helsinki: Edita Prima Oy.
- Grundfos. 2008. Grundfos 26-60/180.  
[http://net.grundfos.com/doc/webnet/magna/downloads/Magna\\_databooklet.pdf](http://net.grundfos.com/doc/webnet/magna/downloads/Magna_databooklet.pdf) [24.11.2011].
- Grundfos pumppu. 2012. Pumpun kuva  
<http://www.e-pumps.co.uk/grundfos-single-head-variable-speed-circulator-magna-upe-25-60-2618-p.asp> [24.11.2011].
- IFM Electronic. 2003. SA3010.  
<http://www.ifm.com/ifmgb/web/dsfs!SA3010.html> [2.12.2011].
- Interface Times. 2006. Phoenix Contact Oy.  
[http://www.phoenixcontact.fi/local\\_content\\_pdf/pdf\\_fin/Phoenix\\_IF\\_Times\\_FI\\_lores.pdf](http://www.phoenixcontact.fi/local_content_pdf/pdf_fin/Phoenix_IF_Times_FI_lores.pdf) [9.12.2011].
- KMV. 2008. Calpeda NCE 25-60/180. 2008.  
<http://www.kmv.fi/valmiitpdf/nce.pdf> [24.11.2011].
- Kuosa, J. 2011. Vesiprosessi.  
Pohjois-Karjalan amk. Automaatiotekniikka. Opetusmateriaali.  
Open.pp.fi
- LabView. 2011. What Is.  
<http://www.ni.com/labview/whatis/> [17.11.2011].
- NI FP-2010. 2001. User Manual.  
<http://www.ni.com/pdf/manuals/322758b.pdf> [5.12.2011].
- NI FP-AIO-600. 2006. Fieldpoint Operating Instructions FP-AIO-600.  
<http://www.ni.com/pdf/manuals/373614c.pdf> [5.12.2011].
- NI FP-DIO-550. 2006. Fieldpoint Operating Instructions FP-DIO-550.  
<http://www.ni.com/pdf/manuals/371324c.pdf> [5.12.2011].
- NI USB-6008. 2008. User Guide and Specifications NI USB-6008.  
<http://sine.ni.com/nips/cds/print/p/lang/en/nid/201986> [5.12.2011].
- NI WSN. 2010. NI WSN Product and Configuration Guide.  
<http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/8710> [16.12.2011].

Oulun Yliopisto. 2006. PID-säätimen virittäminen.

<http://cc.oulu.fi/~posyswww/opiskelu/sytelabrat/tyo1.pdf> [19.3.2012].

PID-säädön perusteet. 2011. Säättöteoria.

[http://cc.oulu.fi/~manneter/PID/PID\\_saadon\\_perusteet\\_2011.pdf](http://cc.oulu.fi/~manneter/PID/PID_saadon_perusteet_2011.pdf)  
[7.2.2012].

Putkivirtaukset. 2009. Reynoldsin luku.

<http://wiki.metropolia.fi/display/koneautomaatio/4.+Putkivirtaus> [7.2.2012].

Siemens LOGO!. 2010. käsikirja.

[http://www.siemens.fi/pool/products/industry/iadt\\_is/tuotteet/automaatiotekniikka/ohjelmoitavat\\_logiikat/logo/logo-kasikirja-versio-0ba5.pdf](http://www.siemens.fi/pool/products/industry/iadt_is/tuotteet/automaatiotekniikka/ohjelmoitavat_logiikat/logo/logo-kasikirja-versio-0ba5.pdf) [2.3.2012].

Simulink. 2012. MathWorks.

<http://www.mathworks.se/products/simulink/description1.html> [2.2.2012].

Säiliösystemi. 2007. Simulink mallinnus.

[http://cc.oulu.fi/~posyswww/opiskelu/tkass/laskuharjoitukset/Tkass\\_2007\\_harjoitus6.pdf](http://cc.oulu.fi/~posyswww/opiskelu/tkass/laskuharjoitukset/Tkass_2007_harjoitus6.pdf) [10.3.2012]

System Identification Toolkit. 2004. User Manual.

<ftp://ftp.ni.com/pub/devzone/tut/usermanual.pdf> [12.12.2011].

## Hankintalista

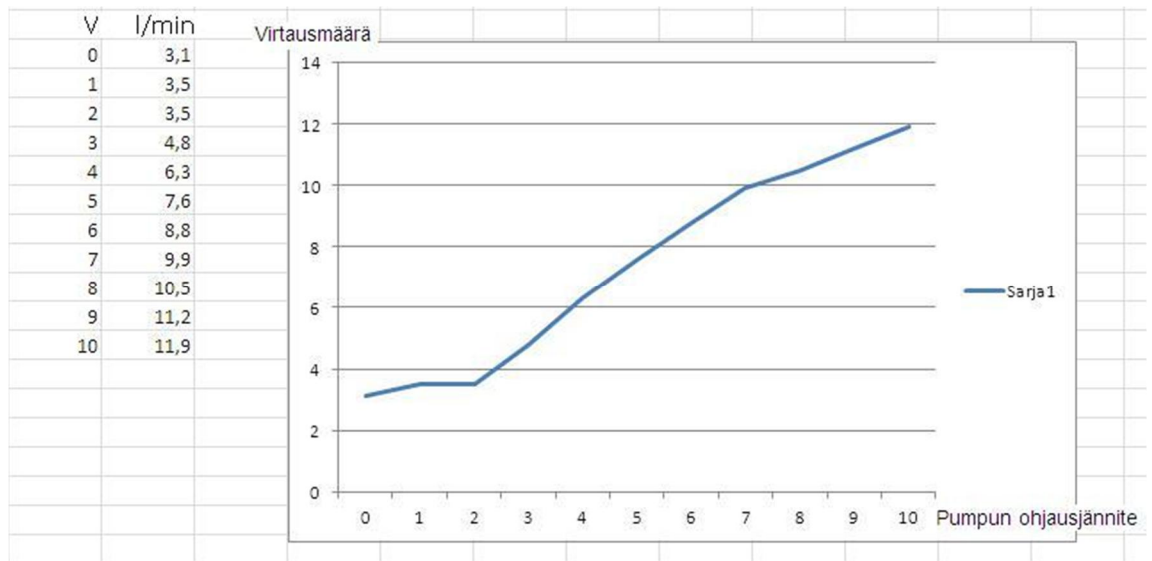
Liite 1

HANKINTALISTA					
<u>Nimi</u>	<u>Malli/Tuotenumero/Tilausnro</u>	<u>kpl</u>	<u>Hinta(€)</u>	<u>Toimittaja</u>	
LabView 2010 päivitys	-	1	2 419 €	National Instruments	
NI Wireless Sensor Network	-	1	2 046 €	National Instruments	
Kiertovesipumppu (Calpeda)	NCE 25-60/180	1	175 €	KMV-Tuotteet	
Kiertovesipumppu+moduuli (Grundfos)	MAGNA 25-60/180+Genimoduuli CS1500	1	615 €	Oy Grundfos Pumput AB	
Relekannat	PYF14-ESN	10	64 €	ELFA	
Releet	MY-2 24DC	10	84 €	ELFA	
Releen kiinnityssangat	PYC-0	10	35 €	ELFA	
Muut yleiset tarvikkeet	-	-	100 €	-	
		YHT.	5 538 €		

**Virtausmittausten parametrit**

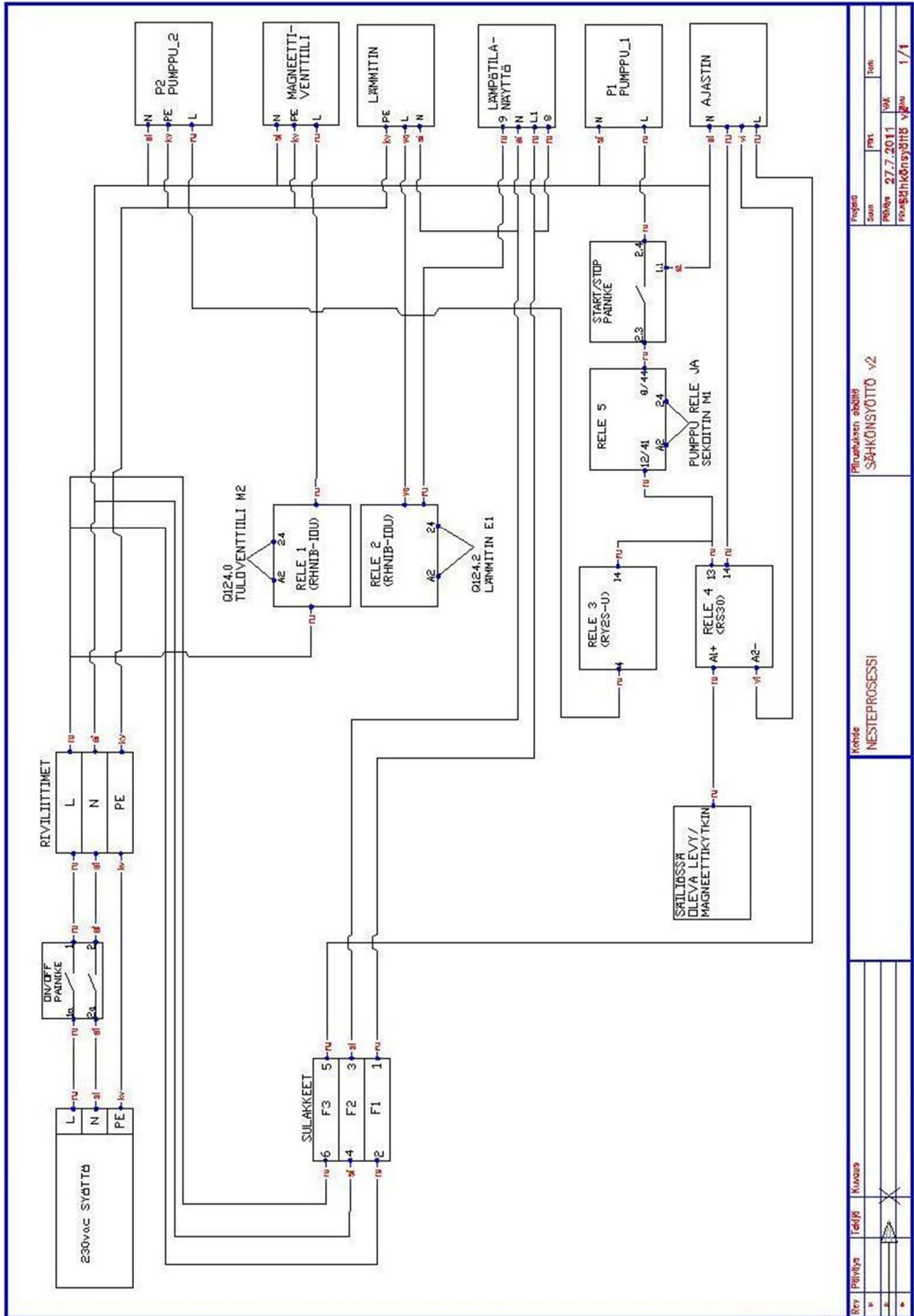
Virtausantureiden FT-01 ja FT-02 parametrit	
Parametri	Arvo
SP1	24
RP1	22
OU1	HNO
OU2	U
ASP	0
AEP	22.5
DI A	19
EF-HI	24
EF-LO	0
EF-CGA	0
EF-CAR	RESET
EF-DST	0
EF-PN	PNP
EF-DIS	D3
EF-UNI	LIT

## Virtaukset eri ohjausjännitteillä



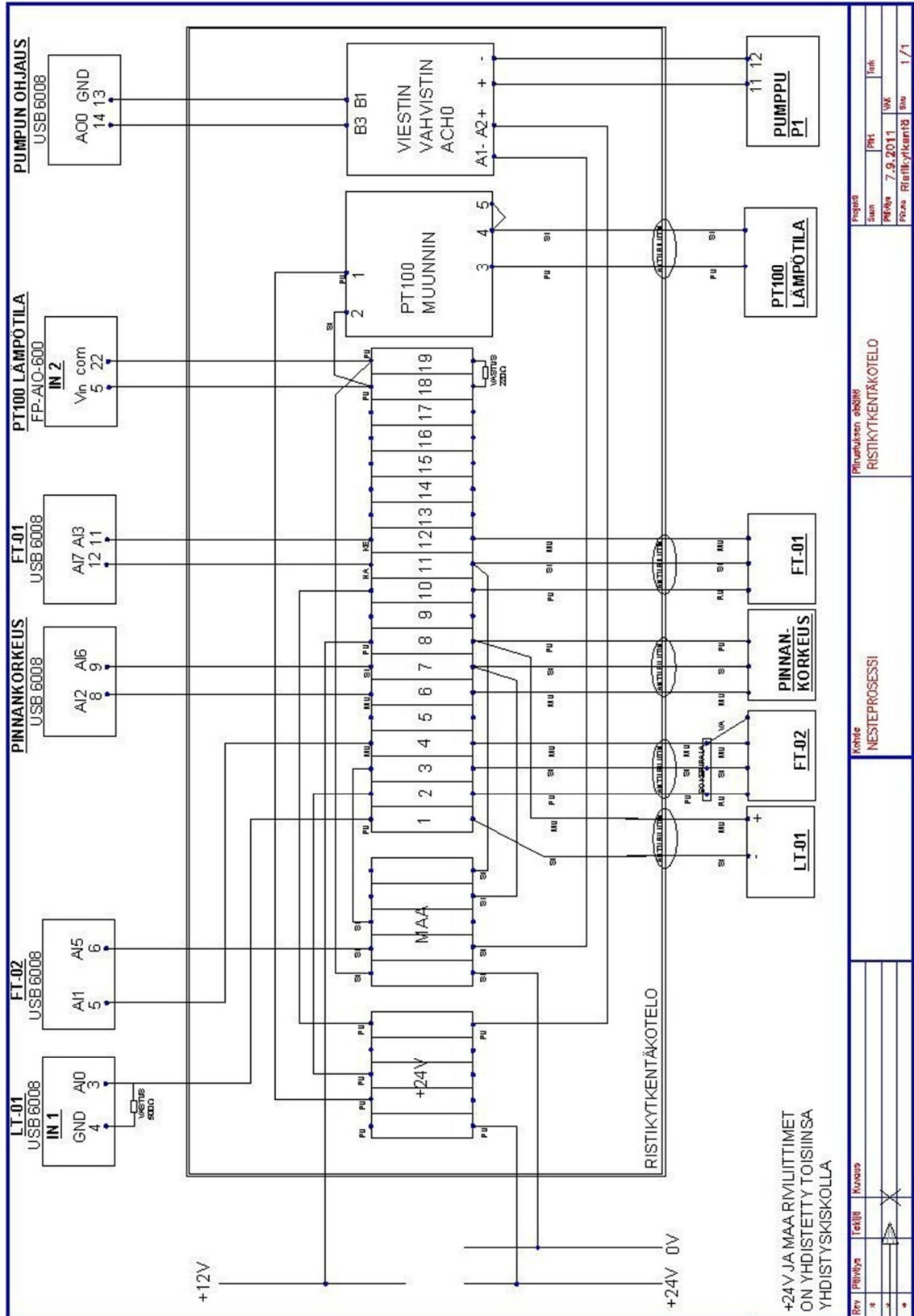


Vesiprosessin sähkökytkennät



Rev	Painos	Tedji	Kuusis	Projekti	San	Prt	Form
1				Pluukkulan ohjauk			
2				SÄHKÖNSYÖTÖ v2			
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20							
21							
22							
23							
24							
25							
26							
27							
28							
29							
30							
31							
32							
33							
34							
35							
36							
37							
38							
39							
40							
41							
42							
43							
44							
45							
46							
47							
48							
49							
50							
51							
52							
53							
54							
55							
56							
57							
58							
59							
60							
61							
62							
63							
64							
65							
66							
67							
68							
69							
70							
71							
72							
73							
74							
75							
76							
77							
78							
79							
80							
81							
82							
83							
84							
85							
86							
87							
88							
89							
90							
91							
92							
93							
94							
95							
96							
97							
98							
99							
100							

Ristikytkenn kytkentäkuvat



+24V JA MAA RIVILITTIMET ON YHDISTETTY TOISIINSA YHDISTYSKISKOLLA

Bry	Pölyisyys	Teräks	Kuvasto	Kuvaus	Projekt	Suunn	PRT	Päiväys	7.9.2011	LMK	Pääsu	Ristikytken <span>n</span> kytkent <span>ä</span> kuvat	Sivu	1/1
Pinnakortin abstrakti														
RISTIKYTKENTÄKOTTELO														
Kehite NESTEPROSESSI														

**Siemens S7-ohjelma**

OB1 : LOGO!Autoclave with ASi / jussi Tapio Kuosa 7.2.2011

Comment:

**Network 1** : Reading of the ASi data into the PII

Comment:

```
L   PID  288
T   ID   10
L   PID  292
T   ID   14
```

**Network 2** : S7-inpuuttien vaikutus LOGO! tuloihin ASi-väylän kautta

```
S7-out      = LOGO!
I124.0 => Q24.0 => I9   Prosessin pinnankorkeuskytkin (säiliö täynnä ilmaisin)
I124.1 => Q24.1 => I10  Prosessin sekoittimen ajastin päälle (lampotila
saavutettu)
I124.2 => Q24.2 => I11  Prosessin lämpötilakytkin(ei käytössä)
I124.3 => Q24.3 => I12  |
```

**Network 3** : Pinnankorkeuden indikointi

```
I124.0 => Q24.0 => I9   Prosessin pinnankorkeuskytkin
```

Jos prosessin pinnankorkeus nousee vaaditulle tasolle, sytytetään lamppu (ja suljetaan tuloventtiili)

```
A   I   124.0
=   Q   24.0
```

**Network 4** : Sekoittimen ajastin päälle

```
I124.1 => Q24.1 => I10  Prosessin sekoittimen ajastin päälle
```

Jos lämpötilatermostaatti menee pois päältä niin liipaistaan sekoitin pois päältä 1.5min kuluttua

```
A   I   124.1
=   Q   24.1
```

**Network 5** : Prosessin lämpötilan säätö

```
I124.2 => Q24.2 => I11   Prosessin lämpötilakytkin (termostaatti)

Jos lämpötila saavuttaa asetusarvon niin kytketään lämmitys pois päältä
```

```
A   I   124.2
=   Q   24.2
```

**Network 6** : LOGO!outputtien vaikutus S7-lähtöihin ASi-väylän kautta(monitor)

```
= LOGO! S7-in      S7-out
Q5   => I14.0 => Q124.0   Q1 valve M2 (tuloventtiilin ohjaus)
Q6   => I14.1 => Q124.1   Q2 Motor M1 (sekoittimen ohjaus)
Q7   => Q14.2 => Q124.2   Q3 Heater E1 (lämmittimen ohjaus)
Q8   => Q14.3 => Q124.3   Q4 P1 Process end (prosessi pysähdyksissä -
ilmaisin)
```

```
A   I   14.0
A   I   14.1
A   I   14.2
A   I   14.3
```

**Network 7** : Prosessi pysähdyksissä - indikointivalon ohjaus

```
Q8   => Q14.3 => Q124.3   Q4 P1 Process end (prosessi pysähdyksissä -
ilmaisin)

Jos ajastin on valmis niin pysäytetään prosessi ja sytytetään P1-valo
```

```
A   I   14.3
=   Q   124.0
```

**Network 8** : Pumpun ohjaus

```
Q6   => I14.1 => Q124.1   Q2 Motor M1 (sekoittimen ohjaus)

jos lämpötilakytkin on päällä ja S1 on painettu niin käynnistetään ajastin
1,5min ja ohjataan pumppu ko. ajaksi päälle
```

```
A   I   14.1
=   Q   124.1
```

**Network 9** : Lämmittimen ohjaus

```
Q7 => Q14.2 => Q124.2 Q3 Heater E1 (lämmittimen ohjaus)
```

```
jos lämpötilakytkin on päällä niin ohjataan lämmitin pois päältä
```

```
A I 14.2
= Q 124.2
```

**Network 10** : Tuloventtiilin ohjaus

```
Q5 => I14.0 => Q124.0 Q1 valve M2 (tuloventtiilin ohjaus)
```

```
jos S1 on painettu ja Q5 LOGO!::ssa päällä niin S7-out Q124.0 ohjataan päälle
```

```
A I 14.3
= Q 124.3
```

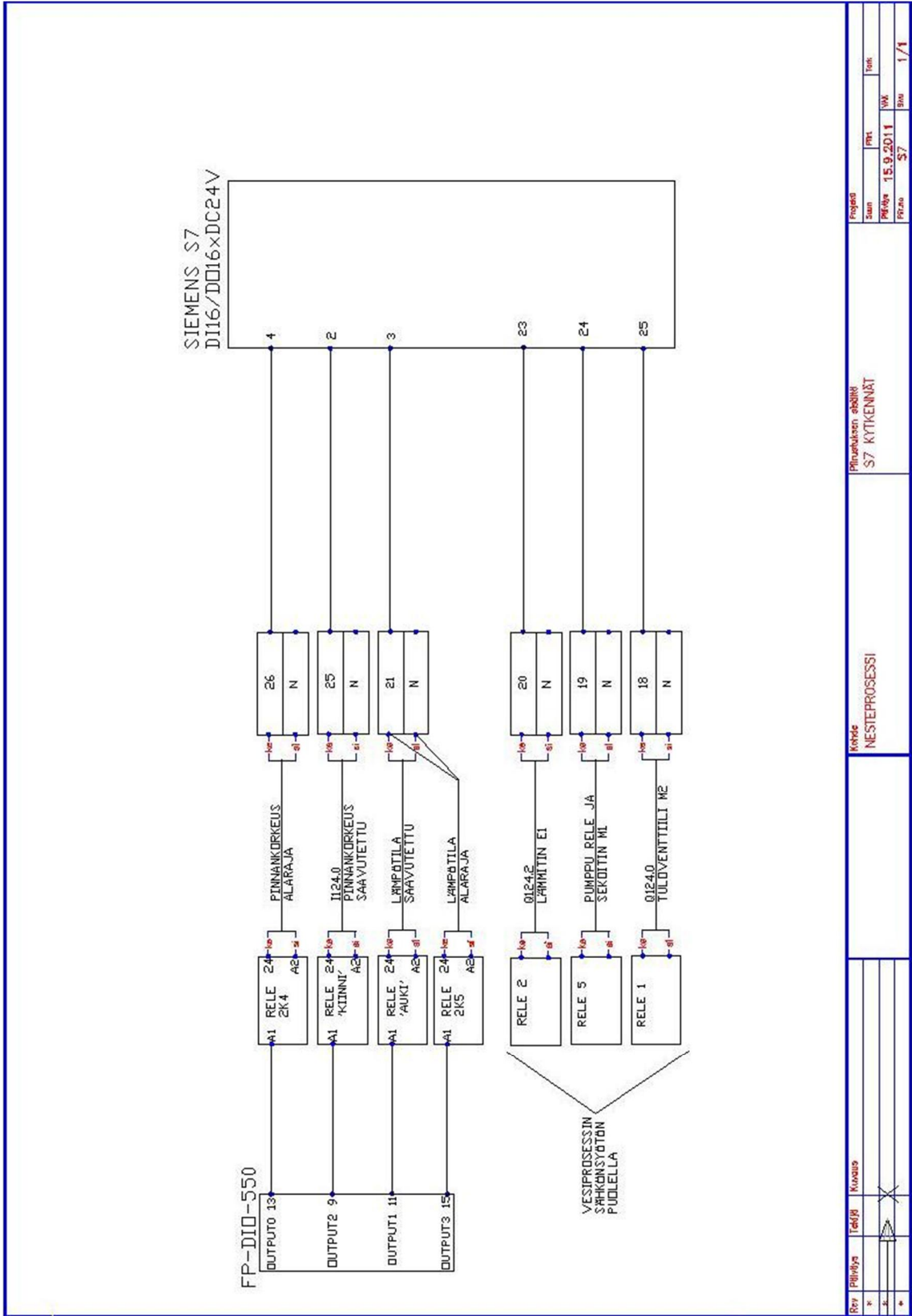
**Network 11** : Reading out of the ASI-Data from the PIQ

```
Comment:
```

```
L QD 14
T PQD 288
L QD 24
T PQD 292
```

# Siemens S7-kytkennät

Liite 7



Rev	Piiritys	Tekijä	Muutos	Projekti	Plani	Tosit
1				Siemens	15.9.2011	1/1
				Projektin nimi	S7 KYTKENNÄT	
				Modi	NESTEPROSESSI	

**Verrannollisuuskertoimen kaava**

$$p_1 + \frac{c_1}{2} \rho v_1^2 + \rho g h_1 + p_{tf} = p_2 + \frac{c_1}{2} \rho v_2^2 + \rho g h_2 + p_f \quad (6)$$

$$\rho g h_1 = \rho v_2^2 + \rho g h_2 + \frac{1}{2} \lambda \rho v^2 \frac{l}{D}$$

$$g h_1 = \left(1 + \frac{1}{2} \lambda \frac{l}{D}\right) * v^2$$

$$v = \sqrt{\frac{g}{1 + \frac{1}{2} \lambda \frac{l}{D}}} * \sqrt{h} \quad || \quad q_v = v * A$$

$$q_v = A * \sqrt{\frac{g}{1 + \frac{1}{2} \lambda \frac{l}{D}}} * \sqrt{h} \quad , \text{jossa } q'_v(h_0) * h + b$$

Jossa  $c = 2$  (laminaarilla)

$p_{tf} = 0$  (pumpunhäviökerroin, ei ole valumavedellä)



## Vesiprosessin käyttöohjeet

### Nesteprosessin käyttöohjeet

1. Laitteistolle virta vikavirtasuojalta
2. Käynnistetään PC
  - Käyttäjätunnus: edu100
  - Salasana: edu100100
3. Tarkistetaan IP koneelta. Pitäisi olla kiinteä
  - IP: 169.254.0.1
  - Subnet mask: 255.255.0.0
4. Käynnistetään läppäri
  - Käyttäjätunnus: edu100
  - Salasanaa ei ole
5. Reititin päällä
6. Virtarajoitukset jännitelähteisiin
7. Jännitelähteille jännitteet
  - Jännitelähde 1: 12V
  - Jännitelähde 2: 24V
8. National Instruments mittalaitteiston pääkytkimet päälle
9. Tarkistetaan Measurement & Automation Explorerista onko yhteys laitteisiin yhdistetty
  - Remote Systemsissä pitäisi näkyä NI-WSN ja Opari. Ei saa olla punaisia rakkeja niiden päällä.
10. Mittauskorttien toiminta voidaan testata seuraavasti
  - Data Neighborhood -> FieldPoint Items(ovi2.iak)-> opari-> FP-AIO-600@1. Sieltä laitetaan päälle START, jolloin inputtien status pitäisi olla successful
  - Data Neighborhood-> NI-DAQmx...-> Pinnankorkeus. Sieltä laitetaan päälle run, jolloin VALUE kohdassa pitäisi näkyä sen hetkinen mittaus
11. Langattomien mittausten nodet voidaan testata seuraavasti
  - Laitetaan paristot nodeihin paikalleen. Sitten mennään Remote Systems -> NI-WSN, josta mennään WSN Nodes välilehdelle. Refreshiä painettua ruudulla pitäisi näkyä kuinka yhdyskäytävä on saanut yhteyden nodeihin.
12. Käynnistetään LabView. Avataan projekti Yhdistetyt\_mittaukset\_uusi.vi, jolloin näkyviin tulee projektin Front Panel.
  - Pinnankorkeuden yläraja: 100
  - Pinnankorkeuden alaraja: 40
  - Lämpötilan yläraja: 35
  - Lämpötilan alaraja: 20
  - Ohjelma tallentaa mittauksia tiedostoon, niin entinen tiedosto täytyy poistaa tai ottaa talteen. Mennään My Documents -> LabView Data ja sieltä löytyy test.lvm tiedosto.
13. Aukaistaan vesihana, jolloin säiliöön voidaan tarvittaessa syöttää lisää vettä.
14. Laitetaan Siemensin S7 logiikka päälle. Ei saa olla erroria.
15. Laitetaan AS-i väylälle ja LOGOlle jännitteet
  - Jännitelähde 3: 24V
16. Seuraavaksi voidaan laittaa itse vesiprosessille virrat päävirtakytkimestä.
17. Läppäriä käynnistetään LOGO Comfort-ohjelma. Käynnistetään siinä projekti Nesteprosessi\_pumpun\_ohjaus\_v7.lsc.
18. Seuraavaksi itse nesteprosessin ajastimelle laitetaan haluttu käyntiaika ja painetaan ajastimen START jolloin ajastimen aika alkaa kulkea. Ajan loppuessa prosessi sammuu itsestään.
19. Käynnistetään LabView projekti Run Continuously-napista. Sen jälkeen käynnistetään lämpötilan mittaus ja lämpötilan luku ja plottaus. Painetaan niiden nappeja jolloin niihin syttyy vihreät valot.
20. LOGO Projektin käynnistyttyä mennään Online Test tilaan. Sieltä painetaan silmälasien kuvaketta jolloin prosessia voidaan monitoroida ja nähdä sen etenemisvaiheet.
21. Seuraavaksi voidaankin käynnistää koko prosessi painamalla LOGO-laitteesta START-nappia. Tällöin prosessin sumutin alkaa pyöriä.
22. Kun kiertovesipumppu on päällä, niin täytyy avata myös valumaveden venttiili, ettei säiliö tyhjene vedestä. Valumaveden määrä nähdään virtausmittaus FT-02:sta.
23. Ajastimen STOP-nappia painamalla voidaan sumutin ja kiertovesipumppu sammuttaa. Tällöin pitää muistaa sulkea myös valumaveden venttiili, ettei säiliö täyty liikaa.
24. Nesteprosessi sammutetaan ajastimen STOP-napista. Tällöin prosessin laitteisto sammuu. Kelaa vain ajastimen ajan nollaan ja sammuttaa päävirtakytkimestä virran.
25. Muista myös sulkea valumaveden venttiili ja vesihana.