



VESIPROSESSIN OHJAUSTEN JA VALVOMONÄYTTÖJEN SUUNNITTELU JA TOTEUTUS

Markus Takanen

**Opinnäytetyö
Elokuu 2006**



**JYVÄSKYLÄN
AMMATTIKORKEAKOULU**

Informaatioteknologian instituutti

Tekijä(t) TAKANEN, Markus	Julkaisun laji Opinnäytetyö	
	Sivumäärä 84	Julkaisun kieli suomi
	Luottamuksellisuus <input type="checkbox"/> Salainen _____ saakka	
Työn nimi VESIPROSESSIN OHJAUSTEN JA VALVOMONÄYTTÖJEN SUUNNITTELU JA TOTEUTUS		
Koulutusohjelma Tietotekniikka/ automaatio		
Työn ohjaaja(t) RANTAPUSKA, Seppo, yliopettaja		
Toimeksiantaja(t) Jyväskylän ammattiopisto, Tekninen oppilaitos MÄKELÄ, Toni, lehtori		
Tiivistelmä <p>Jyväskylän ammattiopistoon kuuluva Tekninen oppilaitos tarjoaa toisen asteen koulutusta 12:ssa tekniikan ja liikenteen sekä viestinnän alan koulutusohjelmassa. Teknisen oppilaitoksen toimipaikat sijaitsevat Jyväskylässä Sepänkadulla ja Viitaniementiellä.</p> <p>Teknisen oppilaitoksen ABB:n Advant automaatiojärjestelmällä ohjattuun vesiprosessiin haluttiin lisätä vaihtoehtoinen ohjausjärjestelmä. Käytettäväksi teknologiaksi oli valittu ohjelmoitava logiikka ja PC-pohjainen valvomo. Vesiprosessi on opetuskäyttöön tarkoitettu, todellisista teollisuudessa käytettävistä toimitilanteista rakennettu järjestelmä. I/ O-pisteitä prosessissa on noin 40 kappaletta.</p> <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella ja toteuttaa vastaavat toiminnallisuudet sisältävä ohjausjärjestelmä nykyisen ABB:n Advant-automaatiojärjestelmän rinnalle. Työhön kuului prosessiohjausten ja -säätöjen ohjelmointi toimintaselostuksen ja PI-kaavion pohjalta sekä valvomonäyttöjen toteutus InTouch-ohjelmistolla. Myös DeviceNet-verkon kokoonpano sekä valvomon ja logiikan välinen kommunikointi tuli määrittää. Lisäksi tuli päivittää PI-kaavio nykytilannetta vastaavaksi sekä laatia prosessista johdotustaulukot ja piirikaaviot.</p> <p>Työn tuloksena syntyi Omronin ohjelmoitavalla logiikalla ja InTouch-valvomolla toteutettu prosessiohjaus. Logiikka liittyy vesiprosessiin DeviceNetin kautta ja valvomoon Ethernetillä. Logiikkaohjelman ja valvomon toiminnallisuus on testattu prosessiajoilla. Lisäksi toimeksiantajalle toimitettiin prosessin dokumentaation sisältävä mappi.</p>		
Avainsanat (asiasanat) Vesiprosessi, Omron, ohjelmoitava logiikka, PLC, DeviceNet, automaatio suunnittelu, valvomo, InTouch, HMI		
Muut tiedot Liitteenä toimeksiantajalle toimitetun dokumentaation sisältävä CD-ROM.		

Author(s) TAKANEN, Markus	Type of Publication Bachelor's Thesis	
	Pages 84	Language Finnish
	Confidential <input type="checkbox"/> Until	
Title DESIGN AND IMPLEMENTATION OF THE CONTROLS AND PC-BASED OPERATOR INTERFACE FOR A WATER PROCESS		
Degree Programme Information technology		
Tutor(s) RANTAPUSKA, Seppo, Principal Lecturer		
Assigned by Jyväskylän Vocational Institute, Technology College MÄKELÄ, Toni, Lecturer		
Abstract <p>The Technology College is one of the nine units of the Jyväskylä Vocational Institute. Technology college offers vocational education on twelve degree programmes of technology. The college is located in Jyväskylä in Sepänkatu and Viitaniementie.</p> <p>The Technology College wanted to add an alternative control system to the water process now controlled by the ABB's Advant OCS. The technology to be used was decided to be a programmable logic controller (PLC) and a PC-based operator interface (HMI). Water process is a learning environment built with authentic process equipment. It contains approximately 40 I/ O-points.</p> <p>The goal for the thesis was to design and implement a control system with the same functionality as in the ABB's Advant. The assignment included the programming of the process controls and PC-based operator interface based on the PI-diagram and the operational reference. The setup of the DeviceNet network and the technology to be used in the communication between the PLC and operator-PC also had to be defined. In addition, the PI-diagram had to be updated to meet the present state of the process and the wiring and circuit diagrams had to be designed.</p> <p>The result was a process control implemented with an Omron's PLC and InTouch operator interface. The PLC connects to the water process via DeviceNet and to the HMI via Ethernet. The functionality of the logic program and the HMI is tested with the real process. In addition, a folder containing the documentation of the water process was produced for the assignee.</p>		
Keywords Water process, Omron, programmable logic controller, PLC, DeviceNet, automation engineering, PC-based operator interface, InTouch, HMI		
Miscellaneous A CD-ROM containing the documentation of the water process as an attachment		

SISÄLTÖ

LYHENTEET JA MERKINNÄT	6
1 TYÖN LÄHTÖKOHDAT	8
1.1 Toimeksiantajan esittely	8
1.2 Tehtävän määrittely	8
2 SÄÄTÖTEKNIIKAN PERUSTEITA	10
2.1 Säätöpiiri	10
2.2 ON/ OFF -säätö	11
2.3 PID-säätö	12
2.3.1 Rakenne	12
2.3.2 Virittäminen	14
3 VESIPROSESSIN TOIMINNAN KUVAUS	19
3.1 Laitteisto	19
3.2 Esimerkkejä ajettavista kierroista	20
3.2.1 Yleistä	20
3.2.2 Kierto 1: lyhyt kierro	20
3.2.3 Kierto 2: yläkierto	21
3.2.4 Kierto 3: sekoitusprosessi	22
3.2.5 Kierto 4: lämmitysprosessi	23
3.2.6 Muut kierrot	24
3.3 Lukitukset	24
4 OHJAUSJÄRJESTELMÄ	26
4.1 Kokoonpano	26
4.2 Ohjelmoitava logiikka	28

4.3 Ethernet-kommunikointiyksikkö.....	28
4.4 DeviceNet-laitteet	29
4.4.1 Yleistä DeviceNetistä	29
4.4.2 Väyläisäntä	30
4.4.3 Orjalaitteet.....	30
4.4.4 Johdotus.....	31
5 OHJELMOINTI.....	32
5.1 CX-Programmer.....	32
5.2 Ohjausjärjestelmän konfigurointi	33
5.2.1 Ethernet-verkko	33
5.2.2 DeviceNet-verkko	34
5.3 Esimerkkejä prosessiohjauksista ja -säädöistä.....	35
5.3.1 Yleistä.....	35
5.3.2 Pumppujen ohjaus	36
5.3.3 Avokanavan virtausmittaus ja virtauksensäätö	36
5.3.4 Painesäiliön paineensäätö.....	44
6 VALVOMOSUUNNITTELU.....	45
6.1 InTouch-ohjelmisto	45
6.2 Valvomon ja ohjelmoitavan logiikan välisen kommunikoinnin toteutus.....	45
6.3 Esimerkkejä vesiprosessin valvomosovelluksesta	51
6.3.1 WindowMakerin perustoiminnot	51
6.3.2 Skriptien käyttö	53
6.3.3 Prosessidatan tallennus tiedostoon	57
6.3.4 Trendit	57
6.3.5 Skaalausten ja hälytysten konfigurointi	59
7 KÄYTTÖÖNOTTO JA TESTAUS.....	61
7.1 Ohjelmistotestaus	61
7.2 Säättöpiirien virittäminen.....	62

7.2.1 Yleistä.....	62
7.2.2 Pumpun 1 jälkeisen virtauksensäätöpiirin FC-1 virittäminen	63
7.2.3 Yläsäiliön 2 pinnankorkeudensäätöpiirin LC-2 virittäminen.....	64
7.2.4 Säätöpiirien suorituskyvyn arviointi	65
8 DOKUMENTAATIO.....	67
9 TULOSTEN ARVIOINTI.....	70
9.1 Tekoprosessi.....	70
9.2 Itsearviointi.....	71
9.3 Kehitysehdotuksia	72
LÄHTEET.....	73
LIITTEET	73
Liite 1. PI-kaavio	75
Liite 2. DeviceNet-verkon kytkentä	76
Liite 3. Ohjelmalistaus: Pumppujen ohjaus	77
Liite 4. Ohjelmalistaus: Avokanavan tilavuusvirran skaalaus ja laskenta.....	79
Liite 5. Ohjelmalistaus: Avokanavan virtauksensäätö	80
Liite 6. Ohjelmalistaus: Painesäiliön paineensäätö.....	83

KUVIOT

KUVIO 1. Vesiprosessi. Etualalla suunnittelutyöasema.....	9
KUVIO 2. Suljettu takaisinkytketty säätöpiiri (Kääriäinen 2005, 9).....	10
KUVIO 3. Säätösuureen käyttäytyminen kaksipistesäädössä.....	11
KUVIO 4. PID-säädin lohkokaaviomuodossa (vrt. Kääriäinen 2005, 9).....	12
KUVIO 5. Yksikapasiteettisen järjestelmän askelvastekuvaaja	15
KUVIO 6. Monikapasiteettisen prosessin askelvastekuvaaja.....	16

KUVIO 7. Rajajaksomenetelmä (Co 1999)	19
KUVIO 8. Ohjausjärjestelmän kokoonpano	26
KUVIO 9. Ohjauspulpetti	27
KUVIO 10. DeviceNet-verkon topologia (ODVA 2003)	29
KUVIO 11. CX-Programmer	33
KUVIO 12. Ethernetin konfigurointi CX-Programmerilla	34
KUVIO 13. Näkymä CX-Integratorista	35
KUVIO 14. Avokanavan rakenne	37
KUVIO 15. Avokanavan ja referenssimittauksen vertailu.....	38
KUVIO 16. FLT-funktio (Omron 2005b)	39
KUVIO 17. APR-funktio (Omron 2005b)	40
KUVIO 18. Lineaarisen ekstrapolaation periaate (Omron2005b)	40
KUVIO 19. PWR-funktio (Omron2005b)	41
KUVIO 20. PIDAT-funktio	41
KUVIO 21. Valvomo—logiikka -liityntärajpinta	46
KUVIO 22. Valvomo-välilehden parametrit.....	47
KUVIO 23. CS1G_CPU42-välilehden parametrit	48
KUVIO 24. Laiteryhmät ja aliakset	49
KUVIO 25. InTouchin saantinimien konfigurointi.....	50
KUVIO 26. Tagin määrittämien InTouchissa.....	50
KUVIO 27. WindowMaker -kehitysympäristö.....	51
KUVIO 28. Ikkunan ominaisuudet	52
KUVIO 29. Objektin ominaisuuksien määrittäminen.....	52
KUVIO 30. Valvomon käynnistyksen yhteydessä suoritettava skripti.....	54
KUVIO 31. I/ O-serverin uudelleen käynnistykseen käytettävä skripti.....	55
KUVIO 32. Ikkunaskripti.....	56
KUVIO 33. Prosessidatan tallennuksen asetteluikkuna.....	57
KUVIO 34. Trendin parametrusointi-ikkuna	58
KUVIO 35. Painesäiliön pinnankorkeudensäätöpiirin LC-1 trendi	59
KUVIO 36. Hälytysten määrittäminen.....	60
KUVIO 37. I/ O:n liityntä prosessin kenttäkoteloon KK1 testausvaiheessa.....	61
KUVIO 38. LC-2:n virittämiseksi tehty koesarja	64
KUVIO 39. LC-2:n virittämisessä apuna käytetty Excel-taulukko.....	65
KUVIO 40. FC-1:n testauksessa käytetty koesarja.....	66

KUVIO 41. LC-2:n testauksessa käytetty koesarja.....	67
KUVIO 42. Dokumentaatio-CD-ROM -levyn tiedostorakenne	69

TAULUKOT

TAULUKKO 1. Säädinparametrien kasvattamisen vaikutus piirin nopeuteen ja stabiilisuuteen (Harju & Marttinen 2000, 114)	17
TAULUKKO 2. Säädinparametrien laskukaavat käytettäessä Lambda Tuningia (vrt. Kääriäinen 2005, 134 & 137).....	18
TAULUKKO 3. Prosessin lukitukset.....	25
TAULUKKO 4. Kaapelin maksimipituudet DevieNet-verkossa eri siirtonopeuksilla (vrt. ODVA 2003)	30
TAULUKKO 5. PID-säätimen parametrit (vrt. Omron 2005b).....	42
TAULUKKO 6. PID-säädinten parametrit, viritysalueet ja käytetyt viritysmenetelmät	63
TAULUKKO 7. Toimeksiantajalle toimitettu projektin dokumentaatio	68

LYHENTEET JA MERKINNÄT

Δt	Säätöväli
Δu	Vasteen muutos
Δy	Asetusarvon muutos
a	Rajajaksovärähtelyn amplitudi
AI	Analog Input, analoginen tulo
AO	Analog Output, analoginen lähtö
AT	ks. Auto Tuning
Auto tuning	Automaattinen säädinparametrien laskentamenetelmä
bin	Binäärilukujärjestelmä, kantaluku 2
C	Purkauskerroin
C_{tot}	Logiikkaohjelmassa avokanavan tilavuusvirran laskennassa käytetty vakio
DIP	Dual Inline Package, elektroniikkakomponenteissa käytettävä kotelotyypä
DDE	Dynamic Data Exchange
dec	Desimaalilukujärjestelmä, kantaluku 10
DI	Digital Input, digitaalinen tulo
DO	Digital Output, digitaalinen lähtö
e(t)	Säätöpiirin erosuure aikatasossa
FINS	Factory Intelligent Network Services. Omronin kehittämä tiedonsiirtoprotokolla
FTP	File Transfer Protocol
g	Putoamiskiihtyvyys
h	Avokanavan pinnankorkeus
hex	Heksadesimaalijärjestelmä, kantaluku 16
HW	HardWare, laitteisto
I/O	Input/ Output, tulot ja lähdöt
IP	Internet Protocol
K	Vahvistus

K_d	Säätimen derivointikerroin
K_i	Säätimen integrointikerroin
K_p	Säätimen vahvistus
kstep	kilosteps, kiloaskelta, Omronin käyttämä muistiyksikkö
Lambda Tuning	Säädinparametrien laskemiseksi käytettävä menetelmä
OCS	Open Control System
ODVA	Open DeviceNet Vendor Association
OPC	OLE For Process Control
P	Patoaukon korkeus pohjasta aukon alareunaan
PID-säädin	Proportional, Integral, Derivative eli suhdeosasta, integroivasta osasta ja derivoivasta osasta koostuva säädin algoritmi
PI-kaavio	Prosessi- ja Instrumentoinikaavio
PLC	Programmable Logic Controller, Ohjelmoitava logiikka
POP	Post Office Protocol
P_u	Rajajaksovärähtelyn jaksonaika
q	Tilavuusvirtaus
$r(t)$	Säätöpiirin asetusrvo aikatasossa
SMTP	Simple Mail Transfer Protocol
SNTP	Simple Network Time Protocol
SW	SoftWare, ohjelmisto
TCP	Transmission Control Protocol
T_d	Säätimen derivointiaikavakio
T_{de}	Kuollut aika eli viive
T_i	Säätimen integrointiaikavakio
$u(t)$	Säätöpiirin laskema ohjaus aikatasossa
UDP	User Datagram Protocol
$y(t)$	Säädettävä suure aikatasossa
Y_n, X_n	Koordinaattipisteitä
β	Patoaukon kulma
λ	Lambda Tuning -viritysmenetelmässä käytettävä avoimen ja suljetun piirin aikavakioiden suhde
τ	Aikavakio

1 TYÖN LÄHTÖKOHDAT

1.1 Toimeksiantajan esittely

Jyväskylän ammattiopisto

Jyväskylän ammattiopisto on Keski-Suomen suurin nuorten ja aikuisten ammatillista koulutusta tarjoava koulutusyhteisö. Ammattiopiston muodostavat Jyväskylän aikuisopisto, Kauppaoppilaitos, Konservatorio, Käsi- ja taideteollisuusoppilaitos, Palvelu-alojen oppilaitos, Sosiaali- ja terveysalan oppilaitos, Tekninen oppilaitos, Oppisopimuskeskus sekä Ravintola Priimus. Ammattiopiston omistaa 13:n Jyväskylän seudun ja lähialueen kunnan muodostama Jyväskylän koulutuskuntayhtymä. (Jyväskylän ammattiopisto 2005, 2.)

Ammattiopiston liikevaihto vuonna 2005 oli 62 miljoonaa euroa. Opiskelijoita on noin 16000, joista 12000 on aikuisopiskelijoita ja 4000 nuorten koulutukseen osallistuvia. Henkilökuntaa Ammattiopistossa on 850. (Emt. 2.)

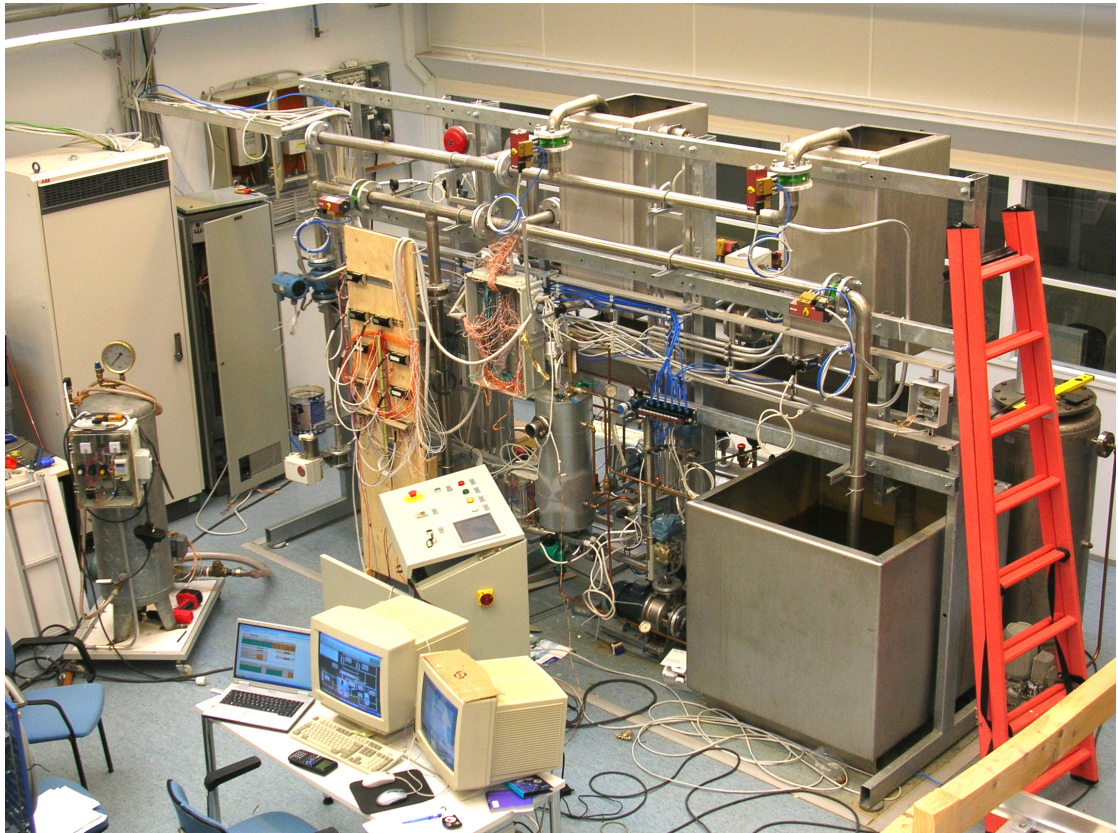
Tekninen oppilaitos

Jyväskylän ammattiopistoon kuuluva Tekninen oppilaitos tarjoaa toisen asteen ammatillista koulutusta, toimipaikkoinaan Sepänkatu ja Viitaniementie. Koulutustarjonta koostuu 12:sta, tekniikan ja liikenteen sekä viestinnän perustutkinnosta, joista on mahdollisuus valmistua 21:een eri ammattiin. Opiskelijoita teknisessä oppilaitoksessa on 1650 ja henkilökuntaa 160. (Jao internet 2006.)

1.2 Tehtävän määrittely

Teknisen oppilaitoksen sähköosaston opetuskäytössä olevaa vesiprosessia (ks. kuvio 1) ohjataan ABB:n Advant OCS -automaatiojärjestelmällä. Oppilaitos halusi lisätä mahdollisuuden ohjata prosessia myös Omronin ohjelmoitavalla logiikalla PC-

valvomosta käsin. Toimeksiantaja tulee lisäämään prosessitilaan ristikytkentäkaapin, jossa voidaan ohjaavaksi järjestelmäksi kytkeä joko Advant tai Omron.



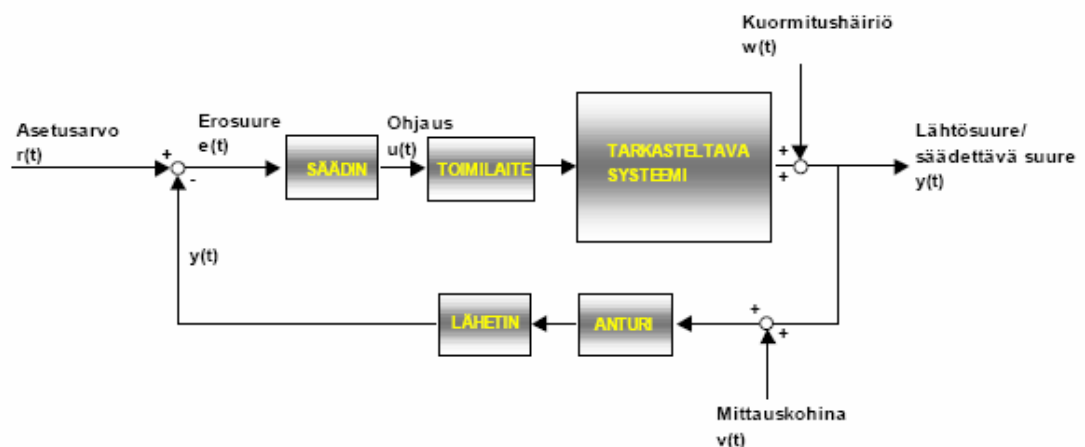
KUVIO 1. Vesiprosessi. Etualalla suunnittelutyöasema.

Opinnäytetyön tavoitteena oli saavuttaa sama toiminnallisuus kuin nykyisessä Advant-järjestelmässä. Kuitenkin esimerkiksi järjestelmien erilaisesta käskykannasta johtuen on ohjausten välillä pieniä eroja. Työhön kuului prosessiohjausten ja -säätöjen ohjelmointi toimintaselostuksen ja PI-kaavion pohjalta sekä valvomonäyttöjen toteutus InTouch-ohjelmistolla. PI-kaavion sähköinen versio oli kadonnut, joten se piirrettiin AutoCADilla ja päivitettiin samalla vastaamaan nykytilannetta. Lisäksi ohjelmoinnin sujuvuuden varmistamiseksi ja ristikytkennän teon avuksi prosessista laadittiin myös johdotustaulukot ja piirikaaviot. Ennen ohjelmointia tuli vielä selvittää ja saattaa toimintavalmiiksi ohjaukseen tarvittava laitteisto sekä DeviceNet-verkon kokoonpano. Myös valvomon ja logiikan välinen kommunikointi tuli määrittää.

2 SÄÄTÖTEKNIIKAN PERUSTEITA

2.1 Säättöpiiri

Suljettu takaisinkytketty säättöpiiri muodostuu kuvion 2 mukaisista komponenteista. Usein käytetään myös kuvion 4 mukaista, yksinkertaistettua esitystapaa, jossa toimilaitte ja mittaus ajatellaan kuuliksi prosessiin. Säättöpiirin toimintaperiaatteena on prosessia säättävän toimilaitteen ohjauksen $u(t)$ muuttaminen asetusrvon $r(t)$ ja säädetävän suureen $y(t)$ erotuksen muodostaman erosuureen $e(t)$ mukaan. Takaisinkytkennän kautta säädin saa tietoja prosessin tilasta ja pystyy näin muuttamaan toimilaitteelle menevää ohjausta prosessiolosuhteiden mukaan. (Harju & Marttinen 2000, 13.) Suljettu takaisinkytketty säättöpiiri kykenee siis kompensoimaan prosessihäiriöitä.



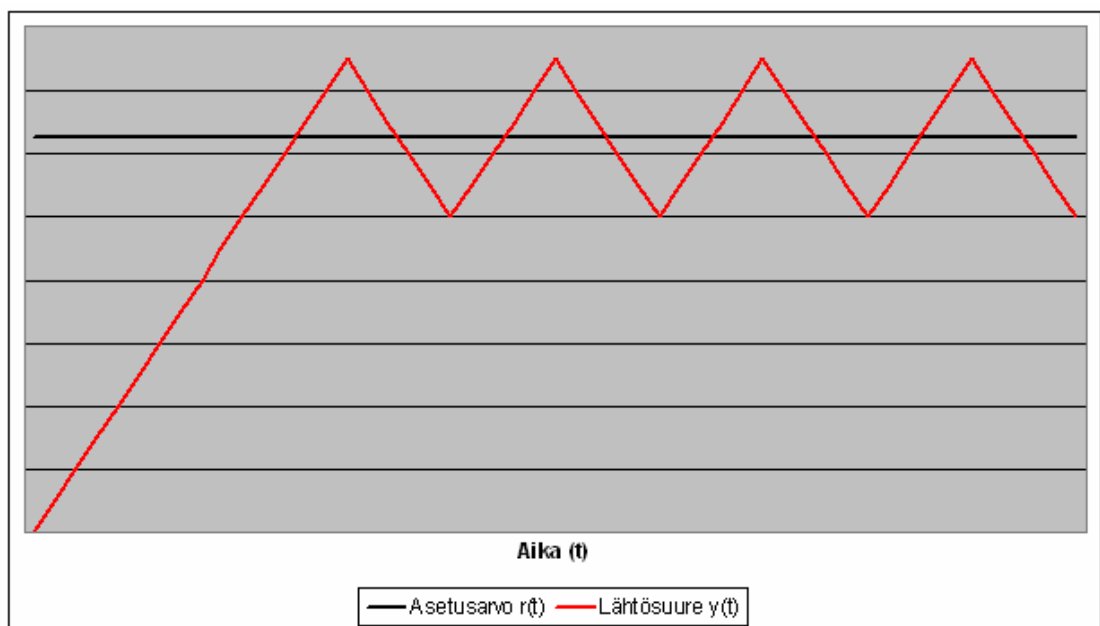
KUVIO 2. Suljettu takaisinkytketty säättöpiiri (Kääriäinen 2005, 9)

Säättöpiiri voi olla myös avoin, jolloin säädetävästä suureesta ei ole takaisinkytkentää säätimelle (Kääriäinen 2005, 9). Tällöin kyseessä on oikeastaan ohjausjärjestelmä, eikä se pysty automaattisesti reagoimaan prosessiolosuhteissa tapahtuviin muutoksiin.

2.2 ON/ OFF -säätö

Kaksipistesäätö

Kaikkein yksinkertaisin säätötyyppi on kaksipistesäätö. Siinä toimilaitteelle menevä ohjaus voi saada ainoastaan kaksi toisensa poissulkevaa arvoa (päällä/ pois, 0/ 1, ON/ OFF). Kaksipistesäädön ideana on pitää säätösuure annettujen rajojen välissä, se ei siis pysty säätämään prosessia täsmälleen tiettyyn toimintapisteeseen, vaan säädettävä suure vaihtelee esimerkiksi kuvion 3 mukaisesti. (Savolainen & Vaitinen 1998, 34—35.)



KUVIO 3. Säätösuureen käyttäytyminen kaksipistesäädössä

Vesiprosessissa kaksipistesäätöä on käytetty lämmitysprosessin lämpötilan säädössä.

Kolmipistesäätö

Kolmipistesäätö muistuttaa hyvin paljon kaksipistesäätöä. Sen käyttö edellyttää toimilaitteelta kolmea eri toimintatilaa. Esimerkiksi sähkömoottorilla tehtävässä asemasäädössä kolmipistesäätö toimii seuraavasti:

- Jos asema on alle asetuseron, ohjaus on 1 eli ajetaan eteenpäin
- jos asema on asetuserossa, ohjaus on 0 eli moottori on seis ja

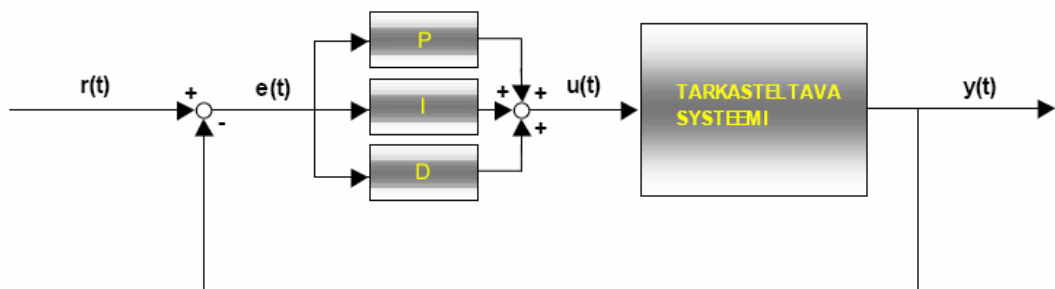
- jos asema on yli asetusarvon, ohjaus on -1 eli ajetaan takaisin (Fonselius 2006).

Vesiprosessissa kolmipistesäätöä on käytetty painesäiliön paineen säädössä.

2.3 PID-säätö

2.3.1 Rakenne

PID-säädin on yleisin teollisuudessa käytetyistä säädintyypeistä (ks. kuvio 4). Se muodostuu nimensä mukaisesti kolmesta erillisestä osasta: P (*Proportional*), I (*Integral*) ja D (*Derivative*), eli suhteosasta, integroivasta osasta ja derivoivasta osasta. (Harju & Marttinen 2000, 44.) Jokainen osa laskee erillisen ohjauksen, jotka summaataan kokonaisohjaukseksi $u(t)$.



KUVIO 4. PID-säädin lohkokaaviomuodossa (vrt. Kääriäinen 2005, 9).

P-säädin

PID-säätimen kokoonpano voidaan valita vapaasti eri termejä yhdistelemällä, esimerkiksi P-, PI-, PID-, tai PD-säätimeksi (Harju & Marttinen 2000, 44). P-säätimen laskema ohjaus on

$$u(t) = K_p e(t), K_p \neq 0, K_p \in R \quad (2.1)$$

missä K_p on säätimen vahvistus ja $e(t)$ ero suure (Kääriäinen 2005, 106). Pelkkää P-osaa käyttämällä ei useinkaan päästä tyydyttävään säätötulokseen, koska sillä on tai-

pumus jättää systeemiin säätöpoikkeamaa (asetusarvo - mittaus $\neq 0$) (Harju & Marttinen 2000, 45). Tämä johtuu siitä, että säätösuureen $y(t)$ muuttaminen vaatii ohjaukseen $u(t)$ nollassa poikkeavan arvon. P-algoritmissa tämä on mahdollista vain, jos erosuure $e(t)$ on erisuuri kuin nolla. Säätöpoikkeamaa saadaan pienennettyä kasvattamalla säätimen vahvistusta. Vahvistuksen liiallinen kasvattaminen kuitenkin aiheuttaa säätöjärjestelmään värähtelyä, muuttaen sen lopulta epästabiiliksi. (Savolainen & Vaittinen 1998 37—38.)

PI-säädin

Lisäämällä P-säätöön integroiva termi saadaan säätöpoikkeama poistetuksi, koska tämä erosuureen aikaintegraalista riippuva termi jää nollassa poikkeavaksi myös erosuureen ollessa nolla (Savolainen & Vaittinen 1998, 39). PI-algoritmi voidaan kirjoittaa muotoon

$$u(t) = K_p e(t) + K_I \int_0^t e(t) dt, K_p \neq 0, K_I \geq 0, K_p, K_I \in R \quad (2.2)$$

missä $K_I = K_p / T_I$ on integrointikerroin (T_I on integrointiaika sekunneissa) (Kääriäinen 2005, 108). Integrointiaika ilmoittaa karkeasti sen ajan, jonka kuluessa säätöpoikkeama poistetaan. Kuten ei K_p :ta, ei myöskään K_I :tä voi virittää äärettömän suureksi (jolloin $T_I \rightarrow 0$), koska tällöin ohjaus $u(t)$ saisi äärettömän suuren arvon, mikä saisi järjestelmän värähtelemään epästabiilisti. (Savolainen & Vaittinen 1998, 39—40.)

PID-säädin

Jos säädöltä vaaditaan erittäin nopeaa reagointia säätöpoikkeamaan, voidaan P- tai PI-säätöön lisätä derivoiva termi. D-termi reagoi erosuureen muutosnopeuteen, eli ikään kuin ennakoii erosuureen käyttäytymistä. (Savolainen & Vaittinen 1998, 41—42.)

PID-säädön laskema ohjaus voidaan kirjoittaa muotoon

$$u(t) = K_p e(t) + K_I \int_0^t e(t) dt + K_D \frac{d}{dt} e(t), K_p \neq 0, K_I, K_D \geq 0, K_p, K_I, K_D \in R \quad (2.3)$$

missä K_D on derivointikerroin. PID-algoritmi voidaan esittää myös integrointi- ja derivointiaikavakioita (T_I ja T_D) käyttäen muodossa

$$u(t) = K_p \left(e(t) + \frac{1}{T_I} \int_0^t e(t) dt + T_D \frac{d}{dt} e(t) \right), K_p \neq 0, T_I, T_D \geq 0, K_p, K_I, K_D \in R \quad (2.4)$$

missä $T_I = K_p / K_I$ ja $T_D = K_D / K_p$. (Kääriäinen 2005, 111.)

Derivoivan termin haittana voidaan pitää askelmaisessa asetusarvomutoksessa tai kuormitushäiriössä esiintyvää derivointipiikkiä, joka ohjaa toimilaitteen hetkellisesti ääriasentoon (Kääriäinen 2005, 112). Yleisesti derivoiva termi on rajoitettu johonkin prosessin kannalta turvalliseen arvoon, käyttämällä nopeaa alipäästösuodatinta ennen derivointia (Harju & Marttinen 2000, 51).

Digitaalinen PID-säädin

Edellä esitetyt algoritmit kuvaavat kaikki analogisia säätimiä. Nykyisin kuitenkin lähes kaikki säätimet ovat digitaalisia, niin myös tässä projektissa käytetty ohjelmoitavan logiikan säädin. Digitaalinen ja analoginen säädin eroavat toisistaan siinä, että analoginen laskee ohjausta koko ajan ja digitaalinen vain tietyllä säätöväliä. Säätöväli on millisekuntiluokkaa (esimerkiksi Omron CS1G-H: 10 ms—99,9 s).

Analoginen PID-algoritmi voidaan diskretoida approksimoimalla integraalilauseetta suunnikaspalkeilla ja derivaattaa erotusosamäärällä. Digitaaliseksi algoritmiksi saadaan tällöin

$$u(t_i) = K_p \left[e(t_i) + \frac{\Delta t}{T_I} \sum_{j=0}^i e(t_j) + \frac{T_D}{\Delta t} (e(t_i) - e(t_{i-1})) \right] \quad (2.5)$$

missä Δt on säätöväli. (Kääriäinen 2005, 123.)

2.3.2 Virittäminen

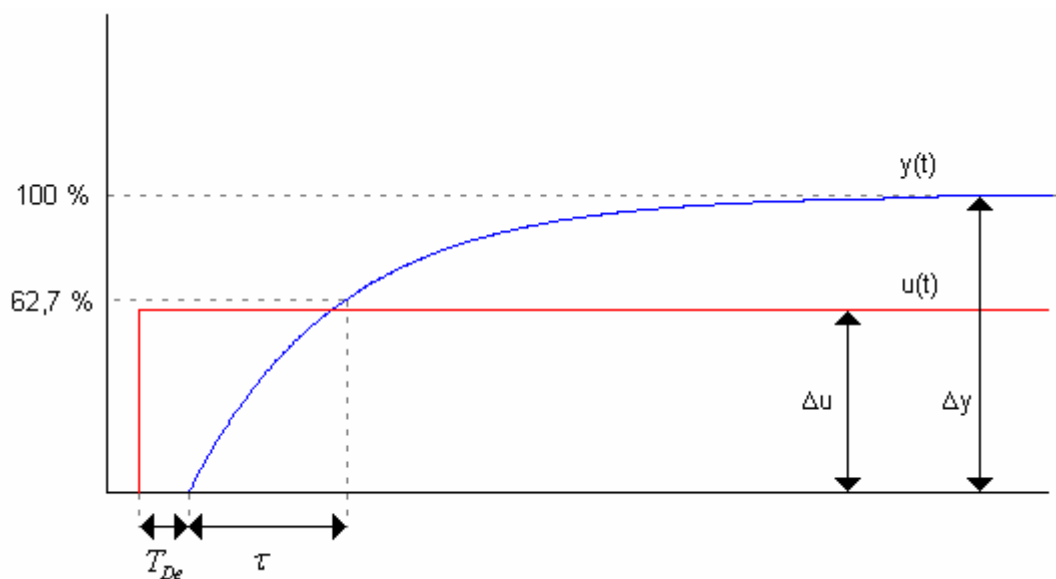
Jotta PID-säätimellä päästäisiin hyvään säätötulokseen, täytyy se virittää. Virityksessä määritetään vahvistuksen, integroinnin ja derivoinnin kertoimet. Kertoimien määrittämiseksi on kehitetty useita menetelmiä, joista vesiprosessin säätimien virittämisessä käytettiin nk. Lambda Tuningia ja yritys-erehdys -menetelmää. Lisäksi säätimiä hienoviritettiin tarvittaessa ”käsini”. Kaikkiin PID-säätimiin ohjelmoitiin lisäksi auto-

maattinen parametrien laskenta (*Auto tuning*). Tässä esitetyt viritysmenetelmät on tarkoitettu digitaalisen säätimen virittämiseen.

Järjestelmän askelvasteesta määritettävät prosessin dynamiikkaa kuvaavat suureet

PID-säätimen parametreja laskettaessa käytetään usein apuna järjestelmän askelvas- teesta saatavia, prosessin dynamiikkaa kuvaavia arvoja. Teollisuuden prosessit voi- daan jakaa yksi- ja monikapasiteettisiin sen mukaan, kuinka monta aine- tai energiava- rastoja prosessilla on. Yksikapasiteettisella prosessilla on yksi aine- tai energiavarasto, kaksikapasiteettisella kaksi jne. (Savolainen & Vaitinen 1998, 25.)

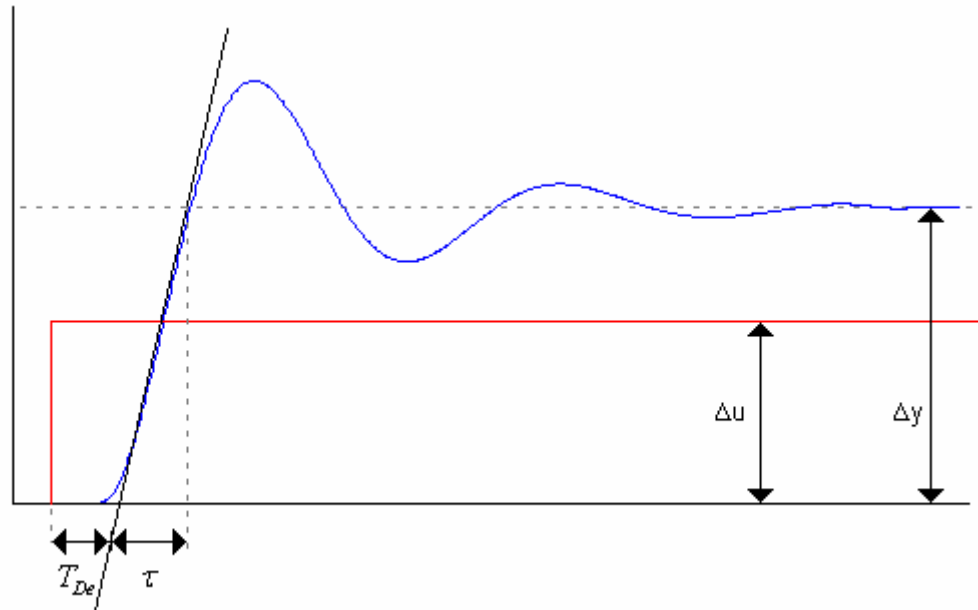
Kuviossa 5 on esitetty vahvistuksen K , aikavakion τ ja viiveen T_{De} määrittäminen yksikapasiteettisen prosessin vasteesta.



KUVIO 5. Yksikapasiteettisen järjestelmän askelvastekuvaaja

Vahvistus $K = \frac{\Delta y}{\Delta u}$, aikavakio τ on aika, jona vaste on saavuttanut 62,7 % uudesta ta- sapainoarvostaan ja viive T_{De} on aika asetusarvomuutoksesta siihen hetkeen kun vas- teessa tapahtuu muutos.

Kuviossa 6 on esitetty monikapasiteettisen prosessin vasteesta tehtävät vastaavat mää- rittelyt.



KUVIO 6. Monikapasiteettisen prosessin askelvastekuvaaja

Vahvistus määritellään monikapasiteettisen prosessin vasteesta kuten yksikapasiteettisen prosessin tapauksessa. Hallitsevan aikavakion määrittämiseksi vasteen kuvaajaan piirretään tangentti kääntopisteeseen ja lasketaan tangentin ja vasteen loppuarvon ja tangentin ja aika-akselin rajoittama aika. Viive määritellään aikana asetusarvomuutoksesta tangentin ja aika-akselin leikkauspisteeseen.

Yritys-erehdys -menetelmä

Nimensä mukaisesti yritys-erehdys -menetelmässä sopivat säädinparametrit haetaan muuttamalla parametreja kunnes saavutetaan haluttu säätötulos. Liikkeelle kannattaa lähteä asettamalla säätöpiiri P-säätimeksi ja hakea K_p :lle arvo, jolla pysyvän tilan poikkeama jää mahdollisimman pieneksi, värähtelyn kuitenkin pysyessä kohtuullisena. Tämän jälkeen muutetaan säädin PI-säätimeksi ja haetaan T_I :lle arvo, jolla pysyvän tilan poikkeama saadaan poistumaan ja jolla piirin aikavakio ei kuitenkaan kasva liian suureksi. Mikäli PI-säädinrakenteella ei päästä tyydyttävään säätötulokseen, voi D-termin lisäämisellä koettaa nopeuttaa piiriä ja/ tai parantaa sen stabiilisuutta.

Taulukossa 1 on säädinparametrien muuttamisen vaikutus prosessin käyttäytymiseen. Integrointiajan kasvattamisen yhteydessä kannattaa pitää mielessä, että pitkä integrointiaika hidastaa piirin vastetta ja huonontaa kuormitushäiriöiden kompensointia.

Tämä kannattaa huomioida viritystulosta testattaessa. Pitkä derivointiaika puolestaan sekä nopeuttaa, että stabiloi piiriä. Viiveellisillä prosesseilla derivointitermin käytön kanssa kannattaa olla varovainen, koska viive heikentää piirin stabiilisuutta. Lisäksi kovin kohinainen mittaussignaali usein sulkee derivoinnin käytön kokonaan pois. (Harju & Marttinen 2000, 114.)

TAULUKKO 1. Säädinparametrien kasvattamisen vaikutus piirin nopeuteen ja stabiilisuuteen (Harju & Marttinen 2000, 114)

	Nopeus	Stabiilisuus
K_p kasvaa	kasvaa	vähenee
T_i kasvaa	vähenee	kasvaa
T_d kasvaa	kasvaa	kasvaa*

*joillain prosesseilla vaikutus voi olla päinvastainen

Yritys erehdys -menetelmällä hitaiden prosessien viritys muodostuu helposti useita tunteja kestäväksi projektiksi, kun aina parametrimuutosten jälkeen täytyy tehdä asetusarvomuutos ja odottaa piirin vasteen asettumista. Niinpä kyseisellä menetelmällä onkin kätevää virittää sellaisia systeemejä, jotka käyttäytyvät lineaarisesti ja saavuttavat asetusarvon nopeasti asetusarvomuutoksen jälkeen. Tällaisia ovat esimerkiksi vesiprosessin virtaussäädöt, joiden virittämiseen yritys-erehdys -menetelmää myös käytettiin.

Lambda Tuning -menetelmä

Lambda Tuning perustuu systeemin avoimen piirin vasteesta määritettyihin vahvistukseen K , aikavakioon τ ja viiveeseen T_{De} . Lisäksi virituksen yhteydessä määritellään avoimen ja suljetun piirin aikavakioiden suhde λ (*Lambda*). Säädön vahvistus K_p määritetään λ avulla ja integrointiajaksi T_i asetetaan suoraan avoimen piirin aikavakio, johon on laskettu mukaan viive. Derivoivaa säädintä ei tällä viritysmenetelmällä voi virittää. Lambda Tuningin yhteydessä käytettävät laskukaavat on taulukossa 2.

TAULUKKO 2. Säädinparametrien laskukaavat käytettäessä Lambda Tuningia (vrt. Kääriäinen 2005, 134 & 137)

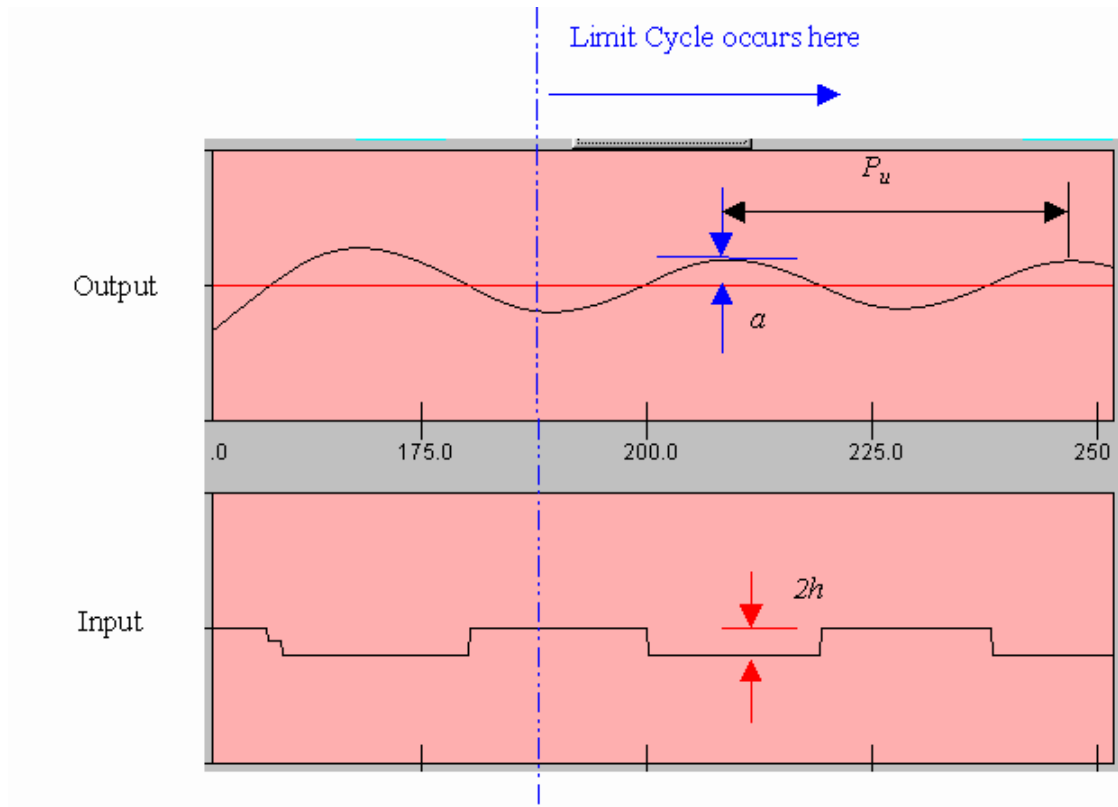
Prosessin tyyppi	Kaava
1. kertaluvun mallin mukaan käyttäytyvä prosessi	$K_p = \frac{1}{K_{Pros}} \frac{\tau + \frac{T_{De}}{4}}{\lambda} \quad (2.9)$ $T_I = \tau + \frac{T_{De}}{4}$
Integroiva prosessi	$K_p = \frac{4}{K_{Pros} T_I} \quad (2.10)$ $T_I = 2\lambda$

Taulukon 2 laskukaavoissa aikavakio on määritetty ajaksi jona vaste on saavuttanut 98 % loppuarvostaan. Lambda Tuning sopii erityisesti venttiilillä säädetyille prosesseille ja se antaa rauhallisen vasteen asetusarvomuutoksille ja kuormitushäiriöille (Kääriäinen 2005, 130; Harju & Marttinen 2000, 120). Vesiprosessin pinnankorkeudensäätöpiirit viritettiin Lambda Tuningilla.

Omronin ”auto tune”

Ohjaukseen käytetyssä ohjelmoitavassa logiikassa on mahdollista käyttää automaattista säädinparametrien laskentaa. Viritys perustuu nk. rajajaksovärähtelymenetelmän (*limit cycle method*) käyttöön. Menetelmässä säädin korvataan virtuaalisella releellä, jolla lähtösuureeseen aiheutetaan vakioamplitudinen ja -taajuinen värähtely (ks. kuvio 7). Prosessin vasteesta määritetään värähtelyn jaksonaika P_u ja amplitudi a ja näiden perusteella lasketaan viritysparametrit. Menetelmä on hyvin samankaltainen Ziegler-Nicholsin kriittiseen värähtelyyn perustuvan menetelmän kanssa, sillä erolla että rajajakso- ja amplitudimenetelmässä käyttäjä voi määrittellä värähtelyn amplitudin¹. Kriittiseen värähtelyyn perustuvassa menetelmässä käytössä on P-säädin, jonka vahvistusta kasvatetaan, kunnes prosessin vaste värähtelee sinimuotoisesti.

¹ Oletuksena logiikka käyttää amplitudia $0-MV_{max}$



KUVIO 7. Rajajaksomenetelmä (Co 1999)

3 VESIPROSESSIN TOIMINNAN KUVAUS

Kyseisen prosessin laitteisto ja toiminta on kuvattu varsin seikkaperäisesti lähteessä Mäkinen (1997, 9—19 & 26—30), joten tässä yhteydessä keskitytään pääasiassa ohjelmoinnin kannalta merkityksellisiin asioihin.

3.1 Laitteisto

Vesiprosessi koostuu yleisesti prosessiteollisuudessa käytetyistä laitteista, kuten pumpeista, taajuusmuuttajista, sulk- ja säätöventtiileistä, pintarajakytkimistä, erilaisista mittauksista ja ohjelmallisesti toteutetuista säätöpiireistä. Kaikki prosessiohjaukset on kytketty DeviceNet-väylään. Binääriset signaalit ovat 24 V:n tasajännitettä ja analogiset yhtä 1—5 V:n jänniteviestiä lukuun ottamatta 4—20 mA:n virtaviestejä.

3.2 Esimerkkejä ajettavista kierroista

3.2.1 Yleistä

Prosessi koostuu useasta osaprosessista, joista käyttäjä voi vapaasti muodostaa haluamansa kokonaisprosessin. Prosesseihin liittyvät säätöpiirit ovat FC-2:ta ja LC-1:tä lukuun ottamatta kytkettävissä päälle tai pois toisistaan riippumatta. Tähän lukuun on koottu neljän toimintaselostuksen mukaisen vakioprosessin kuvaukset. Ohjausten ja säätöjen ohjelmallista toteutusta käsitellään luvussa 5.3 Esimerkkejä prosessiohjauksista ja -säädöistä. Valvomo-operointi on esitetty toimeksiantajalle toimitetussa dokumentaatiossa. Kiertoihin tutustumisen apuna kannattaa käyttää liitteenä 1 olevaa PI-kaaviota, mihin jokainen kierto on merkitty omalla värillään seuraamisen helpottamiseksi.

3.2.2 Kierto 1: lyhyt kierto

Vesiprosessin kierto 1 on esitetty PI-kaaviossa vihreällä värillä.

Laitteisto

Kierron 1 muodostavat

- pumppu 1 ja sitä ohjaava taajuusmuuttaja 1
- varastosäiliö
- kuristuslaippavirtausmittaus FT1
- sulkuventtiilit HV4, HV5 ja HV11
- virtauksensäätöpiiri FC-1 sekä
- paikallinen painemittari PI3.

Toimintaselostus

Kierrossa 1 säädetään pumpun 1 jälkeistä virtausta, joka näytetään valvomossa. Säätö tapahtuu muuttamalla pumpun 1 pyörimisnopeutta taajuusmuuttajalla 1. Prosessi käynnistetään ja pysäytetään sulkemalla sulkuventtiilit HV4 ja HV11, avaamalla sulkuventtiili HV5 ja käynnistämällä Pumppu 1. Virtauksensäätöpiiri FC-1 on tyypiltään PID-säädin, jonka parametrit käyttäjä voi asetella valvomonäytöltä. Varastosäiliön

alarajapintakytkin LZ1 pysäyttää pumpun, mikäli vedenpinta laskee alle 10 cm:n. Muita lukituksia ei ole käytössä.

3.2.3 Kierto 2: yläkierto

Vesiprosessin kierto 2 on esitetty PI-kaaviossa sinisellä värillä.

Laitteisto

Kiertoon 2 kuuluvat

- pumppu 2 ja sitä ohjaava taajuusmuuttaja 2
- varastosäiliö, painesäiliö, yläsäiliöt ja avokanava
- sulkuventtiilit PV1, PV2, HV1–HV4 ja HV6–HV11
- säätöventtiilit LV2, LV3 ja FV3
- painesäiliön pintalähetin LT1 ja painelähetin PT1
- yläsäiliön 1 pintalähetin LT2, yläsäiliön 2 pintalähetin LT3, varastosäiliön pintalähetin LT4
- säätöventtiilin LV2 jälkeinen virtauslähetin FT2, avokanavan virtauslähetin FT3
- painesäiliön pinnankorkeudensäätöpiiri PC-1
- yläsäiliöiden pinnankorkeudensäätöpiirit LC-2 ja LC-3
- avokanavan virtauksensäätöpiiri FC-3 sekä
- paikalliset paine- ja lämpötilamittarit PI4 ja TI4.

Toimintaselostus

Kierrossa 2 vettä ajetaan painesäiliön, yläsäiliöiden ja avokanavan kautta varastosäiliöön. Prosessissa säädetään painesäiliön pinnankorkeutta (LC-1) ja painetta (PC-1), yläsäiliöiden pinnankorkeutta (LC-2 ja LC-3) ja avokanavan virtausta (FC-3).

Ajettaessa vesiprosessin kiertoa 2, avataan sulkuventtiilit HV1, HV3, HV6 ja HV10, suljetaan sulkuventtiilit HV2, HV4, HV7, HV8 ja HV9 ja käynnistetään pumppu 2. Pinnankorkeudensäätöpiirit LC-1, LC-2, LC-3 ja virtauksensäätöpiiri FC-3 ovat PID-säätimiä. Paineensäätöpiiri PC-1 on nk. kolmipistesäädin. Käyttäjällä voi asetella säätimien parametrit ja asetusarvot valvomosta. Asetusarvoja valitessa on syytä huomioda, että prosessin alkupäässä olevien säätöpiirien asetusarvot eivät voi olla kovin pit-

kään merkittävästi erisuuria verrattuna prosessin loppupäässä olevien säätimien asetusarvoihin. Esimerkiksi FC-2:n asetusarvo ei voi olla kovin pitkään hyvin pieni ja FC-3:n asetusarvo hyvin suuri, koska tällöin yläsäiliöissä ei riitä vettä ylläpitämään avokanavan virtausta.

Prosessi pysäytetään jonkin seuraavista ehdoista toteutuessa: varastosäiliön alarajapintakytkin LZ1 aktivoituu, painesäiliön pinta nousee 90 cm:iin tai laskee 10 cm:iin paineen ollessa yli 0,15 baria, painesäiliön paine nousee 2,85 bariin, yläsäiliön 1 tai 2 ylärajapintakytkin LZ2 tai LZ3 aktivoituu.

3.2.4 Kierro 3: sekoitusprosessi

Sekoitusprosessi on esitetty PI-kaaviossa keltaisella värillä

Laitteisto

Sekoitusprosessin muodostavat

- pumput 1 ja 2 taajuusmuuttajineen
- varastosäiliö
- sulkuventtiilit HV1—HV8 ja HV11
- säätöventtiili LV2 (vain auki/ kiinni käyttö)
- säätöventtiilin LV2 jälkeinen virtauslähetin FT2 ja
- virtauksensäätöpiirit FC-1 ja FC-2.

Toimintaselostus

Prosessissa sekoitetaan pumppujen 1 (virtaus 1) ja 2 (virtaus 2) tuottamat virtaukset halutussa suhteessa. Suhde määritellään virtauksen 1 suhteena virtaukseen 2 asteikolla 0–100 %, eli pumpun 2 tuottama virtaus on ohjaava ja pumpun 1 ohjattu.

Prosessi käynnistetään sulkemalla sulkuventtiilit HV1, HV3, HV6—HV8 ja HV11, avaamalla sulkuventtiilit HV2, HV4 ja HV5 ja käynnistämällä pumput 1 ja 2 sekä säätöpiirit FC-1 ja FC-2. Säätöpiirien FC-1 ja FC-2 parametrit sekä FC-2:n virtauksen asetusarvo ja haluttu sekoitussuhde asetellaan valvomonäytöltä. Prosessin lukituksina käytetään varastosäiliön alarajapintakytkintä ja kokonaisvirtausta 200 l/min.

3.2.5 Kierto 4: lämmitysprosessi

Lämmitysprosessi on esitetty PI-kaaviossa punaisella värillä.

Laitteisto

Lämmitysprosessiin kuuluvat

- varastosäiliö
- lämmitysvastus ja -säiliö
- kiertovesipumppu (pumppu 3)
- Säätoventtiili FV4 ja kaksi käsiventtiiliä
- lämpötilalähetin TT1, pintalähetin LT4.
- lämpötilansäätöpiiri TC-1 sekä
- paikallinen virtausmittaus FI5 ja paikalliset lämpötilanmittaukset tulevalle ja lähtevälle virtaukselle (TI2 ja TI3).

Toimintaselostus

Lämmitysprosessissa lämmitetään varastosäiliön vettä kierrättämällä sitä erillisen lämmityssäiliön kautta. Lämmityssäiliön lämpötila TT1 näytetään valvomossa. Prosessi käynnistetään käynnistämällä pumppu 3 ja lämmitysvastus. Lämpötilansäätöpiiri on nk. kaksipistesäädin, eli siinä määritellään päälle- ja pois kytkentäpiste, jotka muodostavat hystereesin asetusarvon ylä- ja alapuolelle. Oletuksena kytkentäpisteiksi on määritelty asetusarvo ± 1 °C. Käyttäjä voi syöttää haluamansa asetusarvon ja hystereesin Celsius-asteina.

Prosessin hitauteen voi vaikuttaa käsiventtiilillä HV13 ja lämmityssäiliön kautta kiertävän veden määrään käsiventtiilillä HV14. Ohivirtauksen määrää voi säätää valvomosta FV4:llä. Läpivirtauksen määrä näytetään paikallisella muuttuva-aukkoisella virtausmittarilla FI5 ja tulevan ja lähtevän virtauksen lämpötila paikallisilla lämpömittareilla TI2 ja TI3. Alarajapintakytkin LZ1 pysäyttää pumpun, mikäli varastosäiliön pinta laskee alle 10 cm:n. Lämmitysvastus kytketään pois päältä jos lämmityssäiliön

lämpötila nousee 63 °C:een (TT-1), lämmityssäiliö ei ole täynnä vettä (LZ4) tai lämmitysvastuksen ylikuumentumissuoja TZ1 laukeaa².

3.2.6 Muut kierrot

Kuten aiemmin on mainittu voi käyttäjä valmiiden kiertojen lisäksi muodostaa haluamansa osaprosessin itse. Tämä tapahtuu avaamalla halutut sulkuventtiilit ja kytkemällä tarvittavat säätimet ja pumput päälle valvomonäytöltä.

3.3 Lukitukset

Vesiprosessissa on käytössä useita lukituksia, jotka estävät käyttäjää ajamasta prosessia yli sen rajojen. Esimerkkeinä mainittakoon pumppujen kuivakäyntisuojina toimiva varastosäiliön alarajapintakytkin LZ1 tai yläsäiliöiden tulvimisen estävät yläsäiliöiden ylärajapintakytkimet LZ2 ja LZ3. Osa lukituksista on tehty jatkuvan mittauksen perusteella, kuten lämmitysvastuksen lukitus lähettimen TT1 lukeman saavuttaessa 63 °C. Taulukossa 3 on kaikki vesiprosessissa käytetyt lukitukset. Lukituksen voi kuitata valvomosta, kun lukituksen aiheuttaja on poistunut.

² Opinnäytetyön valmistumishetkellä ylikuumentumissuoja oli kytketty pois käytöstä.

TAULUKKO 3. Prosessin lukitukset

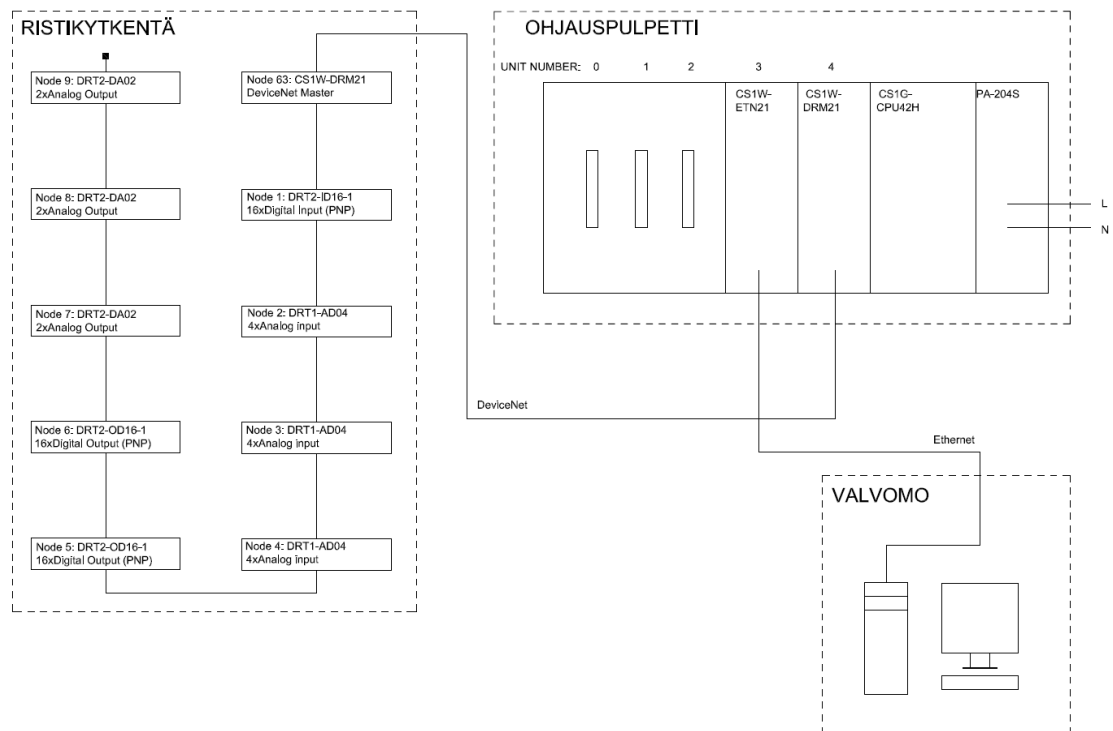
Lukittava positi- tio	Lukitseva(t) positio(t)	Lukitusraja (% mittaus- alueesta/ raja- arvo)	Kommentti
Pumppu 1 (seis)	LZ1	10 % / 10cm	varastosäiliön alarajapintakytkin
	LZ2	100 % / 80 cm	yläsäiliön 1 ylärajapintakytkin
	LZ3	100 % / 80 cm	yläsäiliön 2 ylärajapintakytkin
Pumppu 2 (seis)	LZ1	10 % / 10 cm	varastosäiliön alarajapintakytkin
	LZ2	100 % / 80 cm	yläsäiliön 1 ylärajapintakytkin
	LZ3	100 % / 80 cm	yläsäiliön 2 ylärajapintakytkin
	PT1	90 % / 2.75 bar	painesäiliön paineen yläraja
	LT1	90 % / 90 cm	painesäiliön pinnankorkeuden ylä- raja
Pumppu 3 (seis)	LZ1	10 % / 10 cm	varastosäiliön alarajapintakytkin
Lämmitysvastus (pois)	TT1	90 % / 63 °C	ylikuumenemissuoja
	LZ4	100 % / 55 cm	lämmityssäiliön alarajapintakytkin
HV1 (kiinni) ja HV3 (kiinni)	LZ1	10 % / 10 cm	varastosäiliön alarajapintakytkin
	LZ2	100 % / 80 cm	yläsäiliön 1 ylärajapintakytkin
	LZ3	100 % / 80 cm	yläsäiliön 2 ylärajapintakytkin
	LT1	10 % / 10 cm	painesäiliön pinnankorkeuden ala- raja (jos paine > 0,15 bar)
PV1 (kiinni) ja PV2 (auki)	PT1	90 % / 2,85 bar	painesäiliön paineen yläraja

4 OHJAUSJÄRJESTELMÄ

4.1 Kokoonpano

Ohjausjärjestelmä on kuvion 8 mukainen ja sen muodostavat

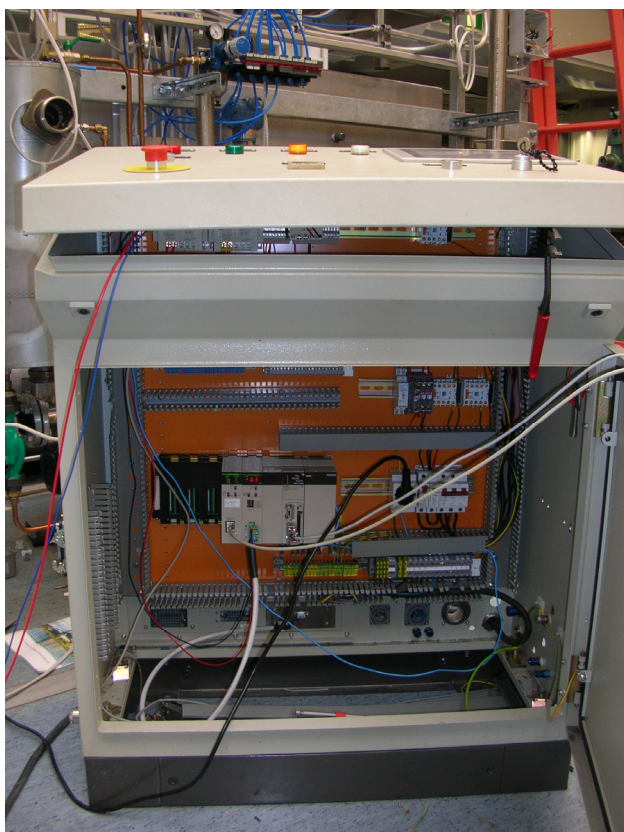
- Valvomoasema
- Omronin CS1G ohjelmoitava logiikka
- logiikan teholähde PA204S
- Ethernet- ja DeviceNet-kommunikointiyksiköt sekä
- DeviceNet-orjalaitteet.



KUVIO 8. Ohjausjärjestelmän kokoonpano

Vaikka opinnäytetyön sisältöön ei kuulunut käytettävän laitteiston määrittämistä kokonaisuudessaan, täytyi kuitenkin päättää logiikan ja valvomon välinen kommunikointitapa ja DeviceNet-verkon kokoonpano.

Logiikan ja valvomonaseman väliseen kommunikointiin valinta tehtiin sarjaportin ja Ethernetin välillä. Vaikka sarjaportin valintaa puolsi sen alhaisempi hinta, päädyttiin hankkimaan Ethernet-kommunikointiyksikkö jolloin sarjaportti jää vapaaksi kosketuspaneelia varten³. Ethernetin valintaan vaikutti myös sen huomattavasti suurempi tiedonsiirtonopeus ja uuden tekniikan saaminen opetuskäyttöön. Ohjelmoitava logiikka on sijoitettu ohjauspulpettiin, mistä se kytkeytyy Ethernetillä valvomoon ja DeviceNetillä prosessin (ks. kuvio 9).



KUVIO 9. Ohjauspulpetti

Prosessiohjaukset toteutettiin DeviceNetillä, koska toimeksiantajalla oli valmiiksi isäntälaitte ja lähes kaikki tarvittavat I/ O-noodit – vain yksi digitaalinen lähtöyksikkö jouduttiin tilaamaan. Tarvittavat DeviceNet-noodit määritettiin prosessin I/ O-määrän ja -tyyppien perusteella. Noodeja on projektissa yhteensä 10 kappaletta, mukaan lukien isäntälaitte. I/ O-noodeista yksi on digitaalinen tuloyksikkö, kaksi digitaalista läh-

³ Kosketuspaneelin käyttöönotto ei kuulunut opinnäytetyön sisältöön.

töyksikköä, kolme analogista tuloyksikköä ja kolme analogista lähtöyksikköä (ks. kuvio 8).

4.2 Ohjelmoitava logiikka

Ohjaukseen käytettävä logiikka on Omronin CS1G-CPU42H. CS1 on Omronin kattavin logiikkasarja, johon on saatavana yli 200 erilaista I/ O-yksikköä. (Omron 2005a.) CS1G-CPU42H:ssa on 10 kiloaskelta (*kstep*) ohjelmamuistia ja sen I/ O-määrä on kasvatettavissa 960 kpl:seen. Peruskäskyn suoritus aika on lyhimmillään 0,02 μ s ja erikoiskäskyn 0,06 μ s. Keskusyksikkö, teholähde ja I/ O-yksiköt kytketään taustalevyyn, joka huolehtii tehon jakelusta ja yksiköiden välisestä kommunikoinnista sisäisen väylän kautta. Kaikkien Omronin logiikoiden ohjelmointi toteutetaan joko käskylistana (*instruction list*) tai tikapuukaaviona (*ladder diagram*). (Omron 2005b.)

4.3 Ethernet-kommunikointiyksikkö

Ohjelmoitavan logiikan Ethernet-yksikkö mahdollistaa tiedonsiirron suljettujen teollisuusverkkojen ja esimerkiksi PC:n välillä. Sillä on siis sama tehtävä kuin tietokoneen verkkokortilla. Valvomo-PC:n ja logiikan väliseen kommunikointiin käytettävä Ethernet-yksikkö on Omronin CS1W-ETN21. Sen tiedonsiirtonopeus on maksimissaan 100 Mb/s ja se tukee seuraavia protokollia: TCP/IP, UDP/IP, FINS, FTP, SMTP, POP ja SNMP. Lisäksi se on mahdollista parametrizoida Internetselaimen kautta. (Omron 2005b.)

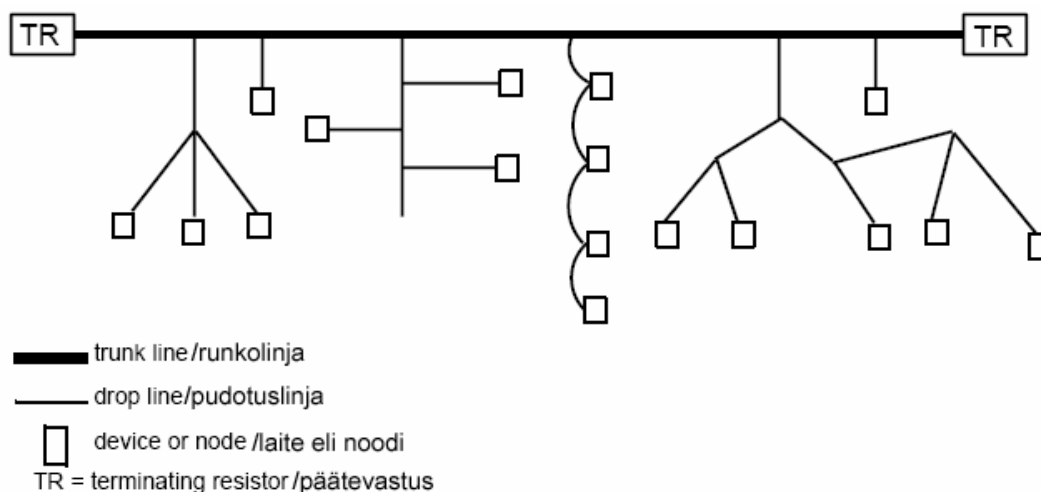
Asennuksen jälkeen CS1W-ETN21:een täytyy asettaa laitenumero (*unit number*) ja noodiosoite (*node address*). Asetukset tehdään laitteen etupaneelissa olevilla kierto-kytkimillä. Laitenumeroa käytetään identifioimaan sisäiseen väylään liitetyt laitteet toisistaan, eli tässä projektissa Ethernet-yksikön ja DeviceNet-isäntälaitteen. Noodiosoite puolestaan erottaa FINS-kommunikointia käytettäessä samaan verkkoon liitetyt Ethernet-yksiköt toisistaan. Laitenumeroksi asetettiin 0 ja noodiosoitteeksi 1. Edellä mainittujen asetusten lisäksi täytyy vielä asettaa muutamia parametreja ohjelmallisesti. Niiden määrittäminen on esitetty luvussa 5.2.1 Ethernet-verkko.

4.4 DeviceNet-laitteet

4.4.1 Yleistä DeviceNetistä

DeviceNet on avoimeen standardiin perustuva, erityisesti ohjausjärjestelmän ja kenttä-laitteiden välille tarkoitettu väylä. Sitä hallinnoi ODVA eli *Open DeviceNet Vendor Association*, jonka jäsenenä on noin 300 automaatioalan johtavaa yritystä. (ODVA 2004.) Kaikki jäsenyritysten DeviceNet-laitteet täyttävät standardin vaatimukset, joten samassa verkossa voi olla eri valmistajien laitteita.

Verkko muodostuu noodeista, joita ovat kaikki väylässä olevat laitteet, niiden välillä kulkevista runko- ja pudotuslinjoista (*trunk & drop line*) ja väylän päihin sijoitetuista 121Ω :n päätevastuksista. Jokainen verkossa oleva laite varaa yhden noodiosoitteen, joita voi olla enintään 64 kappaletta (ks. kuvio 10). (ODVA 2004; Ales 2003.) Väylää voi jatkaa joko liittämällä tuleva ja lähtevä kaapeli samoihin noodin liittimiin tai käyttämällä erityisiä haaroittimia (ODVA 2002, 35).



KUVIO 10. DeviceNet-verkon topologia (ODVA 2003)

Väylä tarjoaa signaalin siirron lisäksi myös tiedonsiirtoon tarvittavan tehonsyötön. Noodin tyypistä riippuen tarvitaan vielä erillinen tehonsyöttö I/ O-asteelle. Yhden väyläisännän syöttämä virta voi olla maksimissaan 8 A (Ales 2003). Tiedonsiirtono-

peus riippuu käytetystä kaapelityypistä ja runko- sekä pudotuslinjojen pituudesta taulukon 4 mukaisesti.

TAULUKKO 4. Kaapelin maksimipituudet DevieNet-verkossa eri siirtonopeuksilla (vrt. ODVA 2003)

Käytetty kaapelityyppi	Tiedonsiirtonopeus		
	125 kt/s	250 kt/s	500 kt/s
Paksu runkokaapeli	500 m	250 m	100 m
Ohut runkokaapeli	100 m	100 m	100 m
Litteä runkokaapeli	420 m	200 m	75 m
Pudotuslinjan max. pituus	6 m	6 m	6 m
Pudotuslinjan kumulatiivinen pituus	156 m	78 m	39 m

4.4.2 Väyläisäntä

DeviceNet-verkon isäntälaitteen (*master*) tehtävänä on toimia rajapintana orjalaitteiden (*slave*) ja ohjelmoitavan logiikan välissä. Tehtäviensä puolesta se on verrattavissa Ethernet-yksikköön. Projektissa käytetty DeviceNet-isäntä on Omronin CS1W-DRM21.

Aivan kuten Ethernet-yksikölle, myös DeviceNet-isäntälaitteelle täytyy asetella laite-numero ja noodiosoite. Asettelu tehdään etupaneelin kiertokytkimillä. Tässä yhteydessä noodiosoite tarkoittaa DeviceNetin noodiosoitetta, eikä sillä ole yhteyttä Ethernetin noodiosoitteeseen. Laitenumeroiksi asetettiin 1 ja noodiosoitteeksi 63. Lisäksi väyläisännän DIP-kytkimet aseteltiin kaikki OFF-asentoon, jolloin tiedonsiirtonopeus on 125 kbit/s ja kommunikointivirhetilanteissa jatketaan kommunikointia.

4.4.3 Orjalaitteet

Orjalaitteet liittävät kenttälaitteet väyläisännän kautta ohjelmoitavaan logiikkaan. Orjalaitteet ovat erityyppisiä I/ O-yksiköitä, kuten digitaali-, analogia- tai erityisiä anturiyksiköitä. Tässä luvussa on kerrottu vesiprosessissa käytettyjen orjalaitteiden keskeiset ominaisuudet.

Digitaalinen tuloyksikkö DRT2-ID16-1 ja lähtöyksikkö DRT2-OD16-1

DRT2-ID16-1 ja DRT2-OD16-1 ovat Omronin valmistamia PNP-tyyppisiä, 16-kanavaisia digitaalisia yksiköitä. Niiden pääteaste on erotettu galvaanisesti kuormasta optoerottimilla. Väylästä saatavan kommunikointitehon lisäksi ne tarvitsevat erillisen tehonsyötön I/ O:lle. (Omron 2005b.) Projektissa on käytössä yksi digitaalinen tuloyksikkö – noodiosoite 1 sekä kaksi digitaalista lähtöyksikköä – noodiosoitteet 5 ja 6.

Analoginen tuloyksikkö DRT1-AD04

DRT1-AD04 on Omronin vanhemman sukupolven neljäkanavainen analoginen tuloyksikkö. Uusien ja vanhojen laitteiden erona on muun muassa se, että vanhojen laitteiden kaikki asetukset tehdään mekaanisilla DIP-kytkimillä, kun uudet laitteet voidaan parametrisoida ohjelmallisesti.

DRT1-AD04:n tuloviestiksi voidaan valita joko jännite- tai virtaviesti. Jänniteviestialueet ovat 0—5 V, 1—5 V, 0—10 V tai -10—+10 V ja virtaviestialueet 0—20 mA tai 4—20 mA. Yksikkö digitoi analogisen viestin välille 0—6000 (0—1770_{hex}). Lisäksi siinä on mahdollista ottaa käyttöön tulosignaalin keskiarvottaminen, jolla voidaan rauhoittaa jatkuvasti muuttuvaa signaalia. Väylästä saatavan kommunikointitehon lisäksi yksikkö tarvitsee erillisen tehonsyötön I/ O:lle. (Omron 2005b.) Analogisia tuloyksiköitä on käytössä kolme – noodiosoitteet 2, 3 ja 4.

Analoginen lähtöyksikkö DRT2-DA02

DRT2-DA02 on Omronin uudemman sukupolven kaksikanavainen analoginen lähtöyksikkö. Sen lähtöviestialue on valittavissa samoista vaihtoehdoista kuin DRT1-AD04:n. Lähtöviestin analogisoinnin lisäksi sillä voidaan toteuttaa muun muassa viestin skaalaus, jolloin sitä ei tarvitse tehdä ohjelmoitavassa logiikassa. DRT2-DA02 ei tarvitse väylästä saatavan kommunikointitehon lisäksi erillistä tehonsyöttöä I/ O:lle. (Omron 2005b.) Analogisia lähtöyksiköitä on käytössä kolme – noodiosoitteet 7, 8 ja 9.

4.4.4 Johdotus

Koska kyseessä on verraten pieni verkko, päädyttiin se toteuttamaan ilman pudotuslinjoja, kytkemällä kaikki noodit runkolinjaan (ks. liite 2). Virtalähteet kytkettiin runkolinjan molempiin päihin, mutta +-johdin katkaistiin verkon puolivälistä, jolloin kum-

pikin lähde syöttää omaa kuormaansa. Lisäksi verkko maadoitettiin vain toisen virtalähteen maaliitännästä. Näin menettelemällä ehkäistään mahdollisia maasilmukoilta tai potentiaalieroja, jotka saattaisivat häiritä tiedonsiirtoa.

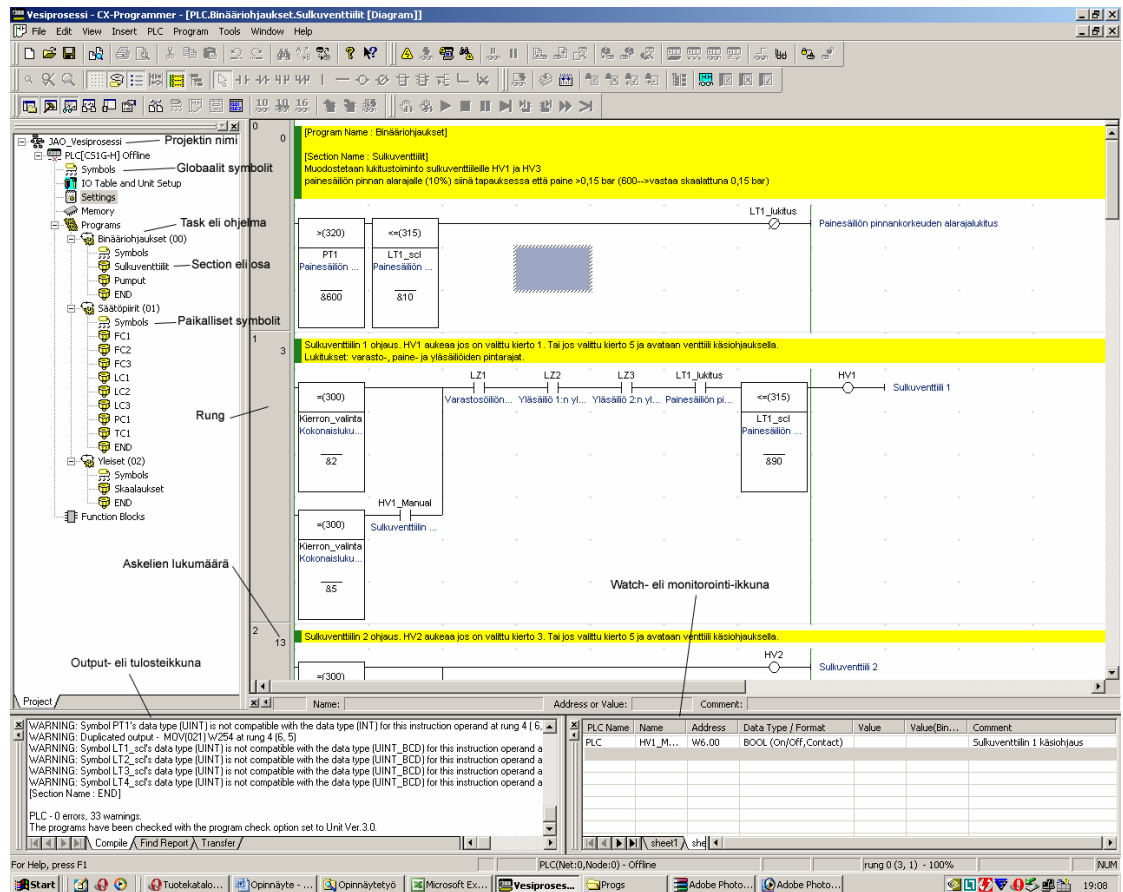
5 OHJELMOINTI

5.1 CX-Programmer

CX-Programmer on CX-One -ohjelmistopakettiin kuuluva, Omronin ohjelmoitavien logiikoiden ohjelmointityökalu. Samaa ohjelmaa käytetään kaikkien Omronin logiikoiden ohjelmointiin, konfigurointiin ja parametrisointiin.

Kuviossa 11 on näkyä CX-Programmerista. Kuvion vasemmassa laidassa on projektin hierarkkinen, puumainen rakenne, missä näkyy kyseiseen projektiin liittyvät logiikat sekä logiikoissa olevat ohjelmat ja osiot. Osiot koostuvat rungeista joihin varsinaisen ohjelma tehdään. Rungin pystypalkissa oleva vasemmanpuoleinen luku on rungoin järjestysluku ja oikeanpuoleinen ilmoittaa askeleiden lukumäärään. Ohjelman nimen perässä olevat luvut määrittävät ohjelmien suoritusjärjestyksen. Ohjelmien sisällä osat suoritetaan ylhäältä alas kuten myös osien sisällä olevat virtapiirit.

Ikkunan alareunaan saa avattua erilaisia ikkunoita, kuten kuviossa 11 näkyvät tulostus- ja monitorointi-ikkunat. Tulostusikkunassa CX-Programmer ilmoittaa muun muassa ohjelman kääntämisessä syntyneistä virheistä ja varoituksista. Monitorointi-ikkunan kautta puolestaan voi tutkia ja muuttaa muistiosoitteiden arvoja.

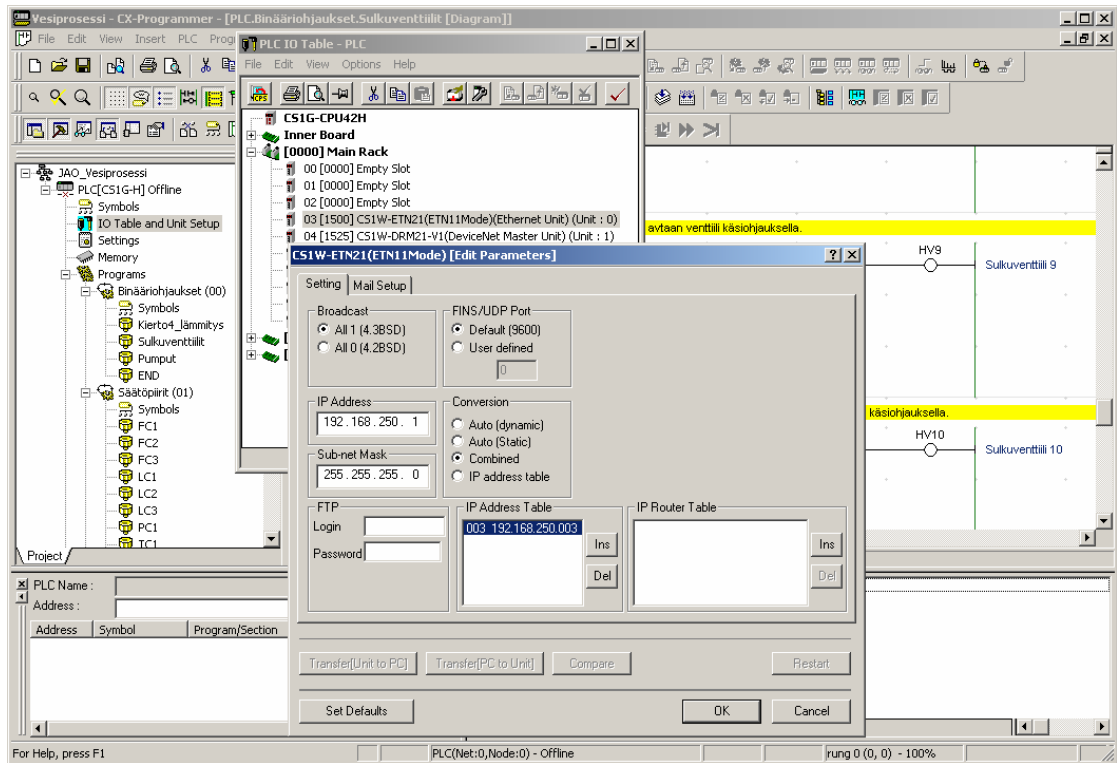


KUVIO 11. CX-Programmer

5.2 Ohjausjärjestelmän konfigurointi

5.2.1 Ethernet-verkko

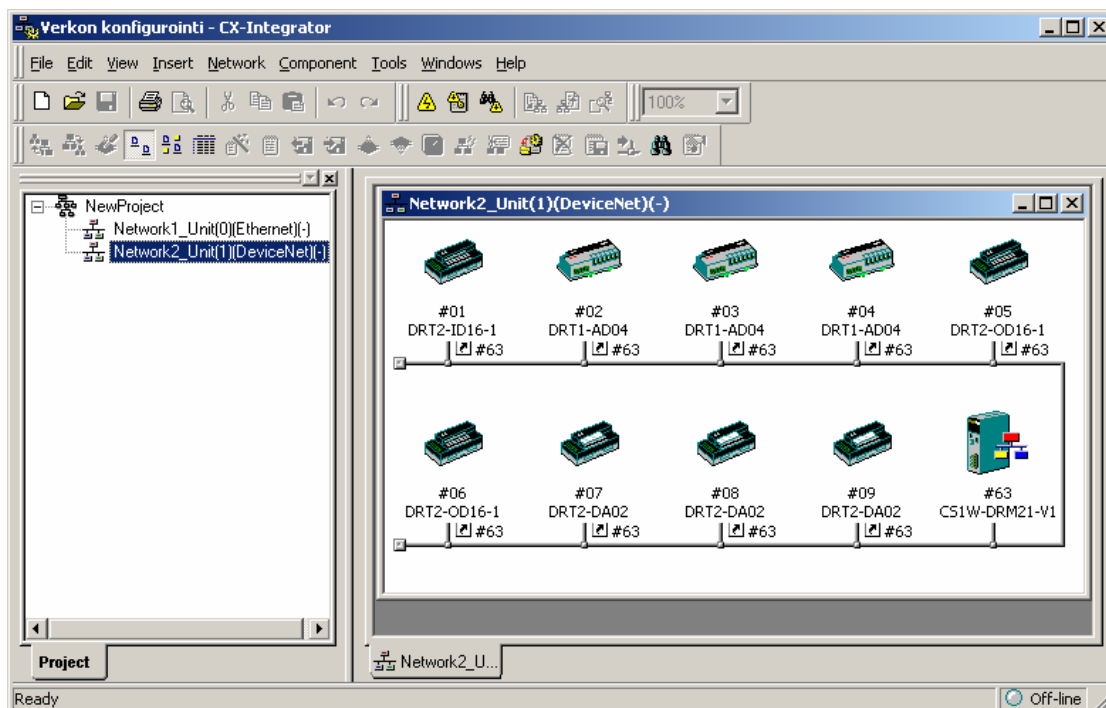
Ethernet konfiguroitiin CX-Programmerilla määrittämällä logiikan I/ O-tauluun (*I/O Table*) tarvittavat Ethernet-yksikön parametrit (ks. kuvio 12). IP-osoite voitiin valita vapaasti koska kyseessä on täysin suljettu, logiikan ja valvomoaseman muodostama verkko. Osoitteen valinnassa tuli kuitenkin huomioida, että FINS-kommunikoinnista johtuen täytyy osoitteen viimeinen numero olla sama kuin Ethernet-yksikön noo-diosoite. Aliverkon peite (*Subnet mask*) määräytyy automaattisesti IP-osoitteen perusteella. FINS-kommunikoinnissa käytettävää FINS-osoitteen muodostusta varten lisättiin IP-osoitetauluun (*IP address table*) valvomo-PC:n IP-osoite. FINS-portti jätettiin oletuksena olevaksi 9600:si.



KUVIO 12. Ethernetin konfigurointi CX-Programmerilla

5.2.2 DeviceNet-verkko

DeviceNet-verkon konfigurointiin käytettiin CX-Integrator -ohjelmistoa, joka on Omronin graafinen verkon konfigurointi- ja monitorointityökalu (ks. kuvio 13). Kohdeprosessin verkon olisi voinut määrittää myös käyttämällä ohjelmointityökalua ja laitteiden DIP-kytkimiä, mutta CX-Integratoria käyttämällä parametrisointi kävi vaivattomammin.



KUVIO 13. Näkymä CX-Integratorista

Verkko määritettiin skannaamalla verkkoon kytketyt laitteen ohjelmiston Transfer[Network to PC] -komennolla. Komento lataa verkkoon liitettyjen laitteiden tiedot, kuten noodinumeron ja laitteen tyyppin ohjelmistoon. Tämän jälkeen kaikki noodit rekisteröitiin väyläisännälle ja niille varattiin tarvittava muistialue logiikan CIO-alueelta. Muistinvaraus tehtiin käyttäen siihen tarkoitettua avustavaa toimintoa (*Wizard*). Varaus aloitettiin CIO0000:sta, koska kokoonpanossa ei ole DeviceNet-laitteiden lisäksi muuta I/ O:ta. Lopuksi päivitettyt parametrit ja verkon konfiguraatio-tiedot ladattiin väyläisäntään ja laitteille ohjelmiston Transfer[PC to Network] -komennolla.

5.3 Esimerkkejä prosessiohjauksista ja -säädöistä

5.3.1 Yleistä

Luvuissa 5.3.2—5.3.4 käydään läpi pumppujen ohjauksen, avokanavan virtausmittauksen ja virtaussäädön sekä painesäiliön paineensäädön toteutus. Esimerkeiksi on pyritty valitsemaan sellaisia ohjauksia ja säätöjä, joiden avulla ohjelmointikielen ominai-

suudet tulevat mahdollisimman hyvin esille. Lisäksi on pyritty kiinnittämään huomiota siihen, että esimerkit olisivat keskenään erityyppisiä ja työn kannalta keskeisiä ratkaisuja. Esimerkkien ohjelmalistaukset on koottu liitteiksi 3—6 työn loppuun sekä kirjan takakannesta löytyvälle CD-ROM -levylle.

Lähes kaikki käytössä olevat muistiosoitteet on symboloitu ja/ tai kommentoitu ohjelman seuraamisen ja mahdollisten muutosten teon helpottamiseksi.

5.3.2 Pumppujen ohjaus

Liitteenä 3 olevasta pumppujen ohjauksen ohjelmalistauksesta käy hyvin esille perustoimintojen toteutus tikapuukaavio-ohjelmointikielellä. Ohjelmakoodissa pumppujen lukitukset on erotettu pumppujen ohjauksista ja ne on ohjelmoitu aina ennen ohjauksia.

Pumppujen 1 ja 2 lukitukset on toteutettu siten, että ne vaativat käyttäjältä kuittauksen lukituksen poistamiseksi. Kuittaus huomioidaan vasta kun lukituksen aiheuttaja on poistunut. Tämä on toteutettu käyttämällä KEEP-funktiota, jolla bitti W61.00 P1_lukitus tai W61.02 P2_lukitus asetetaan ykköseksi jonkin lukitusehdoista toteutessa. Asettuessaan P1_lukitus tai P2_lukitus pysäyttää ks. pumpun RSET-funktiolla ja estää sen käynnistymisen kunnes lukituksen aiheuttaja on poistunut ja käyttäjä on kuittannut lukituksen. Pumppujen vapautuksiin on valvomo-ohjelmiston ominaisuuksista johtuen jouduttu lisäämään ajastin TIM0007, jolla valvomosta asetettu vapautusbitti nollataan yhden sekunnin kuluttua vapautuksesta. Näin estetään tilanne, jossa vapautusbitti jää päälle estäen lukituksia toimimasta.

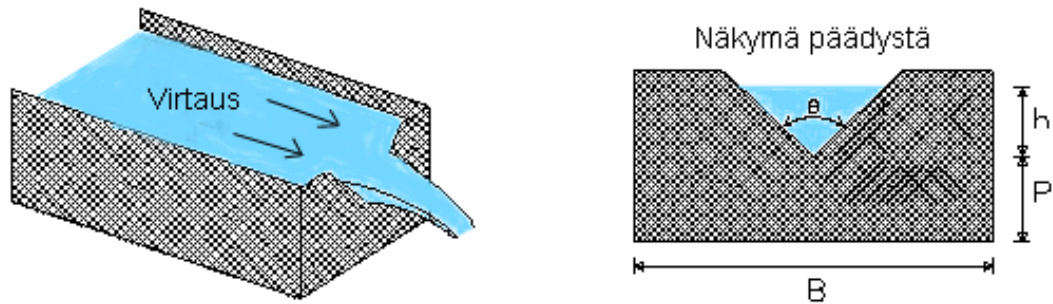
Pumpun 3 lukitus (LZ1) ei vaadi käyttäjän kuittausta, vaan pumppu käynnistyy uudelleen heti varastosäiliön pinnan palattua normaalille tasolle.

5.3.3 Avokanavan virtausmittaus ja virtauksensäätö

Virtausmittauksen teoriaa

Avokanavan virtausmittaus on toteutettu käyttämällä kuvion 14 mukaista V-patoa ja paine-eroon perustuvaa pinnakorkeuden mittausta. Tällaisen kanavan virtaus saadaan

määritettyä mittaamalla nesteen pinnankorkeus V-aukon alareunasta ja käyttämällä mm. ISO 1438 standardissa määritettyjä laskukaavoja.



KUVIO 14. Avokanavan rakenne

Vesiprosessin avokanavan mitat kuvion 14 tunnuksilla ovat: $B = 29,5$ cm, $\beta = 45^\circ$, $P = 11$ cm ja $h = 18$ cm. Lähteessä Halko, Härkönen, Lähteenmäki & Välimaa 1990, 126 on tilavuusvirralle esitetty seuraava laskukaava:

$$q_v = C \frac{8}{15} \left(\tan \frac{\beta}{2} \right) \sqrt{2gh^2}^{\frac{5}{2}} \quad (5.1)$$

missä C = purkauskertoimen, β = patoaukon kulma asteina, g = putoamiskiihtyvyyden ja h = pinnankorkeus patoaukon alareunasta. Purkauskertoimen C määrittämiseksi on käytetty kaavaa:

$$C = 0,607165050 - 0,00087446696\beta + 9,103933334 \cdot 10^{-6} \beta^2 \quad (5.2)$$

(LMNO Engineering 1999), jolloin purkauskertoimeksi saadaan

$$C = 0,607165050 - 0,00087446696 \cdot 45^\circ + 9,103933334 \cdot 10^{-6} \cdot 45^{\circ 2} = 0,567716064519$$

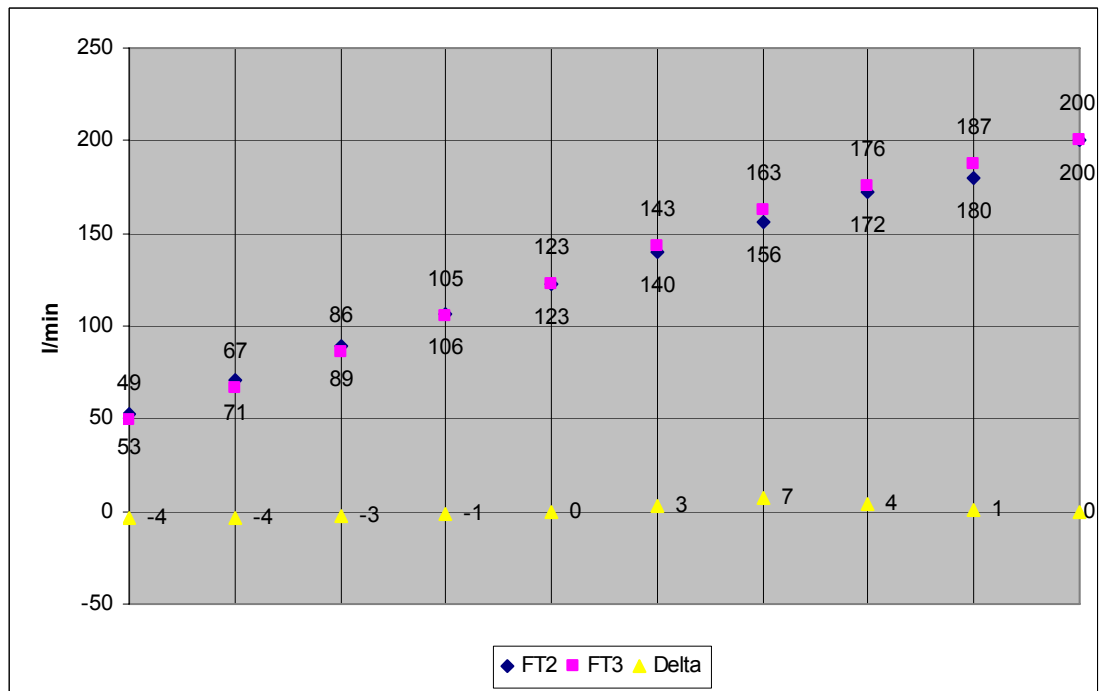
Sijoittamalla näin saatu purkauskertoimen arvo kaavaan 5.1 saadaan pinnankorkeuden ja virtauksen suhteeksi

$$q_v = 0,567716064519 * \frac{8}{15} \left(\tan \frac{45^\circ}{2} \right) \sqrt{2 * 9,80665 \frac{m}{s^2} h^{\frac{5}{2}}}. \quad (5.3)$$

Ohjelmassa käytettävä kerroin pinnankorkeuden ja virtauksen välillä saatiin yhdistämällä kaikki yhtälön 5.1 vakiot yhdeksi kertoimeksi C_{tot} . Jolloin tilavuusvirta on

$$q_v = C_{tot} * h^{2,5} = 0,555430292221 * h^{2,5}. \quad (5.4)$$

Kerrointa C_{tot} hienoviritettiin vielä kokeellisesti käyttämällä referenssimittauksena magneettista virtausmittausta FT2. Kokeessa pumpulla 2 ajettiin erisuuruisia vakiovirtauksia avokanavaan ja verrattiin FT3:n ja FT2:n näyttämiä. Kerrointa C_{tot} muutettiin kokeen aikana, kunnes mittausten välinen ero oli pienimmillään. Kokeen perusteella päädyttiin kertoimeksi asettamaan 0,47, jolloin FT3 vastaa referenssiä kuvion 15 mukaisesti.



KUVIO 15. Avokanavan ja referenssimittauksen vertailu

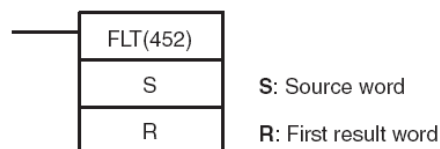
Kuviosta 15 havaitaan että avokanavan virtausmittaus (FT3) vastaa melko hyvin referenssimittauksia (FT2). Saavutettua mittaustulosta voidaan pitää varsin hyvänä kun otetaan huomioon magneettisen virtausmittauksen ja avokanavan virtausmittauksen

mittausepävarmuudet, sekä laskutoimituksissa syntyvät pyöristykset. Lisäksi suurilla virtauksilla FT3:n lukema elää melko voimakkaasti johtuen pinnankorkeuden vaihtelusta, jota pinnankorkeuden ja virtauksen epälineaarinen suhde vielä korostaa (ks. kaava 5.4).

Virtausmittauksen toteutus

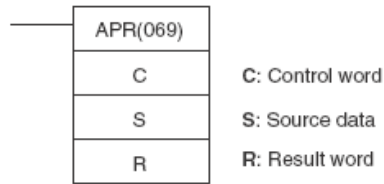
Kaikki valvomossa näytettävät mittaukset, lukuun ottamatta pinnankorkeuden mittauksia, on skaalattu insinööriyksiköiksi ohjelmoitavassa logiikassa. Liitteenä 4 on avokanavan skaalauksen ja laskennan ohjelmalistaus. Siinä analogiatuloyksiköltä tuleva avokanavan pinnankorkeuden mittaustieto ($0\text{--}6000_{\text{dec}}$) on skaalattu asteikolle $0,00\text{--}18,00$ cm, josta kaavaa 5.4 käyttäen edelleen tilavuusvirraksi $0\text{--}646,1$ l/min.

Aluksi avokanavan pinnankorkeuden mittaustieto on muutettu kokonaisluvusta reaali-
luvuksi. Näin tehdään koska avokanavan virtauksen määrittämiseksi tarvitaan potenssiin korotusta, jonka voi tehdä vain reaali-
luville. Lisäksi saadaan valvomoon tarkempi tieto virtausnopeudesta. Muunnos onnistuu FLT-funktiolla (ks. kuvio 16), joka muuttaa osoitteesta CIO3 kokonaislukutiedon liukuluvuksi sanoihin W200—W201. Muunnos toimii siten että lähdesana (CIO3) asetetaan sellaisenaan ensimmäiseen tulossanaan (W200), joka muodostaa liukuluvun kokonaisuosan. Toinen tulossana (W201), eli desimaaliosa alustetaan nolllaksi.



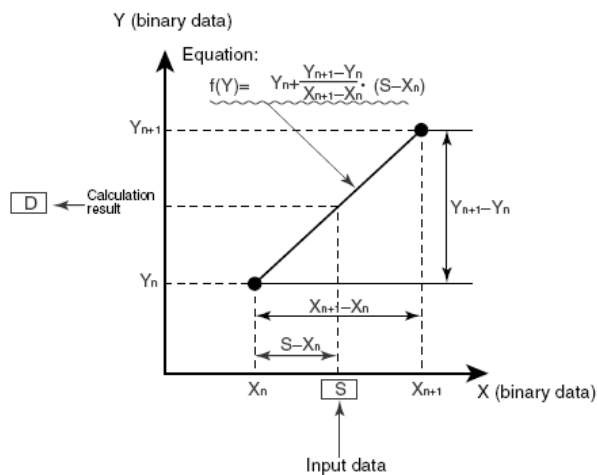
KUVIO 16. FLT-funktio (Omron 2005b)

Seuraavaksi pinnankorkeustieto on skaalattu asteikolle $0,00\text{--}18,00$ cm. Skaalaus on tehty kuvion 17 APR-funktiolla (*Arithmetic Process*), jolla voidaan ohjaussanaa C vaihtamalla laskea sini, kosini tai suorittaa lineaarinen ekstrapolaatio lähdetiedosta S, tulossanaan R.



KUVIO 17. APR-funktio (Omron 2005b)

Ohjelmassa ensimmäisellä MOV-funktiolla (*Move*) siirretään ohjaussanaksi 3_{dec} (= $00000000000000011_{\text{bin}}$) muistiosoitteeseen W202. Seuraavaksi saman osoitteen yhdeksäs bitti on asetettu ykköseksi, jolloin ohjaussanaksi muodostuu $00000010000000011_{\text{bin}}$. Tällöin APR-funktio käyttää 32-bittisiä reaali-lukuja ja suorittaa ekstrapolaation neljän koordinaatin perusteella (kuten kuviossa 18, mutta Y_n , X_n origossa).

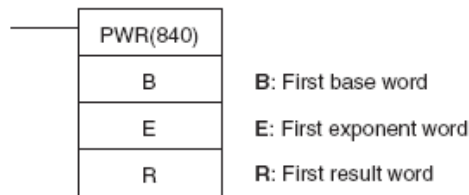


KUVIO 18. Lineaarisen ekstrapolaation periaate (Omron2005b)

Seuraavilla FLT-funktiolla siirretään ekstrapolaatiossa tarvittavat koordinaatit muisti-paikkoihin C+1—C+10, eli W203—W210⁴. APR-funktion parametriksi S on asetettu avokanavan pinnankorkeustiedon ($0,00—6000,00_{\text{dec}}$) sisältävä muistiosoite W200 ja skaalattu arvo kirjoitetaan osoitteeseen W211. Suoritusehtona koko virtapiirille on P_On-lippubitti, joka on aina päällä kun logiikka on run-tilassa.

⁴ Liukuluku on 32-bittinen, eli se varaa kaksi peräkkäistä sanaa

Kuten aiemmin jo mainittiin, käytettiin logiikkaohjelmassa kaavaa 5.4 tilavuusvirran määrittämiseksi avokanavan pinnankorkeuden perusteella. Sitä käyttämällä päästiin ainoastaan kahdella laskutoimituksella, potenssiin korotuksella ja kertolaskulla (ks. liite 4). Potenssiin korotus on tehty kuvion 19 PWR-funktiolla (*Exponential power*). Sana B eli potenssiin korotettavan luvun ensimmäinen sana on osoitteesta W211 löytyvä avokanavan pinnankorkeus (0,00—18,00 cm) ja sana E, eli potenssi on vakio 2,5.

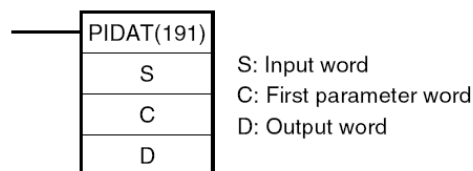


KUVIO 19. PWR-funktio (Omron2005b)

Lopuksi potenssiin korotettu pinnankorkeus vielä kerrotaan kertoimella C_{tot} , eli luvulla 0,47. Tämä tehdään funktiolla *F (*Floating point multiply*). Funktio kirjoittaa tuloksen, eli avokanavan tilavuusvirran (0,0—646,1 l/min), muistisanaan W291 josta se luetaan valvomoon.

Virtaussäädön toteutus

Vesiprosessin säätöpiirit ovat lämmityssäiliön lämpötilansäätöpiiriä TC-1 ja painesäiliön paineensäätöpiiriä PC-1 lukuun ottamatta PID-säätimiä. Kaikki PID-säätimet on varustettu automaattisella säädinparametrien laskennalla (*Auto Tune*). Säätöpiirit on toteutettu kuvio 20 mukaisella PIDAT-funktiolla (*PID Control with autotuning*).



KUVIO 20. PIDAT-funktio

Funktio lukee säädössä käytettävän mittaustiedon muistiosoitteesta S ja laskee ohjauksen osoitteeseen D. Osoite C on säätimen parametrien ensimmäinen osoite. Säädinpa-

parametrit täytyy kirjoittaa peräkkäin, taulukon 5 mukaisessa järjestyksessä, sanoihin C—C + 9. Säädin varaa käyttöönsä muistipaikat C—C + 40.

TAULUKKO 5. PID-säätimen parametrit (vrt. Omron 2005b)

Osoite	Selitys	Arvoalue
C	Asetusarvo (SV)	Yhtä monta bittiä kuin tulon ja lähdön leveys
C + 1	Vahvistuksen kertoalue* (PB)	1—9999 _{dec} (0.1—999.9 %, 0.1 % välein)
C + 2	Integrointiainvakio (T _I)	1—8191 _{dec} (0.1—819.1 s, 0.1 s välein, 9999 = ei integrointia)
C + 3	Derivointiaikavakio (T _D)	1—8191 _{dec} (0.1—819.1 s, 0.1 s välein, 0 = ei derivointia)
C + 4	Suoritusväli	1—9999 (0.01—99.99 s, 10 ms välein)
C + 5, bitit 4—15	Säätimen suotimen kertoimen asetus	Ei muutettu vesiprosessin säätimissä (oletus 0.65)
C + 5, bitti 3	Lähdön tila, kun mittaus vastaa asetusarvoa	0 = 0 %, 1 = 50 %
C + 5, bitti 1	Säädinparametrien (PB, T _I , T _D) lukuajankohta	0 = vain säätimen käynnistyksen yhteydessä, 1 = käynnistyksen yhteydessä ja jokaisen suoritus-kerran alussa
C + 5, bitti 0	Säätimen toimisuunta	0 = suora, 1 = käänteinen
C + 6, bitti 12	Säätimen lähdön rajoitus	0 = ei rajoitusta, 1 = rajoitettu sanoissa C + 7 ja C + 8 asetettujen arvojen väliin

Jatkuu seuraavalla sivulla

Jatkoa edelliseltä sivulta

C + 6, bitit 8—11	Tulon leveys	0 = 8 bittiä 1 = 9 bittiä 2 = 10 bittiä	3 = 11 bittiä 4 = 12 bittiä 5 = 13 bittiä 6 = 14 bittiä 7 = 15 bittiä 8 = 16 bittiä
C + 6, bitit 4—7	Integrointi- ja derivointiaikavakioiden yksikkö	1 = suoritusvälin kerrannainen, 2 = aika (yksikkö 100 ms)	
C + 6, bitit 0—3	Lähdön leveys	Kuten tulon leveys	
C + 7	Säätimen lähdön alaraja	0000—FFFF (&0—&65535)	
C + 8	Säätimen lähdön yläraja	0000—FFFF (&0—&65535)	
C + 9, bitti 15	Autom. säädinparametrien laskennan käynnistys	0 → 1 käynnistää AT:n, 1 → 0 keskeyttää AT:n	

* Vertoalue $PB = 100 / K_p$

Liitteessä 5 on esitetty avokanavan virtauksensäädön toteutus. Aluksi avokanavan virtaus on skaalattu säätimelle sopivalle alueelle pohjautuen tietoon, että virtaus voi saada arvoja väliltä 0,0—646,1 ja että säätimen tulon leveyden ollessa 16 bittiä, on sen arvoalue 0—65535. Tällöin virtauksen ja säätimen tuloarvon väliseksi kertoimeksi tulee:

$$\frac{Säädin_{tuloarvo}^{max}}{F_{avokanava}^{max}} = \frac{65535}{646,0693238356} = 101,4365 \quad (5.5)$$

Vielä ennen säätimelle syöttämistä täytyy säätimen alueelle skaalattu avokanavan virtaus muuttua 16-bittiseksi, koska avokanavan virtaus on tallennettu 32-bittisenä liukulukuna, eikä säädin käsittele kuin 8—16-bittisiä kokonaislukuja. Tämä on tehty FIX-funktiolla, joka yksinkertaisesti poistaa liukuluvun desimaaliosan. Funktio ei siis pyöristä lukuja.

Taulukossa 5 esitettyjen parametrien alustus on tehty rungeissa 1—9. Huomaa, että kaikkiin taulukon osoittamiin muistisanoihin ei ole kirjoitettu, mikäli ne on tarkoitus

alustaa nolliksi. Rungeissa 6—9 on toteutettu automaattisen säädinparametrien laskennan (AT) ohjaus. Rungissa 6 kopioidaan AT:n ohjaus-/ tilabitti D29776.15 muistiosoitteeseen W9.04, koska datamuistialueen tietoihin pääsee käsiksi vain kokonaisuina sanoina tai tietyillä bitin käsittelyfunktioilla. Tätä kopiota käytetään rungissa 8 asettamaan osoite W9.05 AutoTune_Viive, sillä hetkellä kun AT päättyy (laskevan reunan tunnistus koskettimessa). Rungissa 9 olevalla ajastimella TIM0003 pidetään W9.05 ykkösenä yhden sekunnin AT:n päättymisen jälkeen. Tämän viiveen aikana säädin on vielä pois päältä ja AT ehtii asettaa uudet säädinparametrit.

Varsinainen PID-funktio on rungissa 10. Tulosanana on säätimen alueelle skaalattu avokanavan virtaus. Ensimmäinen parametrisana⁵ on D29767, josta yhdeksän sanaa eteenpäin säädin lukee parametrit. Säätimen laskema ohjaus on kirjoitettu sanaan D29808. Tätä tietoa ei kuitenkaan ole kytketty suoraan toimilaitteelle, vaan se on ensin skaalattu analogialähtöyksikön alueelle APR-funktiolla (rung 11).

Alun perin ajatuksena oli tehdä säätimestä toimilohko (*Function block*), jolloin sen kopiointi eri yhteyksiin olisi ollut nopeampaa. Valitettavasti käytettävä ohjelmoitava logiikka on kuitenkin sen verran vanha, ettei se tue tätä mahdollisuutta.

5.3.4 Painesäiliön paineensäätö

Painesäiliön paineensäätö on nk. kolmipistesäätö, eli toimilaitte voi saada kolme eri tilaa. Tässä yhteydessä tilat ovat: 1. paineenlisäysventtiili auki, 2. paineenvähennysventtiili auki ja 3. molemmat venttiilit kiinni. Säätöperiaate on siis sellainen, että mikäli paine on yli asetusarvon, avataan paineenvähennysventtiili, mikäli tämän alle, avataan paineenlisäysventtiili ja mikäli asetusarvossa, pidetään molemmat venttiilit kiinni. Koska esimerkiksi pumppu aiheuttaa paineenvaihteluita prosessiin, muodostetaan asetusarvolle hystereesi, minkä rajoissa paineen halutaan olevan. Näin hävitään luonnollisesti säädön tarkkuudessa, mutta estetään venttiilien jatkuva päälle—pois - ohjaus asetusarvon läheisyydessä.

⁵ Huomaa virhe PIDAT-funktion kommentissa: kommentissa lukee First result word, vaikka pitäisi olla Fist parameter word (PID-funktiossa tämä on oikein).

Liitteenä 6 on painesäiliön paineensäädön ohjelmalistaus. Rungissa 0 muodostetaan edellä mainittu hystereesi käyttäjän syöttämien asetusarvojen perusteella. Rungeissa 1 ja 2 oleva venttiilien ohjaus on toteutettu vertailemalla mittausta asetusarvon ylä- ja alarajoihin. Säätimen ollessa manuaalilla voi käyttäjä ohjata venttiileitä käsin. Yli- ja alipainelukitukset on sisällytetty yhtenä ohjausehtona rungeihin 1 ja 2.

6 VALVOMOSUUNNITTELU

6.1 InTouch-ohjelmisto

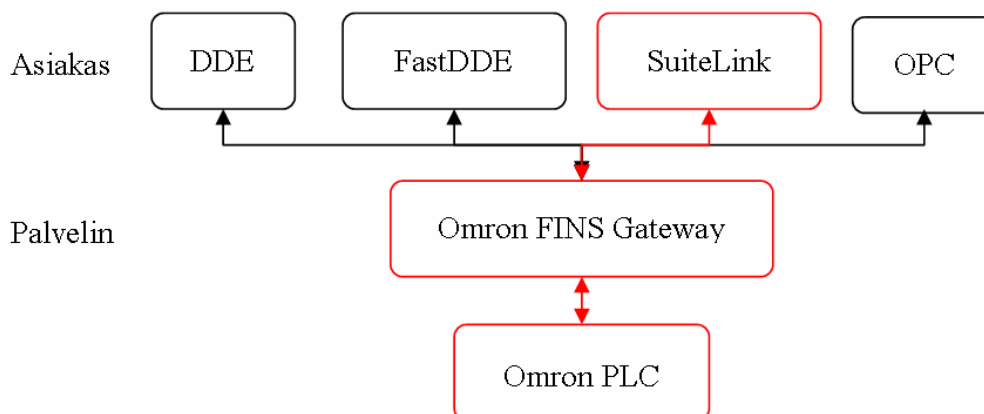
Valvomo-ohjelmistoksi valittiin Wonderwaren InTouch, koska toimeksiantaja oli päättänyt käyttää sitä muihinkin projekteihin ja koska sen tiedettiin olevan ominaisuuksiltaan erinomainen. Myös se, että tälle ohjelmistolle saatiin kehityslisenssi käyttöön heti opinnäytetyön teon alusta saakka, vaikutti valintaan. Käytetty ohjelmistoversio oli 9.0.

InTouch asennetaan Windows 2000 tai XP -käyttöjärjestelmän päälle. Se koostuu suunnitteluympäristö WindowMakerista ja testaus-/ ajoympäristö WindowVieweristä. Ohjelmointi tapahtuu WindowMakerissa, valmiita objekteja käyttäen. Ohjelmointi on lähes täysin graafista, rivikoodia käytetään ainoastaan skripteissä. Ohjelmointia esitellään luvussa 6.3 Esimerkkejä valvomosovelluksesta. WindowViewer mm. näyttää WindowMakerilla tehdyt valvomosovellukset, suorittaa skriptit ja datan tallennuksen (*data logging*) ja on yhteydessä ohjelmoitavaan logiikkaan palvelinohjelmiston kautta.

6.2 Valvomon ja ohjelmoitavan logiikan välisen kommunikoinnin toteutus

InTouchin ja ohjelmoitavan logiikan välinen kommunikointi toteutettiin käyttämällä Klinkmannin Omron FINS gateway -palvelinohjelmistoa, joka toimii kommunikointiprotokollapalvelimena Windows-ohjelmien ja Omronin ohjelmoitavien logiikoiden

välillä⁶. Se tukee DDE (*Dynamic Data Exchange*), FastDDE, SuiteLink ja OPC (*OLE for Process Control*) -protokollia Windows-ohjelmien ja palvelimen välillä. FINS (*Factory Intelligent Network Services*) on Omronin kehittämä, TCP/IP:n päällä toimiva viestiprotokolla, jota käytetään palvelimen ja ohjelmoitavan logiikan väliseen keskusteluun (ks. kuvio 21). Kuvioon on merkitty punaisella opinnäytetyössä käytössä oleva arkkitehtuuri.



KUVIO 21. Valvomo—logiikka -liityntärajapinta

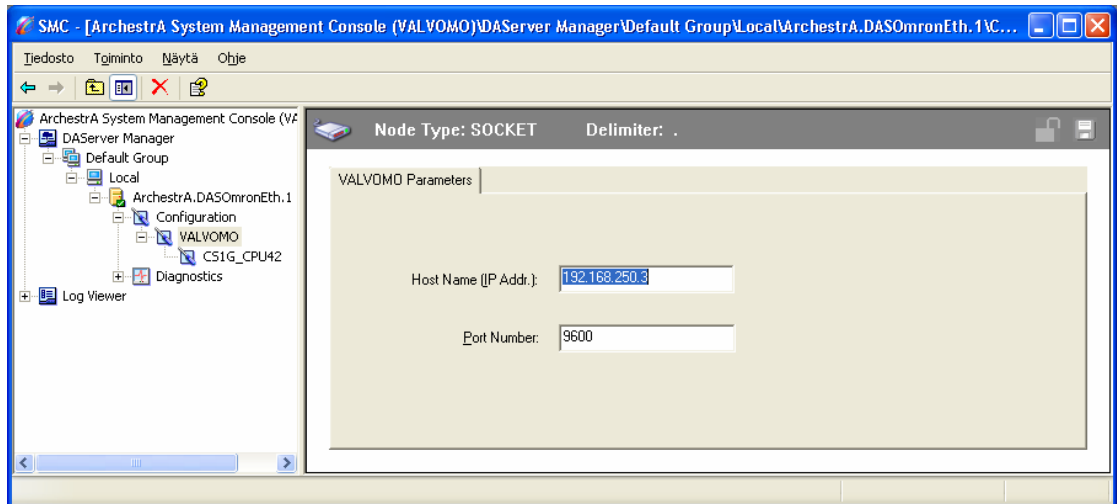
Palvelinohjelmistosta oli saatavana yhden tunnin kerrallaan toimiva, täydet toiminnot sisältävä arviointiversio. Koska prosessi tulee opetuskäyttöön, todettiin että arviointiversio riittää, eikä ohjelmalle hankita lisenssiä.

FINS gatewayn konfigurointi

Palvelinohjelmiston konfigurointiin käytetään Microsoftin System Management Consoia. Sillä ROOT-, SOCKET- ja CONTROLLER-välilehtien parametrit asetellaan vastaamaan käytettävää laitteistoa.

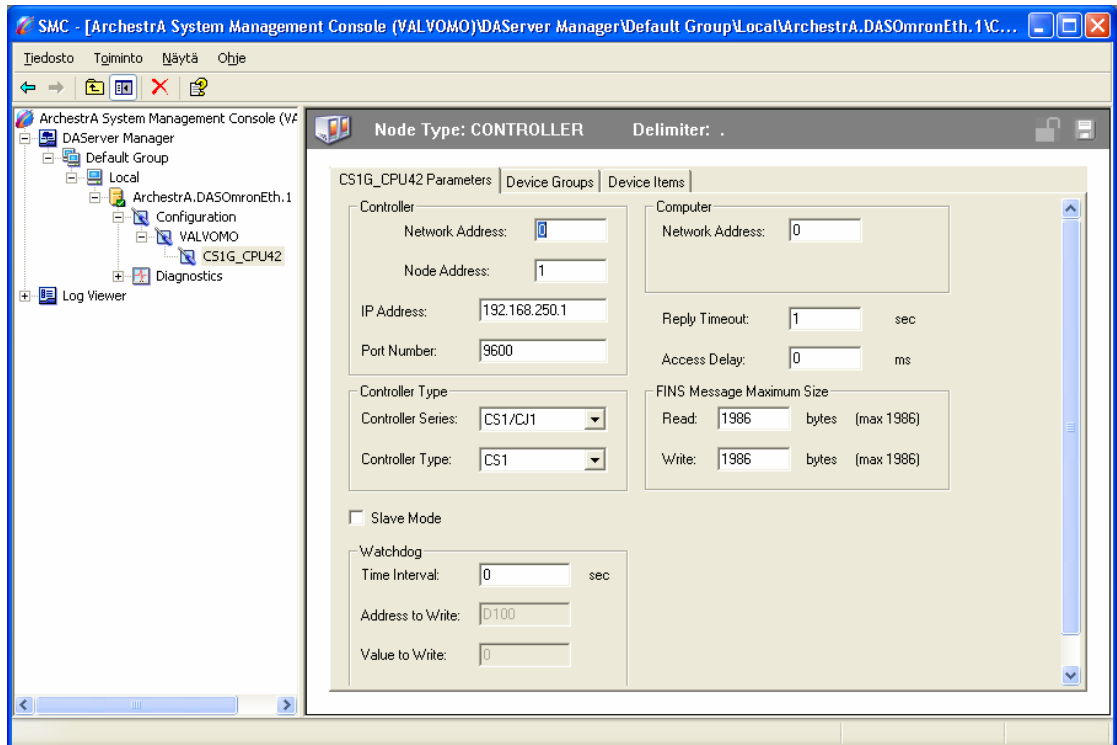
ROOT-välilehden parametrit jätettiin oletuksina oleviksi. SOCKET-välilehti nimettiin VALVOMOKSI ja parametrit aseteltiin kuvion 22 mukaisesti vastaamaan valvomoaseman IP-asetuksia.

⁶ Ohjelma on asennettuna valvomo-PC:lle, eikä toteutus siis vaadi erillistä palvelin-PC:tä.



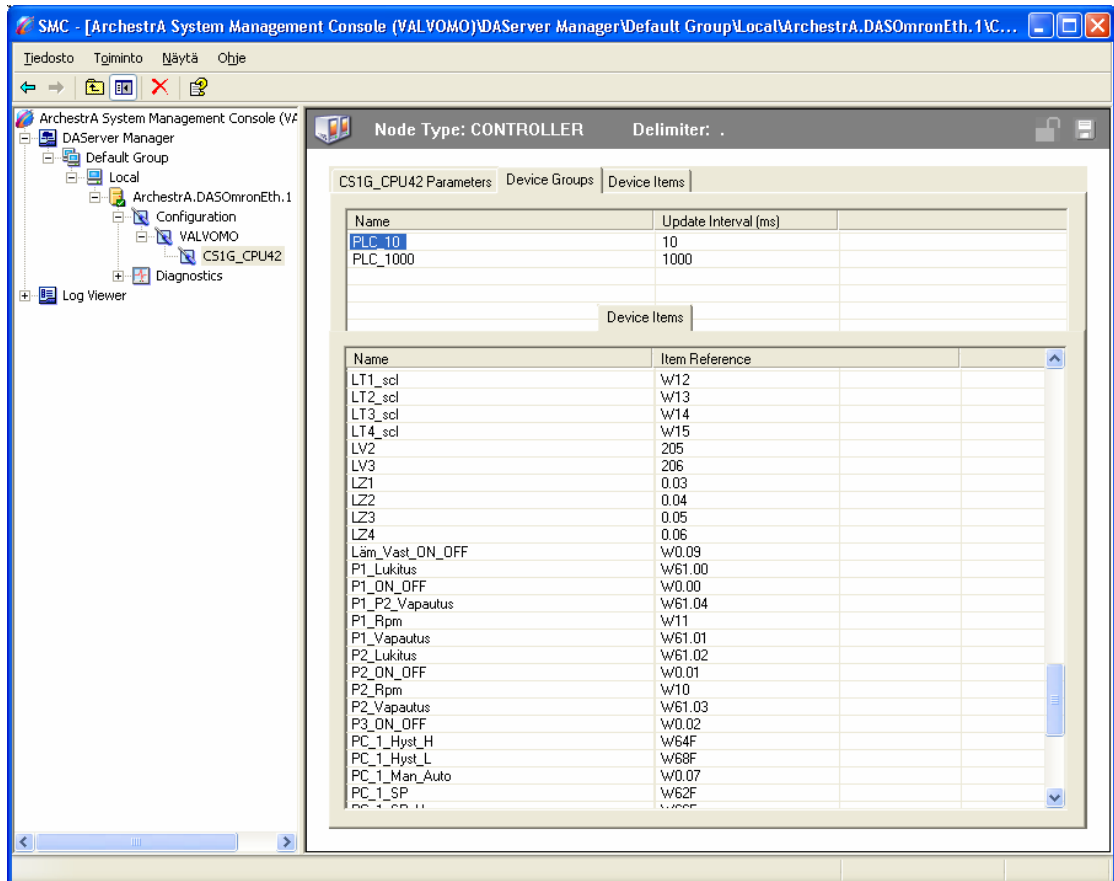
KUVIO 22. Valvomo-välilehden parametrit

CONTROLLER-välilehti nimettiin käytettävän ohjelmoitavan logiikan mukaisesti CS1G_CPU42:ksi. Sieltä aseteltiin ensin logiikan parametrit kuvion 23 mukaisesti. Verkon osoite on nolla, koska liitytään vain yhteen verkkoon. Noodiosoite, IP-osoite ja käytettävä portti asetettiin vastaamaan Ethernet-yksikön konfiguroinnissa määritellyjä arvoja. Logiikan tyyppi valittiin vastaamaan käytössä olevaa logiikkaa. FINSanomien maksimikoko nostettiin testien perusteella 1986 tavuun.



KUVIO 23. CS1G_CPU42-välilehden parametrit

Laiteryhmät (*Device Groups*) ja aliakset (*Device Items*) muodostavat tartuntakahvan InTouchille (ks. kuvio 24). Laiteryhmiä luotiin kaksi, toista päivitetään sekunnin ja toista 10 ms:n välein. 10 ms:n välein päivitettävään ryhmään liittyy vain muutama alias – suurinta osaa päivitetään sekunnin välein. Aliakset on selvyyden vuoksi nimetty logiikkaohjelmassa käytettävien symbolisten nimien mukaan, vaikka näin ei välttämättä tarvitsisi olla. Osoite mihin aliaksen halutaan viittaavan, kirjoitetaan *Item Reference* -kenttään. Palvelinohjelmisto käyttää oletustietotyyppinä kokonaislukua, jos osoite on muotoa W12 ja bittiä, jos osoite on muotoa W12.1. Mikäli viitattu tieto on liukuluku, täytyy osoitteen perään lisätä F-kirjain, esimerkiksi W62F.



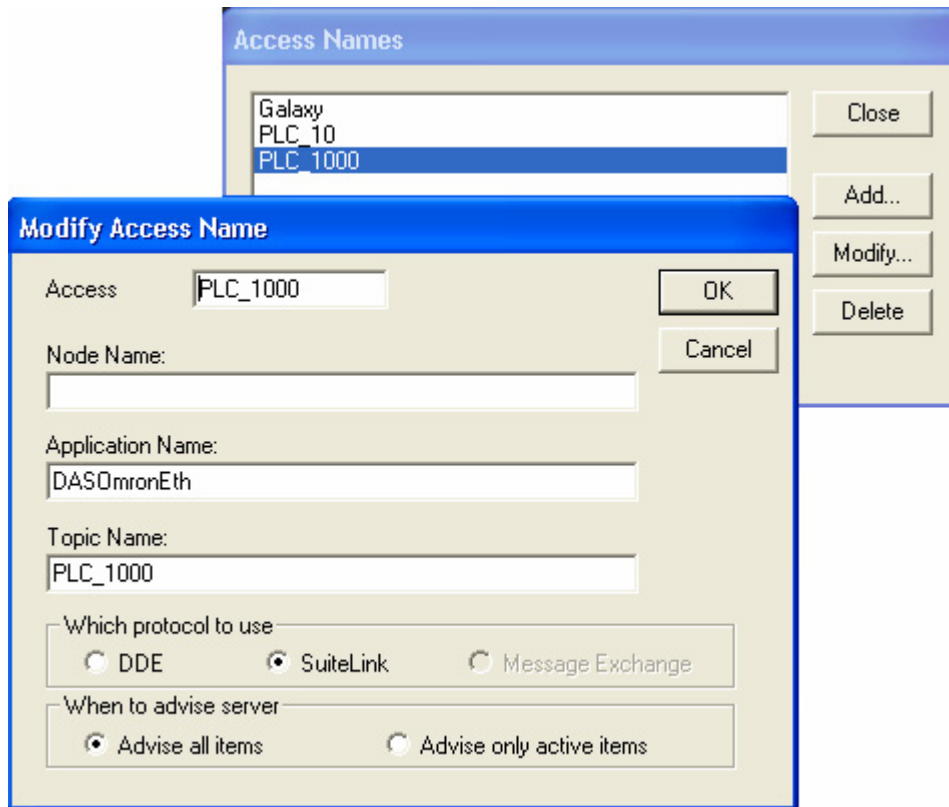
KUVIO 24. Laiteryhmät ja aliakset

Viittaaminen InTouchista FINS gatewayn aliaksiin

Jotta valvomosta voidaan viitata palvelinohjelmiston aliaksiin, täytyy sinne luoda palvelinohjelmiston laiteryhmiä vastaavat saantinimet (*access names*) (ks. kuvio 25).

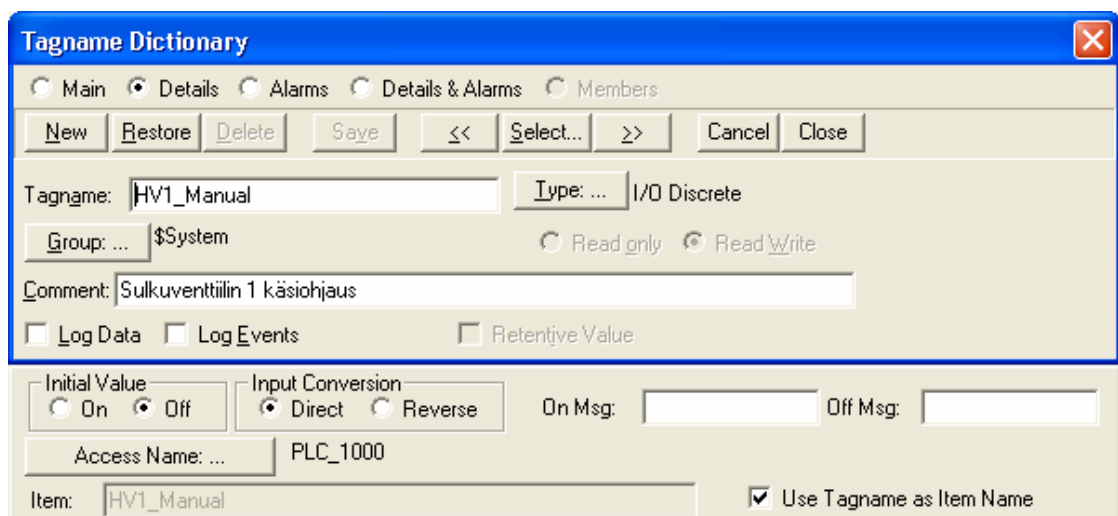
Saantinimiä käytetään InTouchin sisäisesti viitattaessa palvelinohjelmiston aliaksiin.

Saantinimet nimettiin selvyuden vuoksi samoiksi aliaisten kanssa. Sovelluksen nimeksi (*Application name*) asetettiin DASOmronEth, joka on palvelinohjelmiston Windows-palvelun nimi. Aiheen (*Topic*) täytyy olla täsmälleen sama kuin palvelinohjelmiston alias. Sekä PLC_10:n että PLC_1000:n viestiprotokollana käytettiin Wonderwaren SuiteLinkiä.



KUVIO 25. InTouchin saantinimien konfigurointi

Saantinimi valitaan jokaisen valvomo-objektin luomisen yhteydessä (ks. kuvio 26). Tagien nimeämisessä on käytetty edeltä tuttua logiikkaa, eli nimet vastaavat palvelinohjelmiston aliaksia.



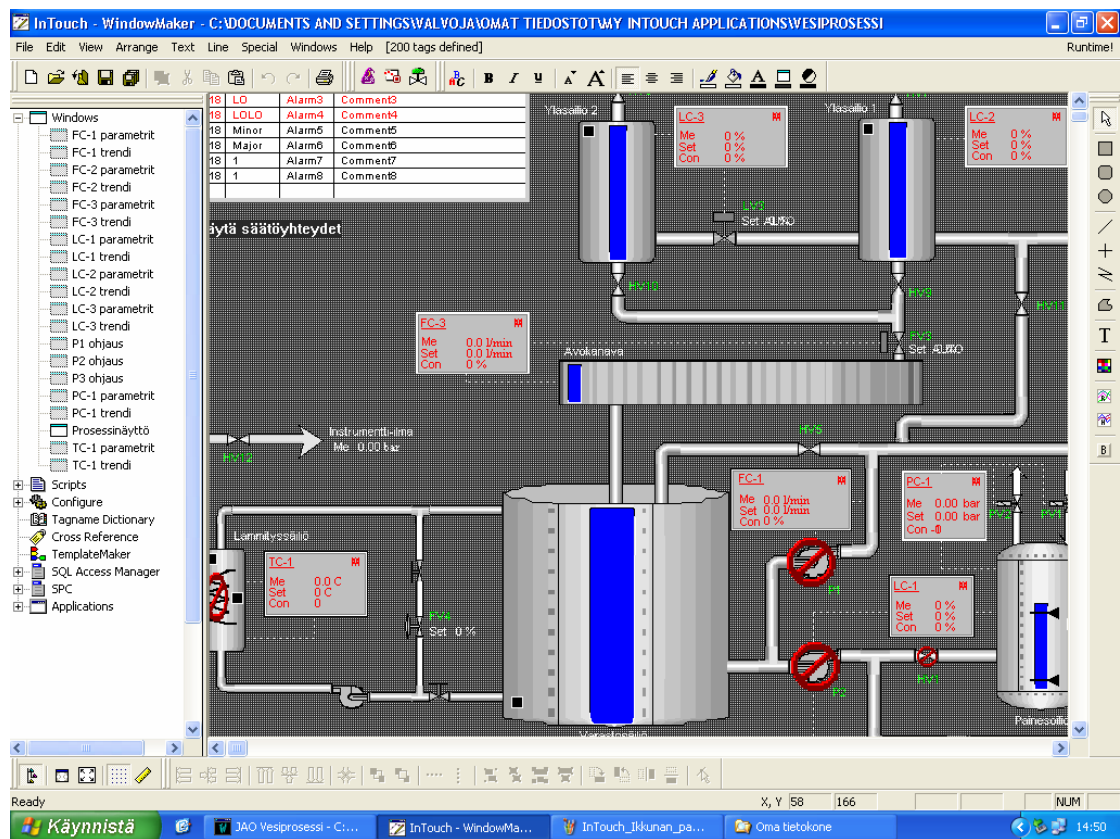
KUVIO 26. Tagin määrittämien InTouchissa.

6.3 Esimerkkejä vesiprosessin valvomosovelluksesta

Tässä luvussa käydään läpi WindowMakerin perustoimintoja ja esitellään skriptien, prosessidatan tallennuksen, hälytysten ja trendien käyttöä vesiprosessin valvomossa.

6.3.1 WindowMakerin perustoiminnot

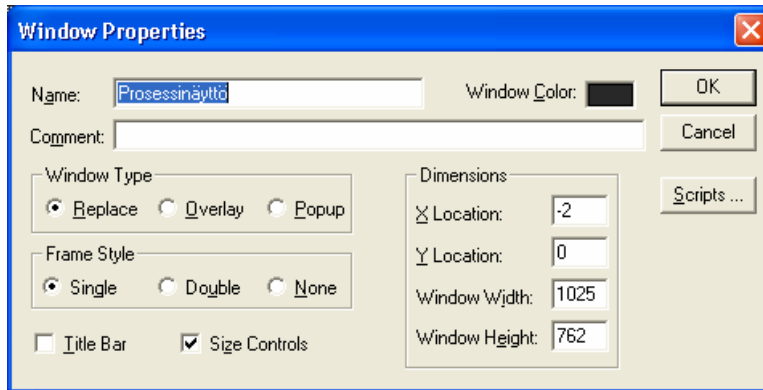
Kuviossa 27 on kuvaruutukaappaus WindowMakerista, joka on valikkoineen ja painikkeineen hyvin tyyppillinen Windows-sovellus. Kuvion vasemmassa laidassa on selainikkuna, jossa avoinna olevan sovelluksen ominaisuudet esitetään puumaisena rakenteena. Selaimen kautta luodaan ikkunat, skriptit ja tagit, konfiguroidaan WindowViewer, datan tallennus, hälytykset jne.



KUVIO 27. WindowMaker -kehitysympäristö

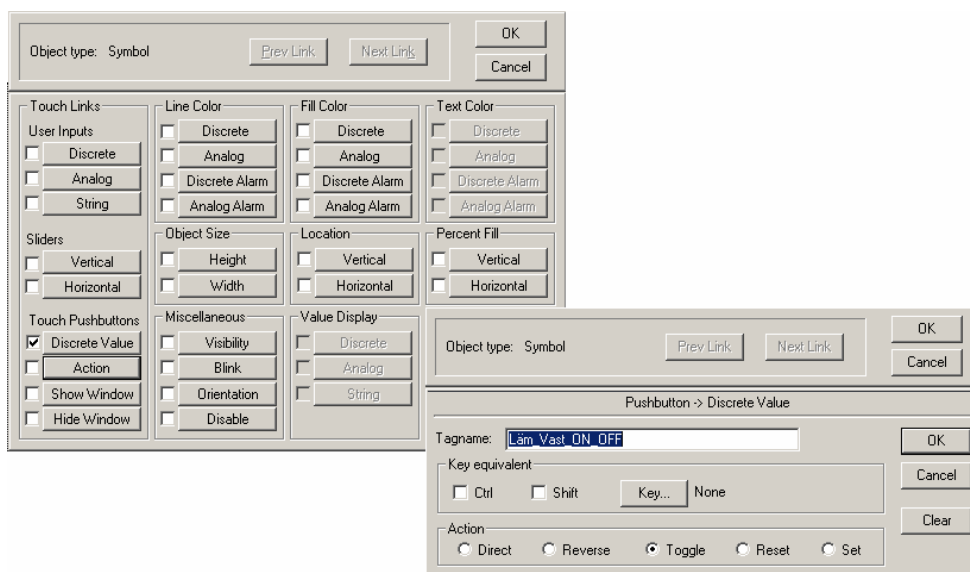
Valvomosovellus rakennetaan ikkunoista, joita vesiprosessin valvomossa on 20 kappaletta. Ikkunan luomisen yhteydessä valitaan ikkunan ja kehyksen tyyppi, ikkunan

koko, taustaväri ja sijainti näytöllä sekä se, onko ikkunalla otsikkopalkki ja voiko sen kokoa muuttaa (ks. kuvio 28).



KUVIO 28. Ikkunan ominaisuudet

Vesiprosessin valvomossa kaikki objektit haettiin symbolikirjastosta (*Symbol Factory*), muokattiin tarvittaessa ja määriteltiin ominaisuudet. Kuviossa 29 on esimerkkinä lämmitysvastuksen kuvakkeelle määritetty diskreetti arvo (*Discrete Value*), joka vaihtaa tilaansa kuvaketta painettaessa (*Toggle*). Myös esimerkiksi säiliöiden pylväsnäytöt määriteltiin samalla tavoin, sillä erotuksella, että diskreetin arvon sijaan käytettiin prosentuaalista täyttöä (*Percent Fill*). Samat määrittelyt voi tehdä mille tahansa piirto-työkalulla luodulle muodolle (ellipsi, neliö, viiva jne.).



KUVIO 29. Objektin ominaisuuksien määrittäminen

6.3.2 Skriptien käyttö

InTouchissa on käytössä oma skriptieditori, jolla voi luoda erityyppisiä skriptejä. Tyyppillä tarkoitetaan tässä yhteydessä erilaisia herätteitä, jolla skripti suoritetaan. Skripti voidaan määrittää suoritettavaksi esimerkiksi kerran painettaessa kuvaketta tai tagin arvon perusteella. Toinen vaihtoehto on määrittää skriptille suoritusväli.

I/ O-serverin uudelleenkäynnistys

Koska Klinkmannin I/ O-palvelinohjelmistosta on käytössä yhden tunnin kerrallaan toimiva arviointiversio, tehtiin valvomoon skripti jolla serverin Windows-palvelu uudelleenkäynnistetään tunnin välein.

Valvomo-PC:n käynnistyksen yhteydessä suoritetaan seuraava MS-DOS - komentotiedosto, jolla I/ O palvelinohjelmiston Windows-palvelu käynnistetään:

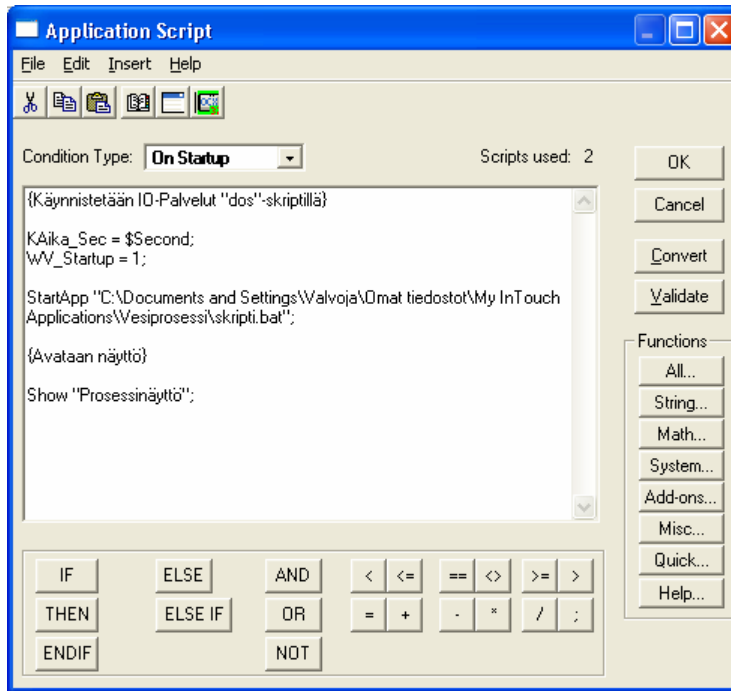
```
@echo off
```

```
:: mennään polkuun, josta käytettävät ohjelmat (sc ja ping) löytyvät  
cd "C:\Documents and Settings\Valvoja\Omat tiedostot\My InTouch Applications\Vesiprosessi"
```

```
:: käynnistetään DA Serveri  
sc start DASOmronEth
```

Skriptissä käytetään komentokehotteen sisäistä käskyä sc (*service control*), jolla serverin palvelu käynnistetään.

Kun valvomo käynnistetään, suorittaa InTouch kuvion 30 mukaisen skriptin. Sen alussa kopioidaan käynnistyshetken sekunnin (0—59) sisältävän *\$Second*-muuttujan arvo, muuttujaan *KAika_Sec*. Sitä käytetään myöhemmin suoritusehtona, kuten myös muuttujaa *WV_Startup*, joka asetetaan ykköseksi. Seuraavaksi suoritetaan *StartApp*-funktiolla toinen DOS-komentotiedosto (ks. seuraava sivu) ja avataan valvomon päänäyttö.



KUVIO 30. Valvomon käynnistyksen yhteydessä suoritettava skripti

Skriptin kutsuma komentotiedosto sammuttaa I/ O-serverin palvelun ja käynnistää sen uudelleen:

```
@echo off
echo *****
echo * KAYNNISTETAAN IO-SERVERI...ODOTA HETKI. *
echo * STARTING IO-SERVER...PLEASE WAIT.
echo *
echo *****

:: mennään polkuun, josta käytettävät ohjelmat (sc ja ping) löytyvät
cd "C:\Documents and Settings\Valvoja\Omat tiedostot\My InTouch Applications\Vesiprosessi"

:: pysäytetään DA Serveri
sc stop DASOmronEth

::viive saadaan pingaamalla olematonta ip:tä 5 = 10 000ms*5 = 50
000ms = 5s
PING 1.1.1.1 -n 5 -w 1000 >NUL

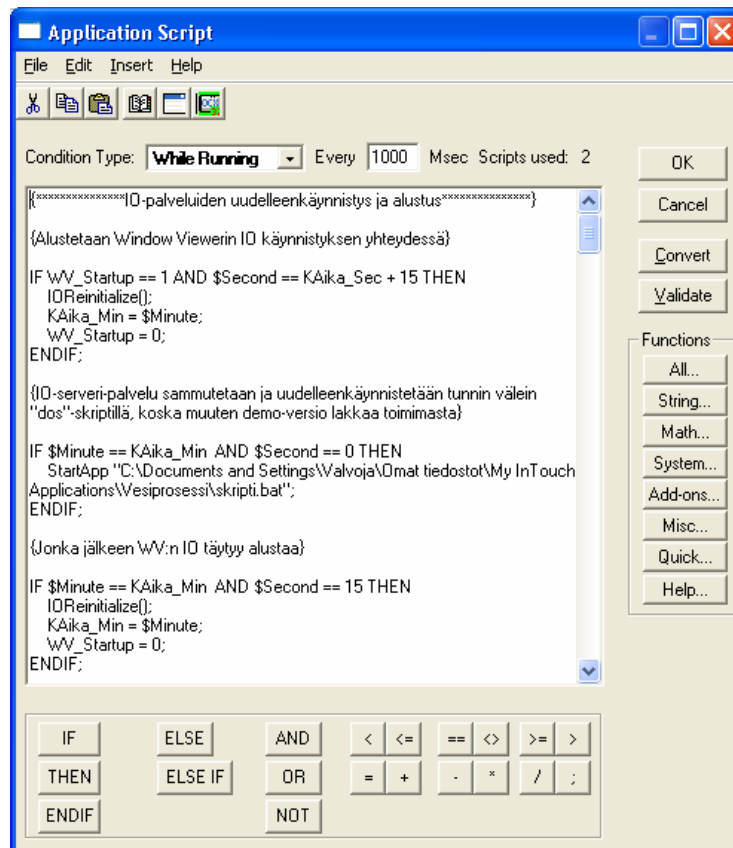
:: käynnistetään DA Serveri
sc start DASOmronEth

::viive saadaan pingaamalla olematonta ip:tä 15 = 10 000ms*15 = 150
000ms = 15s
```

PING 1.1.1.1 -n 15 -w 1000 >NUL

Skriptissä käytetään samaa komentokehoteen `sc`-käskyä, mitä käytetään PC:n käynnistyksen yhteydessä suoritettavassa komentotiedostossa. Käskyllä serverin palvelu ensin pysäytetään (`sc stop`) ja sitten käynnistetään uudelleen (`sc start`). Ennen käynnistystä olevalla ping-komennolla luodaan viiden sekunnin viive, jotta palvelu ehtii sammua. Palvelun käynnistyksen jälkeen oleva viive puolestaan antaa InTouchin I/O:lle aikaa uudelleenalustua.

Valvomon ollessa auki, suorittaa se yhden sekunnin välein kuvion 31 mukaista skriptiä.



KUVIO 31. I/O-serverin uudelleenkäynnistykseen käytettävä skripti

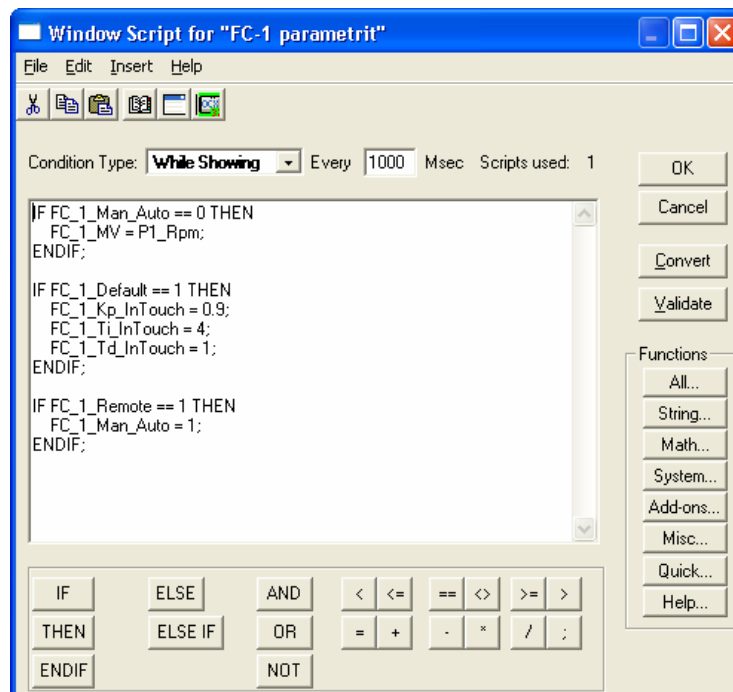
Skriptin ensimmäinen IF-lause suoritetaan vain kerran valvomon käynnistyksen jälkeen. Suoritusehtoina on kuvion 30 skriptillä asetettu `WV_Startup` ja ajanhetki, jolloin PC:n kellonajan sekunti on sama kuin `Kaika_Sec + 15`. Ehdon toteutuessa, 15 sekun-

tia käynnistyksen jälkeen, alustetaan InTouchin I/ O *IOReinitialize()*-käskyllä. Ennen IF-lauseesta poistumista otetaan vielä kellonajan minuutti (0—59) talteen muuttujaan *KAika_Min* ja asetetaan *WV_Startup* nollassi, jotta ensimmäistä IF-lausetta ei suoritettaisi uudestaan. Toinen IF-lause suorittaa **shivulla 54** listatun komentotiedoston aina tunnin välein, jonka jälkeen kolmas IF-lause alustaa InTouchin I/ O:n.

Samassa skriptissä on edempänä toteutettu myös säädinparametrien tarkistus ja kirjoitus logiikalle sekä trendeissä käytettävien mittausten muunnos prosenteiksi. Skriptissä kirjoitetaan ja luetaan logiikan I/ O:ta FINS gatewayn välityksellä, minkä vuoksi sen suoritusvälin täytyy olla sama kuin kuviossa 24 määritetyillä laiteryhmillä. Jos näin ei ole, ei palvelinohjelmisto ehdi suorittaa skriptin pyyntöjä ja vasteet kasvavat useisiin kymmeneen sekunteihin.

Säätimen toimintojen hallinta

Toinen vesiprosessin valvomossa paljon käytetty skriptityyppi on ikkunan auki ollessa suoritettava *Window Script*. Esimerkiksi kaikissa säätimien operointi-ikkunoissa on käytössä kuvion 32 kaltainen, yhden sekunnin välein suoritettava skripti.

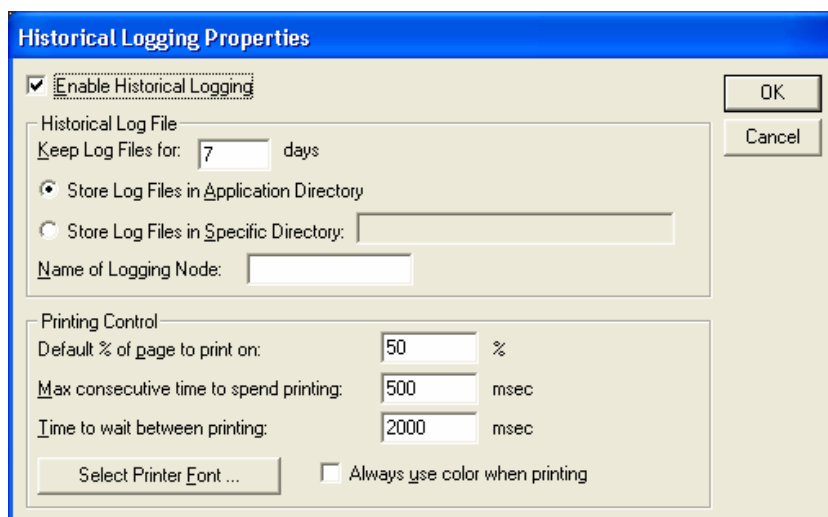


KUVIO 32. Ikkunaskripti

Skriptin ensimmäisellä IF-lauseella kopioidaan käsin aseteltu pumpun 1 pyörimisnopeus (PI_Rpm) virtaussäätimen FC-1 ohjaukseksi (FC_I_MV), jos säädin on manuaalilla ($FC_I_Man_Auto == 0$). Toinen IF-lause asettaa säädinparametrit oletuksiksi, painettaessa sille varattua painiketta ja kolmas asettaa säätöpiirin automaattitilaan valittaessa suhdesäätö ($FC_I_Remote == 1$).

6.3.3 Prosessidatan tallennus tiedostoon

Vesiprosessin valvomo tallentaa valittujen prosessimittausten arvoja historiatiedostoon. Datan tallennus konfiguroidaan *Historical Logging Properties* -ikkunassa (ks. kuvio 33). Vesiprosessin valvomo on konfiguroitu säilyttämään tiedostot seitsemän päivän ajan, jonka jälkeen vanhin tiedosto poistetaan.



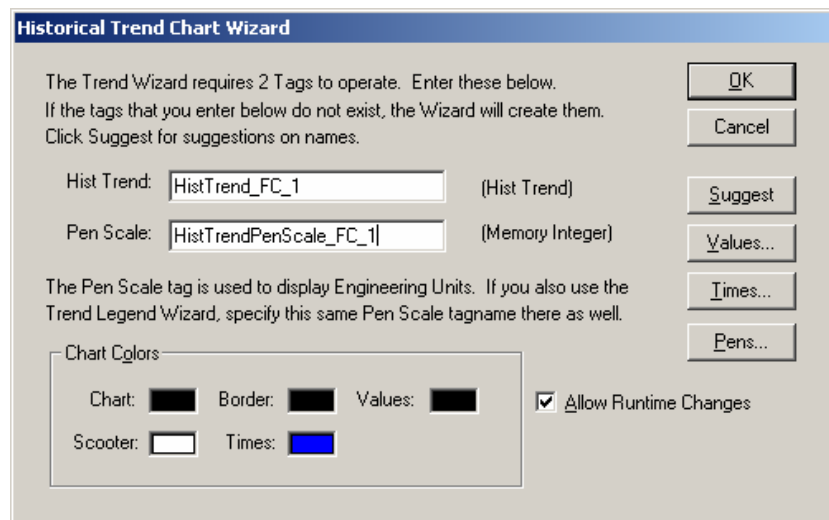
KUVIO 33. Prosessidatan tallennuksen asetteluikkuna

Kun datan tallennus on otettu käyttöön ja valitaan tagin luomisen yhteydessä *Log Data* -valintaruutu (ks. kuvio 36), niin kyseisen tagin arvot tallentuvat tiedostoon. *Log Deadband* -kenttään kirjoitetaan tallennukseen vaadittava muutos. Tulostuksen asetuksia ei määritelly, koska valvomoasemaan ei ole liitetty tulostinta.

6.3.4 Trendit

Kaikille säätöpiireille tehtiin oma trendi, mm. virittämisen helpottamiseksi ja säätimen suorituskyvyn seuraamiseksi. Trendeistä voi käyttää myös apuna PID-säätimen toi-

minnan opiskelussa. Valvomossa käytettävät trendit lukevat näyttämiensä kuvaajien datan tiedostosta. Ne käyttävät lähteenään edellisessä luvussa määritettyä prosessidatan historiatiedostoa. Trendien luominen on erittäin helppoa valmista objektia käyttämällä. Parametrisointi-ikkunaan täytyy määritellä ainoastaan kaksi tagia itse trendille (ks. kuvio 34) ja lisäksi valita *Pens*-painikkeen takaa trendiin piirrettävät tagit.



KUVIO 34. Trendin parametrisointi-ikkuna

Trendeihin luotiin aktiiviset selitteet, jotka näyttävät trendi-ikkunan sarkainten osoittamat prosessidatan arvot sekä trendin panorointi-/ zoomaus-painikkeet (ks. kuvio 35). Myös nämä tehtiin valmiita objekteja käyttäen. Lisäksi tehtiin painike trendin päivityksen hallintaan, jolla trendin voi pysäyttää jos esimerkiksi haluaa tutkia sen arvoja tarkemmin.



KUVIO 35. Painesäiliön pinnankorkeudensäätöpiirin LC-1 trendi

6.3.5 Skaalausten ja hälytysten konfigurointi

Kuten luvussa 5.3.3 Avokanavan virtausmittaus ja virtauksensäätö todettiin, ei pinnankorkeusmittauksia skaalattu ohjelmoitavassa logiikassa, vaan valvomossa. Näin tehtiin, koska logiikan skaalausfunktiot eivät pyöristä lukuja, jolloin syntyy virhettä 0,1—0,9 -yksikköä. Tämä näkyy esimerkiksi säätimien trendeissä siten että mittaus jää yhden yksikön asetusarvon alle. InTouchin skaalaus sen sijaan käyttää yleisiä pyöristyssääntöjä, jolloin syntynyt virhe on enintään 0,5-yksikköä.

Skaalaus määritellään tagin luomisen yhteydessä syöttämällä raakadatan lukualue *Min Raw/ Max Raw* -kenttiin ja skaalatun datan lukualueet *MinEU/ MaxEU* -kenttiin. Kuviossa 36 on esimerkki skaalauksen käytöstä. Siinä painesäiliön pinnankorkeus LT1 on skaalattu analogialähtöyksikön asteikolta 0—6000_{dec}, asteikolle 0—100 %.

The screenshot shows the 'Tagname Dictionary' window with the following configuration:

- Tagname:** LT1_scl
- Type:** I/O Integer
- Group:** \$System
- Access:** Read only
- Comment:** Painesäiliön pinnankorkeus
- Log Data:** checked
- Initial Value:** 0
- Min EU:** 0
- Max EU:** 100
- Deadband:** 0
- Min Raw:** 0
- Max Raw:** 6000
- Eng Units:** %
- Log Deadband:** 0
- Conversion:** Linear
- Access Name:** PLC_1000
- Item:** LT1_scl
- ACK Model:** Condition
- Alarm Comment:** Painesäiliön pinta
- Alarm Value Priority Alarm Inhibitor:**
 - LoLo: 0, 1, ...
 - Low: 0, 1, ...
 - High: 0, 1, ...
 - HiHi: 89, 1, ... (checked)
- % Deviation Target Priority Alarm Inhibitor Deviation Deadband %:**
 - Minor Deviation: 0, 0, 1, ...
 - Major Deviation: 0, 0, 1, ...
- Rate of Change:** 0, % per: Sec, Min (checked), Hr, Priority: 1, Alarm Inhibitor: ...

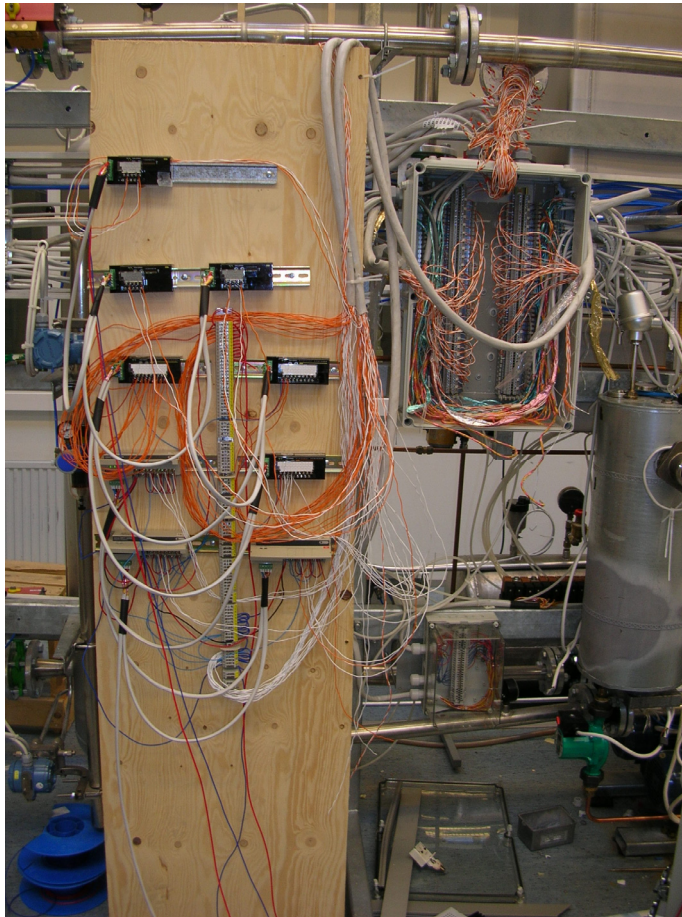
KUVIO 36. Hälytysten määrittäminen

Vesiprosessissa on useita lukituksia (ks. taulukko 3), joiden aktivoituessa täytyy prosessi pysäyttää ja antaa hälytys valvomossa. Hälytyksen voi ottaa käyttöön tagin määrittämisen yhteydessä. Kuviossa 36 on määritelty painesäiliön pinnankorkeudelle LT1 ylärajahälytys, kun sen arvo saavuttaa arvon 89 %. Prioriteetilla voi vaikuttaa hälytyslistaan tulostuvien hälytysten esiintymiseen. Kun hälytys on määritetty, voi sitä käyttää esimerkiksi objektin vilkkumisen ehtona *tagi.Alarm (LT1_scl.Alarm)* muodossa. *.Alarm*-kentän arvo on 1, kun tagi on hälytystilassa.

7 KÄYTTÖÖNOTTO JA TESTAUS

7.1 Ohjelmistotestaus

Koska vesiprosessilla ei ollut muuta käyttöä opinnäytetyön teon aikana, oli testaus mahdollista sulauttaa ohjelmistosuunnitteluun. Näin tehtyjä ratkaisuja päästiin testamaan reaali prosessilla heti alusta pitäen. Testausta varten DeviceNet-noodeille rakennettiin kuvion 37 mukainen kytkentäalusta, koska ristikytkentäkaappia ei ollut vielä kalustettu. Noodeilta signaalit kytkettiin kahdella 24-parisella runkokaapelilla prosessin kenttäkotelolle KK1, josta kaikki prosessin ohjaukset on kytketty.



KUVIO 37. I/ O:n liityntä prosessin kenttäkoteloon KK1 testausvaiheessa.

Logiikkaohjelmointi aloitettiin toteuttamalla yksi kutakin ohjaustyyppiä (DI, DO, AI, AO), jolloin saatiin testaamalla varmistettua oikeat periaatteet ohjausten toteutukselle.

Tämän jälkeen edettiin ohjelmoimalla yksi kokonaisuus kerrallaan, jonka jälkeen kyseinen osa testattiin. Tässä vaiheessa valvomoa ei ollut vielä otettu käyttöön, vaan testaus tehtiin CX-Programmerilla. Kun tarvittavat perustoiminnot oli saatu toteutettua, testattiin loput ohjelmakoodista valvomosta käsin, jolloin valvomosovellus tuli testattua samalla. Kaikki lukitukset testattiin ajamalla prosessi lukitusrajaan, tosin ylipaine- ja ylikuumenemislukitukset testattiin laskemalla lukitusrajat selvästi todellisten alapuolelle.

7.2 Säätöpiirien virittäminen

7.2.1 Yleistä

Kuten luvussa 2.3.2 Virittäminen kerrottiin, käytettiin vesiprosessin PID-säädinten virittämiseen yritys-erehdys ja Lambda Tuning -menetelmiä. Seuraavissa kahdessa luvussa käydään esimerkkien avulla läpi kummankin menetelmän soveltaminen.

Taulukossa 6 on kaikkien PID-säätimien parametrit, viritysalueet ja käytetyt viritysmenetelmät. Kaikkien säädinten virittämisessä oli samat vaatimukset: rauhallinen vaste asetusarvon muutoksiin ja kuormitushäiriöihin, mahdollisimman pieni ylitys ja toimilaitetta säästävä ohjaustapa (ei sahaavaa ohjausta, eikä nopeita ohjauksen muutoksia). Vaatimuksista johtuen pinnankorkeudensäätöpiirien integrointiajat ovat verraten suuria. Viritysalueista sanottakoon, että virtauksensäätöpiirien lineaarisesta käyttäytymisestä johtuen kattavat parametrit lähes koko mittausalueen. Pinnankorkeudensäätöpiirien tapauksessa taas nesteen hydrostaattisen paineen aiheuttama ulosvirtaamaan muuttuminen kaventaa parametrien käyttöaluetta.

TAULUKKO 6. PID-säädinten parametrit, viritysalueet ja käytetyt viritysmenetelmät

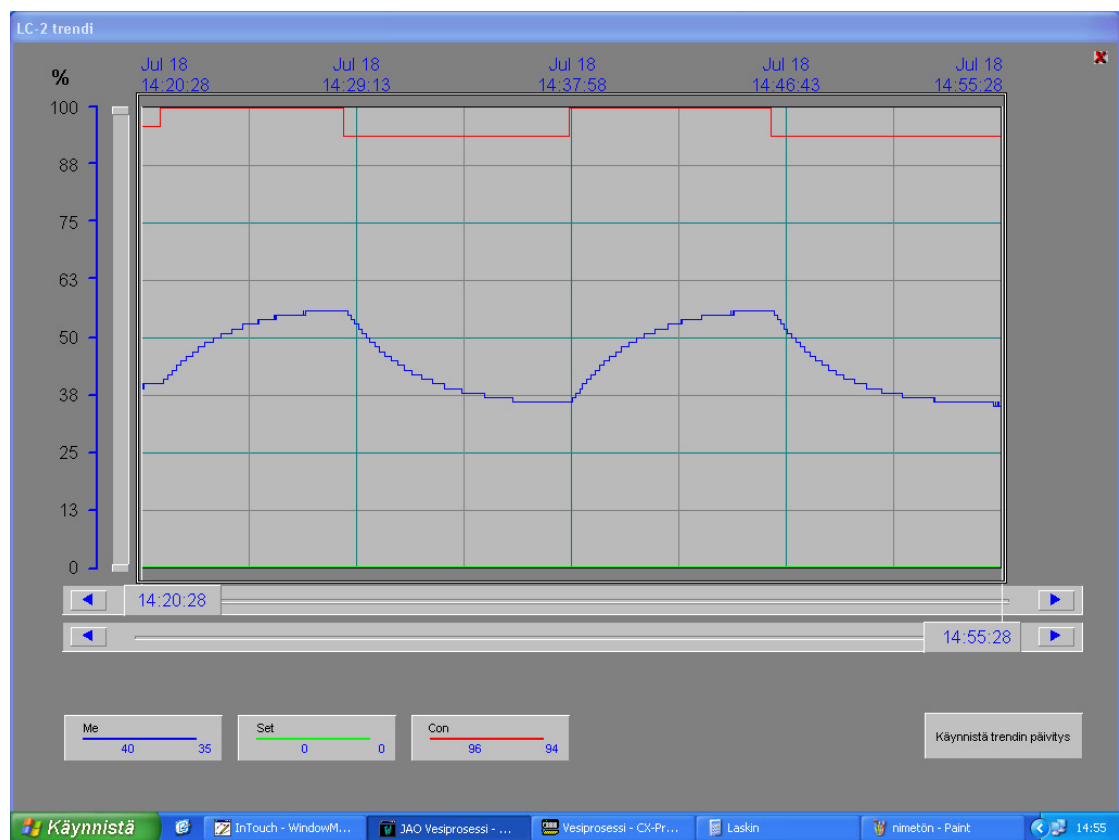
Säätöpiiri	Parametrit	Viritysalue	Viritysmenetelmä
FC-1	$K_p = 0,9$ $T_i = 4,0 \text{ s}$ $T_d = 1,0 \text{ s}$	50—200 l/min	Yritys-erehdys
FC-2	$K_p = 1,2$ $T_i = 3,5 \text{ s}$ $T_d = 0,0 \text{ s}$	50—200 l/min	Yritys-erehdys
FC-3	$K_p = 3,4$ $T_i = 13,0 \text{ s}$ $T_d = 0,0 \text{ s}$	50—200 l/min	Yritys-erehdys
LC-1	$K_p = 2,4$ $T_i = 20,0 \text{ s}$ $T_d = 0,0 \text{ s}$	60—80 %	Lambda Tuning
LC-2	$K_p = 8,0$ $T_i = 30,0 \text{ s}$ $T_d = 0,0 \text{ s}$	35—50 %	Lambda Tuning
LC-3	$K_p = 10,0$ $T_i = 25,0 \text{ s}$ $T_d = 0,0 \text{ s}$	40—60 %	Lambda Tuning

7.2.2 Pumpun 1 jälkeisen virtauksensäätöpiirin FC-1 virittäminen

Yritys-erehdys -menetelmällä virittäminen aloitettiin asettamalla säädin P-säätimeksi ja kasvattamalla K_p :ta kunnes prosessin vaste muuttui epästabiiliksi. Tämän jälkeen K_p :ta pienennettiin arvoon, jolla vaste saatiin stabiiliksi ja pysyvän tilan säätöpoikkeama oli mahdollisimman pieni. Seuraavaksi säätöpiiri asetettiin PI-säätimeksi ja T_i :lle haettiin arvo, jolla säätöpoikkeama saatiin poistumaan, aikavakion kuitenkin kasvattaen kohtuuttoman suureksi. FC-1:ssä otettiin lisäksi käyttöön D-termi, jolla piiristä saatiin hivenen nopeampi, stabiilisuuden kärsimättä. FC-1:n suorituskyvyn arviointi on esitetty luvussa 7.2.4 Säätöpiirien suorituskyvyn arviointi.

7.2.3 Yläsäiliön 2 pinnankorkeudensäätöpiirin LC-2 virittäminen

Pinnankorkeudensäätöpiirit viritettiin siis Lambda-menetelmällä. Säädinparametrien laskemiseksi säätöpiiri asetettiin manuaalille ja säätimen ohjaukseen tehtiin sarja askelmaisia muutoksia (ks. kuvio 38). Tekemällä useita muutoksia erisuuntaan voidaan mahdollisten prosessihäiriöiden vaikutukset rajata pois parametrien laskentavaiheessa. Ohjaukseen tehtiin muutoksia välillä 94—100 % (punainen kuvaaja). Muutoksen jälkeen prosessin vasteen (säiliön pinnankorkeus, sininen kuvaaja) annettiin asettua tasapainotilaan ja muutokseen kulunut aika kirjattiin kuvion 39 mukaiseen taulukkoon.



KUVIO 38. LC-2:n virittämiseksi tehty koesarja

Kuvion 39 taulukon soluihin on asetettu kaavan 2.9 (taulukossa 3) laskutoimitukset, jolloin taulukko laskee K_p :n ja T_1 :n arvot. Laskutoimituksiin tarvittavat arvot saadaan prosessikokeesta. Tarvittavat arvot ovat venttiilin asennot (LV 2 POS 1/ LV 2 POS 2) ja asentoa vastaavien pinnankorkeuksien (L1/ L2) arvot sekä ohjauksen muutoksen alku- ja loppuhetki. Saatuja säädinparametreja hienoviritettiin vielä säätimen testauksen yhteydessä (ks. luku 7.2.4 Säätöpiirien suorituskyvyn arviointi).

	LV2 POS 1 [%]	LV2 POS 2 [%]	L1	L2	delta t [s]	G	delta G	LV2 POS	Kpros	ABS(Kpros)
1	94	100	40	56	284	0,05634		-6		
2	100	94	56	36	413	0,048426	0,104764	6	0,017460696	0,017460696
3	94	100	36	56	397	0,05038	-0,0988	-6	0,016467331	0,016467331
4	100	94	56	36	407	0,04914	0,099518	6	0,016586314	0,016586314
Kpros (valitaan pienin)						0,016467		Kp	8,096839506	
Valitaan Lambda						15 s		Ti	30 s	
jolloin								Kokeellisesti "hienoviritetyt"		
Maksimiylitys pinnassa SP:n muutoksen jälkeen						30 s		Kp	8	
Asetusarvo saavutettu SP:n muutoksessa						90 s		Ti	30 s	
Maksimiylitys pinnassa virtaushäiriön jälkeen						15 s				
Asetusarvo saavutettu virtaushäiriön jälkeen						90 s				
Delta(t):n laskenta										
Askelmaisen muutoksen tekohetki					98% uudesta tasapainotilasta saavutettu				Aika [s]	
	h	min	s	ms	h	min	s	ms		
1	14	21	11	0	14	25	55	0	284	
2	14	28	42	0	14	35	35	0	413	
3	14	37	52	0	14	44	29	0	397	
4	14	46	3	0	14	52	50	0	407	

KUVIO 39. LC-2:n virittämisessä apuna käytetty Excel-taulukko

7.2.4 Säättöpiirien suorituskyvyn arviointi

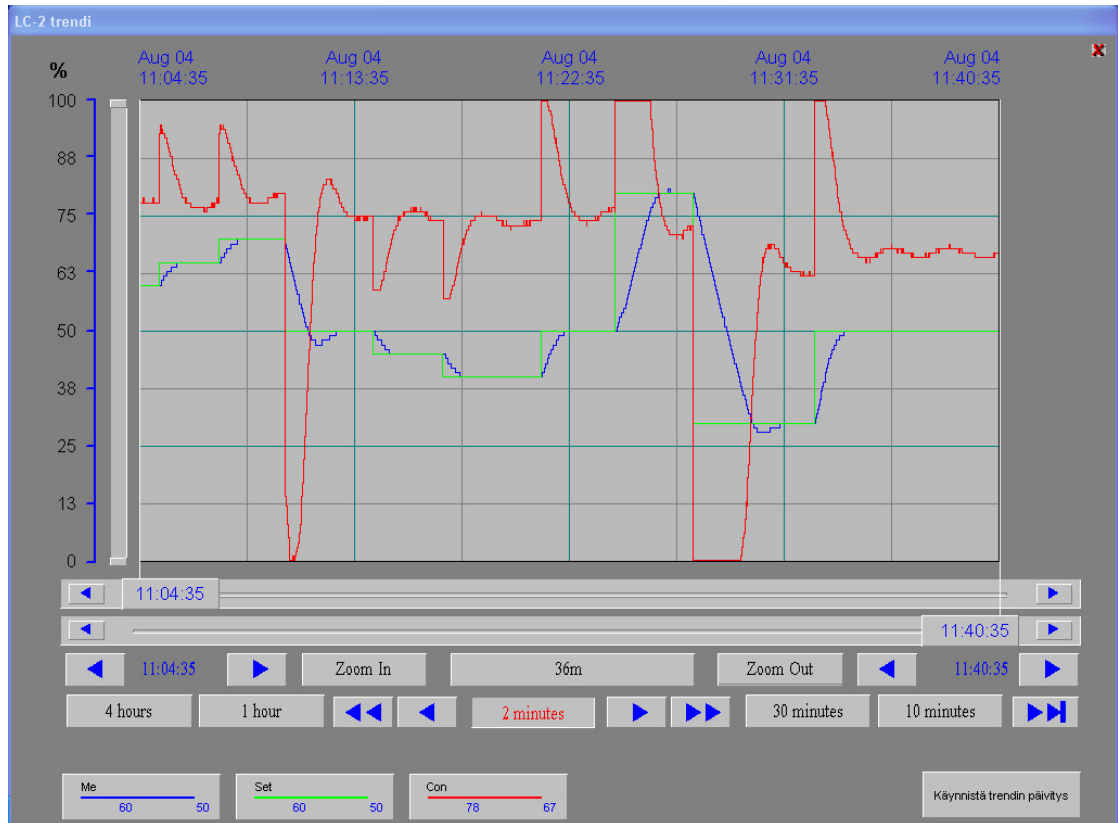
Kaikki säättöpiirit testattiin virityksen jälkeen, minkä yhteydessä niitä hienoviritettiin tarvittaessa. Testeissä säättöpiireille tehtiin asetusrvomutoksia viritysalueen rajoissa ja tutkittiin täyttävätkö vasteet luvussa 7.2.1 Yleistä asetetut vaatimukset. Myös säättöpiirin kyky kompensoida prosessihäiriöitä tutkittiin.

Kuviossa 40 on virtauksensäättöpiirin FC-1 testauksessa käytetty koesarja. Testissä on asetusrvolle (vihreä kuvaaja) tehty erisuuruisia ja suuntaisia muutoksia ja tutkittu vasteen (sininen kuvaaja) ja ohjauksen (punainen kuvaaja) käyttäytymistä. Kuten kuvioista nähdään, ei vasteessa ole suuria ylityksiä, etenkin pienillä asetusrvon muutoksilla. Myös ohjaus on rauhallinen ja asettuu vakioarvioon nopeasti, mittauksen saavutettua asetusrvon. Merkillepantavaa on myös edellä mainittu säättöalueen leveys virtauksensäättöpiireissä – samoilla parametreilla voidaan kattaa lähes koko mittausalue.



KUVIO 40. FC-1:n testauksessa käytetty koesarja

Pinnankorkeudensäätöpiirit testattiin samaan tapaan kuin virtauksensäätöpiirit. Kuten kuvio 41 nähdään ajaa säätöpiiri mittauksen (sininen kuvaaja) rauhallisesti asetusarvoon (vihreä kuvaaja), eikä ylitystä esiinny kuin erittäin suurissa asetusarvon muutoksissa. Ohjaus (punainen kuvaaja) ei käyttäydy kuitenkaan aivan yhtä esimerkillisesti kuin virtauksensäätöpiireissä. Tähän on syynä prosessin hitaus, säätöventtiilin epälineaarisuus ja pumpun aiheuttamat painevaihtelut linjassa. Testissä vettä on ajettu molempien yläsäiliöiden kautta, jolloin nestepinnan tasapainottuminen säiliöiden välillä vie aikansa eikä siihen voida vaikuttaa säätimen parametreilla.



KUVIO 41. LC-2:n testauksessa käytetty koesarja

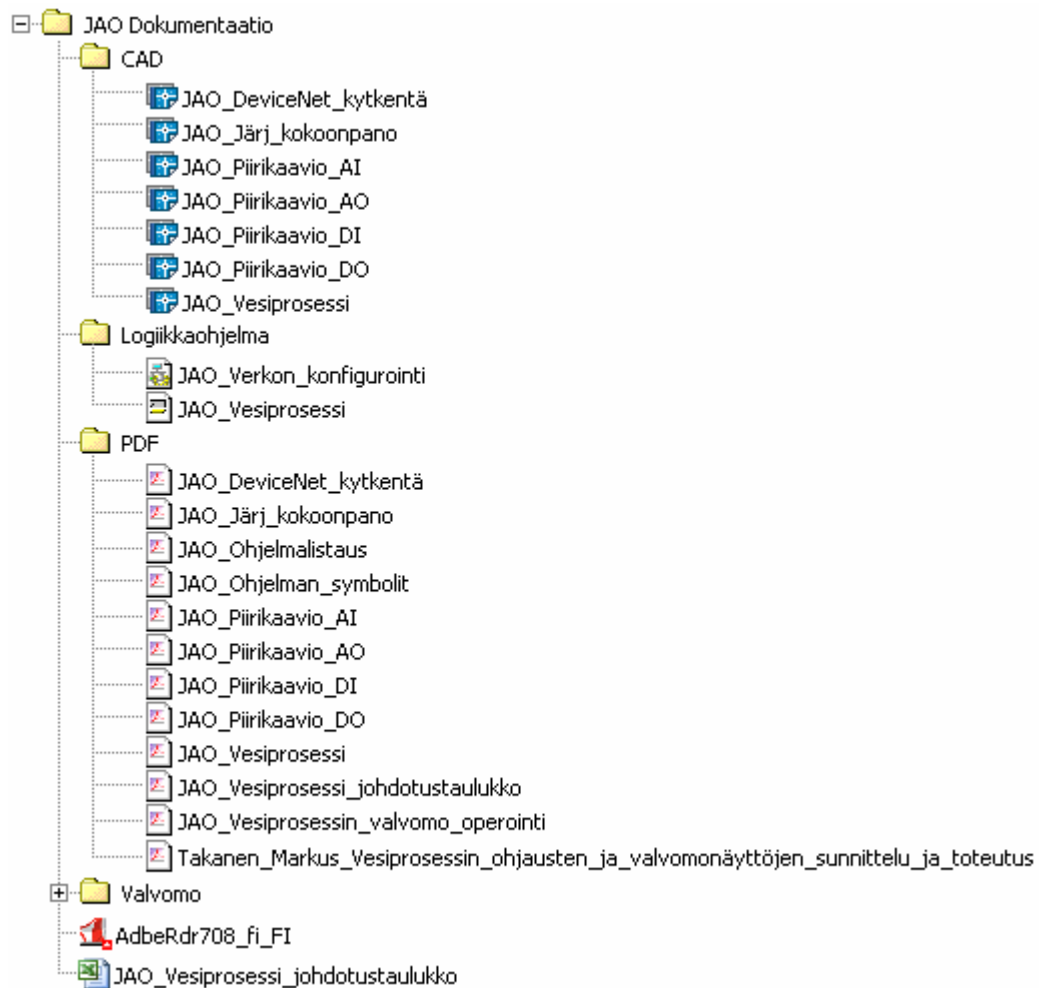
8 DOKUMENTAATIO

Opinnäytetyöhön liittyvä dokumentaatio toimitettiin tulostettuna ja mappiin koottuna toimeksiantajalle. Lisäksi sama materiaali löytyy opinnäytteen takakanteen liitetyltä CD-ROM -levyltä. Taulukkoon 7 on koottu kaikki toimeksiantajalle toimitettu dokumentaatio, tiedostomuodot ja käytetyt ohjelmistoversiot. Materiaali on tallennettu sekä alkuperäisessä, että pdf-muodossa. Lisäksi CD-ROM -levyllä on Adobe Acrobat Reader 7.08 pdf-tiedostojen katselemiseen.

TAULUKKO 7. Toimeksiantajalle toimitettu projektin dokumentaatio

Dokumentti	Tiedostonimi ja -muoto	Ohjelmistoversio
DeviceNet-verkon kytkentä	JAO_DeviceNet_kytkentä.dwg	AutoCAD 2000/ LT 2000
	JAO_DeviceNet_kytkentä.pdf	Acrobat Reader 5.0
Ohjausjärjestelmän kokoontulo	JAO_Järj_kokoontulo.dwg	AutoCAD 2000/ LT 2000
	JAO_Järj_kokoontulo.pdf	Acrobat Reader 5.0
Analogisen tuloyksi- kön kytk. piirikaavio	JAO_Piirikaavio_AI.dwg	AutoCAD 2000/ LT 2000
	JAO_Piirikaavio_AI.pdf	Acrobat Reader 5.0
Analogisen lähtöyksi- kön kytk. piirikaavio	JAO_Piirikaavio_AO.dwg	AutoCAD 2000/ LT 2000
	JAO_Piirikaavio_AO.pdf	Acrobat Reader 5.0
Digitaalisen tuloyksi- kön kytk. piirikaavio	JAO_Piirikaavio_DI.dwg	AutoCAD 2000/ LT 2000
	JAO_Piirikaavio_DI.pdf	Acrobat Reader 5.0
Digitaalisen lähtöyksi- kön kytk. piirikaavio	JAO_Piirikaavio_DO.dwg	AutoCAD 2000/ LT 2000
	JAO_Piirikaavio_DO.pdf	Acrobat Reader 5.0
Prosessin PI-kaavio	JAO_Vesiprosessi.dwg	AutoCAD 2000/ LT 2000
	JAO_Vesiprosessi.pdf	Acrobat Reader 5.0
Prosessin johdotustau- lukot	JAO_Vesiprosessi_johdotustau- lukko.xls	Excel 2003
	JAO_Vesiprosessi_johdotustau- lukko.pdf	Acrobat Reader 5.0
Valvomo- operointiohje	JAO_Vesiprosessin_valvomo_ operointi.pdf	Acrobat Reader 5.0
Logiikkaohjelmalista- us	Vesiprosessi.cxp	CX-Programmer 6.1
	JAO_Ohjelmalistaus.pdf	Acrobat Reader 5.0
Logiikkaohjelman symbolit	JAO_Ohjelman_symbolit.pdf	Acrobat Reader 5.0
DeviceNet-verkon konfigurointitiedosto	Verkon_konfigurointi.cin	CX-Integrator 1.1
Valvomosovelluksen tiedostot	Valvomo (tiedostokansio)	InTouch 9.0
Opinnäytetyö	Takanen_Markus...pdf	Acrobat Reader 5.0

Kuviossa 42 on dokumentaatio-CD-ROM -levyn tiedostorakenne. Tiedostot on jaettu omiin kansioihinsa tiedostomuodon perusteella ja ne on pyritty nimeämään mahdollisimman kuvaavasti.



KUVIO 42. Dokumentaatio-CD-ROM -levyn tiedostorakenne

9 TULOSTEN ARVIOINTI

9.1 Tekoprosessi

Opinnäytetyö aloitettiin toukokuun loppupuolella tutustumalla kohdeprosessiin ja määrittelemällä toimeksiantajan kanssa haluttu toiminnallisuus. Tämän jälkeen selvitettiin tarvittavien DeviceNet-noodien tyypit ja määrä sekä päätettiin valvomon ja logiikan välinen kommunikointitekniikka. Selvitysten perusteella tilattiin Ethernet-yksikkö ja yksi digitaalinen lähtönoodi. Seuraavaksi rakennettiin DeviceNet-verkko ja kytkettiin ohjausjärjestelmä prosessiin, minkä jälkeen päästiin konfiguroimaan käytävä laitteisto.

Logiikkaohjelmointi päästiin aloittamaan viikolla 24 ja perustoiminnot oli ohjelmoitu viikon 25 loppuun mennessä. Tämän jälkeen aloitettiin valvomo-ohjelmointi ja se yhdessä logiikkaohjelmoinnin viimeistelyn kanssa valmistui viikolla 28. Viikko 29 käytettiin säätimien virittämiseen ja testaamiseen.

Suurimmat ongelmat projektin aikana ajoittuivat alkuvaiheeseen, jolloin tuli kerralla paljon uusia asioita selvitettäväksi. Esimerkiksi tietotaitoni Omronin logiikoiden ohjelmoinnista rajoittui kahteen laboraatiotyöhön eikä minulla ollut käytännössä mitään tietoa DeviceNetistä. Nämä asiat selvisivät kuitenkin Omronin teknisiä dokumentteja lukemalla ja käytännössä kokeilemalla. InTouch kuitenkin pakotti tarttumaan muutama kerran puhelimeen ja kysymään neuvoa teknisestä tuesta. Ongelmiin löytyi kuitenkin aina ratkaisu kiitettävän nopeasti.

Tavoitteenani oli saada opinnäytetyö valmiiksi hyvissä ajoin ennen syyskuuta, eli projektin läpiviemiseen oli varattu aikaa noin kolme ja puoli kuukautta. Käytännön toteutus valmistui heinäkuun lopussa ja raportti elokuun ensimmäisellä viikolla, joten aikaa työhön kului 11 viikkoa. Työskentelin pääsääntöisesti noin kahdeksan tuntia päivässä, viitenä päivänä viikossa, eli työtunneiksi muutettuna aikaa kului noin 440 tuntia. Arvioitaessa aiheen laajuutta, näyttäisi se siis ainakin työtuntien valossa olleen varsin sopiva, verrattaessa opinnäytetyöstä saatavaan 15 opintopisteeseen vaadittavaan noin 400 tunnin työmäärään.

9.2 Itsearviointi

Opinnäytetyön tavoitteena oli toteuttaa vesiprosessin ohjaus ja säätöpiirit Omronin ohjelmoitavalla logiikalla ja PC-valvomo InTouchilla. Toteutus pitää sisällään samat toiminnallisuudet kuin ABB:n Advantilla toteutettu prosessiohjaus. Opinnäytteen lisäksi kaikki työn alussa määritellyt dokumentit laadittiin ja toimitettiin toimeksiantajalle erillisessä mapissa. Työlle asetetut tavoitteet saavutettiin.

Opinnäytetyön aihe oli erittäin mielenkiintoinen ja haastava. Työ piti sisällään ohjelmistosuunnittelua ja -testausta kahdessa eri ympäristössä (Omron ja InTouch), piiri-kaaviosuunnittelua, laitevalintaa, asennustehtäviä testilaitteiston kytkemisen muodossa sekä prosessi- ja säätötekniikkaa. Opinnäytettä voikin hyvin pitää pienenä automaatioprojektina ja uskon, että sen tekeminen antoi hyvät valmiudet toimia tulevaisuudessa automaatiosuunnittelijan tehtävissä.

Keskeiseen asemaan arvioinnin kannalta nousee työn itsenäisyys. Toimeksiantajan edustajan kesäloman vuoksi vein projektin läpi täysin itsenäisesti. Ongelmatilanteissa turvauduttiin laitetoimittajien tekniseen tukeen, tosin tällaista tarvetta ilmeni ainoastaan kolmesti. Ongelmien vähäisyyttä selittää osaltaan huolellinen dokumentointi heti projektin alusta lähtien. Vaikken ajankohdasta johtuen voinut tukeutua toimeksiantajaan, oli ajankohta ehdottomasti paras mahdollinen projektin etenemisen ja oppimisen kannalta. Muuna vuodenaikana en olisi voinut tehdä testausta nykyisessä mittakaavassa, koska prosessia tarvitaan opetuskäytössä lukuvuoden aikana.

Kaiken kaikkiaan suoriuduin opinnäytetyön tekemisestä täsmälleen suunnitelmien mukaan. Työn alussa laadittu karkea aikataulu piti hyvin paikkansa ja lopputulos on mielestäni erittäin onnistunut. Ainoa asia joka jäi harmittamaan, oli se, ettei käytetty ohjelmoitava logiikka tukenut toimilohko-ohjelmointia. Tätä ominaisuutta käyttämällä olisi esimerkiksi säätöpiirien ohjelmointi sujunut puolessa siitä ajasta mitä siihen nyt kului.

9.3 Kehitysehdotuksia

Lopuksi vielä joitakin työn tekovaiheessa esille tulleita parannusehdotuksia. Mitään välttämättömiä kehityskohteita en prosessissa havainnut, koska opinnäytetyö itsessään voidaan lukea sellaiseksi. Seuraavassa kuitenkin muutamia ideoita:

- suuntaventtiili lämmitysprosessiin
- taajuusmuuttajilta pyörimisnopeus- ja syöttötaajuustieto valvomoon
- säätöpiirien kehittäminen
 - gain scheduling (vahvistuksen taulukointi)
 - myötäkylkentä

Lämmitysprosessin suuntaventtiili estäisi lämmityssäiliön tyhjentymisen pumpun pysähtyessä, jolloin prosessin käynnistäminen nopeutuisi kun ei tarvitsisi odottaa säiliön täyttymistä. Taajuusmuuttajilta saisi helposti tuotua ainakin syöttötaajuustiedon valvomoon. Säätöpiirejä voisi kehittää, ohjausjärjestelmää muuttamatta, lisäämällä esimerkiksi myötäkylkentän pinnankorkeudensäätöihin. Myötäkylkettyinä säätöpiireinä voitaisiin käyttää virtauksensäätöpiirejä, jolloin pinnankorkeudensäätöä saataisiin tarkemmaksi. Gain Schedulingia eli vahvistuksen taulukointia voitaisiin käyttää niin ikään pinnankorkeudensäätöpiireissä, joskin sillä saavutettava hyöty jäisi todennäköisesti melko pieneksi, prosessin vähäisestä epälineaarisuudesta johtuen. Säätöpiirien kehittäminen ei välttämättä muutenkaan palvelisi opetustarkoitusta, koska toisen asteen opetussuunnitelmaan ei säätötekniikan syvälinen opetus kuulu.

LÄHTEET

Ales, R. 2003. DeviceNet overview. [Viitattu 18.5.2006.]

http://www.cpac.washington.edu/NeSSI/21_CPAC_Spring_2003/DeviceNet_OverviewV2.ppt

Co, T. 1999. Autotune (Relay) Tuning Method. [Viitattu 5.6.2006.]

<http://www.chem.mtu.edu/~tbco/cm416/Atune.html>

Fonselius, J. 2006. Vs: Sääntötekninen kysymys. Sähköpostiviesti 25.5.2006. Vastaanottaja M. Takanen.

Halko, P., Härkönen S., Lähteenmäki I. & Välimaa T. 1990. Teollisuuden mittaustekniikka. Perusmittauksia. Helsinki: VAPK-kustannus.

Harju, T. & Marttinen, A. 2000. Sääntöpiirin virityksen perusteet. Espoo: Otamedia.

Jao internet, Tekninen oppilaitos. [Viitattu 18.5.2006.]

<http://www.jao.fi/?depid=11004>

Jyväskylän ammattiopisto. 2005. Vuosijulkaisu. [Viitattu 18.5.2006.]

<http://www.jao.fi/files/20060502081031.pdf>

Kääriäinen, J. 2005. Sääntötekniikka IIA20200 luennot. Luentomoniste. Jyväskylän ammattikorkeakoulu, Informaatioteknologian instituutti.

LMNO Engineering. 1999. V Noch Veir Discharge Calculator and Equations. [Viitattu 10.7.2006.] <http://www.lmnoeng.com/Weirs/vweir.htm>

Mäkinen, S. 1997. Vesiprosessin automaation dokumentointi. Opinnäytetyö. Jyväskylän teknillinen oppilaitos, Sähköosasto.

ODVA. 2003. Planning and installation manual, DeviceNet. [Viitattu 18.5.2006.]

http://www.odva.org/10_2/Cable_Manual/Cable_Guide/Cable_Guide_Print.pdf

ODVA. 2004. DeviceNet Technical Overview. [Viitattu 23.5.2006.]

http://www.odva.org/10_2/05_tech/05_overvw.htm

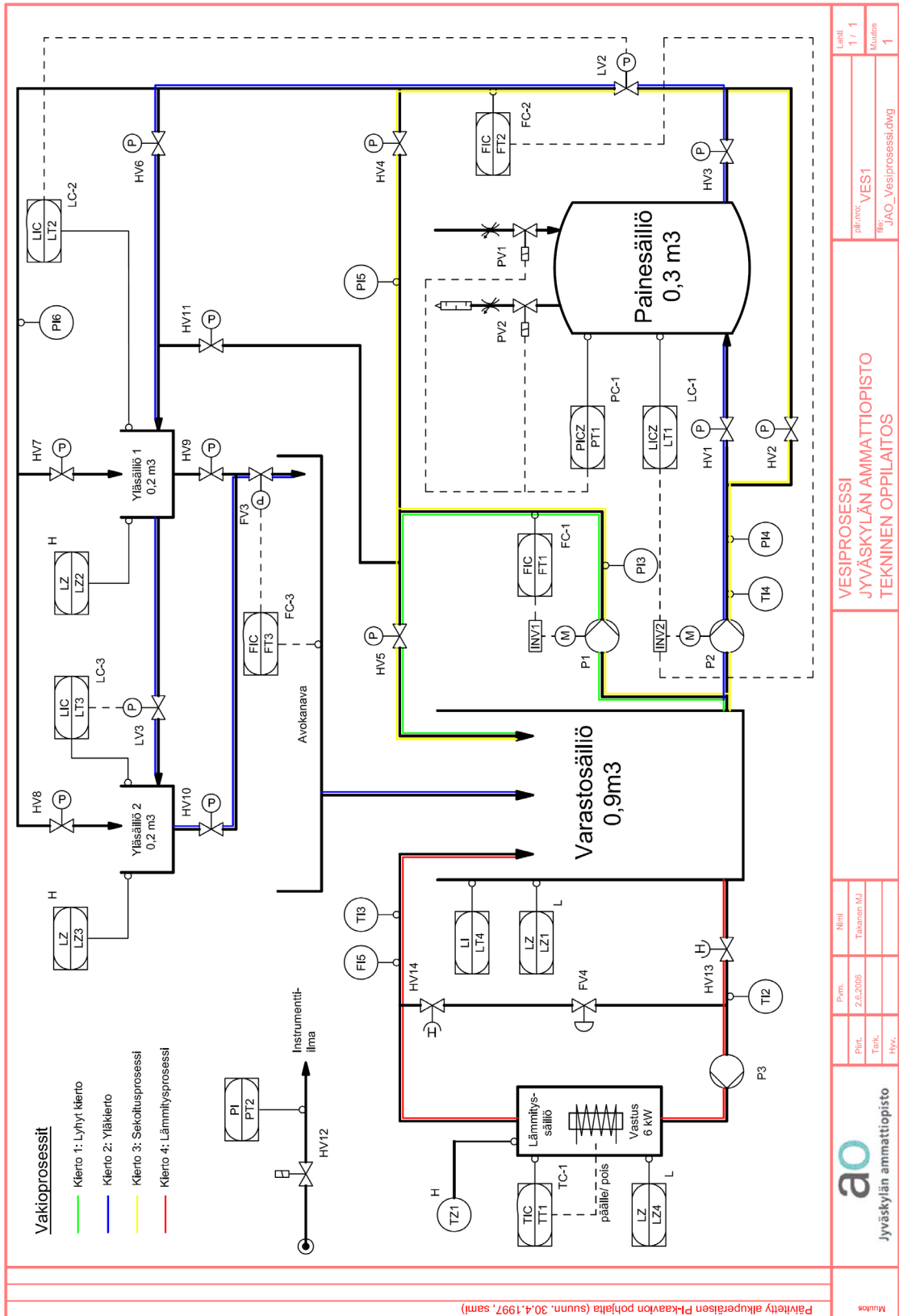
Omron 2005a. CS1G/H. [Viitattu 5.6.2006.]

http://www.omronindustrial.com/fi_fi/home/products/automationsystems/ProgrammableLog/RackPLCSeries/CS1GH/default.asp

Omron 2005b. Technical Library 2005. DVD-ROM. JD Hoofddorp: Omron Europe B.V.

Savolainen, J & Vaittinen, R. 1998. Sääntötekniikan perusteita. Toinen uudistettu painos. Saarijärvi: Gummerus Kirjapaino Oy.

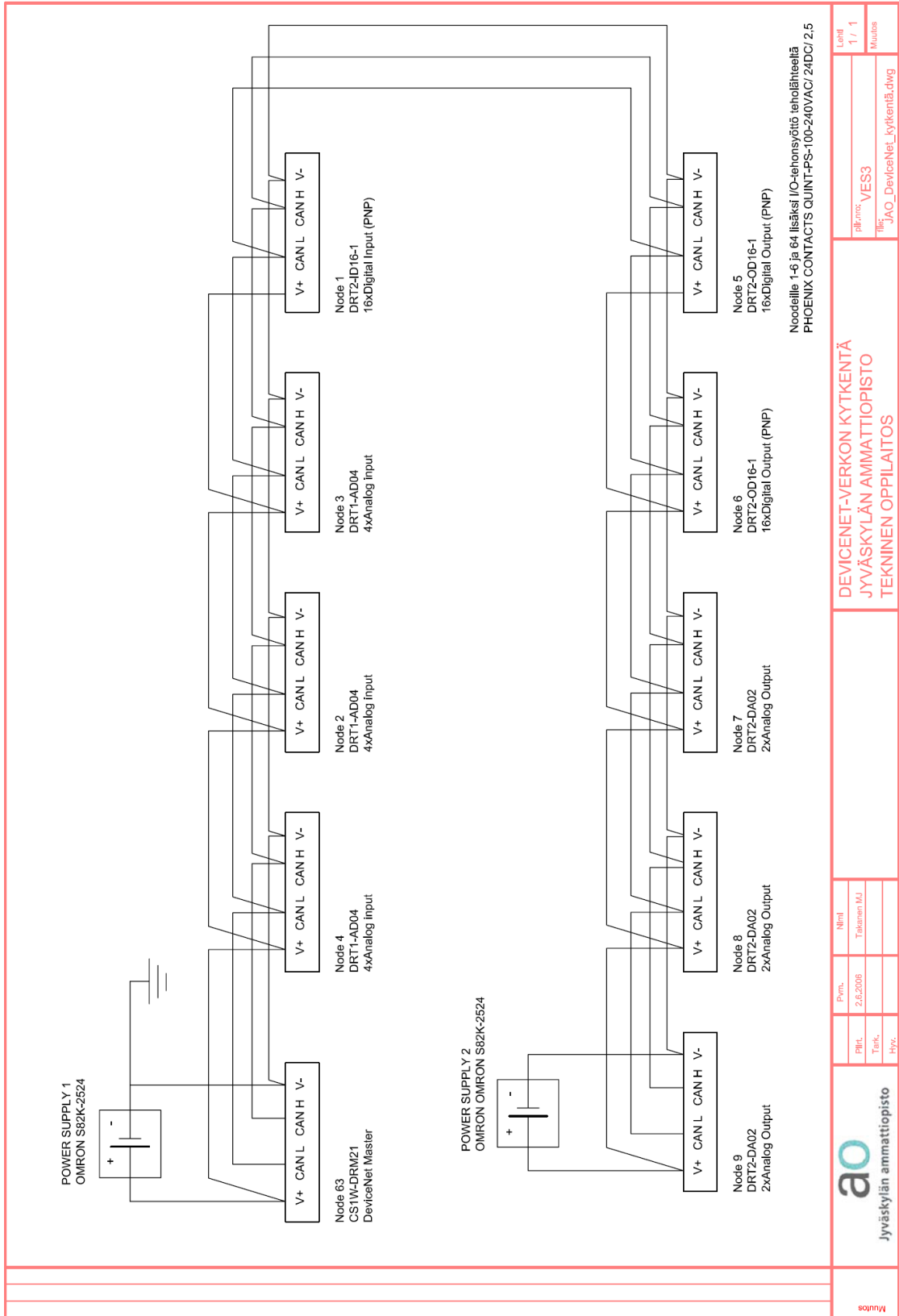
Liite 1. PI-kaavio



Päivitetty alkuperäisen PI-kaavion pohjalta (suunn. 30.4.1997, samti)

		Nimi Toimimen M.J.		Lehti 1 / 1	
Jyväskylän ammattiopisto		Pvm. 2.5.2016		Muutos 1	
Vesiproessi Jyväskylän ammattiopisto Tekninen oppilaitos		Pih. Tekn.		Piirretyt: VES1 Tied: JAO_Vesiproessi.dwg	

Liite 2. DeviceNet-verkon kytkentä



Noodelle 1-6 ja 64 lisäksi I/O-tehonsyötö teholähteellä
PHOENIX CONTACTS QUINT-PS-100-240VAC/ 24DC/ 2.5

DEVICENET-VERKON KYTKENTÄ
JYVÄSKYLÄN AMMATTIOPISTO
TEKNINEN OPPIlaitos

Pvm.	Nimi
2.6.2006	Takamen MJ

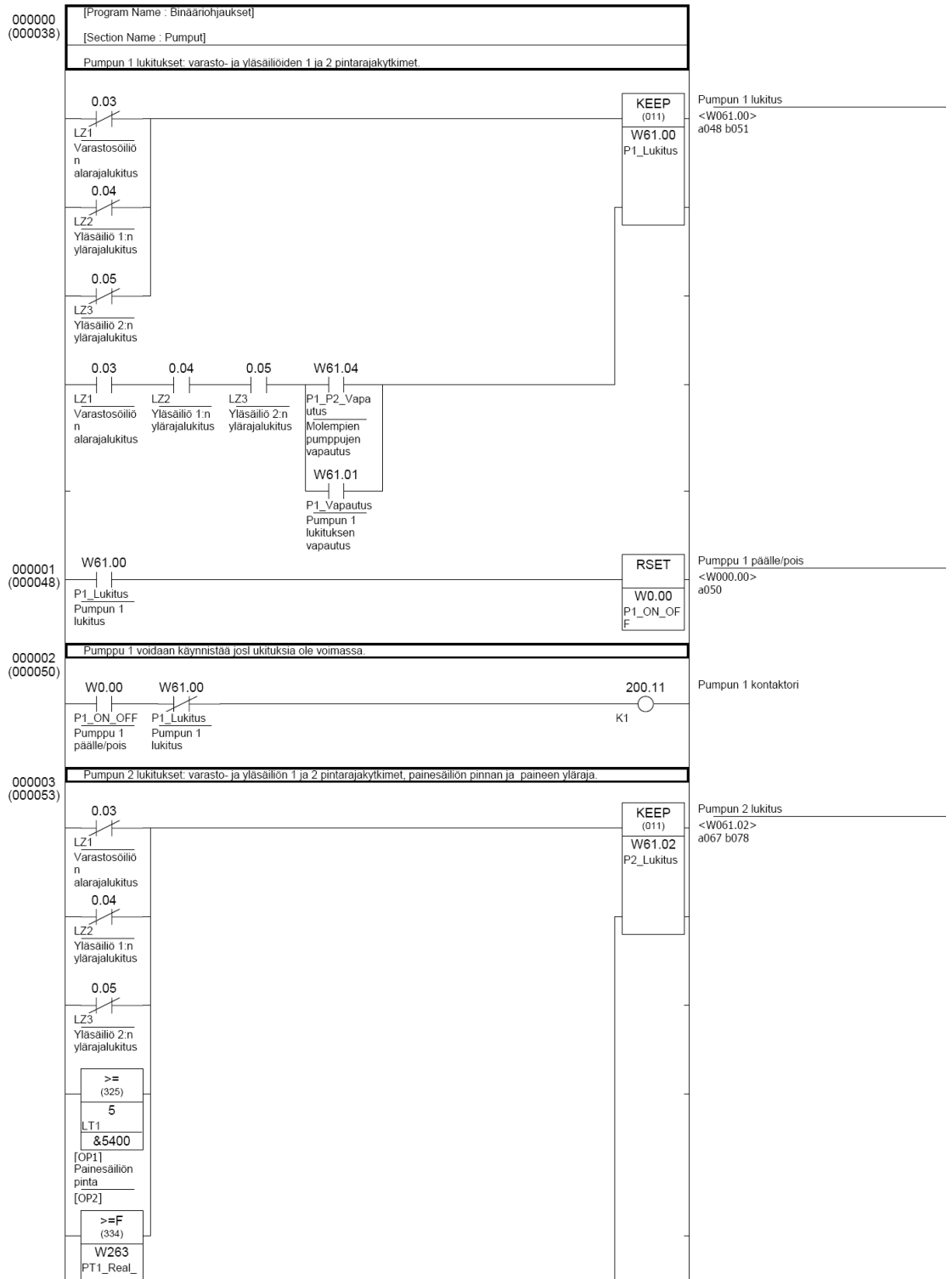
ao
Jyväskylän ammattiopisto

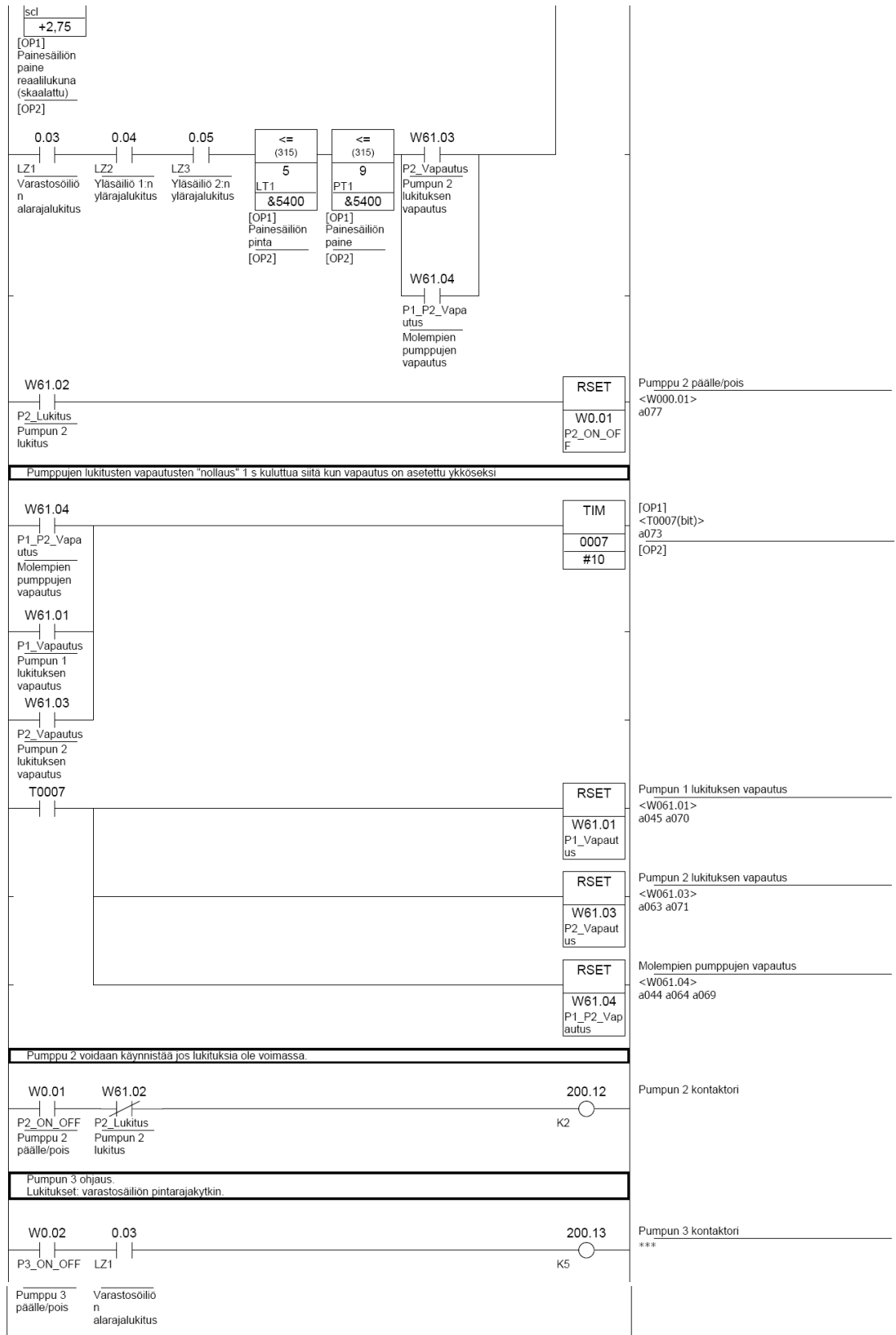
Muutos

Lehti
1 / 1

piir.no: VES3
Tied: JAO_DeviceNet_kytka.dwg

Liite 3. Ohjelmalistaus: Pumppujen ohjaus



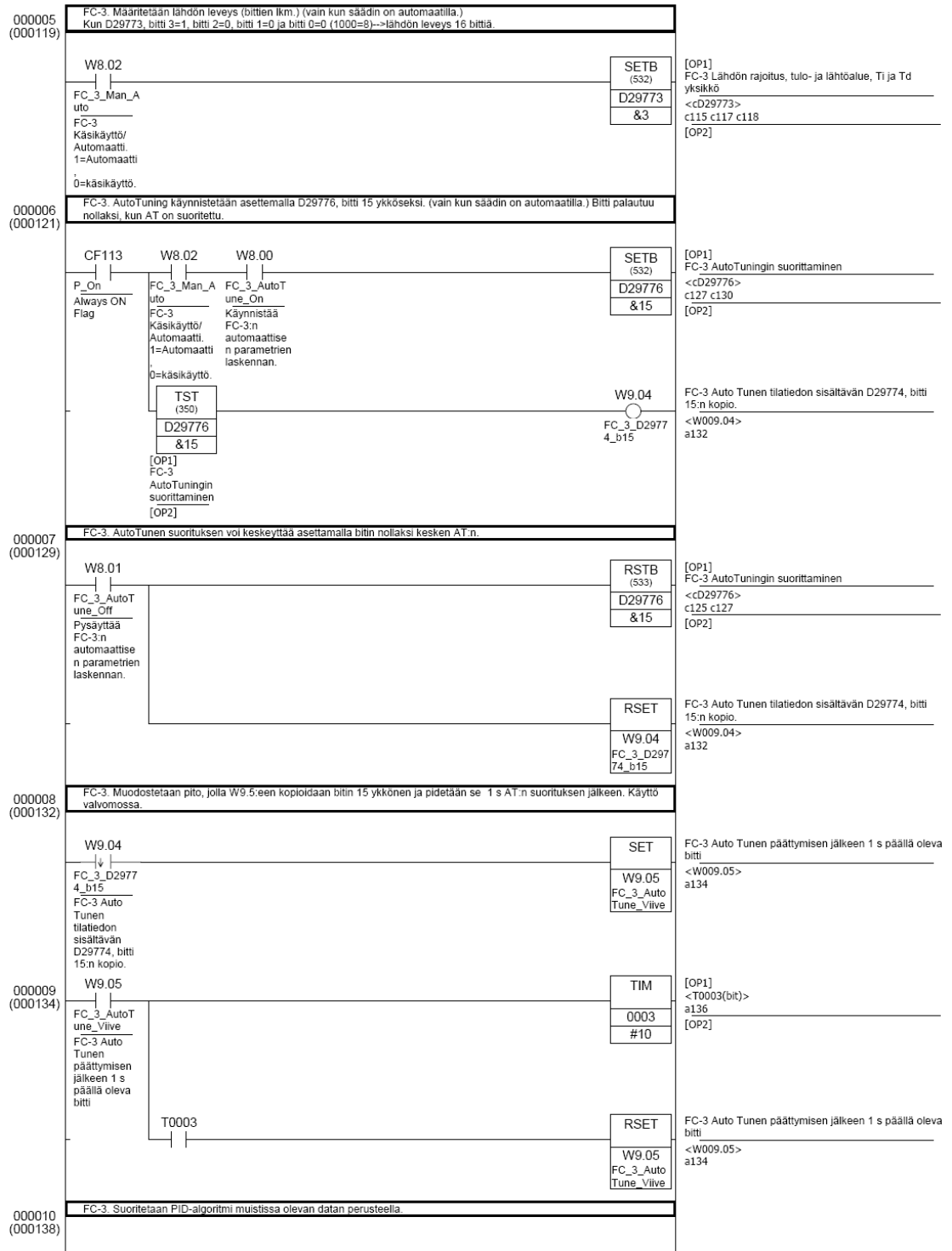


Liite 4. Ohjelmalistaus: Avokanavan tilavuusvirran skaalaus ja las- kenta

000000 (000000)	[Program Name : Yleiset] Koko vesiprosessille yhteiset ohjaukset			
	[Section Name : Skaalaukset] Skaalataan valvomossa näytettävät mittaukset insinööriyksiköiksi, lukuunottamatta pintamittauksia, jotka skaalataan valvomossa.			
	Avokanavan pinnankorkeuden skaalaus asteikolta 880...6000 (nollapisteen siirto), asteikolle 0,00...18,00 cm (liukuluku). Skaalauksen antama arvo on 0, kun lähettimen antama virta on <=4mA ja 18, kun lähettimen antama virta on >20mA. Muunnos tilavuusvirraksi tehdään seuraavassa rungissa.			
	CF113		FLT (452)	[OP1] Avokanavan pinnankorkeus
	P_On		3	[OP2] Avokanavan pinta reaaliikuna (ei skaalattu)
	Always ON Flag		FT3 W200 FT3_Real_Level	<<W200> c008
			MOV (021)	[OP1] [OP2]
			&3 W202	Lukualue:liukuluku,4 koordinaattia <<W202> c003 c008
			SETB (532)	[OP1] Lukualue:liukuluku,4 koordinaattia
			W202 &9	<<W202> c002 c008 [OP2]
			FLT (452)	[OP1] [OP2]
			+880 W203	X0
			FLT (452)	[OP1] [OP2]
			+0 W205	Y0
			FLT (452)	[OP1] [OP2]
			+6000 W207	X1
			FLT (452)	[OP1] [OP2]
			+18 W209	Y1
			APR (069)	[OP1] Lukualue:liukuluku,4 koordinaattia
			W202 W200 FT3_Real_Level W211 FT_3_Real_scl_Level	<<W202> c002 c003 [OP2] Avokanavan pinta reaaliikuna (ei skaalattu) <<W200> c001 [OP3] Avokanavan pinta reaaliikuna (skaalattu) <<W211> c010
000001 (000009)	Avokanavan pinnankorkeuden muunnos virtaukseksi 0.0...648,1 l/min.			
	CF113		PWR (840)	[OP1] Avokanavan pinta reaaliikuna (skaalattu)
	P_On		W211 FT_3_Real_scl_Level +2,5 W289	<<W211> c008 [OP2] [OP3] Avokanavan pinta*2_5 <<W289> c011
	Always ON Flag		*F (456) W289 +0,47 W291 FT3_real_scl_Flow	[OP1] Avokanavan pinta*2_5 <<W289> c010 [OP2] [OP3] Avokanavan virtaus (l/min) ***

Liite 5. Ohjelmalistaus: Avokanavan virtauksensäätö

000000 (000107)	<p>[Program Name : Säätöpint]</p> <p>[Section Name : FC3] FC-3, Avokanavan virtauksen säätö (PID). Mittaus: FT3, ohjaus FV3.</p> <p>Säätimessä on mahdollisuus parametrien automaattiseen laskentaan (AutoTune). Skaalalataan avokanavan virtaus (0.0...646.1 l/min), säätimen alueelle (0...65535).</p>		
	<p>CF113</p> <p>P_On Always ON Flag</p>	<p>*F (456)</p> <p>W291 FT3_real_s cl_Flow +101.4365</p> <p>D29759</p>	<p>[OP1] Avokanavan virtaus (l/min) ***</p> <p>[OP2]</p> <p>[OP3] FC-3 Avokanavan virtaus*101,4365 (skaalaus) <<D29759> c109</p>
		<p>FIX (450)</p> <p>D29759</p> <p>D29761 FC_3_Saati melle</p>	<p>[OP1] FC-3 Avokanavan virtaus*101,4365 (skaalaus) <<D29759> c108</p> <p>[OP2] FC-3 FT3 skaalattu säätimelle <<D29761> c140</p>
000001 (000110)	<p>FC-3. Siirretään suoritusväli muistiin. (vain kun säädin on automaattilla.) 50 -->500ms. Asetusarvo, vahvistus-, integrointi- ja derivoitkertoimet kirjoitetaan valvomosta suoraan muisisanoihin D29765...29768.</p>		
	<p>W8.02</p> <p>FC_3_Man_A uto FC-3 Käsi käyttö/ Automaatti. 1=Automaatti 0=käsi käyttö.</p>	<p>MOV (021)</p> <p>&50</p> <p>D29771 FC_3_STim e</p>	<p>[OP1]</p> <p>[OP2] FC-3 suoritusväli 1...9999 (0.01...99.99s, 10 ms valein)</p>
000002 (000112)	<p>FC-3. Määritetään parametrien päivitys. (vain kun säädin on automaattilla.) Kun D29772, bitti 1=0-->päivitys vain kun säädin laitetaan päälle, kun 1-->päivitys jokaisella suorituskerralla.</p>		
	<p>W8.02</p> <p>FC_3_Man_A uto FC-3 Käsi käyttö/ Automaatti. 1=Automaatti 0=käsi käyttö.</p>	<p>SETB (532)</p> <p>D29772</p> <p>&1</p>	<p>[OP1] FC-3 Parametrien päivitys</p> <p>[OP2]</p>
000003 (000114)	<p>FC-3. Määritetään tulon leveys (bittien lkm.) (vain kun säädin on automaattilla.) Kun D29773, bitti 11=1, bitti 10=0, bitti 9=0 ja bitti 8=0 (1000=8)-->tulon leveys 16 bittia.</p>		
	<p>W8.02</p> <p>FC_3_Man_A uto FC-3 Käsi käyttö/ Automaatti. 1=Automaatti 0=käsi käyttö.</p>	<p>SETB (532)</p> <p>D29773</p> <p>&11</p>	<p>[OP1] FC-3 Lähdon rajoitus, tulo- ja lähtöalue, Ti ja Td yksikkö <<D29773> c117 c118 c120</p> <p>[OP2]</p>
000004 (000116)	<p>FC-3. Määritetään integrointi- ja derivoitajoiissa käytettävä yksikkö. (vain kun säädin on automaattilla.) Kun D29773, bitti 7=1, bitti 6=0, bitti 5=0 ja bitti 4=1 (1001=9)-->yksikkönä 100ms.</p>		
	<p>W8.02</p> <p>FC_3_Man_A uto FC-3 Käsi käyttö/ Automaatti. 1=Automaatti 0=käsi käyttö.</p>	<p>SETB (532)</p> <p>D29773</p> <p>&7</p>	<p>[OP1] FC-3 Lähdon rajoitus, tulo- ja lähtöalue, Ti ja Td yksikkö <<D29773> c115 c118 c120</p> <p>[OP2]</p>
		<p>SETB (532)</p> <p>D29773</p> <p>&4</p>	<p>[OP1] FC-3 Lähdon rajoitus, tulo- ja lähtöalue, Ti ja Td yksikkö <<D29773> c115 c117 c120</p> <p>[OP2]</p>



<p>000011 (000141)</p>	<p>W8.02 FC_3_Man_A uto FC-3 Käsi käyttö/ Automaatti. 1=Automaatti 0=käsi käyttö.</p>	<p>PIDAT (191) D29761 FC_3_Säätimelle D29767 FC_3_SP D29808 FC_3_MV</p>	<p>[OP1] FC-3 FT3 skaalattu säätimelle <D29761> c109 [OP2] FC-3 asetusarvo 0...65535 [OP3] FC-3 Säätimen laskema ohjaus <D29808> c147</p>
<p>FC-3. Skaalataan säätimen laskema ohjaus (0...65535) analogialahtoyksikölle sopivaksi (0...6000)</p>			
<p>CF113 P_On Always ON Flag</p>	<p>MOV (021) &0 D29809</p> <p>MOV (021) &65535 D29810</p> <p>MOV (021) &0 D29811</p> <p>MOV (021) &65535 D29812</p> <p>MOV (021) &6000 D29813</p> <p>APR (069) D29809 D29808 FC_3_MV 202 FV3</p>	<p>[OP1] [OP2] [OP2] [OP1] [OP2] [OP1] [OP2] [OP1] [OP2] [OP1] [OP2] [OP1] [OP2] [OP1] [OP2] [OP1] [OP2] [OP2] [OP1] [OP2] [OP2] [OP1] [OP2] [OP2] [OP3]</p>	<p>FC-3 Funktion käyttötapa <D29809> c147</p> <p>FC-3 Max tuloarvo (Xm)</p> <p>FC-3 Koordinaatti Y0</p> <p>FC-3 Koordinaatti Y1</p> <p>FC-3 Max ohjaus venttiilille FV3</p> <p>FC-3 Funktion käyttötapa <D29809> c142 FC-3 Säätimen laskema ohjaus <D29808> c140 Avokanavan virtauksensäätöventtiili</p>

Liite 6. Ohjelmalistaus: Painesäiliön paineensäätö

