

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Energiatekniikan koulutusohjelma / Automaatio- ja prosessitekniikka

Juha Hurri

SÄÄTIMEN TOTEUTUS KIERTOVIESI-PROSESSIIN SIEMENS S7-315F-  
LOGIikkAYKSIKÖLLÄ

Opinnäytetyö 2014

# TIIVISTELMÄ

## KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

### Energiatekniikka

HURRI, JUHA	Säätimen toteutus kiertovesiprosessiin Siemens S7-315F-logiikkayksiköllä
Opinnäytetyö	66 sivua + 11 liitesivua
Työn ohjaaja	Lehtori Vesa Kankkunen
Toimeksiantaja	Kymenlaakson ammattikorkeakoulu
Helmikuu 2014	
Avainsanat	logiikkayksikkö, säädin, prosessikoe, säätimen viritys

Tämän opinnäytetyö tehtiin Kymenlaakson ammattikorkeakoululle. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli hyödyntää valmista vesiprosessia Kymenlaakson ammattikorkeakoululla ja suunnitella säätösovellus ohjelmoitavalla logiikkayksiköllä opetustarkoituksiin. Keskeisimpänä syynä työlle oli, että Kymenlaakson ammattikorkeakoululla ei ollut riittävästi säätöprosesseja opetuskäytössä. Vesiprosessi oli valmiiksi instrumentoitu ja johdotettu, joten siihen tässä opinnäytetyössä ei kiinnitetä huomiota.

Työn tavoitteena oli suunnitella toimiva säätösovellus Siemens S7-315F -sarjan logiikkayksikölle ja laatia valvomonäyttö Wonderware Intouch -ohjelmalla. Lähtökohdana oli, että vesiprosessin säädintä voidaan käyttää millaisena säätimenä tahansa. Koska säätösovellus tulee palvelemaan opetustarkoituksia, käyttöohjeiden laadinta oli myös osa työtä. Käyttöohjeet laadittiin logiikkasovelluksen käyttöönottoon, valvomonäytön käyttöönottoon, logiikkayksikön ja valvomonäytönvälisen yhteyden oikeiden asetusten määrittämiseen ja käyttöönottoon sekä valmiin säätösovelluksen operointiin.

Logiikkasovelluksen ja valvomonäytön laadinta suoritettiin kahdessa vaiheessa. Ensin esitetään teoriaa logiikkayksikön säätimen suunnittelusta ja säätötoimenpiteeseen vaikuttavista tekijöistä kattavasti, mutta lyhyesti. Tämän jälkeen pureudutaan säätösovelluksen suunnitteluun opinnäytetyön Siemensin logiikkayksikölle. Työssä esitetään myös teoriaa säätimen virituksen ongelmista ja kahden viritysmenetelmän käytöstä. Viimeisessä luvussa on esitetty opinnäytetyön PI-säätimen onnistunut viritys prosessikokeiden perusteella kahdessa toimipisteessä ja toimipisteiden ulkopuolisella alueella.

Opinnäytetyössä esitetty säätöteoria ja opinnäytetyön säätösovelluksen tulokset täydentävät toinen toisiaan. Opinnäytetyö säätösovellus osoittautui toimivaksi kokonaisuudeksi opetustarkoituksiin, koska teoriaan pureudutaan maltillisesti, mutta lyhyesti ja sitä verrataan käytännön työhön.

## ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Energy Technology

HURRI JUHA

Implementing a controller for Siemens S7-315F for a water circulation process

Bachelor's Thesis

66 pages + 11 pages of appendices

Supervisor

Vesa Kankkunen, lecturer

Commissioned by

Kymenlaakso University of Applied Sciences

February 2014

Keywords

PLC, controller, process exam, tuning of controller

This thesis was made for Kymenlaakso University of Applied Sciences. The purpose of this thesis was to utilize a water circulation process at KyUAS and design a closed loop control circuit with programmable logic controller. The most essential reason for this thesis was, there wasn't enough closed control loop circuits in educational use. The water circulation process was already wired and equipped with instruments, so wiring and equipping instruments to the process are not part of this thesis.

The subject of this thesis was to design a functional control loop controller for Siemens S7-315 -series programmable logic controller and design a user interface with Wonderware Intouch -program. The basic principle was the control loop controller can be used as any type of PID-controller. As the closed control loop will be used for educational purposes, the instruction manuals were made for implementation of closed control loop program, implementation of user interface, correct settings for data exchange and implementation of settings between programmable logic controller and Intouch user interface as well as operating manual of closed control loop.

The implementation and design of the the closed control loop circuit and Intouch user interface were done in two steps. First, introduce theory of designing a controller for programmable logic and introduce extensively, but briefly the factors that have an impact for the control action. After that comes designing and implementing of controller for Siemens programmable logic controller. In this thesis there are introduced problems of tuning a controller and also introduced two tuning methods for a controller. In the last chapter of this thesis there are represented the results of successful tuning of PI-controller, based on process exams in two pre-defined functional points of the process and outside of pre-defined points.

The results of this thesis and the theory of closed control loop circuits complement each other. The closed control loop turned out to be a functional application for educational usage, because the results of thesis are mirrored against theory.

# SISÄLLYS

## TIIVISTELMÄ

## ABSTRACT

1	JOHDANTO	6
2	VESIPROSESSI	7
	2.1 Vesiproessin kuvaus	8
	2.2 Instrumentointi ja toimilaitteet	9
3	VESIPROSESSIN OHJAUSJÄRJESTELMÄ	13
	3.1 Logiikkajärjestelmän komponentit	14
	3.2 Logiikkayksikön toiminta	18
	3.3 Logiikkaohjelmointi ja vesiproessin valvomonäytön suunnittelu	18
4	OHJAUS- JA SÄÄTÖPERIAATTEET	20
	4.1 Säättöpiirin ohjaustavat	21
	4.2 Säättöalgoritmit	24
5	VESIPROSESSIN PROSESSIKOKEET JA MALLINNUS	28
	5.1 Askelvastekoe ja satunnaispulssikoe	29
	5.2 Prosessimallit kahdessa toimintapisteessä	33
	5.2.1 Toimintapisteen 1. prosessimallit	34
	5.2.2 Toimintapisteen 2. prosessimallit	38
6	VESIPROSESSIN SÄÄTIMEN TOTEUTUS JA VIRITYS PROSESSIDYNAMIIKAN AVULLA	41
	6.1 Yläsäiliön pinnankorkeuden muunnos ja skaalaus	43
	6.2 Pumpun kierrosnopeuden sovittamien säätimen lähtömuuttujaan	45
	6.3 Säätimen toiminnan sovitus logiikkayksikköön ja valvomonäytön kautta tapahtuvaan prosessinohjaukseen	50
	6.4 Säätimen viritys	51
	6.5 Vesiproessin säiliön pinnankorkeuden säätimen valinta ja viritys	54
	6.5.1 Vesiproessin säätimen viritys	55

6.5.2 Vesiprosessin säätimen viritys simuloimalla	56
7 JOHTOPÄÄTÖKSET	59
8 YHTEENVETO	63
LÄHTEET	65
LIITTEET	

Liite 1. Logiikkayksikön ja Intouch-valvomonäytön datan välinen skaalaus

Liite 2. Logiikkasovelluksen OB1:n ja OB35:n ohjelmalohkot

Liite 3. Wonderware Intouch valvomonäyttö

Liite 4. PI-säädön ja PID-säädön viritystulokset käyttäen Zieger-Nichols- ja Lambda-menetelmää

Liite 5. Vesiprosessin PI-säätimen hyvän virituksen tulos

## 1 JOHDANTO

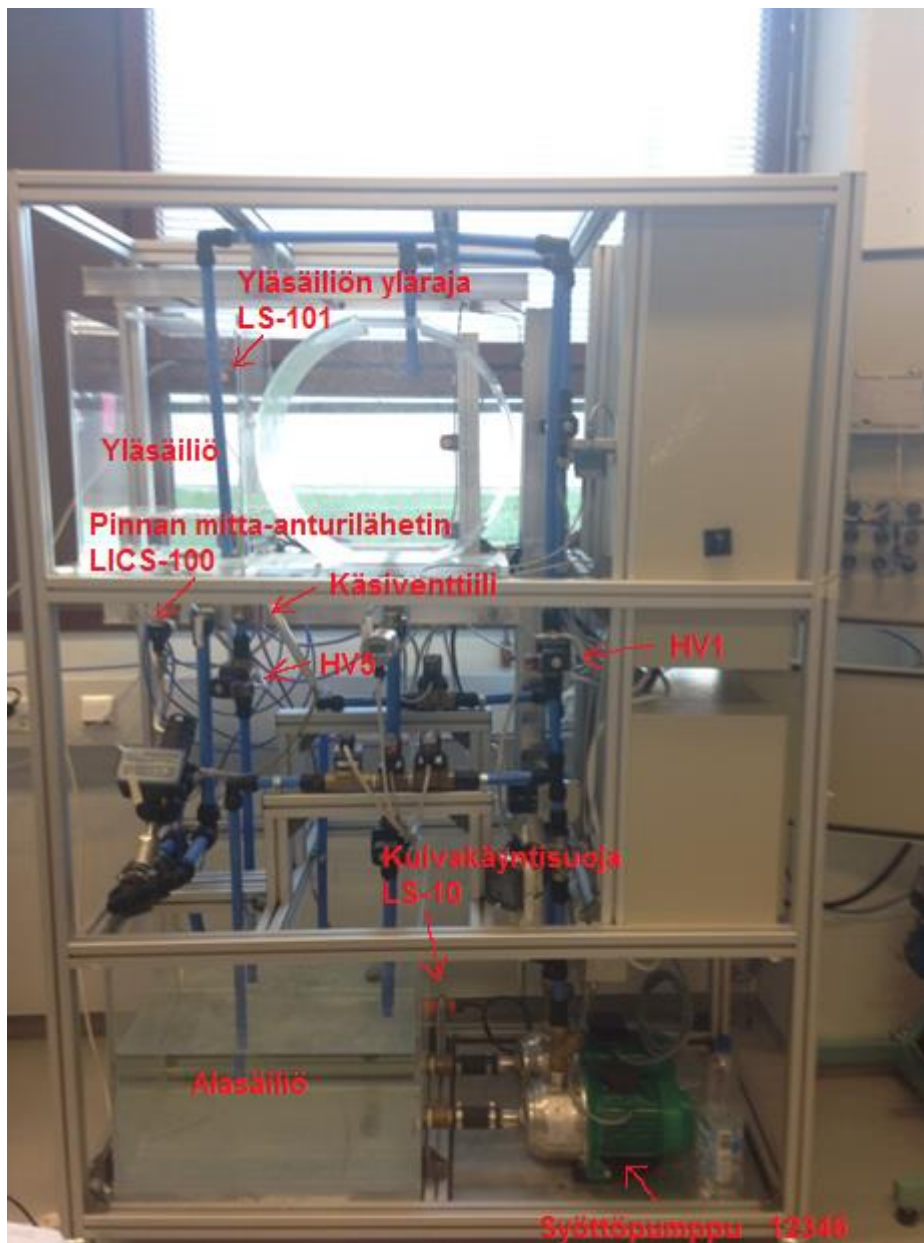
Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli hyödyntää olemassa olevaa kiertovesiprosessia Kymenlaakson ammattikorkeakoululla ja suunnitella säätösovellus opetustarkoituksiin. Säätösovelluksen suunnitteluun käytettiin Siemens S7-315 -sarjan logiikkayksikköä.

Prosessin instrumentointiin ja johdotukseen ei kiinnitetty huomiota, koska prosessi oli valmiiksi instrumentoitu ja johdotettu. Suunnittelutyöhön logiikkaohjelman lisäksi kuului myös valvomonäytön suunnittelu ja käyttöohjeiden laadinta. Käyttöohjeet on laadittu Askel askeleelta -menetelmällä, jotta opiskelijoiden olisi helppo ottaa logiikka- ja valvomonäyttösovellus käyttöön. Käyttöohjeet laadittiin logiikkasovelluksen käyttöönotosta, valvomonäytön käyttöönotosta, valvomonäytön ja logiikkayksikön välisen kommunikointiohjelman asetusten määrittämisestä ja käyttöönotosta ja lisäksi valmiin säätösovelluksen operointiohjeesta. Käyttöohjeita ei kuitenkaan ole liitetty opinnäytetyön liiteosioon.

Opinnäytetyön teoriaosiossa on pyritty ottamaan huomioon säätötoimenpiteeseen vaikuttavat tekijät kattavasti, mutta lyhyesti. Teoriaosassa esitellään logiikkayksikkö, sen toiminta ja siihen liitetyt komponentit. Säätimen teoriaosiossa kerrotaan yleisesti erilaisista ohjauspiireistä ja säätimen eri termien P-, I- ja D-termin vaikutuksista säätötoimenpiteeseen. Teoriaosassa esitellään myös säätimen valintaan liittyviä tekijöitä, kun tietyt prosessin ominaisuudet ovat tunnettuja. Teoriaosa pohjustaa myös lyhyesti yksinkertaisen prosessimallin prosessiparametrien määrittäystä prosessista. Viimeisissä luvuissa esitetään, miksi PI-säädin on valittu käytettäväksi vesiprosessin ohjaukseen.

## 2 VESIPROSESSI

Koululla oli ollut jo pitkään kuvan 1 mukainen kiertovesiprosessi, jossa ei ole ollut valmista säätösovellusta. Prosessilla on alun perin osallistuttu 2. asteen taitokisoihin. Vesiprosessi oli jo alusta alkaen tuttu, koska siihen on tehty pienempiä logiikkasovelluksia muiden kurssien aikana. Säätösuunnitteluun ei kuitenkaan ollut perehdytty niin tarkasti kuin opinnäytetyössä. Vesiprosessin instrumentointi ja toimilaitteet olivat valmiiksi johdotettu, joten siihen ei tarvinnut kiinnittää huomiota.

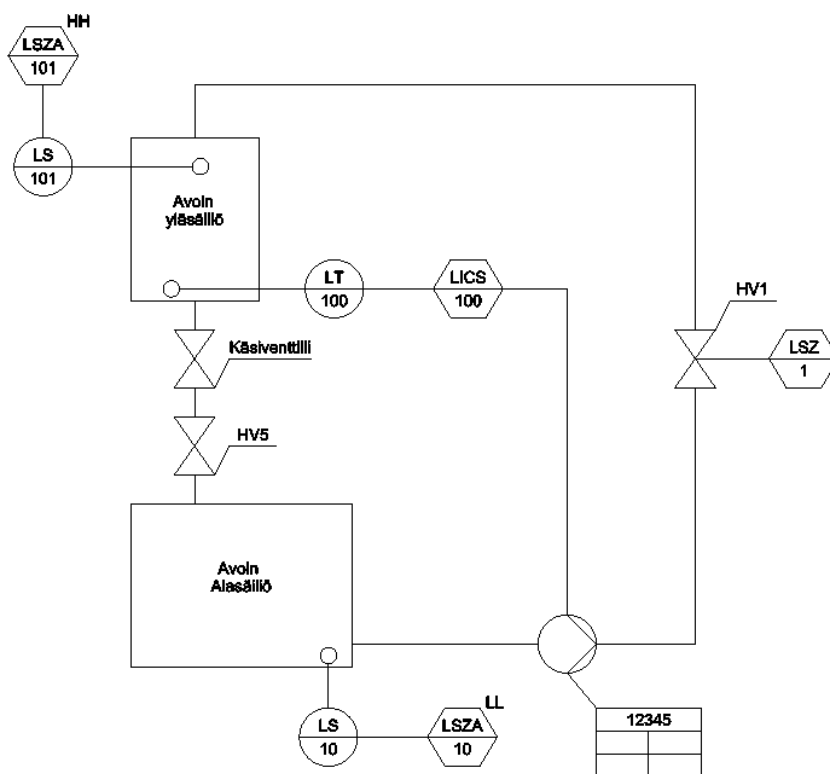


Kuva 1. Yleiskuva vesiprosessista.

Vesiprosessin logiikkasovelluksen suunnittelu lähti käyntiin kartoittamalla prosessin toimilaitteet ja laatimalla suunnitelma, miten prosessin haluttaisiin käyttäytyvän. Kun käytettävät toimilaitteet prosessissa oli rajattu, alettiin suunnitella logiikkasovellusta prosessiin. Aluksi tehtiin laitekonfiguraatio logiikkayksikölle, jossa logiikkakaapin kaikki I/O-moduulit lisättiin logiikkayksikköön. Tämän jälkeen luotiin yksinkertaisimmat piirit, kuten magneettiventtiilien piirit ja testattiin piirien toiminta. Työn ohessa tuli myös ilmi, että toinen magneettiventtiileistä ei toimi. Toimilaite on luultavasti jumiutunut ja vaatii puhdistusta.

Kun logiikkasovellus oli tehty, siirryttiin tekemään valvomonäyttöä Wonderware Intouch -ohjelman avulla. Valvomonäytön lähtökohdat olivat jo selkeät, koska valmiin prosessin PI-kaavio oli luotuna. Valvomonäytön suunnittelua ei esitellä opinnäytetyössä tarkemmin, koska sen tekeminen on varsin helppoa opinnäytetyön muihin osaluokkiin nähden. Tärkeintä valvomonäytön suunnittelussa on huomioida Wonderware Intouch -ohjelman sisäisten rajojen skaalaus lähtevään tai luettavaan tietoon logiikkayksikölle.

## 2.1 Vesiprosessin kuvaus



Kuva 2. Vesiprosessin PI-kaavio.

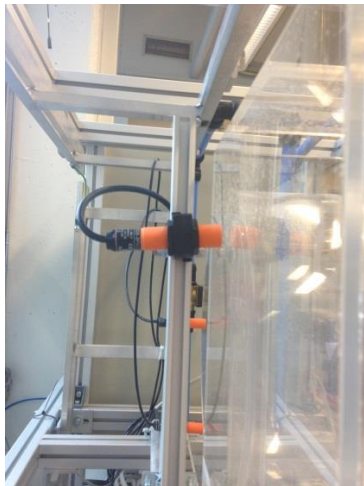


Kuvassa 2 on esitetty vesiprosessin PI-kaavio. Vesiprosessia ohjataan yläsäiliön pinnankorkeuden säätimen LICS-100 avulla. Pinnankorkeuden säätö ohjaa syöttöpumpun 12345 kierrosnopeutta. Pinnankorkeuden säädintä on mahdollista käyttää manuaali- ja automaattimoodissa. Säätimen ollessa manuaalimoodissa syöttöpumpun kierrosnopeutta voidaan ohjata halutusti. Automaattimoodilla säätimelle asetetaan pinnankorkeuden asetusarvo, johon säädin pyrkii kontrolloimalla automaattisesti pumpun kierrosnopeutta. Pinnankorkeuden mittaamiseen käytetään analogista paine-anturia LT-100. Yläsäiliössä on myös rajakytkin LS-101.

Prosessissa on kaksi ohjattavaa magneettiventtiiliä: HV-5 ja HV-1. HV-5 on yläsäiliön laskuputken venttiili ja HV-1 on alasäiliön nousuputken venttiili. Tunnukseton toimilaitte yläsäiliön laskuputkessa on käsiventtiili. Magneettiventtiilejä ohjataan valvomonäytön kautta. Alasäiliössä on yksi pinnankorkeuden rajakytkin, joka toimii pumpun 12345 kuivakäyntisuojana.

## 2.2 Instrumentointi ja toimilaitteet

Kuvassa 3 on esitetty yläsäiliön ylärajakytkin LS-101. Ylärajakytkimen toiminta on suunniteltu siten, että ylärajakytkimen tunnistessa vedenpinnan se lähettää logiikkayksikölle tilatietoa 1 ja syöttöpumppu 12345 pysäytetään. Hälytys aktivoidaan päänäyttöön.



Kuva 3. Yläsäiliön binäärinen ylärajakytkin LS-101.

Kuvassa 4 on esitetty pinnankorkeuden mittaamiseen käytettävää analogista paineanturia LT-100. Pinnankorkeuden anturi antaa jatkuva-aikaista tietoa pinnankorkeuden tilasta pinnankorkeuden säätöpiirille LICS-100.



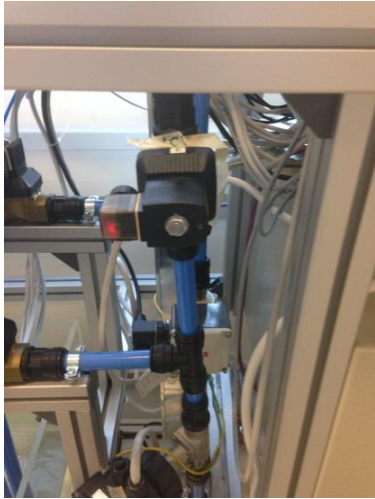
Kuva 4. Yläsäiliön pinnankorkeuden anturi LT-100.

Kuvassa 5 on esitetty yläsäiliön laskuputken magneettiventtiili HV-5. Magneettiventtiiliä on mahdollista ohjata auki- ja kiinni-tilaan valvomonäytöstä



Kuva 5. Yläsäiliön laskuputken magneettiventtiili HV-5.

Kuvassa 6 on esitetty alasäiliön nousuputken magneettiventtiili HV-1. Magneettiventtiiliä on mahdollista ohjata auki- ja kiinni-tilaan valvomonäytöstä. Logiikkasovelluksessa magneettiventtiilillä on myös lukitustoiminto. Magneettiventtiilin on oltava auki-tilassa, jotta syöttöpumppua 12345 voidaan operoida.



Kuva 6. Alasäiliön nousuputken magneettiventtiili HV-1.

Kuvassa 7 on esitetty alasäiliön alarajakytkin LS-10. Alarajakytkimen toiminta on suunniteltu siten, että syöttöpumppua voidaan operoida, kun kytkin lähettää tilatietoa 1 logiikkayksikköön. Jos kytkin ei havaitse vedenpinnankorkeutta, se ohjaa syöttöpumpun 12345 lukittuun tilaan ja aktivoi hälytyksen päänäyttöön sekä pumpun piiriikkunaan.



Kuva 7. Alasäiliön kuivakäyntisuoja LS-10.

Kuvassa 8 on esitetty vesiprosessissa käytettävä kalvopumppu.



Kuva 8. Syöttöpumppu 12345

Kuvassa 9 on esitetty vesiprosessissa käytettävää ABB:n ACS350 taajuusmuuttaja, jolla ohjataan syöttöpumpun 12345 kierrosnopeutta. Taajuusmuuttajaa ohjataan analogisen I/O-viestin avulla väliltä 0...20 mA. Taajuusmuuttajan ohjaukseen käytetään vakiosovellusmakroa.



Kuva 9. ABB:n taajuusmuuttaja ACS350.

### 3 VESIPROSESSIN OHJAUSJÄRJESTELMÄ

Ohjelmoitavien logiikoiden perimmäinen ajatus oli se, että ohjelmointi olisi niin yksinkertaista, että tietokoneen ohjelmointitaitoja ei tarvitsisi. Logiikoiden ohjelmoinnin pystyisi suorittamaan ohjausjärjestelmien suunnittelusta vastaavat henkilöt, jotka olivat aikaisemmin käyttäneet relelogiikkaa ja huoltohenkilöstö lyhyen koulutuksen jälkeen. Koulutuksen jälkeen huoltohenkilöstön pitäisi pystyä tekemään muutoksia logiikkaohjelmaan käyttöönottovaiheessa kuin käytön aikanakin. (1, 221.)

Logiikkayksiköt jaetaan nykyisin kahteen ryhmään:

1. Kiinteästi sisältäviin tulo- (input) ja lähtöliitäntöihin (output)
2. Moduuleista koostuva logiikkayksikkö, kuten esimerkiksi opinnäytetyössä käytettävä Siemensin ohjelmoitava logiikkayksikkö CPU315F-2PN/DP. (1, 222.)

Kiinteillä I/O-liitäntöillä varustetut logiikkayksiköt ovat usein edullisia, erittäin kompakteja ja soveltuvat parhaiten yksittäisten laitteiden ohjauksiin. Normaalisti näihin logiikkayksiköihin on mahdotonta liittää toimilaitteita kenttäväylän kautta. (1, 222.)

Moduulisissa logiikkayksiköissä on mahdollista valita lähtö- ja tulomoduulit tarpeen mukaan. Näihin logiikkayksiköihin on myös mahdollista liittää kenttäväylämoduulia käyttäen toimilaitteita, kuten esimerkiksi sähkömoottori tai taajuusmuuttaja. (1, 222.)

Kuvassa 2 on opinnäytetyössä käytetty vanhanmallinen jo tuotannosta poistunut V2-ohjelmoitava logiikkayksikkö CPU315F-2PN/DP. Logiikkayksikköön voi olla maksimissaan kytkettynä 2048 digitaalista I/O-liitäntää, joista 1024 tulo- ja 1024 lähtöliitäntöjä asianmukaisia moduuleja käyttäen. Analogisia I/O-liitäntöjä voi olla asianmukaisia moduuleja käyttäen 256 tulo- ja 256 lähtöliitäntää. (2.)

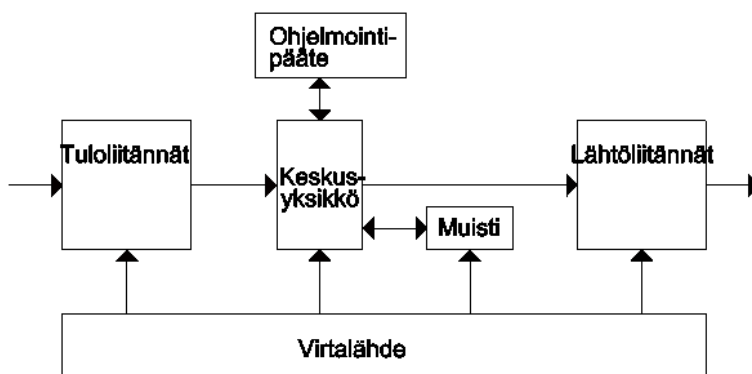


Kuva 2. Modulaarinen ohjelmoitava logiikkayksikkö CPU315F-2PN/DP (2.)

### 3.1 Logiikkajärjestelmän komponentit

Kuvassa 6 on esitetty logiikkajärjestelmän toimintamalli. Neliöt edustavat eri komponentteja logiikkajärjestelmässä. Informaation ja virran kulku komponenttien välillä osoitetaan nuolimerkein. Ohjelmointipääte ei ole logiikkajärjestelmän komponentti, mutta on olennainen osa hierarkiaa. Logiikkayksikköä voidaan ohjelmoida ja monitoroida ohjelmointipäätteellä. Nykypäivänä useimmiten ohjelmointipääteenä toimii tietokone. (4.)

Logiikkayksikön tulo- ja lähtöliitännät voidaan jakaa kahteen ryhmään: digitaalisiin ja analogisiin signaaleihin. Digitaaliset signaalit toimivat binääriseen eli kaksitilaiseen tai diskreetin tiedon pohjalta. Analogisen signaalien arvot vaihtelevat jatkuvasti muuttujan arvoalueen sisällä. Erilaiset tulosignaalit vaativat oikeanlaisen moduulin. (5.)



Kuva 6. Logiikkajärjestelmän komponentit (4.)

Kentältä tulevat signaalit kytketään logiikkayksikön **tuloliitäntöihin**. Digitaalisia kaksitilaisia kenttälaitteita ovat esimerkiksi erilaiset raja- ja lähestymiskytkimet. Analogisia mitta-antureita ovat esimerkiksi lämpötilalähettimet, painelähettimet. Tuloliitäntöjen signaalit eristetään galvaanisella erotuksella logiikkayksikön herkästä elektronikasta. Galvaanisen erotuksen ansiosta kenttälaitteiden signaaliviesti ei siirry suoraan logiikkayksikköön. Signaaliviestin siirto logiikkayksikköön tapahtuu fototransistorin ja valodiodin kytkennällä. (1, 225; 5.)

Toimilaitteita ohjaavat signaalit tulevat **lähtöliitännöiltä**. Digitaalisia lähtöliitäntöjä käytetään ohjaamaan solenoidiventtiileitä, moottoristartteja ja relekytkentöjä. Analogisia lähtöliitäntöjä käytetään ohjaamaan esimerkiksi venttiilien asentoa, ilman painetta ja moottorin kierrosnopeutta. Opinnäytetyössä syöttöpumpun kierrosnopeutta ohjataan taajuusmuuttajan avulla analogisella signaaliviestillä. Transistorilähtöjä käytetessä transistorilähtöliitännät on galvaanisesti erotettava. (1, 225; 5.)

Kuvassa 7 on esitetty opinnäytetyössä käytetty Siemensin SM 323 -moduuli digitaalisille tulo- ja lähtöliitännöille. Moduuli sisältää liitäntäpaikat 16:lle tulo- ja lähtöliitännälle. Opinnäytetyön magneettiventtiilit ja pinnankorkeuden rajakytkimet on kytketty tähän moduuliin. (6.)



Kuva 7. Siemensin SM 323 -moduuli digitaalisille tulo- ja lähtöliitännöille. (6.)

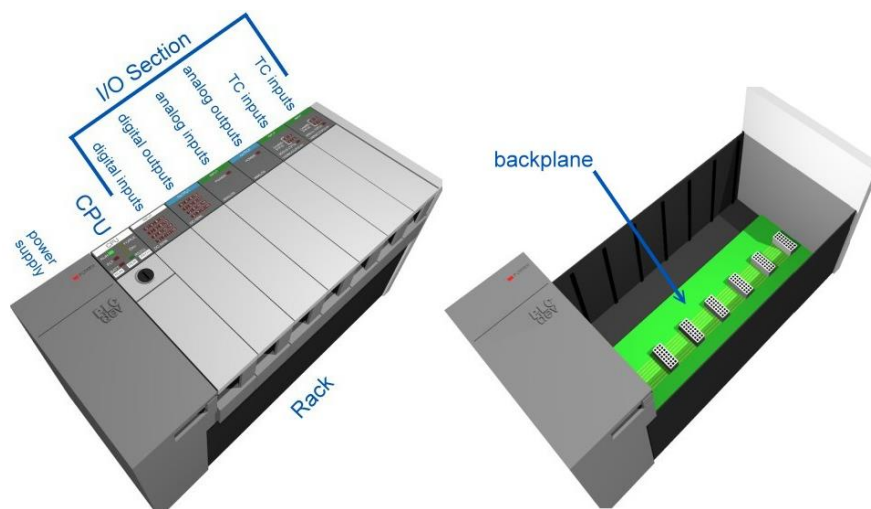
Opinnäytetyössä käytetään Siemensin SM 331 -moduulia analogisille tuloliitännöille. Moduuli sisältää liitäntäpaikat 8:lle analogiselle lähtöliitännälle. Opinnäytetyön pinnankorkeuden pinnanmittausanturi on kytketty tähän moduuliin. (7.)

Opinnäytetyössä käytetään Siemensin SM 332 -moduulia analogisille lähtöliitännöille. Moduuli sisältää liitäntäpaikat 8:lle analogiselle lähtöliitännälle. Opinnäytetyön ABB:n ACS350 taajuusmuuttaja saa pumpun kierrosnopeuden ohjeen tältä moduulilta. (8.)

**Keskusyksikön** (CPU) tehtävänä on lukea käyttäjän ohjelmoimaa logiikkasovellusta RAM-muistista. Lukea tulosignaalien tilaa tuloliitännöiltä ja päivittää lähtevien signaalien tilaa lähtöliitännöiltä. Keskusyksikkö suorittaa loogisia ja aritmeettisia laskutoimituksia, esimerkiksi opinnäytetyössä keskusyksikkö laskee säätimen ohjausarvoa mittauksien perusteella. Keskusyksikön tehtävänä on myös kommunikoida ja vaihtaa tietoja ohjelmointipäätteen kanssa. (4.)

Tyypillisesti logiikkayksiköissä **muistit** jaetaan kahteen lohkoon, RAM-muistiin ja ROM-muistiin. RAM-muistiin on mahdollista kirjoittaa ja lukea. Logiikkayksikön RAM-muistiin talletetaan käyttäjän tekemät logiikkasovellukset. ROM-muistista löytyy myös logiikkayksikön toiminnan kannalta tärkeät tiedot. ROM-muistiin ei ole mahdollista kirjoittaa, ROM-muistia pystyy vain lukemaan. (4.)

Logiikkajärjestelmien **tehonsyötöt** jaetaan kahteen osaan, sisäiseen tehonsyöttöön ja ulkoiseen tehonsyöttöön. Logiikkajärjestelmän eri komponentit saavat sähköistyksensä sisäisen tehonsyötön kautta ja tavallisesti se sisältyy logiikkayksikköön tai järjestelmäkehikkoon. Tulo- ja lähtöliitännöille tarvitaan erillinen jännitelähde. Jännitelähde voi olla osa logiikkajärjestelmää tai se voi olla erillisenä yksikkönä. Kuvassa 9 on esitetty eri moduulien sähköistys käyttäen järjestelmäkehikkoa ja yhtä jännitelähdettä. (1, 226.)



Kuva 9. Järjestelmäkehikön sähköistys. (9.)

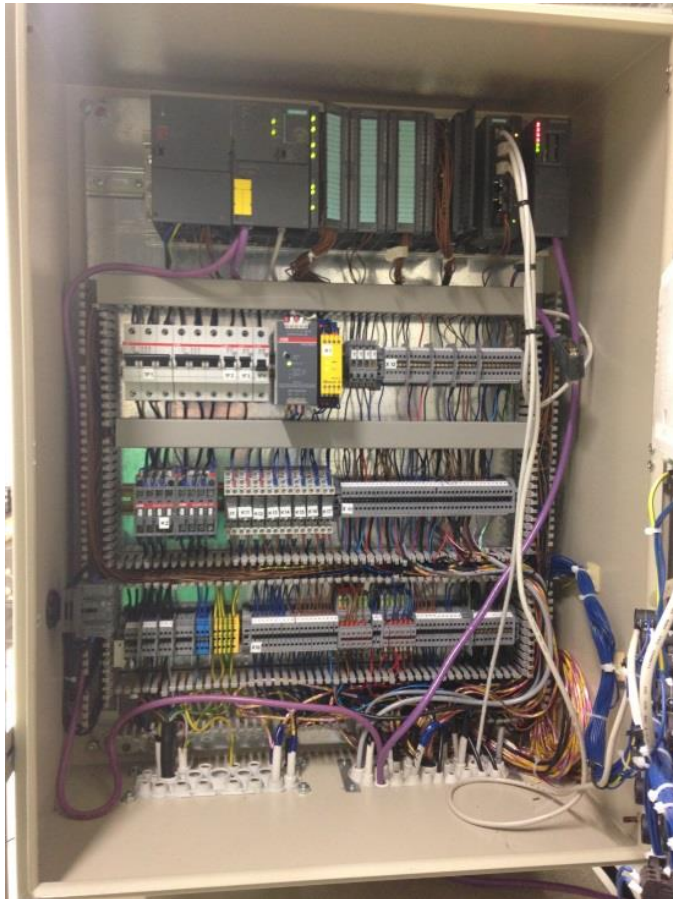
Ulkoisella tehonsyötöllä tarkoitetaan ulkoisesti kytkettyjä toimilaitteita, jotka sähköistetään oman erillisen sähkösyötön kautta. Huomionarvoista on kuitenkin, että logiikk-



kayksikön sähkönsyöttöryhmässä ei saisi olla suuria sähkömoottorikuormia. Suuret kuormat samassa sähkönsyöttöryhmässä saattavat aiheuttaa häiriötä logiikkasovelluksen toimintaan tai rikkoa logiikkayksikön. (1, 266.)

Logiikkasovellusten luomista varten käyttäjällä on oltava erillinen valmistajan toimitama ohjelmointilaite. Fyysisesti ohjelmointilaite on taskulaskimen kokoinen. Ohjelmointilaitetta ei tarvitse, jos tietokoneeseen on asennettu erillinen ohjelmointiin soveltuva ohjelmisto. Opinnäytetyössä käytetään erillistä Siemens S7-sarjalle soveltuvaa ohjelmointiohjelmistoa TIA Portal -ohjelmistoa Ethernet-liitäntää käyttäen. (1, 266.)

Kuvassa 10 on esitetty opinnäytetyössä käytetty Siemens S7-315F -logiikkayksikkö kaikkine komponentteineen sähkökaapissa.



Kuva 10. Sähkökaappi.

### 3.2 Logiikkayksikön toiminta

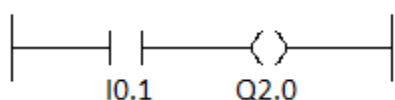
Logiikkayksikön toiminta perustuu, että keskusyksikkö (CPU) selaa käyttäjän ohjelmoimaa logiikkasovellusta kiertävästi. Keskusyksikkö lukee ensin kaikkien tulo- ja lähtöliitäntöjen tilan ja tallettaa tiedot muistiin. Keskusyksikkö käy sen jälkeen läpi käyttäjän ohjelmoiman logiikkasovelluksen siinä järjestyksessä, kun käyttäjä on logiikkasovelluksen luonut. Sovelluksen lähtöliitäntöjen tilatiedot päivitetään vasta sitten, kun koko sovellus on luettu alusta loppuun. Sovelluksen kokonaiseläusaika riippuu sen pituudesta. (1, 223)

Mikroprosessori ohjaa logiikkayksikön sisäisiä toimia käyttöjärjestelmän avulla. Nämä vastaavat viestinnästä ja kommunikoinnista logiikkayksikön, ohjelmointipäätteen ja oheislaitteiden kanssa. Laajoissa ohjausjärjestelmissä käytetään useita mikroprosessoreita, jotta toiminta olisi riittävän nopeaa. (1, 223)

### 3.3 Logiikkaohjelmointi ja vesiprosessin valvomonäytön suunnittelu

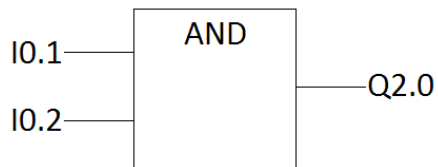
Logiikkasovelluksen suunnitteluun käytettiin TIA Portal V11 -ohjelmistokehykseen kuuluva Simatic Step7 -suunnitteluohjelmistoa. Simatic Step7 -suunnitteluohjelmalla on mahdollista ohjelmoida kaikkia SIMATIC-sarjan ohjelmoitavia logiikoita. Ohjelmointiin on voidaan käyttää erilaisia ohjelmointikieliä, kuten esimerkiksi tikapuukaavion tai lohkokaaavion avulla rakennettu logiikkaohjelma. (10; 1, 224.)

**Tikapuukaavio** on käytössä hyvin yleisesti, koska se pohjautuu teollisuudessa käytettyihin sähköpiirikaavioihin. Piirikaaviossa vasemmalla reunalla sijaitsee jännite ja oikealla nolla. Logiikkasovellus luodaan muodostamalla relekoskettimista sähkövirtapiirejä käyttäen avautuvia sekä sulkeutuvia kytkimiä. Kuvassa 11 on esitetty binäärinen logiikkasovellus käyttämällä tikapuukaaviota. Lähteen selvityksestä selviää, että jos tulo I0.1 on tosi, niin lähtö Q2.0 on tosi. Jos tulo I0.1 on epätosi, niin lähtö Q2.0 on epätosi (1, 224.)



Kuva 11. Logiikkasovellus toteutettuna tikapuukaaviolla (3.)

**Toimintalohkokaavio** koostuu toimilohkokokonaisuuksista ja näyttää ulkonäöllisesti mikropiirikaaviota. Kuvassa 12 on esitetty binäärinen logiikkasovellus käyttäen toimintalohkokaaviota. Tulojen I0.1 ja I0.2 on oltava tosi, jotta lähtö Q2.0 on tosi. Jos toinen tuloista on epätosi, piirin lähtö Q2.0 on epätosi. (1, 224.)



Kuva 12. Logiikkasovellus toteutettuna toimintalohkokaaviolla (1, 224.)

Valvomonäytön suunnitteluun käytettiin Wonderware Intouch-ohjelmaa. Logiikkayksikön I/O-moduulien tilatietoja luetaan Wonderware System Management Console-ohjelman (SMC) kautta. Kuten aikaisemmin mainittiin, valvomonäytön suunnittelua ei sen tarkemmin esitellä valvomonäytön suunnittelun yksinkertaisuuden takia. Kuvassa 13 on esitetty syöttöpumpun käynnistys- ja pysäytyspainikkeen toteutus Intouch-ohjelman tagname-kirjastoon. Tagname-kirjastoa käytetään hyväksi valvomonäytön objektien luomisessa. Syöttöpumpun käynnistys- ja pysäytyspainikkeen luontiin riittää esimerkiksi pelkkä suorakaiteen muotoinen objekti. Objektin luonnin jälkeen se avataan piirtonäytössä, jonka jälkeen objektille annetaan sen toimintoa sitova tieto. Tämän jälkeen objektin tagname -kenttään syötetään syöttöpumppu.

The screenshot shows the 'Tagname Dictionary' window with the following fields and callouts:

- Tagname:** Syöttöpumppu
- Type:** I/O Discrete
- Group:** \$System
- Access Name:** Dassi
- Item:** Q0.0
- Initial Value:** Off
- Input Conversion:** Direct
- Read/Write:** Read Write

Callout boxes provide the following explanations:

- Tagname -kenttään syötetään käyttöliittymään laadittavan objektin nimi. Nimi tallennetaan tagname -kirjastoon myöhempää käyttöä varten.**
- Ilmaisee miten käyttöliittymä käsittelee Item -kentän signaalia. Mahdollista asettaa, että signaalia voidaan: 1) vain lukea I/O -moduulin tuloa tai lähtöä 2) lukea ja kirjoittaa I/O -moduulin tuloa ja lähtöä**
- Signaalin tyyppi. Valitaan sen mukaan, mitä signaalia on tarkoitus käsitellä. Koska tässä tapauksessa syöttöpumpulle tehdään käynnistys ja pysäytyspainike, signaalin tyyppi on binäärinen (ON / OFF)**
- Item -kenttään syötetään toimilaitteen tai mittalähettimen I/O -osoite. Tässä tapauksessa tähän syötetään syöttöpumpun käynnistys binaarinen signaali**
- Ilmaisee suunniteltavan objektin oletuslähtökohtaisen tilan käyttöliittymässä. Objektille on mahdollista asettaa oletuslähtökohtaiseksiarvoksi: 1) päällä 2) pois**
- Koska haluamme ohjata syöttöpumpun käynnistystä ja pysäytystä, oletuslähtökohtaisesti tähän laitetaan pois -arvo**
- Access name -kenttään tehdään profiili ja profiiliin asetaan logiikkayksikön ja SMC -ohjelman välille konfiguroidun tiedonsiirtöyhteyden nimi. Profiiliin nimetty tässä tapauksessa vain dassiksi.**
- Ilmaisee miten I/O -moduulista luettavaa signaalia käsitellään. Signaalia voidaan käsitellä: 1) suoraan 2) käänteisesti**

Kuva 13. Syöttöpumpun käynnistys- ja pysäytyspainikkeen toteutus valvomonäyttöön.

#### 4 OHJAUS- JA SÄÄTÖPERIAATTEET

Järjestelmän säätö toteutetaan säätimen avulla. Säätimen toiminta perustuu järjestelmästä saatavaan mittaustietoon, jonka jälkeen säädin tarkastelee tavoiteltuja säätöarvoja piirille. Tämän jälkeen säädin huomioi käyttäjän asettamat säätöparametrit säätimelle ja yrittää korjata säätöpoikkeaman. Mittaustietojen käsittely ovat säätimen tärkeimpiä tehtäviä. Säädin vertaa mittausarvoa ja käyttäjän asettamaa asetusarvoa toisiinsa. Jos säätöpoikkeama on suurempi kuin nolla, niin säädin toteuttaa korjaavan toimenpiteen. Asetusarvon muutos voi olla askelmainen tai se voi tapahtua tietyn ennalta määrätyn ajan sisällä. (11, 23 - 24.)

Edellä mainittua säätöä kutsutaan asetusarvosäädöksi. Jotta säätötoimenpidettä säädettävässä piirissä olisi mahdollista käyttää, piirin tulee olla takaisinkytketty. Lisäksi sää-

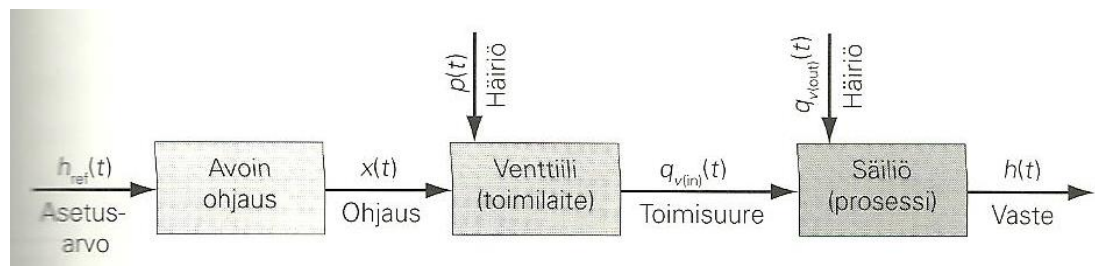
töpiirin toteutusta helpottaa, kun tiedetään prosessin fyysinen käyttäytyminen. Opin-  
näytetyön säätöprosessi käyttää kyseistä säätömenetelmää hyväkseen. (11, 23 - 24.)

Vedenpinnan korkeudelle annetaan jokin tietty asetusarvo ja säätöpiiri vertaa vesisäi-  
liön mittauslaitteen signaalia asetusarvoon. Säätöpiiri suorittaa korjaavan toimenpiteen  
ohjausarvoon ohjaamalla pumpun pyörimisnopeutta, jolloin vesisäiliö alkaa täyttyä.  
Korjaava toimenpide on suoritettu, kun säätimen asetusarvon ja mittalaitteen mittaus-  
tuloksen erotus on nolla. (11, 23 - 24.)

#### 4.1 Säätöpiirin ohjaustavat

**Avointa säätöpiiriä** käytettäessä toimilaitetta ohjataan ohjaussignaalin  $x(t)$  avulla il-  
man järjestelmän lähtösuuren mittaustietoa. Käytännön esimerkkinä voidaan pitää  
mikroaaltouunia. Käyttäjä asettaa mikroaaltouunille tietyn lämmitysajan, jonka jäl-  
keen mikroaaltouuni sammuu ottamatta huomioon, onko ruoka valmista vai ei. Avoi-  
men ohjauksen käyttöä on myös mahdollista soveltaa vesisäiliöön. Säiliön pohjalla  
oleva venttiili voitaisiin avata ajastetusti tietyin väliajoin. Säiliön pohjan venttiili  
avautuu riippumatta siitä, onko säiliössä vettä vai ei. (11, 27.)

**Avointa säätöpiiriä** käytetään hyväksi järjestelmien hallituissa ylös- sekä alasajoissa.  
Ohjauspiirin etuna voidaan pitää edullisuutta ja yksinkertaisuutta, koska mittalaittei-  
den käyttö ei ole välttämätöntä. Kuvassa 14 on esitetty avoimen ohjauksen toiminta  
lohkokaavioesityksenä. Jos mikroaaltouunia käytetään kuvan esitykseen, niin tässä ta-  
pauksessa käyttäjällä on mielessä tietty lämmitysaika, joka toimii asetusarvona  $h_{ref}(t)$ .  
Käyttäjän asettamaa aikaa mikroaaltouunille kuvataan ohjauksen  $x(t)$  muodossa. Toi-  
milaitetta kuvaa luonnollisesti mikroaaltouuni. Mikroaaltouunien lämmitysteho toimii  
toimisuurena  $q_{v(in)}t$  ja lämmitettävä ruoka prosessina. (11, 27.)



Kuva 14. Avoin säätöpiiri. (11, 27.)

**Takaisinkytketyn säätöpiirin** toiminta perustuu siihen, että prosessin lähtösuuretta  $h(t)$  eli esimerkiksi vedenpinnan korkeutta mitataan jatkuvasti mittalaitteella. Säädin tekee erotuslaskutoimituksen prosessista mitattavalle suurelle  $h(t)$  ja asetusarvolle  $h_{ref}(t)$ . Erotuslaskutoimituksen tulos syötetään säätimen ohjaukseen ja säädin pyrkii korjaamaan prosessissa tapahtuneen virheen, joko vähentämällä tai lisäämällä ohjausta  $x(t)$ . Erotuslaskutoimitus lasketaan seuraavan kaavan 4.1 (11, 28.) mukaan (11, 28 - 29.):

$$e(t) = h_{ref}(t) - h(t) \quad (4.1)$$

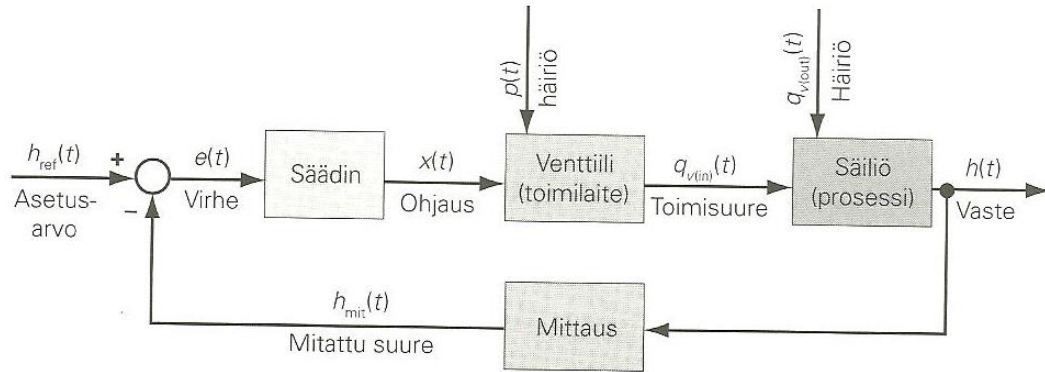
jossa:

$e(t)$  = mitattavan suureen säätöpoikkeama

$h_{ref}(t)$  = asetusarvo

$h(t)$  = prosessista mitattava suure

**Takaisinkytketyn säätöpiirin** etuna on, että käyttäjän ei välttämättä tarvitse tuntea prosessin käytöstä, eli prosessimallia yksityiskohtaisesti. Takaisinkytkennän ansiosta prosessissa esiintyvät häiriöt korjataan, kun ne esiintyvät prosessissa mitattavassa suu- reessa. Takaisinkytkennän ansiosta prosessi pyrkii stabiloituun tilaa, jota pidetään sää- töpiirin tärkeimpänä ominaisuutena. Takaisinkytkettyä säätöä voi käyttää havainno- listamaan vesisäiliön pinnankorkeutta. Käyttäjä on asettanut tietyn pinnankorkeuden rajaksi  $h_{ref}(t)$ , jolloin säiliön säätimen toiminnan ansiosta pohjan venttiili aukeaa. Pin- nankorkeuden  $h(t)$  ollessa pienempi kuin käyttäjän asettama arvo venttiili sulkeutuu. Kuvassa 15 on esitetty negatiivisesti takaisinkytketty piiri lohkokaaavioesityksenä. (11; 28 - 29.)

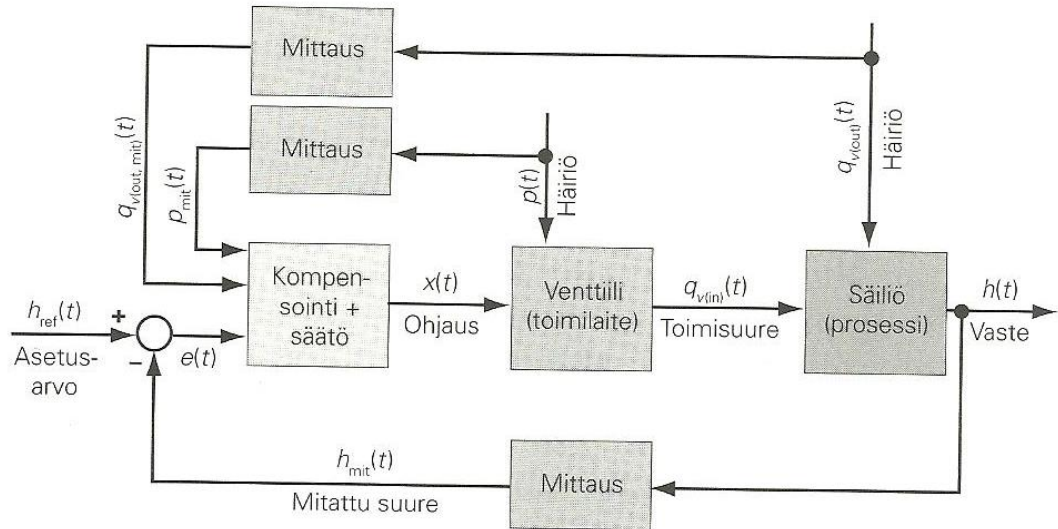


Kuva 15. Negatiivisesti takaisinkytketty säätöpiiri. (11, 29.)

**Myötäkytketyssä säätöpiirissä** otetaan etukäteen huomioon prosessin toimivuuden kannalta haitallisten häiriötekijöiden aiheuttama virhe. Virhe kompensoidaan lisäämällä häiriötekijöiden aiheuttama vaikutus säätimen ohjausarvoon. Jotta virhettä olisi mahdollista kompensoida, käyttäjän täytyy pystyä mittamaan häiriön suuruus ja prosessin toimintamalli on tiedettävä tarkasti. Käyttäjän pitää myös tietää ohjausarvon ja mittaussarvon välinen viive, eli kuollut aika. Kuolleen ajan on oltava pienempi tai yhtä suuri, kuin häiriötekijöiden aiheuttama viive itse prosessiin. (11, 27 - 28.)

**Myötäkytkennän** on tarkoitus nopeuttaa ja helpottaa säätötoimenpidettä, sitä ei koskaan käytetä yksinään. Myötäkytkettyä säätöpiiriä käytetään täydentämään takaisinkytkettyä säätöpiiriä. Huomion arvoista on kuitenkin, että myötäkytkennällä ei ole vaikutusta takaisinkytketyn säätöpiirin vuritykseen. (11, 27 - 28.)

Kuvassa 16 on esitetty myötäkytketty ja takaisinkytketty säätö lohkokaaavio esityksenä. Venttiilin häiriönä voidaan pitää sitä, että venttiilin avautumisessa esiintyy viivettä. Samoin säiliön häiriönä voidaan pitää prosessissa esiintyvää kuollutta aikaa, jota esiintyy opinnäytetyön säätöpiirissä. (11, 27 - 28.)



Kuva 16. Myötäkytketty ja takaisinkytketty säätöpiiri. (11; 29.)

## 4.2 Säätoalgoritmit

**P-säätimen** toiminta perustuu siihen, että säädin vahvistaa prosessin asetusarvon ja mittauseron eroarvoa ja asettaa vahvistuskertoimella kerrotun eroarvon säätimen ohjausarvoksi. Säätimen eroarvo on välttämätöntä kertoa vakiolla, koska jossain vaiheessa eroarvo muodostuu niin pieneksi, että säädin ei pysty ohjaamaan toimilaitetta. Vahvistuskerrointa suurentamalla on mahdollista muuttaa säadettävän järjestelmän muutosnopeutta. P-säätimen ohjausarvo on mahdollista laskea kaavan 4.2 (13, 45.) mukaan (12, 50; 13, 50.):

$$u(t) = K_p e(t) + u_0 \quad (4.2)$$

jossa:

$u(t)$  = ohjausarvo

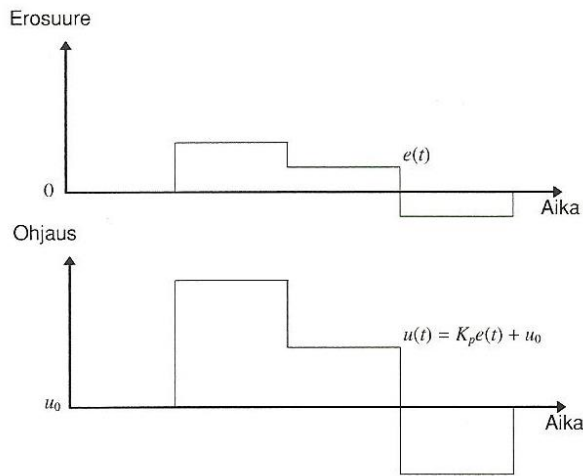
$K_p$  = vahvistuskerroin

$e(t)$  = säätöpoikkeaman arvo ajanhetkellä  $t$

$u_0$  = vakiotason ohjaus



Kuvasta 17 huomataan, kun P-säätimen asetusarvolle annetaan askelmainen muutos, säätimen ohjaus reagoi myös askelmaisesti.



Kuva 17. P-säätimen toiminta. (13, 46.)

**I-säätimellä** (Integral) on mahdollista saavuttaa hyvä tarkkuus säädettävään prosessiin, koska säätö ottaa huomioon muuttuvan eroarvon ajan funktiona. Tämän ansiosta säädön ohjausarvon muutos ei ole askelmainen kuten P-säätimellä. Ohjausarvon muutos on lineaarinen. Kansankielellä sanoen I-säädin käyttää hyväkseen prosessin vanhoja säätöpoikkeaman arvoja. I-säädintä käytetään usein yhdessä P-säätimen kanssa. (13, 47 - 50.)

PI-säätimellä on mahdollista poistaa P-säätimellä tuotettu jatkuva säätöpoikkeama. I-säädin käyttää hyväkseen integrointiaikaa. Mitä suurempi säätimen integrointiaika on, sitä pienempi kasvunopeus säätimen ohjausarvon muutoksella on. Pieni integrointiaika aiheuttaa vastaavasti suuren kasvunopeuden säätimen ohjausarvon muutoksille. PI-säätimen ohjausarvoon vaikuttaa säätöpoikkeaman arvon suuruus ja säätimelle asetettu integrointiaika. PI-säädin tunnistaa prosessin säätöpoikkeaman arvon suuruuden, etumerkin sekä kestoajan. PI-säätimen ohjausarvo on mahdollista laskea kaavan 4.3 (13, 47.) mukaan: (13, 47 - 50.)

$$u(t) = K_p \left( e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t) dt \right) \quad (4.3)$$

jossa:

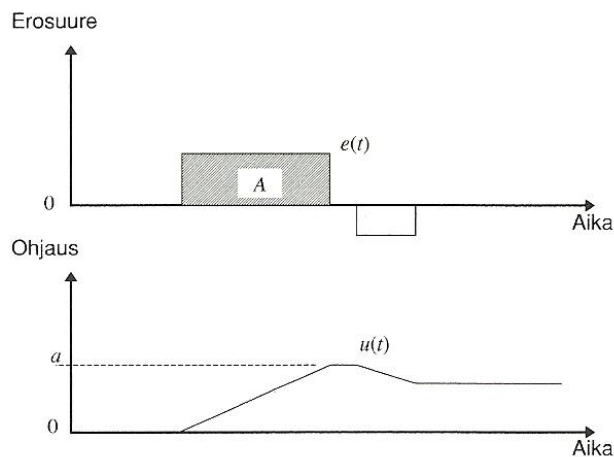
$u(t)$  = ohjausarvo

$K_p$  = vahvistuskerroin

$e(t)$  = säätöpoikkeaman arvo

$1/T_i$  = integrointi aika

Kun kuvan 18 säätimen asetusarvoon tehdään askelmainen muutos, mittaustuloksen ja asetusarvon välinen säätöpoikkeama pienenee. Kuva havainnollistaa hyvin, miten I-säädin aluksi kasvattaa ohjausarvoaan lineaarisesti kunnes säätöpoikkeamaksi tulee nolla. Säätöpoikkeaman ollessa nolla, säädin jättää ohjausarvon vakioksi. Säätöpoikkeaman ollessa negatiivinen säätimen ohjausta pienennetään. Kuvassa esiintyvä valkoinen palkki kuvastaa tapahtumaa, jossa ohjattavan suureen mittaustulos on ylittänyt asetusarvon, jonka myötä säädin toteuttaa korjaavan toimenpiteen vähentämällä ohjausta. (13, 47.)

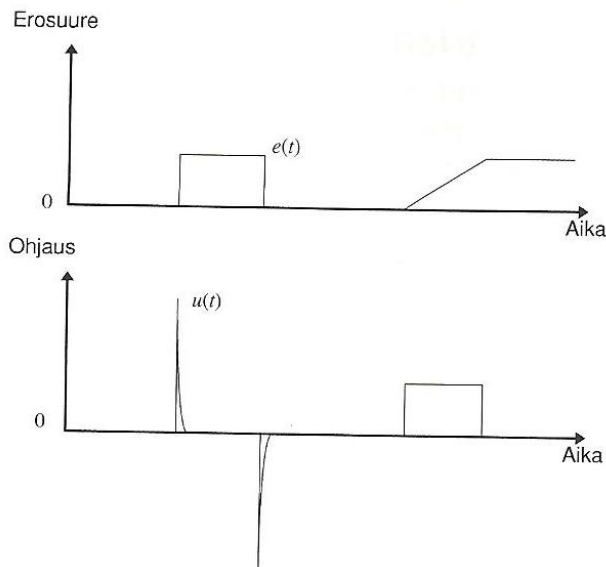


Kuva 18. I-säätimen toiminta. (13, 48.)

**D-säätimen** toiminta perustuu säätöpoikkeaman arvon muutosnopeuteen. Derivoivassa säädössä asetusarvon muutos saa aikaan suuren piikin ohjausarvon toiminnassa ja säädin säätää ohjearvoa enemmän, kuin säätöpoikkeaman korjaus edellyttäisi. Deri-

voivaa säätöä kutsutaan myös ”ennakoivaksi” säädöksi. D-säätimen toimintaa ohjataan derivointiajan avulla ja suuremmalla derivointiajalla säätimen ohjausarvon ohjauspiikki kasvaa. (13, 49.)

Kuvassa 19 on esitetty D-säätimen toiminta. Kun asetusarvolle tehdään askelmainen muutos, säätimen ohjaus pyrkii ennakoimaan tapahtumaa ja tapahtumahetkellä säätimen ohjauksessa tapahtuu piikki. Säättöpoikkeaman muutosnopeuden ollessa nolla D-säätimen ohjaus antaa myös nollaa. (13, 49.)



Kuva 19. D-säätimen toiminta. (13, 49.)

Huomionarvoista on kuitenkin, jos prosessissa esiintyy viivettä, tällöin derivointitermiin täytyy suhtautua varovaisesti. Prosessiteollisuudessa pyritään välttämään derivoivan säädön käyttöä, koska derivoiva säätö korostaa korkeita taajuuksia, kuten mitauskohinaa. Mekaanisissa järjestelmissä derivoivan säätimen käyttö on yleisempää. Jos derivoivaa säädintä käytetään, säädin tarvitsee signaalien suodatusta tai derivoinnin suodatusta. Mitä suurempi aikavakiotermi derivoinnin suodatuksella on, sitä pienempi vaikutus derivaatalla on säätöön. (13, 50 - 51.)

Alla olevassa kaavassa 4.4 on esitetty ideaalirakenteisen PID-säätimen laskenta-algoritmi: (13, 48.)

$$u(t) = K_p \left( e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right) \quad (4.4)$$

jossa:

$u(t)$  = ohjausarvo

$K_p$  = vahvistuskerroin

$e(t)$  = säätöpoikkeaman arvo

$1/T_i$  = integrointiaika

$T_d$  = derivointiaika

$d/dt$  = säätöpoikkeaman muutosnopeus

## 5 VESIPROSESSIN PROSESSIKOKEET JA MALLINNUS

### **Prosessikokeen parametrit**

Jotta kohdeprosessia voidaan ylipäättään mallintaa on prosessin tasapainotilaa häiritävä. Prosessikokeiden perustana on, että prosessia tarkastellaan tasapainotilojen välillä suhteessa ohjausarvon ja mittausarvon muutoksiin. Yleensä prosessikokeiden aikana tuotantoa on häiritävä, mutta on myös mahdollista tehdä prosessikoe häiriöttömästi automaattimoodissa, jos prosessin säädössä on paljon asetusarvon muutoksia. Huomattavaa on kuitenkin, että viritystyökalujen tarjoamat testisignaalit ovat aina oikeanlaisia ja niitä kannattaa käyttää. (13, 87 - 88.)

Ennen prosessikokeen aloitusta säätöpiirin virittäjän on määriteltävä prosessikokeen koeamplitudin suuruus. Koeamplitudilla tarkoitetaan ohjaus- tai asetusarvon testisignaalin muutoksen suuruutta. Liian pienellä amplitudin muutoksella prosessi ei reagoi ohjausarvon muutokseen, kun taas liian suurella toimilaitte voi ajautua ääriasentoon. Toimilaitteen ajautumien ääriasentoon tasaantuvilla prosesseilla muuttaa prosessin mallin muuttumisen. Amplitudin muutoksen prosessikokeen aikana tulisi olla kokoluokaltaan sama, mitä tarkasteltavan ohjausarvon vaihteluväli toimipisteessä. Yleensä muutaman prosentin vaihteluväli riittää prosessikokeen tekoon. (13, 97.)

Prosessikokeen näyteväli valitaan sen mukaan, kuinka nopeasti prosessi käyttäytyy. Nopean prosessidynamiikan omaavalla prosessilla käytetään lyhyttä näyteväliä ja hitailla prosesseilla suurempaa. Tyypilliseen pinnankorkeuden prosessikokeessa näyteväliksi voidaan asettaa 1 – 2 sekuntia. Prosessikokeen aikana näytevälin ei tule olla pienempi kuin mittauspiiri antaa mittaustietoa. Liian pienet näytevälit kuormittavat prosessoreita ja saattavat aiheuttaa laskennassa pyöristysvirheitä. (13, 98.)

Prosessin mallintaminen toimii aina pohjana säätösuunnittelulle. Säätimen viritystulos perustuu aina prosessille asetettuihin toiminnallisiin vaatimuksiin ja systeemin malliin. Prosessimallia tehtäessä on kiinnitettävä huomiota moniin eri seikkoihin, kuten esimerkiksi prosessin toimintaolosuhteisiin, vastaavuuteen todellisuuden kanssa ja prosessiominaisuuksien säätöön toiminnan kannalta. (13, 92.)

Askelherätteellä on mahdollista saada useanlaisia vasteita prosessista, riippuen prosessin dynaamisista ominaisuuksista ja käytettävistä toimilaitteista. Useimmiten teollisuusprosessia riittää kuvaamaan yhden aikavakion prosessi, vaikka prosessi olisi dynamiikaltaan monimutkaisempi. Yhden aikavakion prosessi suppenee lopulta johonkin loppuarvoon. Integroivien prosessien kanssa askelheräte kasvattaa prosessin lähtösuurteen lineaarisesti johonkin tiettyyn pisteeseen, esimerkiksi säiliö täyttyy. Värähteleviä vasteita tavataan mekaanisissa järjestelmissä. Lisäksi prosessiteollisuudessa törmätään kuolleen ajan prosesseihin, jossa mittaus reagoi askelherätteeseen tietyn ajan jälkeen. (13, 75 - 78.)

### 5.1 Askelvastekoe ja satunnaispulssikoe

**Askelvastekoe** on yksinkertaisin ja helpoin tapa määrittää prosessiin vaikuttavat parametritekijät. Askelvastekokeen tekemiseen tarvitaan vähimmillään tuloste askelkokeesta, kynä ja viivoitin. Askelvastekokeen etuna on, että jatkuvuustilan vahvistus on mahdollista määrittää erityisen tarkasti. Säätöpiirin toiminnan analysointiin askelvastekoe voi olla liian yksinkertainen. Askelvastekoe on mahdollista toteuttaa piireille, joiden askelvasteessa ei esiinny värähtelyä. Askelvastekokeen suoritus tapahtuu neljässä vaiheessa: (13, 88 - 89.)

1. Säätöpiiri asetetaan manuaalitilaan.
2. Säätöpiirin kuormitushäiriöt pyritään poistamaan

3. Säätimen lähtöön tehdään askelmainen muutos. Jotta koe onnistuisi halutulla tavalla ohjausta ei saa kasvattaa pykälittäin.
4. Mittaustuloksen ja ohjauksen tilannetietoja kerätään, kunnes mittaussignaali on asettunut vakiotasolle tai  $\pm 1\%$  pysyvästi tasaantuvasta loppuarvosta (13, 80, 89.)

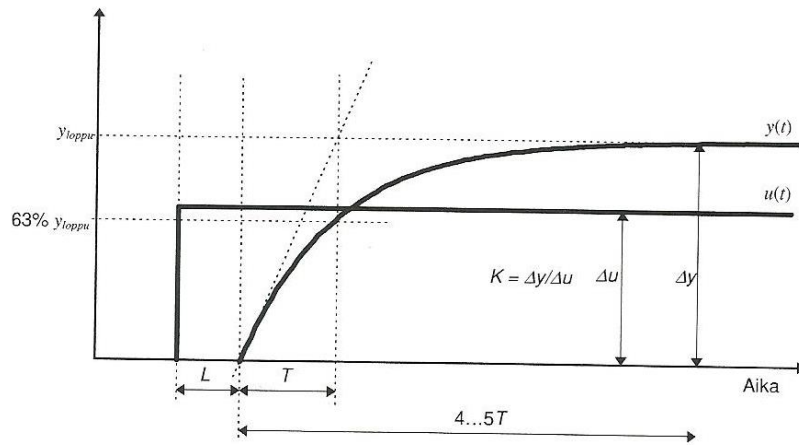
### **Yhden aikavakion ja viiveen prosessimallin prosessiparametrien askelvastekokeen avulla**

Askelvastekokeen avulla prosessista on mahdollista selvittää järjestelmän kuollut aika **L**, aikavakio **T** ja jatkuvuustilan vahvistus **K**. Kuollutta aikaa kutsutaan ajaksi, jolloin prosessissa aiheutuvan viiveen takia prosessi ei reagoi säätimen ohjauksen muutokseen. (13, 79 - 80.)

Aikavakiolla **T** kuvataan järjestelmän nopeutta. Aikavakio on mahdollista arvioida useilla menetelmillä. Aikavakio on mahdollista selvittää koetulosteesta piirtämällä suora mittaustuloksen jyrkimpään nousukohtaan. Tästä saadaan leikkauspiste suoralle ja tasaantuneelle mittaustulokselle. Aikavakio on myös mahdollista arvioida 63 % kohdalla tasaantuneesta mittaustuloksesta. (13, 79 - 80.)

Jatkuvuustilan vahvistus **K** määritetään jakamalla **mittaussignaalin muutos ohjaussignaalin muutoksella tarkastelupisteessä**. Jotta vahvistus voidaan määrittää, molempien signaalien on oltava samassa skaalassa. Signaalit on skaalattava mittauksen ja ohjauksen ala- ja ylärajojen suhteen. (13, 79 - 80.)

Kuvassa 20 on esitetty prosessiparametrien määrittäminen askelvastekokeesta. Kuvassa on arvioitu aikavakio **T** piirtämällä suora mittaustuloksen jyrkimpään nousukohtaan sekä laskemalla 63 %:n kohta vasteesta **y(t)** kaavalla **T = 0.63 \* K**. Kuvassa **y(t)** kuvastaa mittaustulosta ja **u(t)** säätimen ohjausta.  $\Delta y$  kuvastaa mittaussignaalin muutosta ja  $\Delta u$  kuvastaa ohjausarvon muutosta tasapainotilojen välillä. (13, 79 - 80.)



Kuva 20. Prosessiparametrien määrittäminen yhden aikavakion ja viiveen prosessin askelvastekokeesta. (13, 80.)

Laplace-muunnos yhden aikavakion ja viiveen prosessimallille esitetään kaavassa 5.1 (13, 81.). Kaavassa käsitellään ohjausarvon  $U(s)$  ja mittausarvon  $Y(s)$  suhdetta  $s$ -tasossa.

$$G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{K e^{-sL}}{Ts+1} \quad (5.1)$$

jossa:

$K$  = prosessin vahvistus

$s$  = laplace -muuttuja

$L$  = prosessin kuollut aika

$T$  = prosessin aikavakio

### **Integroivan prosessin prosessiparametrien askelvastekokeen avulla**

Integroivien prosessien yhteydessä jatkuvuustilan vahvistus  $K$  määritetään laskemalla mittausarvon muutos tarkastelupisteessä ja kertomalla tarkasteluhetken pituudella. Tämän jälkeen ohjausarvon muutos tarkastelupisteessä jaetaan aiemmin kerrotulla tuloksella.

Prosessin viive  $L$  määritetään tarkastelemalla kauanko mittausarvolla kestää, kunnes se reagoi ohjausarvon muutokseen.  $\Delta y$  kuvastaa mittaussignaalin muutosta ja  $\Delta u$  kuvastaa ohjausarvon muutosta tarkastelupisteen välillä. Kuvassa 21 on esitetty prosessiparametrien määrittäminen integroivan prosessin askelvastekokeesta. (13, 82.)

Laplace-muunnos integroivalle prosessimallille esitetään kaavassa 5.2 (13, 81.). Kaavassa käsitellään ohjausarvon  $U(s)$  ja mittausarvon  $Y(s)$  suhdetta  $s$ -tasossa.

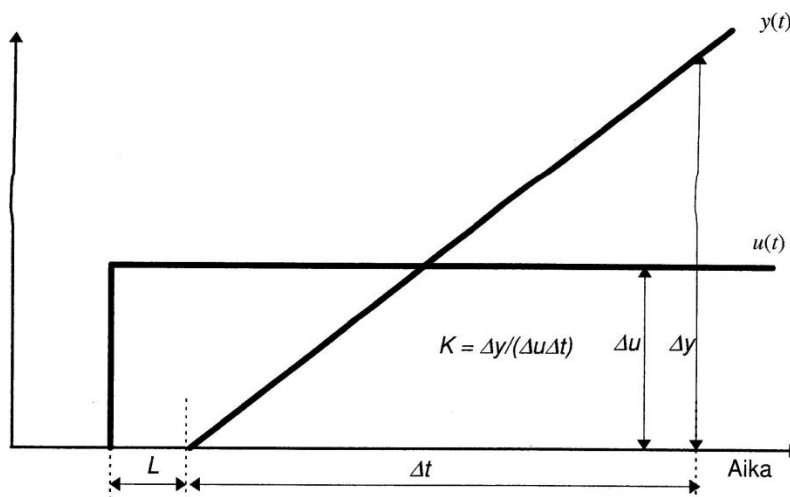
$$G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{Ke^{-sL}}{s} \quad (5.2)$$

jossa:

$K$  = prosessin vahvistus

$s$  = laplace -muuttuja

$L$  = prosessin kuollut aika



Kuva 21. Prosessiparametrien määrittäminen integroivan prosessin askelvastekokeesta. (13, 82.)

### Satunnaispulssikoe (PRBS)

Nopeiden säätöpiirien, kuten virtaus- ja sakeuspiirien prosessiparametrien määrittämiseen voidaan käyttää satunnaispulssikoetta. Pulssikoe mahdollistaa pienemmän ampli-



tudin käytön testisignaalisissa kuin askelkoe, jolloin prosessia kuormitetaan vähemmän. Kokeen tarkoituksena on tehdä useita amplitudiltaan samansuuruisia ja ajallisesti eripituisia askelpulsseja ylös- sekä alaspäin. Satunnaispulssikoetta käytetään yhdessä aikasarjamallinnuksen kanssa. Satunnaispulssikoe tarjoaa tilastollisesti tarkempaa tietoa mittausdatasta, mutta kokeen tekemiseen kuluu huomattavasti enemmän aikaa. (13, 97.)

Satunnaispulssikoe on mahdollista tehdä säätimen ollessa manuaali- tai automaattitilassa. Manuaalitulassa tehtynä koe vastaa askelvastekoetta, sillä erotuksella että yhden askeleen sijasta tehdään monia samansuuruisia askelia ylös- ja alaspäin. Automaattitilassa testisignaali summataan säätimen ohjausarvoon tai asetusarvoon. Summaus tapahtuu käyttämällä säätimen bias -tuloa. Kun testisignaalia syötetään säätimen ollessa automaattitilassa, prosessi on jatkuvassa hallinnassa kokeen aikana. (13, 90 - 91.)

## 5.2 Prosessimallit kahdessa toimintapisteessä

**Prosessikokeessa tutkitaan tulo- ja lähtösuureen dynamiikan suhdetta tasapainotilojen välillä.** Ennen prosessikokeen aloitusta on hyvä tutustua prosessin ja sitä hallitsevan järjestelmän välisiin dynaamisiin ominaisuuksiin. Prosessikokeet tehtiin valmiiseen valvomonäyttösovellukseen, kun valvomonäyttö ja logiikkasovellus oli suunniteltu ja valmis käytettäväksi.

Opinnäytetyössä syöttöpumppu on y-akselin suhteen alemmalla tasolla, kuin säädettävä prosessikohde eli yläsäiliö. Tämä on myös huomioitava prosessikokeen toteutuksessa. Syöttöpumpun on tuotettava tietty virtaama putkistoon, jotta yläsäiliö täytyisi vedellä. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että syöttöpumpulle joutui ”etsimään” tietyn ohjausarvon manuaalimoodissa, jotta haluttu toimipistetilanne voitiin luoda.

Ennen prosessikokeiden tekoa tein yksinkertaisia askelkokeita säätimen ohjausarvoon manuaalitulassa, jotta sain kuvan missä suhteessa pumpun ohjausarvon muutos vaikuttaa säiliön pinnankorkeuteen. Koska vesiprosessin yläsäiliön poistovirtausta ei ohjata toimilaitteella, poistovirtaus riippuu vain nesteen omasta massasta, eli pinnankorkeudesta.

Prosessin dynaamisuutta tutkitaan kahden toimintapisteen avulla. Vesiprosessin dynaamisuutta tutkitaan ensimmäisessä toimipisteessä pinnankorkeudella 18 % – 30 %

säiliön tilavuudesta. Toisessa toimipisteessä pinnakorkeus on 76 % – 88 % säiliön tilavuudesta. Tästä päästään tutkimaan, miten säiliön dynamiikka vaikuttaa säätöpiirin toimintaan eri pinnankorkeudella. Toimintapisteiden ohjaus- sekä mittausarvon lähtö- ja loppuarvot tarkastelupisteissä on kerätty prosessikokeista historical-trendinäytön avulla ja esitetty taulukossa 1.

	Alkutilanne	Lopputilanne
<b>1. Toimipiste</b>		
Ohjausarvo $u(t)$ , [%]	47	48
Mittausarvo $y(t)$ , [%]	18,31	30,40
<b>2. Toimipiste</b>		
Ohjausarvo $u(t)$ , [%]	52	53
Mittausarvo $y(t)$ , [%]	76,60	88,09

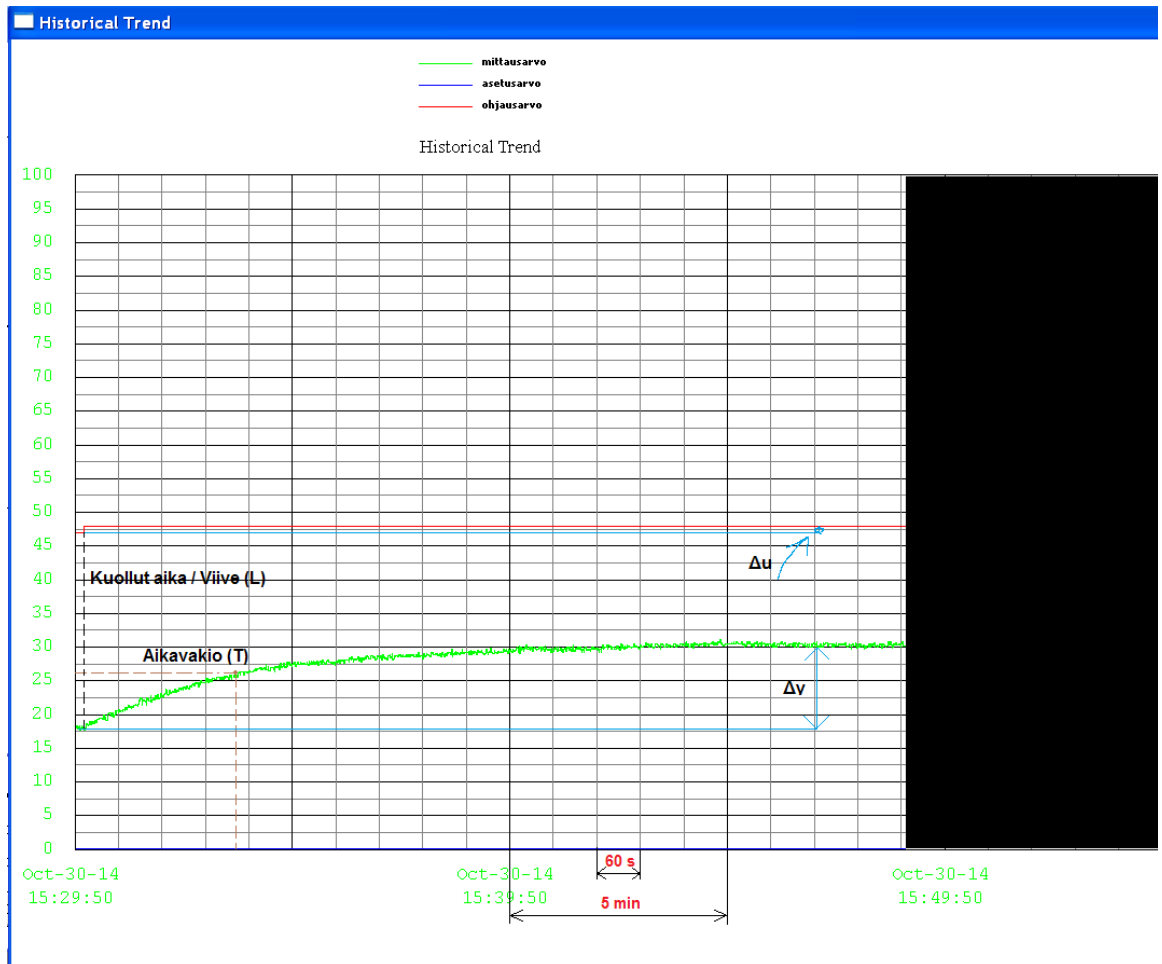
Taulukko 1. Toimintapisteiden ohjaus- sekä mittausarvon lähtö- ja loppuarvot tarkastelupisteissä.

Koska pinnanmittaussignaali värähtelee askelkokeessa, viivettä on vaikea havaita trendinäytöstä jopa reaaliaikaisen trendinäytön perusteella. Ja koska pumpun ohjausarvon toiminta-alue rajoittuu erittäin pienelle alueelle, ennen kuin säiliön pinta muuttuu integroivaksi, viivettä voidaan pitää samana koko pumpun toiminta-alueella.

Prosessikokeet tehtiin Intouch-valvomonäytön ja SMC I/O-serverin päivitysnopeuden ollessa 859 ms ja logiikkasovelluksen mittauslohkon päivitysnopeuden ollessa 250 ms. Päivitysväli valitaan epäjaolliseksi, jotta logiikkayksikön ja SMC I/O-serverin välillä tapahtuisi mahdollisimman vähän signaalinkäsittelyä samaan aikaan.

### 5.2.1 Toimintapiste 1. prosessimallit

Kuvassa 22 on esitetty ensimmäisen toimintapisteiden askelvastekoe. Kokeen alkutilanteessa syöttöpumppu 12345 oli manuaalimoodissa. Ennen kokeen aloitusta pinta ajettiin tasapainotilaan, jonka jälkeen ohjausarvoon tehtiin askelmuutos. Pinnankorkeus tasoittui 18,31 %:sta 30,40 %:tiin säätimen ohjausarvolla 47 % – 48 %. Kuvasta 22 voidaan määrittellä prosessiparametrit, kun tarkastellaan kuvassa 20 esitettyä yhden aikavakion ja viiveen prosessimallia. Kuvassa punainen viiva kuvastaa säätimen ohjaussignaalia  $u(t)$  ja vihreä mittaussignaalia  $y(t)$ .



Kuva 22. Ensimmäisen toimipisteen askelvastekoe.

Prosessin vahvistus (**K**) 1. toimipisteessä lasketaan kaavassa 5.3.

	Alkutilanne	Lopputilanne
<b>1. Toimipiste</b>		
Ohjausarvo $u(t)$ , [%]	47	48
Mittausarvo $y(t)$ , [%]	18,31	30,40

$$K = \frac{\Delta y}{\Delta u} = \frac{[y(t_{\infty}) - y(t_0)]}{[u(t_{\infty}) - u(t_0)]} = \frac{30,40 - 18,31}{48 - 47} \% = \mathbf{12,09 \%} \quad (5.3)$$

Aikavakion **T** arvo 1. toimintapisteessä lasketaan kaavassa 5.4 kuvan 20 mukaisesti. Huomionarvoista on kuitenkin, että tässä tapauksessa **18,31 %:tin** kohta vastaa **kuvan 17 origon akselia**. Tämä tehdään siksi, koska syöttöpumpun täytyy tuottaa virtaama, jotta yläsäiliöön pinnankorkeus nousee. Muuttuja **Y(t<sub>0</sub>)** kuvaa mittausarvoa ajanhetkellä 0, eli lähtötilanteessa. Muuttuja **Y(t<sub>∞</sub>)**

kuvaa uudelle tasolle tasaantunutta mittausarvoa ajanhetkellä ääretön. Mittausarvon tarkastelun ajanhetkellä kohdassa  $\mathbf{Y}(t_{\infty})$  ei ole väliä, koska mittausarvoa tarkastellaan siinä pisteessä, kun prosessi on jo tasaantunut uudelle tasolle. (13, 80.)

$$T = Y(t_0) + 0.63 * K = 18,31 \% + 0.63 * K \quad (5.4)$$

$$= 18,31 \% + 7,6167 \% = \mathbf{25,92 \%}$$

Katsottaessa kuvaa 22, huomataan että 25,92 %:in kohta historical trend -kuvaajasta on noin 3 minuutin ja 40 sekunnin kohdalla. Tämän jälkeen tästä poistetaan viive  $\mathbf{L}$ , joka on noin 4 sekuntia ja n. 10 sekuntia, koska askel ei tapahdu origossa. Aikavakioksi  $\mathbf{T}$  saadaan 206 sekuntia. Nyt prosessiparametrit mallintamista varten on määritetty ja voidaan siirtyä varmentamaan mallin todenmukaisuudesta.

Mallinnuksessa käytetään Matlab R2013a -ohjelmistoon sisältyvää Simulink-ohjelmaa. Prosessikokeesta lasketut prosessiparametrit syötetään alla olevaan yhden aikavakion ja viiveen prosessimallin siirtofunktioon aikaisemmin esitetyn kaavan 5.1 mukaan:

$$G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{Ke^{-sL}}{Ts+1} \quad (5.1)$$

jossa:

$$K = 12,09$$

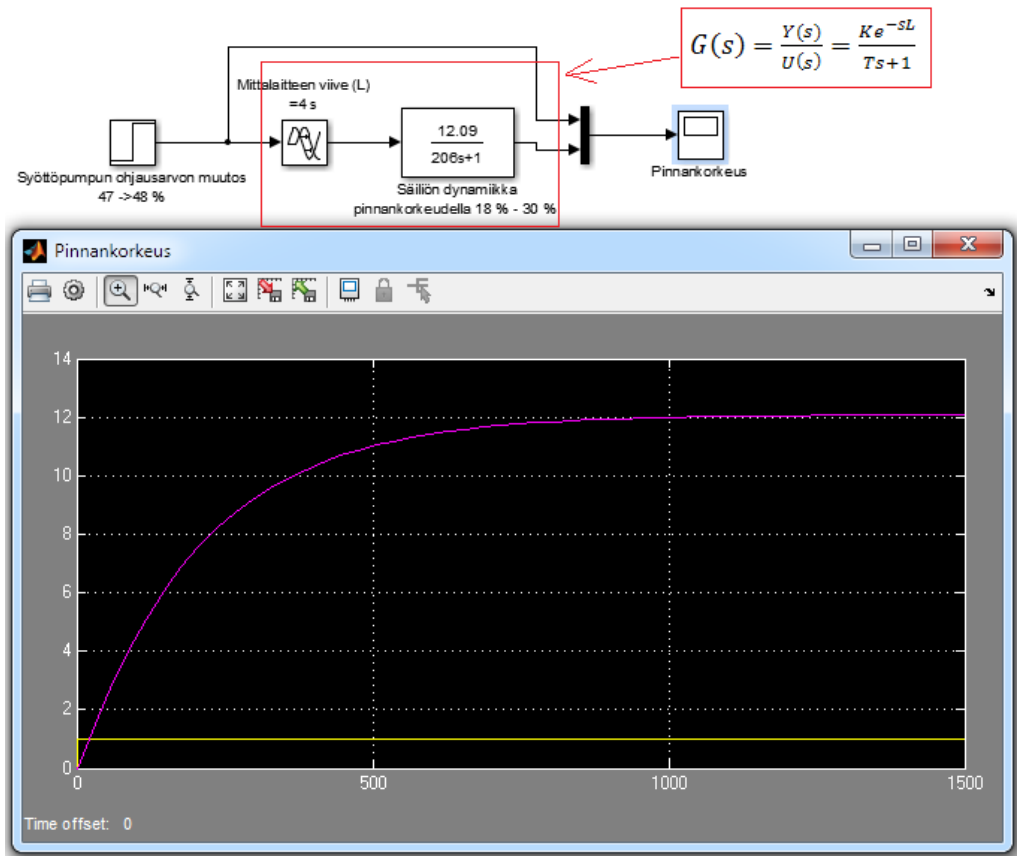
s = laplace -muuttuja

$$L = 4 \text{ sekuntia}$$

$$T = 206 \text{ sekuntia}$$

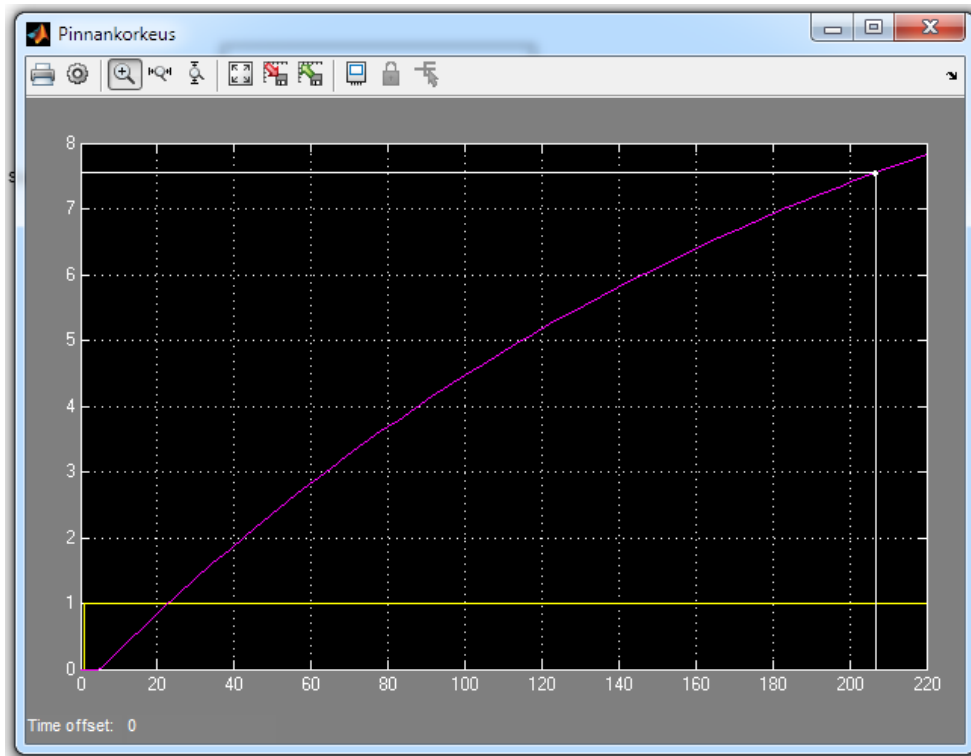
Kuva 23 esittää Simulinkillä simuloitua avoimen säätöpiirin vastetta prosessikokeesta lasketuilla parametreilla. Kuvaajan y-akseli kuvaa prosessin vahvistuskerrointa  $\mathbf{K}$ , eli mittausarvon ja ohjausarvon välistä suhdetta ja x-akseli aikaa sekunneissa. Jos verra-

taan kuvan 23 asettumisaikaa valvomonäytön historical trend -kuvaajaan kuvassa 22, huomataan että asettumisaika on lähes identtinen.



Kuva 23. Ensimmäisen toimipisteen simuloitu askelvastekoe.

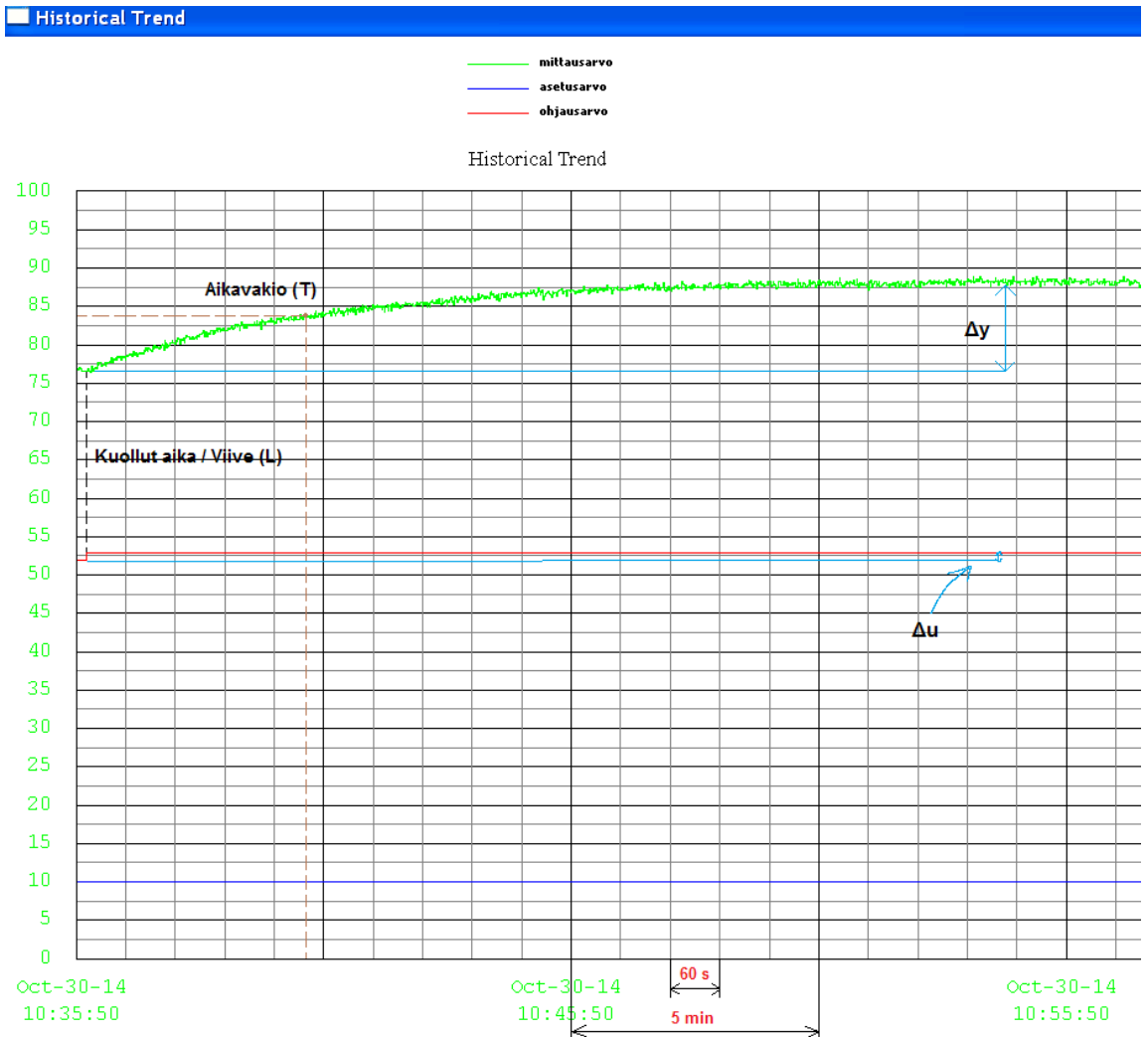
Kuvassa 24 mallinnuksen kuvaaja on tarkennettu 220 sekunnin kohdalle. Historia trend -kuvaajassa kuvassa 22 aikavakion  $T$  (206 s) kohdalla ohjausarvo nousi 7,62 %:n kohdalle (25,92 – 18,31). Kun verrataan sitä mallin kuvaajaan, huomataan että mallin ohjausarvo on erittäin lähellä sitä pistettä tarkasteluhetkellä.



Kuva 24. Ensimmäisen toimipisteen simuloitu askelvastekoe ajanhetkellä 206 sekuntia.

### 5.2.2 Toimintapisteen 2. prosessimallit

Kuvassa 25 on esitetty toisen toimintapisteen askelvastekoe. Kokeen alkutilanteessa syöttöpumppu 12345 oli manuaalimoodissa. Ennen kokeen aloitusta pinta ajettiin tasapainotilaan, jonka jälkeen ohjausarvon tehtiin askelmuutos. Pinnankorkeus tasoittui 76,60 %:sta 88,09 %:tiin säätimen ohjausarvolla 52 % - 53 %. Kuvasta 25 voidaan määrittellä prosessiparametrit, kun tarkastellaan kuvan 20 yhden aikavakion ja viiveen prosessimallia. Kuvassa punainen viiva kuvastaa säätimen ohjaussignaalia  $u(t)$  ja vihreä mittaussignaalia  $y(t)$ .



Kuva 25. Toisen toimipisteen askelvastekoe.

Prosessin vahvistus (**K**) 2. toimipisteessä lasketaan kaavassa 5.5.

	Alkutilanne	Lopputilanne
<b>2. Toimipiste</b>		
Ohjausarvo [%]	76,60	88,09
Mittausarvo [%]	52	53

$$K = \frac{\Delta y}{\Delta u} = \frac{[y(t_{\infty}) - y(t_0)]}{[u(t_{\infty}) - u(t_0)]} = \frac{88,09 - 76,60}{53 - 52} \% = \mathbf{11,49 \%} \quad (5.5)$$

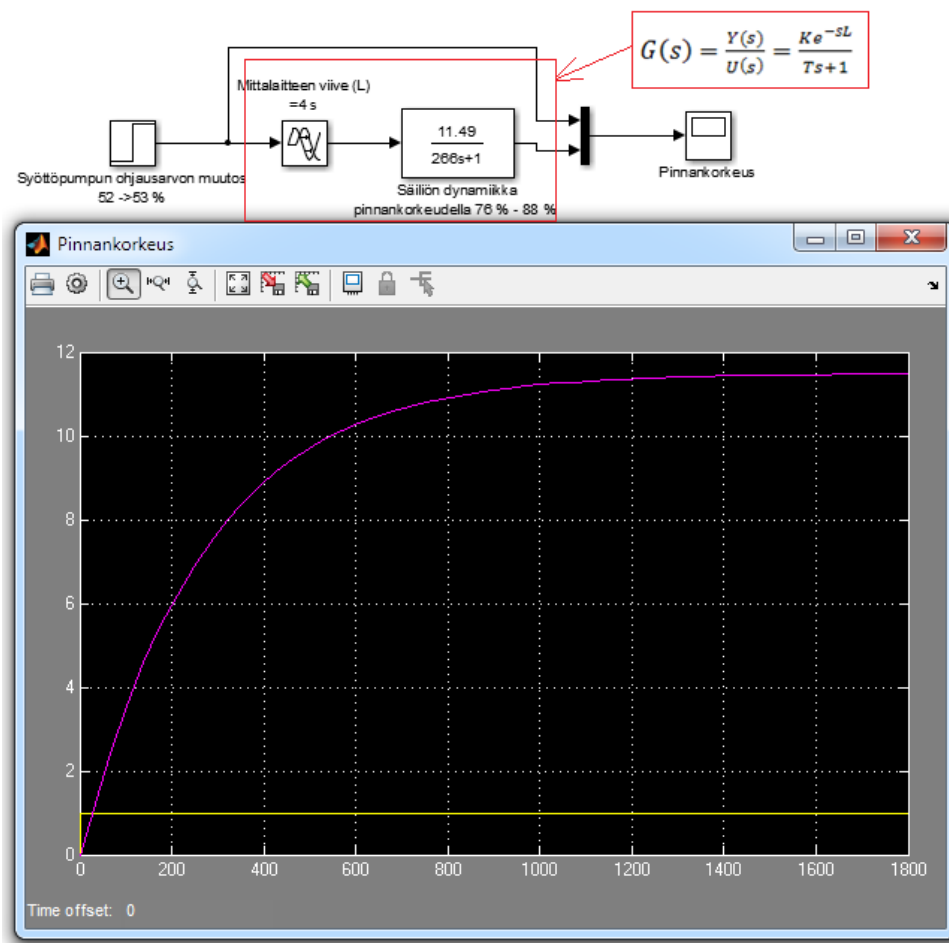
Aikavakion **T** arvo 2. toimintapisteessä lasketaan kaavassa 5.6 kuvan 20 mukaisesti. Huomionarvoista on kuitenkin, että tässä tapauksessa **76,60 %:tin** kohta vastaa **kuvan 17 origon akselia**. (13, 80.)

$$T = Y(t_0) + 0.63 * K = 76,60 \% + 0.63 * K \quad (5.6)$$

$$= 76,60 \% + 7,2387 \% = \mathbf{83,84 \%}$$

Katsottaessa kuvaa 25, huomataan että 83,84 %:in kohta historical trend -kuvaajasta on noin 4 minuutin ja 40 sekunnin kohdalla. Tämän jälkeen tästä poistetaan viive  $L$ , joka on noin 4 sekuntia ja  $n$ . 10 sekuntia, koska askel ei tapahdu origossa. Aikavakioksi  $T$  täten saadaan 266 sekuntia. Nyt prosessiparametrit mallintamista varten on määritetty ja voidaan siirtyä varmentamaan mallin todenmukaisuudesta.

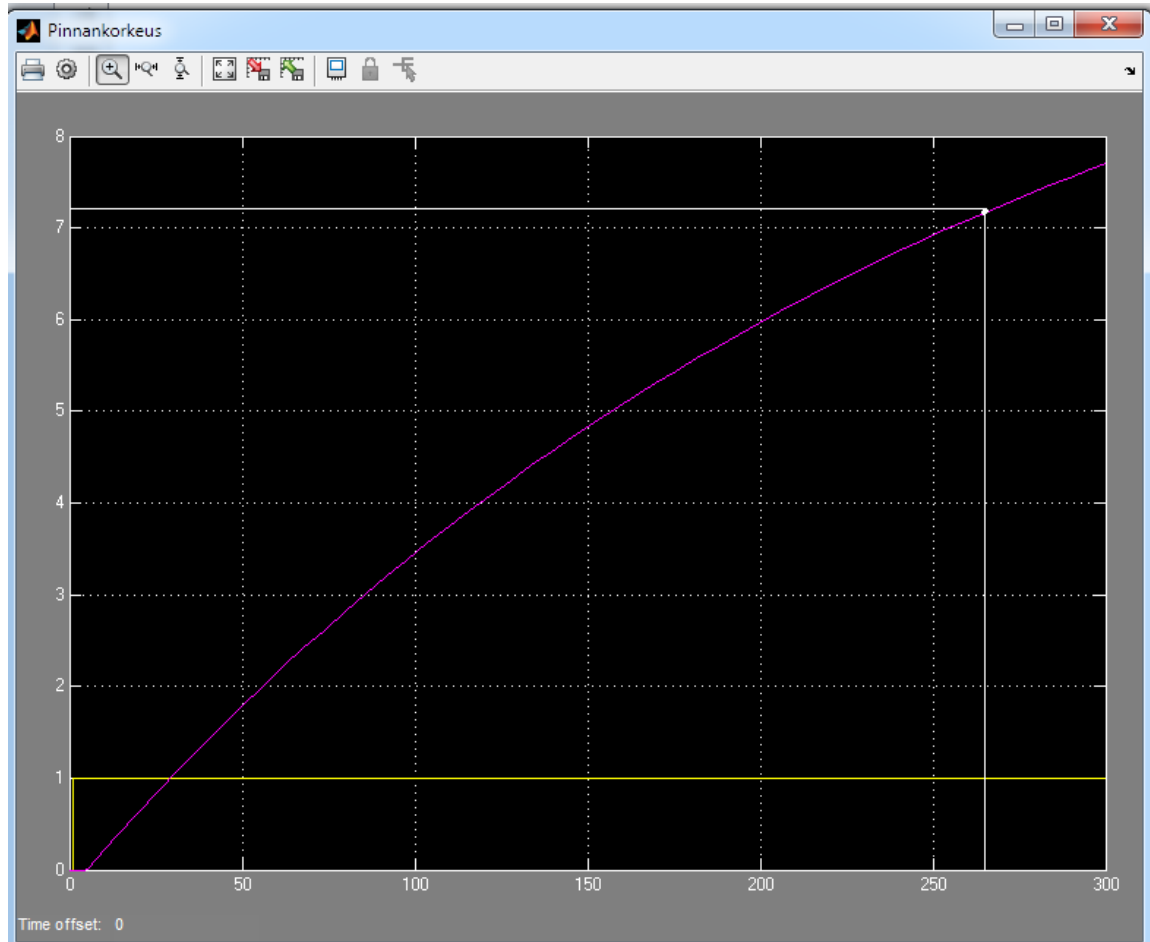
Kuva 26 esittää Simulinkilla simuloitua avoimen säätöpiirin vastetta prosessikokeesta lasketuilla parametreilla. Kuvaajan y-akseli kuvaa prosessin vahvistuskerrointa  $K$ , eli mittaussarvon ja ohjaussarvon välistä suhdetta, ja x-akseli aikaa sekunneissa. Jos verrataan kuvan 26 asettumisaikaa valvomonäytön historical trend -kuvaajaan kuvassa 25, huomataan että asettumisaika on lähes identtinen.



Kuva 26. Toisen toimipisteen simuloitu askelvastekoe.



Kuvassa 27 mallinnuksen kuvaaja on tarkennettu 266 sekunnin kohdalle. Historia trendin kuvassa 25 aikavakion  $T$  (266 s) kohdalla ohjausarvo nousi 7,24 %:n kohdalle (83,84 – 76,60). Kun verrataan sitä mallin kuvaajaan, huomataan että mallin ohjausarvo on erittäin lähellä sitä pistettä tarkasteluhetkellä.



Kuva 27. Toisen toimipisteen simuloitu askelvastekoe ajanhetkellä 266 sekuntia.

## 6 VESIPROSESSIN SÄÄTIMEN TOTEUTUS JA VIRITYS PROSESSIDYNAMIIKAN AVULLA

Säätöpiirin suunnittelussa on huomioitava, että prosessien käytös on aina tapauskohtaista. Suunnittelun tavoitteena voi olla hallittu asetusarvon säätö tai häiriöiden kompensointi säätöpiirissä. Molemmille tavoitteille asetetaan omat reunaehdonsa onnistuneen säädön toteuttamiseen, joka myös luonnollisesti vaikuttaa optimaalisiin virityspareihin. Eri prosesseille asetetaan erilaiset vaatimukset säätöpiirin toiminnan suhteen. Tietylle prosessille sallitaan reilukin asetusarvon ylitys säätötilanteessa, kun taas toisella prosessilla asetusarvon ylitystä ei sallita ollenkaan. Kun prosessin sääti-

melle lähdetään etsimään optimaalisia viritysparametreja, kannattaa aina miettiä, mitä säätöpiirin toiminnalta odotetaan. (13, 107.)

Suunnitteluvaiheessa on myös kiinnitettävä huomioita toimilaitteiden fysikaaliset rajoitukset. Säätöpiirin virittäjälle voi tulla vastaan tilanne, jossa säätöpiirin ohjaussignaali kohtaa fysikaaliset rajat, esimerkiksi moottorin kierrosnopeus. Säätöpiiristä tulee tällöin käytännössä avoin ohjauspiiri, koska säätimen ohjaussignaali on jo ”ohittanut” toimilaitteen fysikaaliset rajat. Tämä johtuu siitä, että säätimen integroiva osa jatkaa kokoajan kasvamistaan, koska säätöpiirissä esiintyy erosuuretta ja toimilaite ei pysty korjaamaan erosuuretta. (13, 58.)

Säätöpiirin suunniteltaessa kannattaa myös kiinnittää huomiota säätöpiirin säätöväliin. Kun säätimelle asetettu säätöväli kasvaa, myös säätimen säätötoimenpiteen porrastukset kasvavat. Yleensä säätöväli on konfiguroidaan itse logiikkayksiköihin sekä automaatiojärjestelmiin, ja sitä ei kuitenkaan mielellään muuteta virituksen yhteydessä. Yleensä käytetään suuria säätövälejä, koska pienet säätövälit hidastavat prosessiasemia. Säätöväliä voi muuttaa jos prosessi käyttäytyy nopeammin kuin säätimelle asetettu säätöväli. (13, 54.)

Mittalaitteen mittaussignaalin on oltava vähintään kaksinkertainen tarkasteltavaan taajuuteen nähden, jotta mittaustulokset ovat luotettavia. Liian korkealla näytevälillä mittaussignaali esiintyy laskostumisilmiötä. Tällä tarkoitetaan ilmiötä, jossa liian korkean näytevälin takia mittaussignaalin jaksonaika kasvaa liian suureksi ja mittalaite antaa epäkäytännöllistä tietoa prosessin tilasta. (13, 54.)

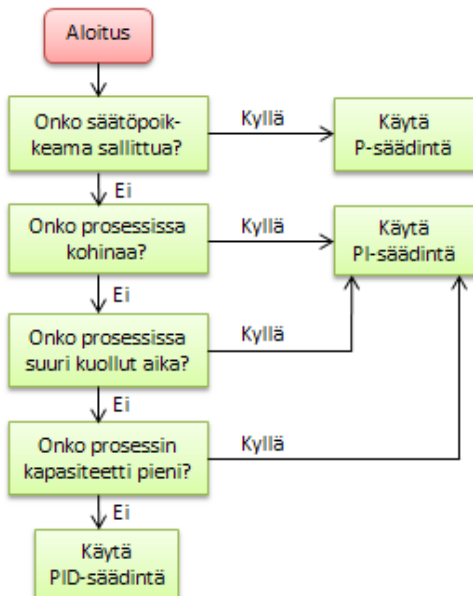
Kyseinen ilmiö tulee esille etenkin nopeissa säätöpiireissä. Prosessikokeita tehdessä voi törmätä tapahtumaan, jossa näytteenoton päivitysväli ei ole tarpeeksi nopea. Tästä syystä trendityökalut saattavat näyttää jotain ihan muuta, kuin mitä todellisuudessa ovat. (13, 54.)

### **Säätimen valinta**

Svrcek W., Mahoney D., Young B., esittää A Real-Time Approach to Process Control kirjassa hyvin yksinkertaisen kaavion oikean säätimen määrittämiseksi prosessiin. Kuvassa 28 on esitetty kaavio oikean säätimen määrittämiseen. Ennen oikean sääti-

men määrittystä, prosessille on laadittava toimintamalli ja prosessista on tiedettävä tiettyjä ominaisuuksia. (14, 112 - 113.)

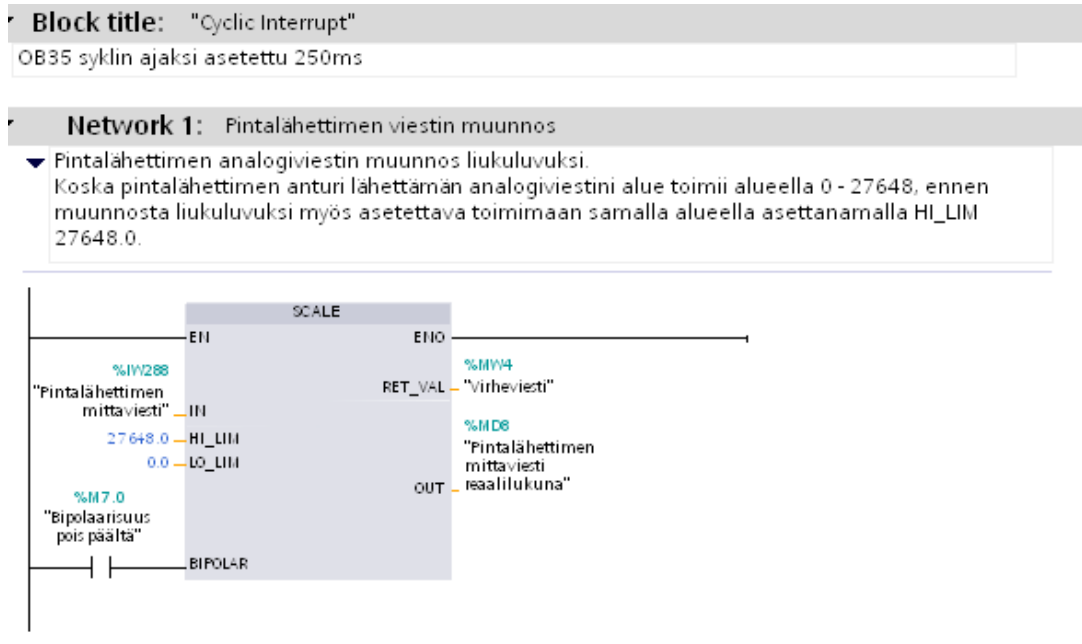
Kun prosessille on laadittu toimintamalli ja prosessista tiedetään prosessiparametrit, voidaan määrittää optimaalinen säädin käyttämällä kuvan 28 mukaisella tavalla. Jos prosessin säätimelle sallitaan mittausarvon ja asetuseron välille muodostuva säätöpoikkeama, voidaan käyttää suoraan P-säädintä. Jos prosessissa esiintyy kohinaa ja pysyvää säätöpoikkeamaa ei sallita, käytetään suoraan PI-säädintä. Jos prosessissa esiintyy kuollutta aikaa, mutta ei mittauskohinaa, käytetään PI-säädintä. Jos prosessi on kapasitiivisuudeltaan pieni ja prosessissa ei esiinny kuollutta aikaa, käytetään PI-säädintä. Viimeisenä askeleena jos prosessi on kapasitiivisuudeltaan suuri, käytetään PID-säädintä. (14, 112 - 113.)



Kuva 28. Säätimen valinta. (14, 114.)

## 6.1 Yläsäiliön pinnankorkeuden muunnos ja skaalaus

Kuvassa 29 on esitetty pintalähttimen analogisen mittaviestin skaalaus liukuluvuksi käyttäen SCALE -lohkoa. Yläsäiliön ollessa tyhjä, anturi antaa kokonaisluvun arvoa 8528 ja ylärajassaan arvoa 15640. Koska lähttimen analogisignaali toimii arvoalueella 0 – 27648, ennen muunnosta liukuluvuksi, se skaalataan samaan raja-arvo alueeseen liukuluvun kanssa laittamalla HI\_LIM –tuloon 27648.0. Pintalähttimen mittaviestin liukuluvun muunnos syötetään pinnankorkeuden laskualgoritmiin.



Kuva 29. Pintalähettimen signaalin muunnos

Kuvassa 30 on esitetty pinnankorkeuden laskualgoritmi logiikkasovelluksessa. Yläsäiliön pinnankorkeuden lasku on tehty käyttämällä yksinkertaisia matemaattisia menetelmiä. Pinnankorkeuden laskualgoritmin tulos syötetään säätimen PV\_IN -tuloon. Laskualgoritmin tulos on esitetty kuvassa 33 vihreällä ruudulla.

Tämän jälkeen tehdään pinnanlasku kuvassa 30 kaavan 6.1 mukaan:

$$Säädin_{mit} = \frac{(Liukuluku_{ska} - Tyhjä\ säiliö_{liuku})}{Pintaerotus} * 100 \quad (6.1)$$

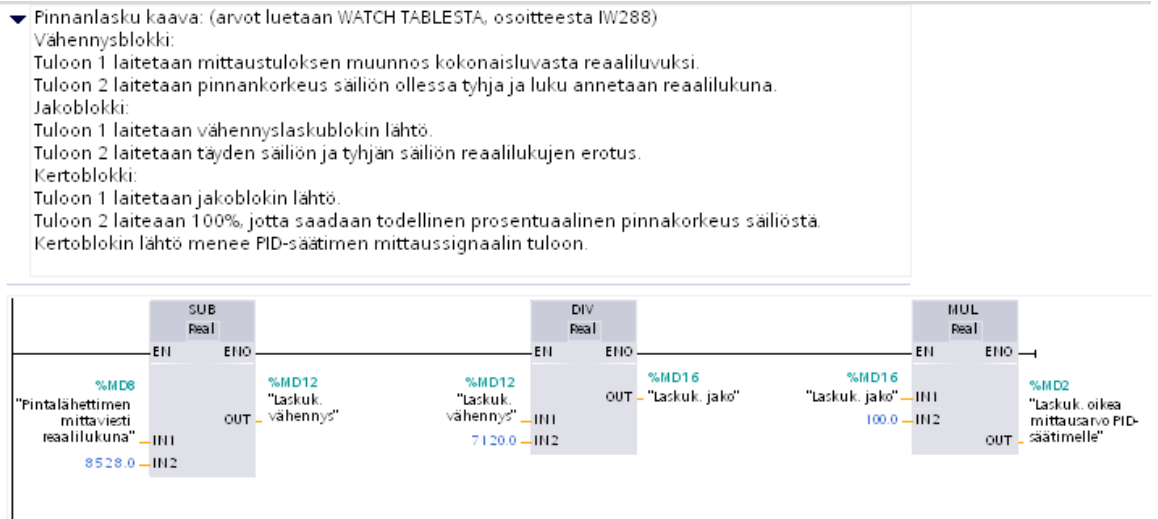
jossa:

**Säädin<sub>mit</sub>** = mittaussignaali säätimelle

**Liukuluku<sub>ska</sub>** = pintalähettimen mittausravon muunnos liukuluvuksi

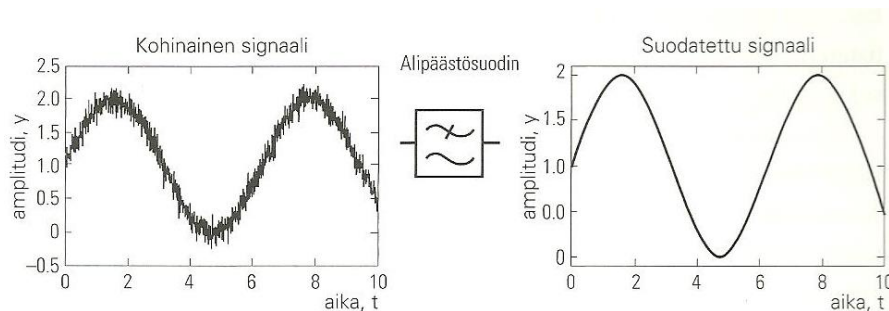
**Tyhjä säiliö<sub>liuku</sub>** = tyhjän säiliön liukuluku, vakioarvo 8528.0

**Pintaerotus** = täyden ja tyhjän säiliön liukuluvun erotus, vakioarvo 15648.0 – 8528.0  
=7120.0



Kuva 30. Pinnanlasku säätimelle.

Vesiprosessin mittaussignaaliin esiintyvä mittauskohina on mahdollista poistaa suodatuksen avulla. Suodatukseen ei kuitenkaan tässä työssä kiinnitetty huomiota. Suodatukseen voi käyttää ylipäästösuodatinta, alipäästösuodatinta tai kaistanpäästösuodatinta. Kuvassa 31 on esitetty alipäästösuotimella suodatettu mittaussignaali. (11, 21 - 22.)



Kuva 31. Alipäästösuotimella suodatettu mittaussignaali. (11, 22.)

## 6.2 Pumpun kierrosnopeuden sovittamien säätimen lähtömuuttujaan

Jotta säätimen säätötoimenpide toimisi oikein, säätimen ohjausalue on skaalattava syöttöpumpun kierrosnopeuden toiminta-alueelle. Kun säätölohko oli laadittu logiikkasovellukseen, seuraavaksi etsittiin arvoalue, jolla syöttöpumppu toimii. Syöttöpumpun arvoalueen etsimiseen käytettiin Simatic STEP7-ohjelman Watch Tablea. Osoitautui, että pumppu pyöri täydellä kierrosnopeudella kokonaisluvun arvolla 5454 katsoen taajuusmuuttajan etupaneelistä. Kuitenkin tässä vaiheessa, en ollut varmistanut pihtimittarien kanssa, että tällä arvolla taajuusmuuttajan virtapiirissä kulki 20 mA.

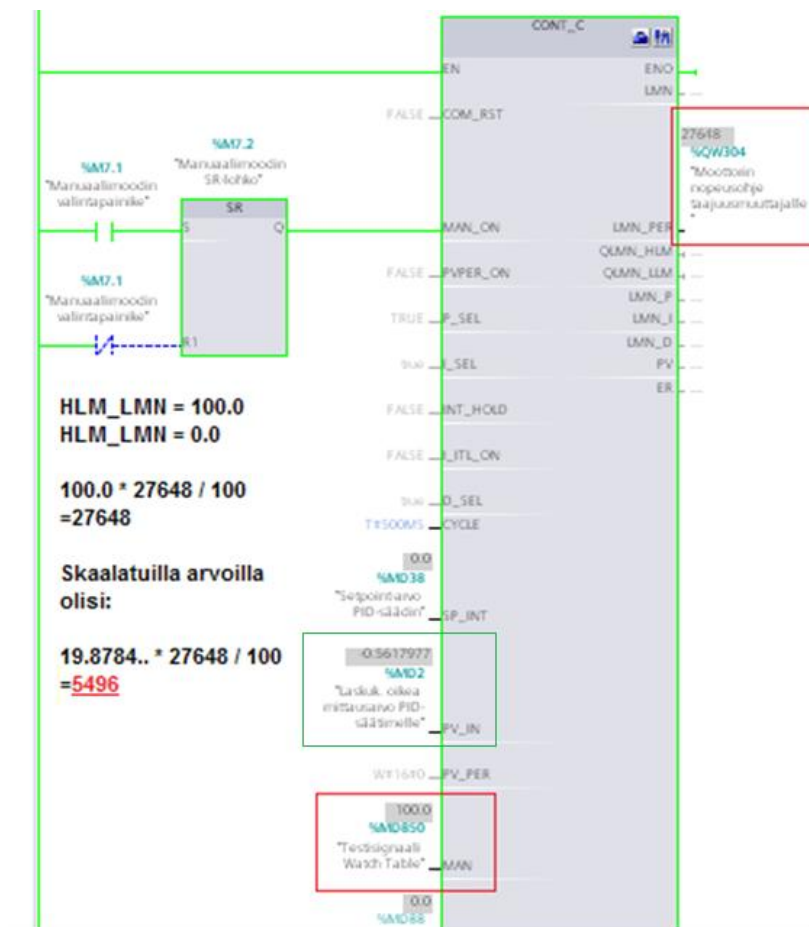
Myöhemmässä vaiheessa työn ohessa tämä tarkastettiin pihtimittarin avulla. Taajuusmuuttajan virtaviestin oli kokonaisluvun arvolla jotakuinkin 19,87 mA. Tämän jälkeen etsittiin uusi arvo, jolla taajuusmuuttajan virtaviesti on 20 mA. Taajuusmuuttajan virtaviestialue on 0...20 mA. Oikeaksi arvoksi 20 mA:n virtaviestillä osoittautui 5496. Kuvassa 32 on esitetty taajuusmuuttajan ohjaussignaalin mittaustulos pihtimittarilla syöttöpumpun ohjausarvon ollessa 50 %, tämä vastaa kokonaisluvun arvoa 2748 ( $0,5 * 54496$ )



Kuva 32. Pihtimittareilla mitattu 50 %:n ohjausviesti syöttöpumpulle.

Säädinlohkona käytetään STEP7-ohjelmasta löytyvää FB41 CONT\_C -lohkoa. Säädinlohkoa käytetään ohjaamaan prosesseja, joissa tapahtuu jatkuva-aikaisia muutoksia prosessin tulo- ja lähtösuureissa. Ohjelmasta löytyy myös toinen säädinlohko FB42 CONT\_S, mutta sitä käytetään ohjaamaan prosesseja joissa ohjaussuure on digitaalinen, eli binäärinen. (15, 12, 19.)

Kuvassa 33 on esitetty säädinlohko. Tässä esimerkissä säätimen lähtöä ei ole skaalattu toimimaan syöttöpumpun toiminta-alueelle. Säätimelle syötetään Watch Tablen kautta muistipaikalta MD850 100 %:n ohjausarvoa. Kuvasta 33 huomataan, että säädinlohkon vakioarvoilla taajuusmuuttajalle lähtävä analogiviesti QW304 on kokonaisluvun arvoltaan 27648. Syöttöpumppu kyllä pyörii täydellä kierrosnopeudella kokonaisluvun 27648, mutta ongelmaksi muodostuu skaala. Kun syöttöpumppua halutaan ohjata 50 %:n kierrosnopeudella, säätimen lähtöön muodostuu kokonaisluvun arvo 13824. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että syöttöpumpun pyörii täydellä kierrosnopeudella, koska syöttöpumpun kierrosnopeuden toiminta-alue rajoittuu alueelle 0 – 5694.



Kuva 33. Säätimen lähtö ilman skaalausta

Säätimen lähtö LMN\_PER lasketaan kaavalla 6.2 (15, 13.). LMN on se muuttuja, johon halutaan vaikuttaa, jotta säätimen lähdön skaala saadaan vastaamaan syöttöpumpun toiminta-aluea:

$$LMN\_PER = LMN * \frac{27648}{100} \quad (6.2)$$

jossa:

LMN\_PER = säätimen lähdön muuttuja I/O-formaatissa (kokonaisluku)

LMN = Säätimen lähtö liukulukuna

Säätimen lähtö LMN lasketaan seuraavan kaavan 6.3 (15, 13.) mukaan. Käytännössä kaavasta selvitetään vain output of LMN\_LIMIT:n tarkoitus, koska muut muuttujat pysyvät säätimen vakioarvoina. Kaavassa 6.4 (15, 13.) esitetään, miten LMNLIMIT lasketaan:

$$LMN = (\text{output of } LMNLIMIT) * LMN\_FAC + LMN\_OFF \quad (6.3)$$

$$LMNLIMIT = LMN\_HLM - LMN\_LLM \quad (6.4)$$

jossa:

LMN\_HLM = ilmaisee lähtösuureen skaalauksen ylärajan. Lähtöarvo 100.0

LMN\_LLM = ilmaisee lähtösuureen skaalauksen alarajan. Lähtöarvo 0.0

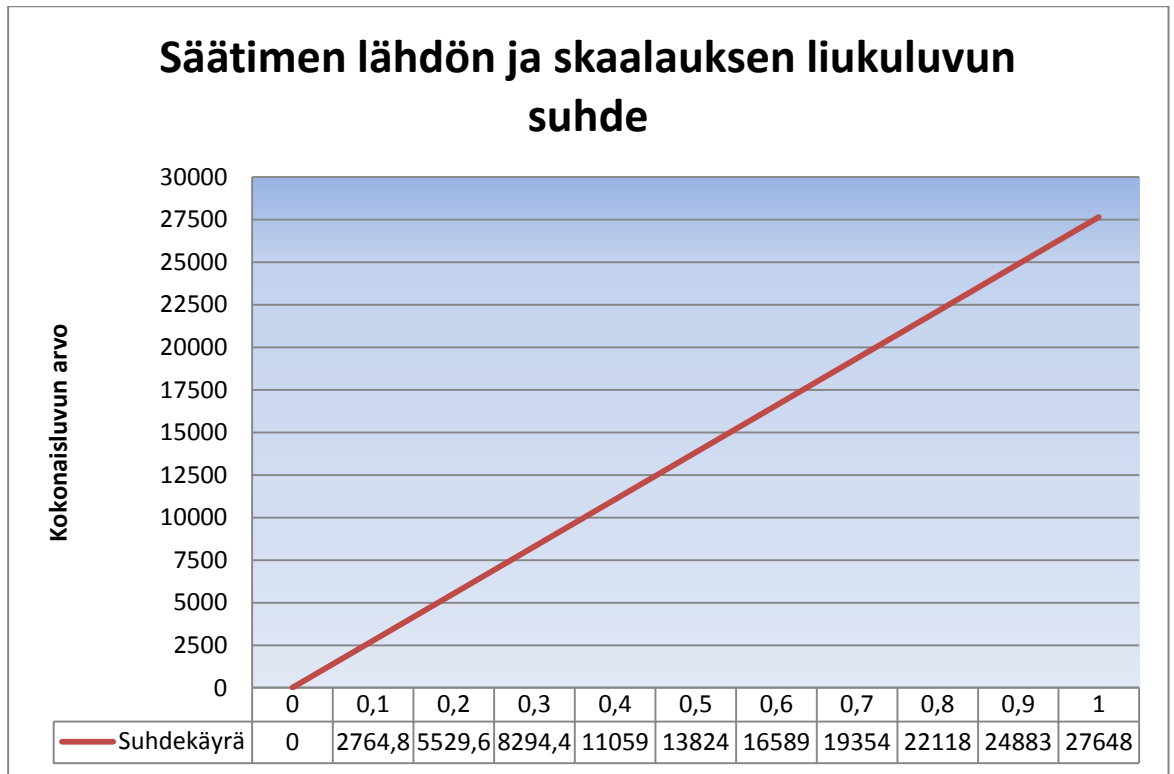
Säätimen LMNLIMIT:n ollessa 100.0 lähtö skaalautuu arvoksi 27648. Skaalaus syöttöpumpun toiminta-alueelle lasketaan seuraavasti:  $5496 / 27648 = 0,1987\dots$

LMN\_HLM:n on siis oltava **19,87**. Jolloin voidaan laskea säätimen lähdön LMN\_PER skaalaus syöttöpumpun toiminta-alueelle kaavassa 6.2, käyttäen kaavaa 6.5:

$$LMN\_PER = 19,87 \dots * \frac{27648}{100} = 5496 \quad (6.5)$$

Säätimen lähdön ja liukuluvun LMN\_LIMIT skaalauksen suhde on esitetty kaaviossa 1. Kaaviosta huomataan, että skaalauksen suhde käyttäytyy lineaarisesti.





Kaavio 1. Säätimen lähdön ja liukuluvun suhde.

Liittessä 1 on esitetty logiikkayksikön ja Intouch-valvomonäytön välinen skaalauslohko. Skaalaus on toteutettu käyttäen SCALE -lohkoa. Liitteen esimerkissä syöttöpumpulle on annettu 50 %:n ohjausarvo manuaalimoodilla valvomonäytöstä. Syöttöpumpun valvomonäytön sisäinen skaala on 0 – 100 %, mutta data esitetään logiikkayksikössä kokonaislukuna arvoväliltä 0 – 27648. Skaalaus lasketaan kaavan 6.2 mukaisesti. Tarkastetaan säätimen lähdön laskutoimitus kaavassa 6.6:

$$9,93 \dots * \frac{27648}{100} = \mathbf{2748} \quad (6.6)$$

### 6.3 Säätimen toiminnan sovitus logiikkayksikköön ja valvomönäytön kautta tapahtuvaan prosessinohjaukseen

#### **Säätimen toiminnan sovitus vesiprosessiin**

Prosessin toimilaitteet ja sellaiset lohkot, jotka eivät sisällä laskentatoimintoja sijoitettiin OB1:seen. OB juontuu englanninkielestä sanasta "Organization Block" ja sitä voidaan kuvailla ns. ohjelmoitavan logiikkasovelluksen yläpuolella toimivana lohkokehiksenä. OB1 -ohjelmakehykseen sijoitetaan sellaisia logiikkaohjelmakokonaisuuksia, joista ei aiheudu haittaa logiikkasovelluksen toiminnalle, vaikka OB1:sen sisältämiä ohjelmalohkoja luettaisiin vaihtelevassa aikaintervallissa tietyn ajan sisään.

Edellä mainitulla tarkoitetaan sitä, että koska säätimen optimaalinen toiminta perustuu siihen, että se saa mittaustietoa prosessista tasaisin väliajoin. Mittalaitteen mittauslohko on sijoitettava eri ohjelmistokehykseen. Siemens S7-315 -sarjan logiikkayksikössä on yksi ajallisesti tietyssä aikaintervallissa toimiva ohjelmistokehys. Tämä ohjelmistokehys on OB35 ja sen syklinen aikaintervalli on ohjelmoitavissa logiikkayksikön laitekonfiguraatio-osiossa.

OB35 -ohjelmistokehiksen aikaintervallin valintaan ei sinällään löytynyt oikein mitään teoriaa, mutta koska logiikkasovellus ei ole kokonaisuudeltaan kovin iso aikaintervalliksi asetettiin 250 ms. Valinta perustuu opinnäytetyön työnteossa kertyneeseen kokemukseen. Mittauksen käsittelyssä logiikkayksikön sisällä ei esiintynyt mitään häiriöitä, joten 250 ms:n aikaintervalli osoittautui kelvolliseksi. Logiikkaohjelman ollessa suuri, voidaan joutua käyttämään isompaa aikaintervallia.

Säätimen säätövälin valitsemiseen käytettiin myös opinnäytetyössä kertynyttä prosessikokemusta. Oletusarvona säädinlohkolle on asetettu säätöväliksi 1 sekunti. Tämä kuitenkin tuntui hieman liian suurelta, huomioimalla millaisen muutoksen toimilaitteen pieni ohjausarvon muutos saa aikaan yläsäiliön pinnankorkeuteen ja ottamalla huomioon prosessin nopean dynamiikan. Säätöväliksi säätimen lohkon on valittu 500 ms.

## Valvomonäytön ja logiikkayksikön välinen tiedonsiirto

Koska opinnäytetyöhön liittyi myös valvomonäytön laatiminen prosessisovellukselle, on hyvä myös ottaa lyhyesti esille valvomonäytön trendien ja logiikkayksikön tiedonsiirtoon vaikuttavia tekijöitä. Valvomonäyttö lukee logiikkayksikön I/O-moduuleja Wonderware System Management Console -ohjelman (SMC) kautta. Valvomonäyttö sisältää kaksi (2) trendinäyttöä.

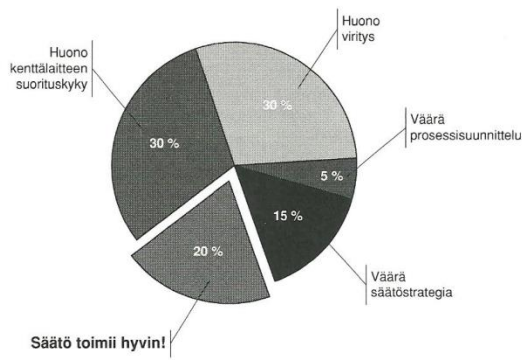
Valvomonäyttö sisältää reaaliaikaisen trendinäytön ja historia trendinäytön. Molemmat trendinäytöt lukevat I/O-moduuleja SMC:n kautta 859 ms aikaintervallisissa. Aikaintervalli on tarkoituksella valittu hieman suuremmaksi, kuin logiikkayksikön mitaussignaalin näytteenottoväli ja säätöväli, jotta logiikkayksikkö käsittelee mahdollisimman vähän dataa samalla kertaa. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että valvomonäytön ja logiikkayksikön I/O-moduulien välinen tiedonsiirto on stabiilimpaa.

### 6.4 Säätimen viritys

Säätöpiirin viritukseen voidaan käyttää useita menetelmiä, mutta tietynlainen ongelma ratkaistaan vai tietyllä viritystoimenpiteellä. Yksinkertaisuudessaan PID-säätimen viritys käsittää 3 eri parametrin virituksen, jotta järjestelmä käyttäytyy halutulla tavalla. Viritystä helpottaa, kun käyttäjä tietää ennalta prosessista tietoja, kuten esimerkiksi prosessin käyttäytymiseen vaikuttavat häiriötekijät.

Ensimmäinen ongelma, johon käyttäjä törmää viritystä tehtäessä on prosessin käyttäytymisen määrittely. Piirien nopeusvaatimuksissa esiintyy vaihteluita ja monilla parametriyhdistelmillä on mahdollista toteuttaa nämä kriteerit. Koska säätimen parametrit ovat toisistaan riippuvaisia, säädintä ei ole mahdollista virittää parametri kerrallaan optimaaliseen arvoon. (13, 111.)

Amerikkalaisen tutkimuksen mukaan 2/3 säätöpiireistä toimii siedettävällä tasolla, mutta säätimen toiminta on kaukana optimeista suoritusarvoista. 1/3 Säätöpiireistä toimii paremmin käsiajolla, kuin automaattitilassa. Kuvassa 18 suomalainen Entech Oy on arvioinut karkeasti reilun 300 säätöpiirin toimintaa ja analysoinut niiden suorituskykyä. Diagrammista huomataan, että joka viides säätöpiiri toimii halutulla tavalla optimaalisesti. Neljä viidesosaa huonosta säätöpiirin suorituskyvystä johtuu viritäjän ja prosessisuunnittelijan tietotaidon puutteesta. (13, 111.)



Kuva 34. Entech Oy:n tekemä tutkimus säätöpiirien toiminnasta. (13, 112.)

Useasti teollisuuden säätöpiirit viritetään vain kerran piirin käyttöönoton aikana käyttämällä yritys-erehdys menetelmää. Aluksi etsitään oikea parametriarvo P-säätimelle, jolloin piirissä ei esiinny värähtelyjä kun asetusarvoa muutetaan. Tämän jälkeen etsitään oikea parametriarvo PI-säätimelle, joka on riittävän nopea reagoimaan asetusarvon muutoksiin. Usein myös saatetaan käyttää piirikohtaisia vakioparametreja. Uudessa tuotantoyksiköissä saattaa olla jopa satoja säätöpiirejä, jonka käyttöönotto vaatii yksinkertaisten menetelmien käyttöä ja käytännön tuntemusta. (13, 113.)

Prosessin toimintapisteen muuttuessa myös säätimen viritysparametrit on aina viritettävä uudestaan. Säätimen vanhat viritysparametrit saattoivat olla optimaaliset edelliseen toimintapisteeseen, mutta eivät välttämättä toimi suotuisasti prosessin nykyisessä toimintapisteessä. Säätimelle on myös mahdollista asettaa asetusarvon mukaan valittavat parametrit jos yksillä parametriarvoilla ei päästä miellyttävään tulokseen. (13, 113.)

Säätöpiirin hyvälle viritykselle voidaan asettaa seuraavat ehdot:

1. Säätöpiirin on oltava riittävän tarkka
2. Säätöpiirin on seurattava asetusarvoa
3. Säätöpiirin on kompensoitava kuormitushäiriöitä
4. Toimilaitteen ohjaussignaalin on käyttäydyttävä rauhallisesti
5. Säätöpiirin täytyy sietää mittauskohinaa (13, 109.)

Kyseisten reunaehtojen takia säätimen optimaalisten viritysparametrien löytäminen on tasapainottelua säätöpiirille asetettujen vaatimusten ja prosessin dynaamisten ominaisuuksien välillä. (13, 109.)

**Kokeilemalla viritys** pohjautuu asetusarvon askelmuutoksen prosessikokeeseen ja viritysparametreja muutetaan tutkimalla säädettävää suuretta. Jotta viritys kokeilemalla onnistuu, piirin oletusparametrien on oltava jotenkin kohdillaan. On kuitenkin huomattavaa, että säätimen viritys kokeilemalla on varsin epäkäytännöllistä ja säätimen testaus eri parametriarvoilla voi aiheuttaa haittaa asiakkaan tuotannolle. Mitä hitaampi prosessi on kyseessä, sitä käytännöllisemmäksi erilaisten viritysohjelmien käytöstä tulee säätimen parametrien sovittamiseen. (13, 112 - 113.)

Vuonna 1942 esitetty **Ziegler-Nichols** viritysmenetelmä on edelleen hyvin paljon käytetty menetelmä viritysparametrien selvittämiseen. Virittäjän täytyy tietää prosessin aikavakio **T**, prosessin vahvistus **K** sekä viive **L**. Taulukossa 2 on esitetty viritysparametrien määrittäminen. (13, 115.)

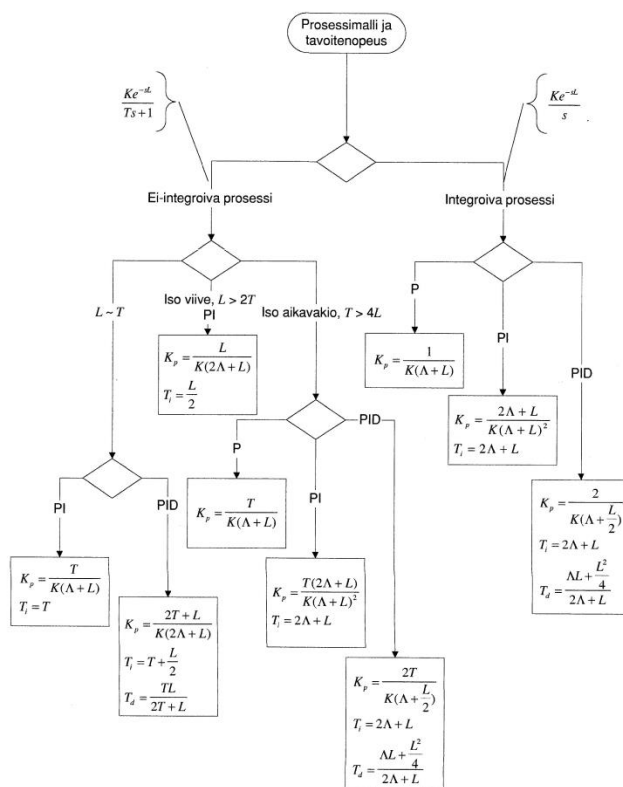
	<b>K<sub>p</sub></b>	<b>T<sub>i</sub></b>	<b>T<sub>d</sub></b>
P	$T / (K * L)$	-	-
PI	$0,9 * T / (K * L)$	$3 * L$	-
PID	$1,2 * T / (K * L)$	$2 * L$	$L / 2$

Taulukko 2. Ziegler-Nichols viritysparametrien määrittäminen. (13, 115.)

Usein Ziegler-Nichols viritysmenetelmää käyttäen, prosessin säätimen vasteesta tulee liian värähtelevä. Ziegler-Nichols on viritysmenetelmänä huono, jos virituksen tarkoituksena on poistaa kuormitushäiriöiden vaikutukset ja tuottaa hyvä asetusarvon seuranta. Viritys toimii alueella, jossa prosessin viiveen suhde aikavakioon on väliltä 0,15 – 0,65. (13, 115.)

**Lambda-menetelmä** perustuu siihen, että käyttäjä määrittelee suljetulle säätöpiirille viritysparametrit  $\lambda$ -kertoimen avulla.  $\lambda$ -kertoimen kuvaava suljetun ja avoimen säätöpiirin aikavakion suhdetta. Lambda-menetelmällä saavutetaan säätöpiirin rauhallinen käyttäytyminen. Viritys soveltuu erittäin hyvin sakeus-, virtaus- ja painepiireille, mutta ei kuitenkaan hitaille säätöpiireille. (13, 116 - 118.)

Lambda-menetelmä eroaa normaaleista viritystavoista siten, että prosessimallin määrittämisen jälkeen määritetään, miten suljetun säätöpiirin halutaan käyttäytyvän. Kun säätöpiirin käyttäytyminen on määritetty, etsitään oikeanlainen säädin prosessikokeista saadun prosessiparametrien perusteella. Kun  $\lambda$ -kerroin on 1, suljetun säätöpiirin aikavakio on sama kuin avoimen säätöpiirin aikavakio. Tämä tarkoittaa sitä, että suljettu säätöpiiri käyttäytyy samalla nopeudella kuin avoin säätöpiiri. Jos taas  $\lambda$ -kerroin on pienempi kuin 1, suljettu säätöpiiri käyttäytyy nopeammin.  $\lambda$ -kerroin valitaan yleensä väliltä 0,5...5. Kuvassa 35 on esitetty Lambda-menetelmässä käytettävät kaavat, kun tiedetään prosessimalli ja tavoitenoisuus. (13, 116 - 118.)



Kuva 35. Lambda-viritysparametrin määrittäminen säätimelle. (13; 123.)

## 6.5 Vesiprosessin säiliön pinnankorkeuden säätimen valinta ja viritys

Opinnäytetyön viimeisessä vaiheessa kiinnitettiin huomiota säätimen viritysparametrien määrittämiseen. Säädin on mahdollista viritellä aikaisemmin esitetyn teorian pohjalta, joko käyttäen Ziegler-Nichols- tai Lambda-menetelmää. Molempiin viritystapoihin tarvitaan prosessikokeesta saatavat prosessiparametrit.

Suhtauduin hieman skeptisesti Ziegler-Nichols- ja Lambda-menetelmästä saataviin säätimen vitysparetreihin, vedoten aikaisemmin esitettyyn teoriaan. Ziegler-Nichols-menetelmässä viiveen ja aikavakion suhde tulisi olla väliltä 0,15 – 0,65, jotta vityys olisi hyvä. Esimerkiksi vesiprosessin viiveen ja aikavakion suhde 1. toimipisteessä on 0,019. Lambda-menetelmä taas sopii nopeille piireille. Liitteessä 4 on esitetty vitysparetreit PI-säädölle käyttäen Ziegler-Nichols- ja PID-säädölle käyttäen Lambda-menetelmää. Vitystulosten testaus tehtiin 1. toimipisteessä ja koska 1. toimintapisteen vityys ei tuottanut tulosta 2. toimipisteiden vitystä ei edes kokeiltu.

Katsottaessa kuvaa 28 ja huomioimalla vesiprosessissa esiintyvät häiriöt, tulemme siihen tulokseen että optimaalinen säädin olisi PI-säätö. Koska prosessissa esiintyy mitauskohinaa ja prosessin kapasiteetti on pieni. Säätimen toimintaa testattiin kuitenkin PI- ja PID-säätimenä, ja PI-säätimen vaste osoittautui nopeammaksi ja stabiilimmaksi ratkaisuksi.

### 6.5.1 Vesiprosessin säätimen vityys

Vitysparetreiden vaikutusta eri toimipisteiden välillä testattiin siten, että lähtötilanteessa säiliö oli tyhjä ja vesiprosessi otettiin käyttöön.

1. Prosessin ylösajo lähelle toimintapistettä säätimen ohjauksen ollessa manuaalimoodilla
2. Säätimen ohjaus vaihdetaan automaattimoodiin lähellä toimintapistettä
3. Asetusarvon muutos ylös- ja alaspäin toimipisteessä

Vitysparetreiden määrittely PI-säätimelle lähti kokeilun perusteella. Integrointiajalle annettiin aluksi 105 s, koska Säätöpiirin vityksen perusteet -kirjassa mainitaan integrointiajan olevan aikavakion funktio. Koska Ziegler-Nichols- ja Lambda-menetelmä antavat prosessin säätimelle suuren kertoimen, niin kertoimeksi asetettiin 1. Säätöpiirin vityksen perusteet -kirjassa kirjoitetaan, että **säätimelle asetetaan pieni vahvistuskerroin ja prosessilla itsellään on suuri vahvistus**. Täten säätimelle syötettiin pieni vahvistuskerroin. (13, 100.)

Säätötoimenpide ei ollut tarpeeksi nopea, joten viritysparametreja muutettiin. Kerroin jätettiin samaksi ja säätimen integrointiajaksi asetettiin 10 sekuntia, joka on likipitään samaa suuruutta, mitä Ziegler-Nichols ja Lambda viritysmenetelmät tarjoavat. Näillä parametreilla säädin toimi erittäin hyvin ja rauhallisesti toimintapisteiden sisällä ja sekä toimintapisteiden ulkopuolella.

Liitteessä 5 on esitetty hyvät viritysparametrit molempien toimipisteiden läheisyyteen. Lisäksi huomataan, että säätötoimenpide toimii hyvin samoilla viritysparametreilla toimintapistealueiden ulkopuolella. Lopullisiksi hyväiksi PI-säätimen viritysparametreiksi osoittautui säätimen vahvistuskertoimen ollessa 1,25 ja säätimen integrointiajan ollessa 10 sekuntia.

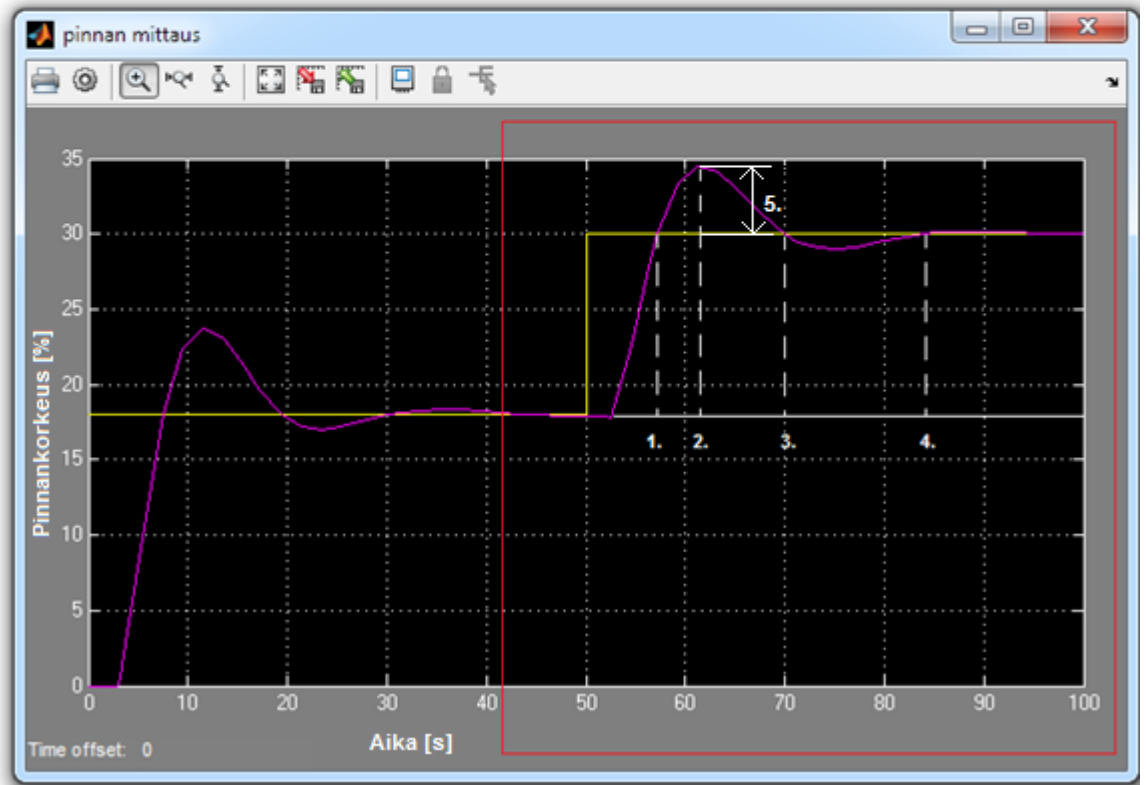
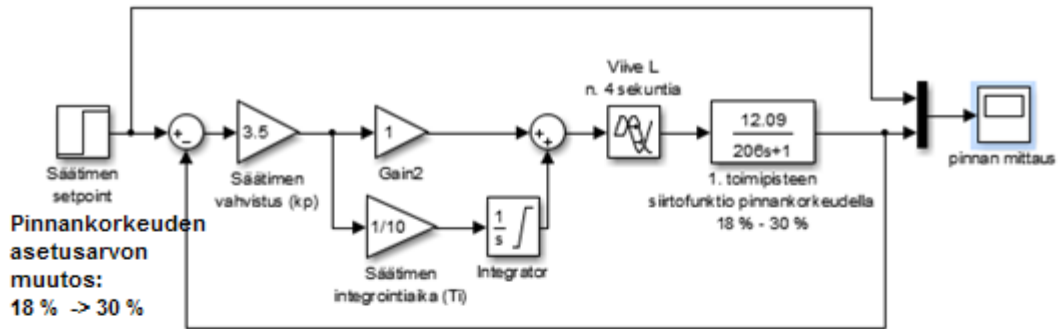
### 6.5.2 Vesiprosessin säätimen viritys simuloimalla

Jos säätimen viritys halutaan toteuttaa simuloinnin avulla hyvin, prosessimallissa on myös huomioitava prosessin toimintaan liittyvät seikat tarkasti. Kun opinnäytetyössä laaditaan prosessin siirtofunktio valvomonäytön trendi-ikkunasta, niin tässä ei huomioida tarkasti ”onko pinnankorkeus tässä pisteessä, vai tässä pisteessä” tarkasteluhetkellä. Tämä johtuu siitä, että pinnanmittaus värähtelee ja se väärentää vähän prosessimallia. ”Oikean” ja tarkan viritysmallin laatimiseen Simulink-ohjelmalla, virittäjän täytyisi olla varma, että simulointiohjelman lohkojen ”asetukset” vastaavat mallinnettavaa järjestelmää. Signaalinkäsittelyssä pilkkuvirhe aiheuttaa suuren vaikutuksen vasteeseen, jos vastetta vahvistetaan millään lailla.

Kiinnostuksesta säätöteoriaa kohtaan, simuloitu viritys tehtiin vielä käyttämällä Simulink-ohjelmaa. Säätimen viritysparametreiksi syötettiin 3,5 vahvistuskertoimeksi ja 10 sekuntia integrointiajaksi. Säätimen viritysparametrit on valittu siten, että säätimen on vaste vastaa lähelle käytäntöä.

Kuvassa 36 on esitetty PI-säätimen (15; 14.) simuloitu vaste 1. toimipisteessä. Äärimmäisen tärkeää on, että kuvan tuloksia tarkastellaan **rajatulla punaisella alueella** (toimipisteen tilanne, **siirtofunktio**). Prosessitilanne on luotu ennen punaista aluetta. Suljetun piirin mallinnusta käsitellään vain lyhyesti, johtuen siitä että toimipisteen prosessimallin siirtofunktion täytyisi olla erittäin tarkka. Lisäksi on huomioitavaa, että jo SMC I/O-serverin ja valvomonäytön välinen yhteyden päivitysväli on n. 1 sekunti, joka sekin aiheuttaa virhettä mallinnuksen lopputulokseen.





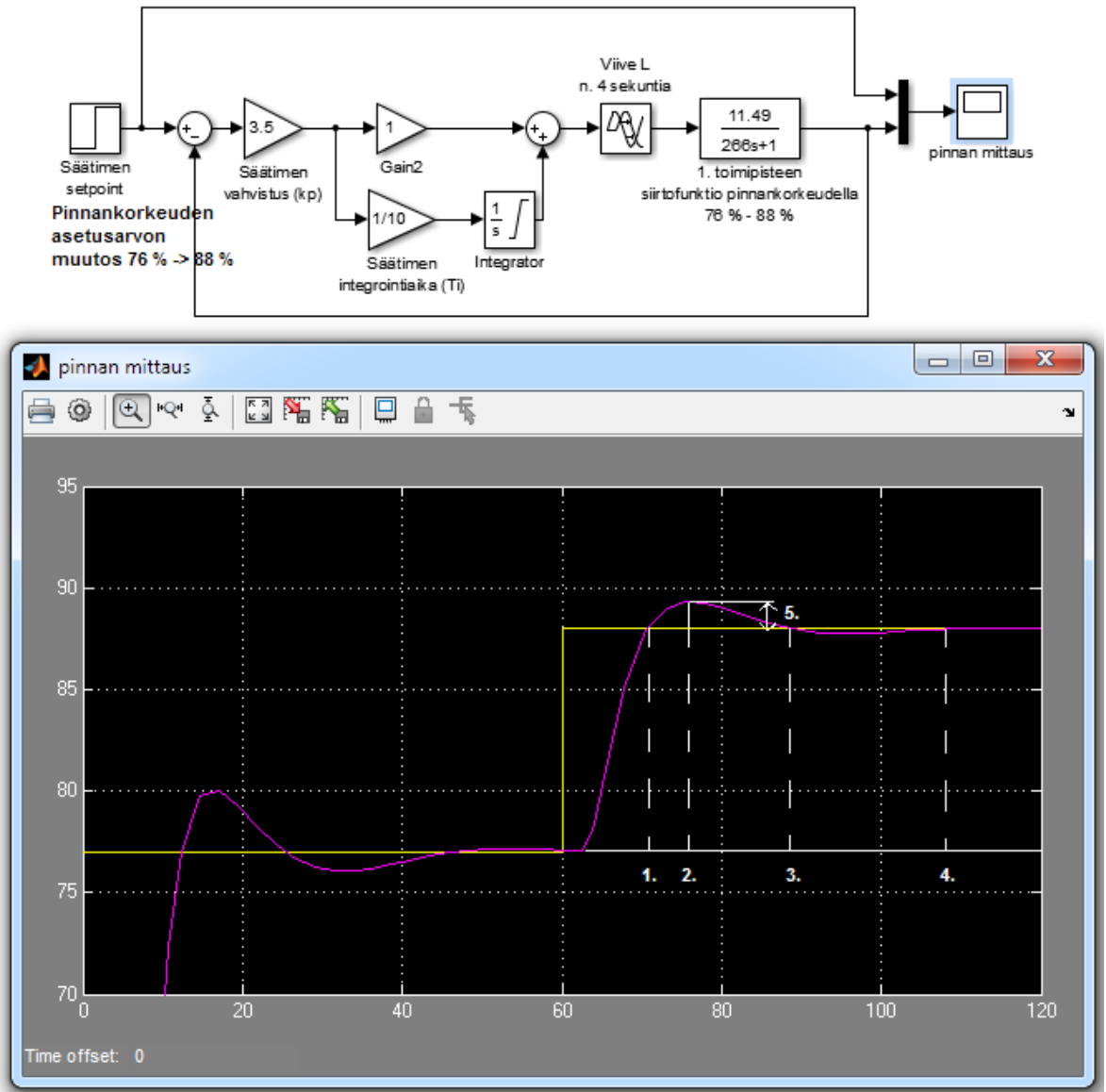
Kuva 36. 1. toimipisteen simuloitu virityksen vaste.

Simuloitua viritystulosta tarkastellaan pisteiden 1., 2., 3., ja 4. avulla. Pisteessä 1. tarkastellaan, kuinka nopeasti pinnankorkeus nousee asetustarvon kohdalle asetustarvon muutoksen jälkeen. Pisteessä 2. tarkastellaan pinnankorkeuden mittausarvon huippuarvoa. Pisteessä 3. tarkastellaan kuinka kauan pinnankorkeudella huippuarvolla menee, kun se laskeutuu asetustarvon kohdalle. Pisteessä 4. tarkastellaan, kuinka kauan säätimen vasteella menee, jotta se tasaantuu. 5. pisteessä tarkastellaan, kuinka paljon säätimen vaste ylittää asetustarvon. Tarkastellaan tuloksia:

1. piste (käytäntö: n. 6 sekuntia, malli: n. 7 sekuntia.)
2. piste (käytäntö: n. 9 sekuntia, malli: n. 12 sekuntia.)
3. piste (käytäntö: n. 17 sekuntia, malli: n. 20 sekuntia.)

4. piste (käytäntö: n. 21 sekuntia, malli: n. 33 sekuntia.)
5. piste (käytäntö: n. 2,5 %, malli: n. 5 %.)

Kuvassa 37 on esitetty PI-säätimen (15; 14.) simuloitu vaste 2. toimipisteessä. Verrataan tuloksia:



Kuva 37. 2. toimipisteen simuloitu virityksen vaste.

1. piste (käytäntö: n. 8 sekuntia, malli: n. 10 sekuntia.)
2. piste (käytäntö: n. 12 sekuntia, malli: n. 18 sekuntia.)
3. piste (käytäntö: n. 17 sekuntia, malli: n. 30 sekuntia.)
4. piste (käytäntö: n. 27 sekuntia, malli: n. 50 sekuntia.)
5. piste (käytäntö: n. 3 %, malli: n. 2 %.)

## 7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Kuvassa 38 on esitetty veden virtaaman aiheuttamia pyörteitä, joka saa aikaan yläsäiliön vedenpinnan värähtelyn askelkokeen aikana. Tämä taas saa aikaan värähtelyn mittaustuloksessa, joka esiintyy 1. toimipisteen trendinäytössä.



Kuva 38. Virtaaman aiheuttamat pyörteet prosessikokeen aikana.

Huomioitavaa on jos esimerkiksi säiliön pinta-ala olisi suurempi kuin nykyinen samalla putkikoolla, myös pyörteet vähenisivät säiliössä. Pintalähetinaturin paikkaa olisi tällöin mahdollista siirtää kauemmas sisään tulevan virtauksen putkesta, joka johtaa pienempään mittaussignaalin värähtelyyn.

Koska prosessikokeissa tarkastellaan suureiden välisiä riippuvuuksia, esimerkiksi opinnäytetyössä tarkastellaan mittaussarvon ja ohjaussarvon välisen muutoksen suhdetta tasapainotilojen välillä. Huomataan 1. toimipisteen prosessikokeessa ohjaussarvon muutos nostaa pinnankorkeuden korkeammalle tasolle, kuin 2. toimipisteen prosessikokeessa. Tämä voidaan selittää säiliön poistovirtauksessa esiintyvän hydrostaattisen paineen -ilmiön avulla kaavassa 7.1 (16, 19.). Koska säiliön poistovirtausta ei ohjata toimilaitteen avulla, poistovirtaus on riippuvainen yläsäiliön pinnankorkeudesta.

$$q_v(t) = V * \sqrt{2 * g * h(t)} \quad (7.1)$$

jossa:

$q_v(t)$  = poistovirtaus ajanhetkellä  $t$  [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]

$V$  = putken sisäpinta-ala [ $\text{m}^2$ ]

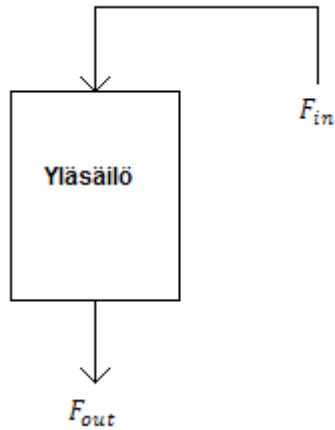
$g$  = vakioputoamiskiihtyvyys [ $9,81 \text{ m/s}^2$ ]

$h(t)$  = pinnankorkeus ajanhetkellä  $t$  [ $\text{m}$ ]

Prosessikokeiden yhteydessä tulee myös ilmi, että prosessin aikavakio on suoraan verrannollinen prosessikokeen keston. Tämä todetaan myös Virityksen perusteet -kirjassa sivulla 98. Prosessin aikavakion ollessa suuri, virittäjän täytyy etenkin kiinnittää huomiota tulosten analysoinnin tarkasteluun, koska tarkasteluvälit ovat pitkiä.

Säätimen lähdön skaalaus oli aluksi toteutettu LMN-lähtöön ja tämän jälkeen skaalattu syöttöpumpun kierrosnopeuden toiminta-alueelle säädinlohkon ulkopuolella. Tämä johtaa siihen, että myös viritysparametrien vaikutus säätötoimenpiteeseen muuttuu. Ongelmaksi tässä muodostui se, että säätimen lähtö **LMN** ei toiminut syöttöpumpun kierrosnopeuden toiminnan arvoalueella. Säätimen lähtö LMN toimi tällöin arvoalueella 0 – 27648. Säätimen lähtösuure skaalattiin vasta säädin lohkon ulkopuolella syöttöpumpun kierrosnopeuden toiminta-alueelle 0 – 5496.

Koska säiliön pinnankorkeus ( $h$ ) määritetään kuvan 39 (16, 19). mukaisesti seuraavien yhtälön mukaan:



Kuva kuva 39. Säiliön pinnankorkeuden määrittäminen.

$$\text{Säiliön pinnankorkeus} = \frac{a * dh}{dt} = F_{in} - F_{out}$$

jossa:

$a$  = säiliön pinta-ala [ $m^2$ ]

$dh/dt$  = pinnankorkeus tarkasteluhetkellä [m]

$F_{in}$  = syöttöpumpun tuottamavirtaus [ $m^3/s$ ]

$F_{out}$  = säiliön poistovirtaus [ $m^3/s$ ]

$$F_{out} = b * \sqrt{2 * g * h}$$

jossa:

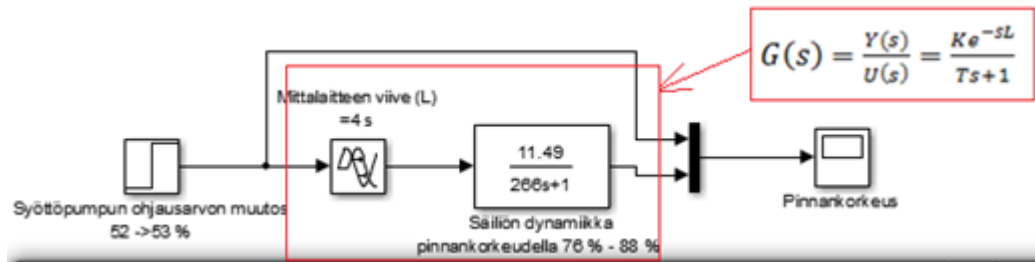
$b$  = poistoputken sisäputken pinta-ala [ $m^2$ ]

$g$  = vakioputoamiskiihtyvyys [ $m^2/s$ ]

$h$  = säiliön pinnankorkeus [m]

Jos tarkastelemme avoimen säätöpiirin prosessikoetta 2. toimipisteessä ja kuvaa 39, voimme todeta seuraavan väitteen todeksi; Kuvan 40 Simulink-ohjelmassa säiliöön tu-

leva virtaus  $F_{in}$  ja säiliön poistovirtauksen  $F_{out}$  erotus on ”**piilotettuna**” siirtofunktion sisään. Siirtofunktio **muodostuu** mittausravon ja ohjausravon muutosten erotuksesta toimintapisteessä.



Kuva 40. Pinnankorkeuden dynamiikka.

	Alkutilanne	Lopputilanne
<b>1. Toimipiste</b>		
Ohjausravon $u(t)$ , [%]	47	48
Mittausravon $y(t)$ , [%]	18,31	30,40
<b>2. Toimipiste</b>		
Ohjausravon $u(t)$ , [%]	52	53
Mittausravon $y(t)$ , [%]	76,60	88,09

Taulukko 1. Toimintapisteiden ohjaus- sekä mittausravon lähtö- ja loppuarvot.

Taulukon 1 perusteella voimme todeta, että 1 %:n muutos syöttöpumpun ohjausravon tekee suuren muutoksen säiliön pinnankorkeuteen. Tästä voimme päätellä, että toimilaitte ja putkisto on ylimitoitettu säiliön kokoon nähden. Kyseenalaista on kuitenkin ottaako Ziegler-Nichols- ja Lambda-viritysmenettelmät huomioon, jos prosessin toimilaitteet ja putkisto on ylimitoitettu prosessin kapasiteettiin nähden? Säättöpiirin virityksen perusteet -kirjassa on esitetty tietyt ohjekohdat, jonka mukaan määritellään soveltuuko viritysmenettelmä prosessin viritykseen.

Esimerkiksi Ziegler-Nichols-menetelmällä viiveen ja aikavakion suhde tulisi olla väliltä 0,15 – 0,65, kun vesiprosessi suhteeksi tuli 0,019. Jos vesiprosessiin vaihdetaan pienempi syöttöpumppu ja pienempi putkisto, niin luonnollisesti myös virtaus järjestelmässä muuttuu. Tämä johtaa, että prosessin vahvistus  $K$ , aikavakio  $T$  ja viive  $L$  muuttuvat. (13, 116 - 117.)

Miksi Lambda-menetelmä ei toimi, vaikka suljetun piirin  $\lambda$ -kertoimeksi on määritelty avoimen piirin nopeus ( $\lambda = 1$ )? Lambda-menetelmässä käytetään prosessikokeiden prosessiparametreja säätimen viritysparametrien määrittämiseen. Säättöpiirin virituksen perusteet -kirjassa todetaan näin, jos lambda-kerroin on suurempi kuin 1, suljetun säättöpiirin nopeus on hitaampi kuin avoimen säättöpiirin (13, 118.). Tarkastellaan tulosta 1. toimipisteessä lambda-kertoimen ollessa 3 ( $\lambda = 3$ ). Suljetun piirin vasteen tulisi olla tällöin hitaampi kuin avoimen piirin vasteen. Kuvassa 41 on esitelty viritysparametrit lambda-kertoimen ollessa 3.

PI-säädön viritys Lambda-menetelmällä

**Lambda-viritys, ison aikavakion mukaan:**

**1. Toimipisteen prosessiparametrit:**

Vakioarvot:  $\lambda := 3$        $L_{\text{pros}} := 4$        $T_{\text{pros}} := 206$        $K_{\text{pros}} := 12.09$

**1. Toimintapisteen PI-säätö**

$$K_{\text{PI}} = \frac{[T_{\text{pros}} \cdot (2 \cdot \lambda + L_{\text{pros}})]}{[K_{\text{pros}} \cdot (\lambda + L_{\text{pros}})^2]} = 3.477 \quad T_{\text{PI}} = 2 \cdot \lambda + L_{\text{pros}} = 10$$

$K_{\text{PI}} = 3.477$

$T_{\text{PI}} = 10$

Kuva 40. Pinnankorkeuden dynamiikka.

Prosessin tulisi olla edellä mainituilla säätimen viritysparametriarvoilla hitaampi kuin avoimen säättöpiirin vaste. Lasketut viritysparametrit kuvassa 40 ovat lähelle liitteessä 4 laskettuja viritysparametreja. Liitteen 4 viritysparametrit eivät tuottaneet toivottua säätötulosta, joten kuvan 40 mukaisia viritysparametreja ei testattu säätimelle. Tästä voidaan taas palata lähtöpisteeseen, prosessin toimilaite ja putkisto ovat ylimitoitettuja yläsäiliön kapasiteettiin nähden.

## 8 YHTEENVETO

Opinnäytetyö oli teknillisesti haastava, johtuen siitä että opinnäytetyön on tarkoitus palvella opetustarkoituksia. Opinnäytetyön palautuksen ajankohta venyi hyvin pitkäksi johtuen juuri tästä syystä. Minun täytyi varmistua säätimen toimivuudesta, jotta se vastaa aiemmin esitettyä teoriaa. Tässä viitataan esimerkiksi kohtaan, jossa kerron että

säätimen skaalaus oli tehty väärin ja viritysparametrit vaikuttivat säätimen lähtöön ”väärällä” tavalla.

Olen yllättynyt, kuinka paljon olen oppinut etenkin logiikkayksiköiden toiminnasta ja signaalinkäsittelystä opinnäytetyön eri vaiheissa. Käytännön työn tekovaiheissa ja säätimen toiminnan varmistamisessa jouduttiin paneutumaan sellaisiin asioihin, joihin ei olisi tullut mielenkään paneutua pienemmällä aikavälillä. Valvomonäytön suunnittelun ohella oppi myös pieniä asioita Wonderware Intouch -ohjelmasta, mutta ohjelman ollessa tuttu aikaisemmilta kursseilta, merkittävää tietotaidon nousua ei ollut.

Kaikkiaan olen tyytyväinen opinnäytetyön sisältöön ja käytännön työhön. Käytännön työn tuloksia ja teoriaosaa pystytään vertaamaan toisiinsa ja ne täydentävät toisiaan. Opinnäytetyön sisältö vastaa juuri niitä odotuksia, mitä sille asetettiin kun opinnäytetyön aihe oli selvillä.

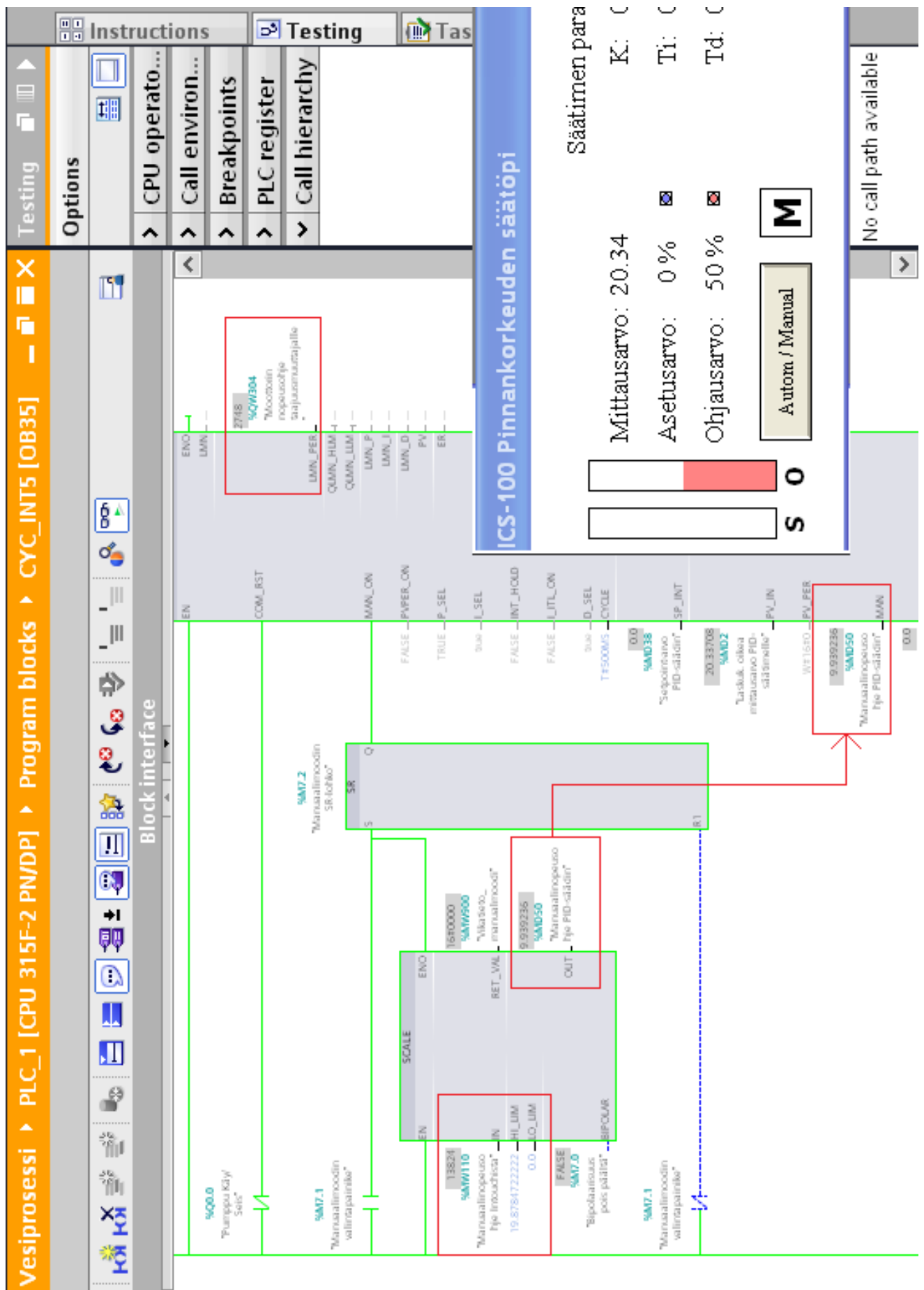


## LÄHTEET

1. Keinänen T., Kärkkäinen P., Lähetkangas M., Sumujärvi M. 2007. Automaatiojärjestelmien logiikat ja ohjaustekniikat, 1., painos. WSOY Oppimateriaalit Oy.
2. Siemens Industry Online Support. Automation Service, Automation Support, Simatic Service, Simatic Support, Technical Support, Technical Consulting. 2014. <http://support.automation.siemens.com/WW/llisapi.dll?func=cslib.csinfo&objId=23731199&nodeid=28375964&load=content&lang=en&siteid=cseus&aktprim=0&objaction=csview&extranet=standard&viewreg=WWsdsdsd> [Viitattu 9.9.2014].
3. Relay Ladder Logic | PLCTutor.com. 2013. Verkkosivut. <http://www.plctutor.com/relay-ladder-logic.html> [Viitattu 17.9.2014].
4. Introduction to Programmable Logic Controllers – Part 1 . Module 1: Introduction to PLC Hardware. 2014. Word-dokumentti. <https://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=10&cad=rja&uact=8&ved=0CFAQFjAJ&url=http%3A%2F%2Fwww.pdhonline.org%2Fcourses%2Ffe116a%2FPLC-module1.doc&ei=m3gHVLb-M4HnygO254CADg&usg=AFQjCNFyUGV1tIdKQOu5d7SrbC11Awhy3g&bvm=bv.74115972,d.bGQ> [Viitattu 12.9.2014].
5. PLC I/O Devices | PLCTutor.com. 2013. <http://www.plctutor.com/plc-io-devices.html> [Viitattu 12.9.2014].
6. Product Details – Industry Mall – Siemens WW. 6ES7323-1BL00-0AA0 – tuoteseloste. 2014. Verkkosivut. <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Product/6ES7323-1BL00-0AA0> [Viitattu 2.11.2014].
7. Siemens Industry Online Support. Automation Service, Automation Support, Simatic Service, Simatic Support, Technical Support, Technical Consulting. – tuoteseloste. 2014. Verkkosivut. <http://support.automation.siemens.com/WW/llisapi.dll?func=cslib.csinfo&objId=1>

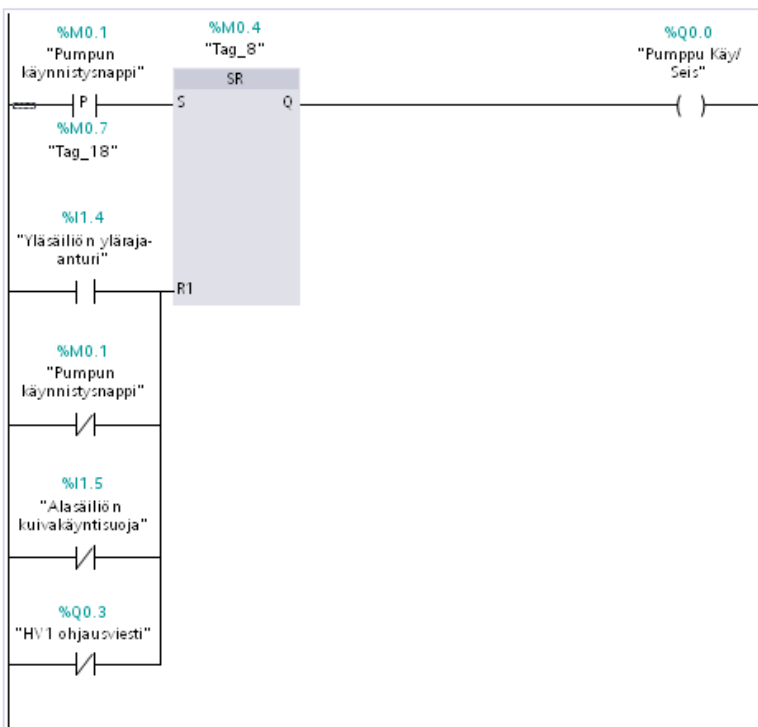
6527167&nodeid=24771315&load=content&lang=en&siteid=cseus&aktprim=0  
&objaction=csview&extranet=standard&viewreg=WW [Viitattu 2.11.2014].

8. Product Details – Industry Mall – Siemens WW. 6ES7332-5HF00-0AB0 – tuoteseloste. 2014. Verkkosivut.  
<https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Product/6ES7332-5HF00-0AB0> [Viitattu 11.11.2014]
  
9. PLC Basics. The Most Unconventional Guide to PLCs on the Internet. 2014. Verkkosivut. <http://www.plcdev.com/book/export/html/9> [Viitattu 16.9.2014]
  
10. Siemens – TIA PORTAL (Step7) – tuoteseloste. 2014. Verkkosivut.  
[http://www.siemens.fi/fi/industry/teollisuuden\\_tuotteet\\_ja\\_ratkaisut/tuotesivut/automaatiotekniikka/ohjelmoitavat\\_logiikat\\_simatic/ohjelmistot/tia\\_portal\\_step7.htm](http://www.siemens.fi/fi/industry/teollisuuden_tuotteet_ja_ratkaisut/tuotesivut/automaatiotekniikka/ohjelmoitavat_logiikat_simatic/ohjelmistot/tia_portal_step7.htm)  
[Viitattu 11.11.2014]
  
11. Kippo A. K., Tikka A., 2008. Automaatiotekniikan perusteet. Edita Prima Oy.
  
12. Savolainen J., Vaittinen R., 1998. Sääätötekniikan perusteita, 2., uudistettu painos. Gummerrus kirjapaino Oy.
  
13. Harju T., Marttinen A., 2000. Säättöpiirin virityksen perusteet., 1., painos. Otamedia Oy.
  
14. Svrcek W. Y., Mahoney D. P., Young B. R., 2000. A real-time approach to process control. John Wiley & Sons Ltd.
  
15. Siemens S7-300 ja S7-400 –käyttömanuaali. 2014. PDF-tiedosto, löytyy myös TIA Portal -ohjelmistokehityksen Help -osiosta.  
[http://www.fer.unizg.hr/\\_download/repository/S7pidcob.pdf](http://www.fer.unizg.hr/_download/repository/S7pidcob.pdf) [Viitattu 11.11.2014]
  
16. Mäkelä M., 2014. Modelling of tanks. PDF-tiedosto. KyAMK Moodle –pohja.  
[https://moodle.xamk.fi/pluginfile.php/327082/mod\\_resource/content/1/Tank%20Modelling%20V1%20MM.pdf](https://moodle.xamk.fi/pluginfile.php/327082/mod_resource/content/1/Tank%20Modelling%20V1%20MM.pdf). [Viitattu 11.11.2014]



**Network 1:** Pumpun käynnistyspiiri

Comment



▼ "Pumpun käynnistysnappi"	%M0.1	Pumpun käynnistysnappi
"Pumppu Käy/Seis"	%Q0.0	Pumppu Käy/Seis
"HV1 ohjausviesti"	%Q0.3	HV1 ohjausviesti
"Yläsäiliön yläraja-anturi"	%I1.4	Yläsäiliön yläraja-anturi
"Tag_8"	%M0.4	
"Alasäiliön kuivakäyntisuoja"	%I1.5	Alasäiliön kuivakäyntisuoja
"Tag_18"	%M0.7	

▼ **Network 2:** HV1

Alasäiliön nousuputken venttiili



▼ "HV1 ohjauspainike"	%M0.2	HV1 ohjauspainike
"HV1 ohjausviesti"	%Q0.3	HV1 ohjausviesti

▼ **Network 3:** HV5

Yläsäiliön laskuputken venttiili

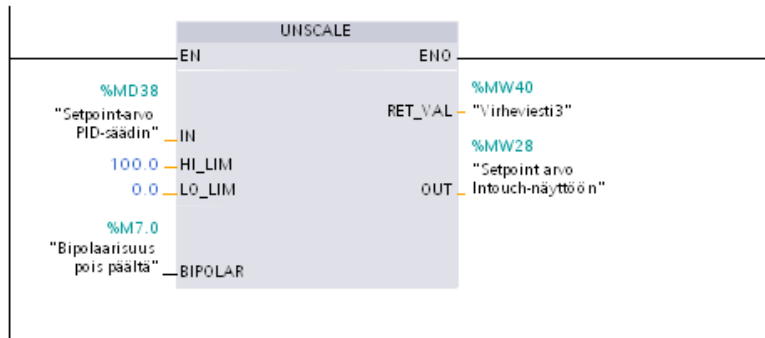


▼ "HV5 ohjauspainike"	%M0.3	HV5 ohjauspainike
"HV5 ohjausviesti"	%Q0.5	HV5 ohjausviesti

**Network 4:** Setpoint-arvon luku PID-piiristä ja sen esitys Intouch-ajonäytössä.

- Setpoint-arvon skaalaus reaaliaikaisluvuksi, jotta helpompi esittää Intouch-sovelluksen ajonäytössä. MW28 on intouch-sovelluksen tagi.

Intouch-rajat:  
 MinEU 0 & MaxEU 100  
 MinRaw 0 & MaxRaw 27648



- |                                  |       |   |
|----------------------------------|-------|---|
| "Bipolaarisuus pois päältä"      | %M7.0 | Kyseistä arvoa luetaan positiivisten arvojen väl... |
| "Setpoint-arvo PID-säädin"       | %MD38 | Setpoint-arvo PID-säädin                            |
| "Virheviesti3"                   | %MW40 | Virheviesti3  |
| "Setpoint arvo Intouch-näyttöön" | %MW28 | Setpoint arvo Intouch-näyttöön                      |

**Network 5:** PID-Säätimen P-kertoimen käyttöönotto Intouch-sovelluksesta

Comment



- |                   |             |
|-------------------|-------------|
| "CONT_C_DB".P_SEL | %DB1.DBX0.3 |
| "Tag_1"           | %M150.0     |

**Network 6:** PID-Säätimen I-kertoimen käyttöönotto Intouch-sovelluksesta

Comment



- |                   |             |
|-------------------|-------------|
| "Tag_2"           | %M150.1     |
| "CONT_C_DB".I_SEL | %DB1.DBX0.4 |

**Network 7:** PID-Säätimen D-kertoimen käyttöönotto Intouch-sovelluksesta

Comment



- |                   |             |
|-------------------|-------------|
| "Tag_3"           | %M150.2     |
| "CONT_C_DB".D_SEL | %DB1.DBX0.7 |

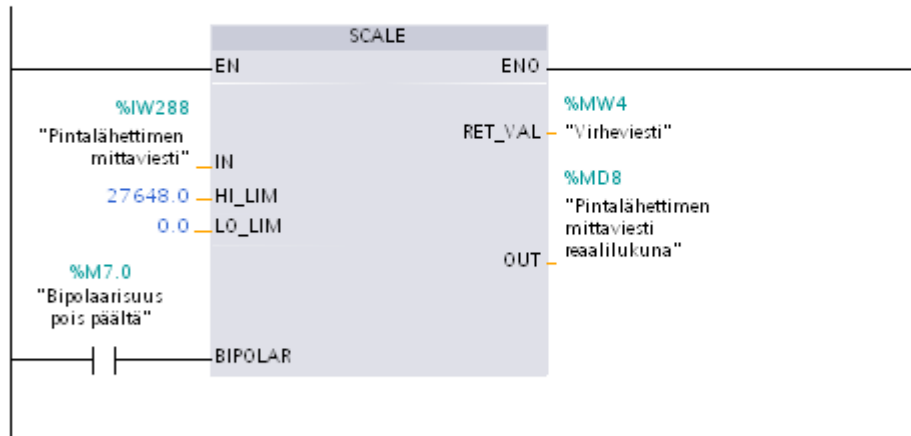
### Block title: "Cyclic Interrupt"

OB35 syklin ajaksi asetettu 250ms

### Network 1: Pintalähettimen viestin muunnos

#### Pintalähettimen analogiviestin muunnos liukuluvuksi.

Koska pintalähettimen anturi lähettämän analogiviestini alue toimii alueella 0 - 27648, ennen muunnosta liukuluvuksi myös asetettava toimimaan samalla alueella asettamalla HI\_LIM 27648.0.



"Bipolaarisuus pois päältä"	%M7.0	Kyseistä arvoa luetaan positiivisten arvojen väl...
"Pintalähettimen mittaviesti"	%IW288	Pintalähettimen mittaviesti
"Pintalähettimen mittaviesti rea..."	%MD8	Pintalähettimen mittaviesti reaali-lukuna
"Virheviesti"	%MW4	s

### Network 2: Pinnan korkeuden laskukaava

#### Pinnanlasku kaava: (arvot luetaan WATCH TABLESTA, osoitteesta IW288)

Vähennysblokki:

Tuloon 1 laitetaan mittaustuloksen muunnos kokonaisluvusta reaali-luvuksi.

Tuloon 2 laitetaan pinnan korkeus säiliön ollessa tyhjä ja luku annetaan reaali-lukuna.

Jakoblokki:

Tuloon 1 laitetaan vähennyslaskublokin lähtö.

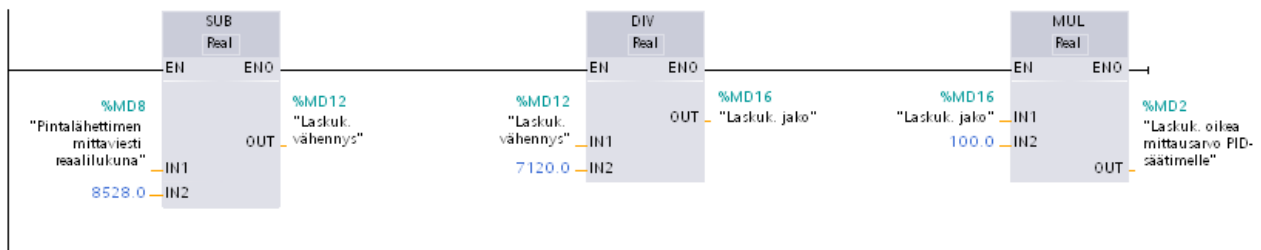
Tuloon 2 laitetaan täyden säiliön ja tyhjän säiliön reaali-lukujen erotus.

Kertoblokki:

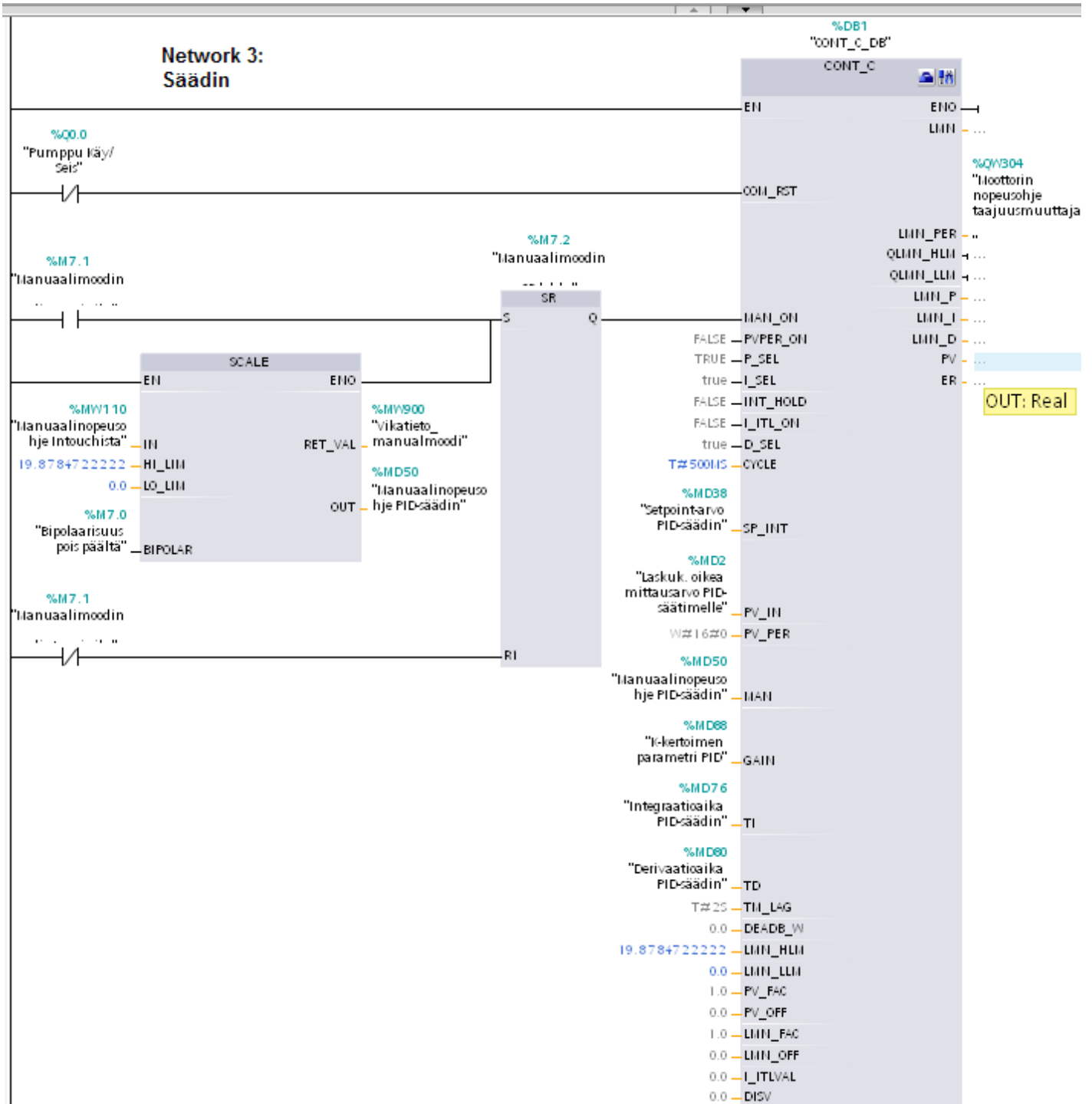
Tuloon 1 laitetaan jakoblokin lähtö.

Tuloon 2 laitetaan 100%, jotta saadaan todellinen prosentuaalinen pinnan korkeus säiliöstä.

Kertoblokin lähtö menee PID-säätimen mittaussignaalin tuloon.



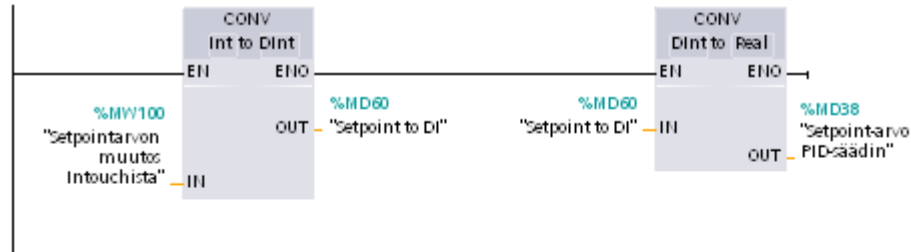
"Laskuk. oikea mitta-arvo PID-säätimelle"	%MD2	Laskuk. oikea mitta-arvo PID-säätimelle
"Pintalähettimen mittaviesti rea..."	%MD8	Pintalähettimen mittaviesti reaali-lukuna
"Laskuk. vähennys"	%MD12	Laskuk. vähennys
"Laskuk. jako"	%MD16	Laskuk. jako



#### Network 4: Setpoint-arvon muutos Intouch-sovelluksesta

- Säätimen mittaussignaalin toimiessa liukulukuna kokonaisluku muunnetaan vain liukuluvuksi lisäämällä desimaali perään, jolloin asetusarvo on automaattisesti oikeassa skaalassa mittauslukujen suhteen.

Intouch-rajat:  
MinEU 0 & MaxEU 100  
MinRaw 0 & MaxRaw 100

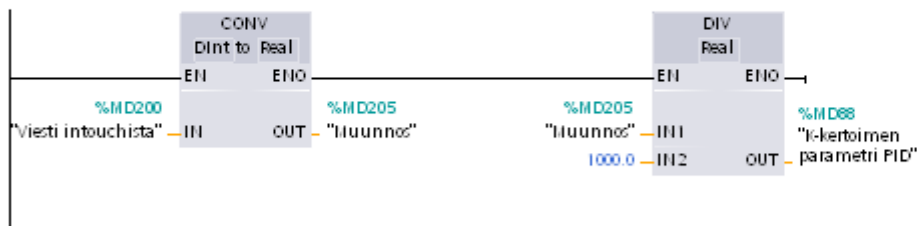


"Setpoint-arvo PID-säädin"	%MD38	Setpoint-arvo PID-säädin
"Setpointarvon muutos Intouchista"	%MW100	Setpointarvon muutos Intouchista
"Setpoint to DI"	%MD60	Setpoint to DI

#### Network 5: PID-Säätimen K-kertoimen säätö Intouchista.

- K-kertoimen säätö Intouch -piiri-ikkunasta tuodaan tuplakokonaisluvun muodossa, jotta sille on mahdollista antaa suurempi arvo, kuin kokonaisluvulla. Kokonaisluku muutetaan reaaliiksi, jonka jälkeen se jaetaan reaaliarvon arvolla 1000.0

Kuvaushetkellä Intouch -käyttöliittymässä säätimen vahvistukseksi (Kp) oli asetettu luku 2.



"K-kertoimen parametri PID"	%MD88	
"Viesti intouchista"	%MD200	
"Muunnos"	%MD205	



Intouch - WindowViewer - C:\DOCUMENTS AND SETTINGS\ALL USERS\APPLICATION DATA\WONDERWARE\INTOUCH APPLICATIONS\VESIPROESSI

File Logic Special

15:23:36  
7.11.2014

Päänäyttö

Historical Trend

mittausarvo  
asetusarvo  
ohjausarvo

Real Time Trend

100  
50  
0

15:23:00  
15:23:30

Yläsäiliö Yläsäiliön laskuputken käsiventtiili HV5 Alasäiliö Kuirakäyntisuoja Syöttöpumppu 12345

HSZ-1 n...  
HSZ-5 La...

12345 Syöttöpumppu

LICS-100 Pinnankorkeuden säätöpi

Säätimen parametrit  
K: 1.25 On  
Ti: 10.00 s On  
Td: 0.00 s Off

Mittausarvo: 0.00  
Asetusarvo: 0 %  
Ohjausarvo: 0 %

M S O Autom / Manual M

Start/Stop  
Kuirakäyntisuoja: OK  
Pumpun ohjausarvo: 0 %

start

C:\Documents ... Intouch - Wind... Intouch - Wind... virtustulokset

# PI-säädön ja PID-säädön viritystulokset käyttäen Ziegler-Nichols- ja Lambda-menetelmää LIITE 4

## PID-säädön viritysparametrit Ziegler-Nichols-menetelmällä

Ziegler-Nichols -viritys PID-säädin:

### 1. Toimipisteen prosessiparametrit:

Vakioarvot:  $L_{\text{ZN}} := 4$     $T_{\text{ZN}} := 206$     $K_{\text{ZN}} := 12.09$

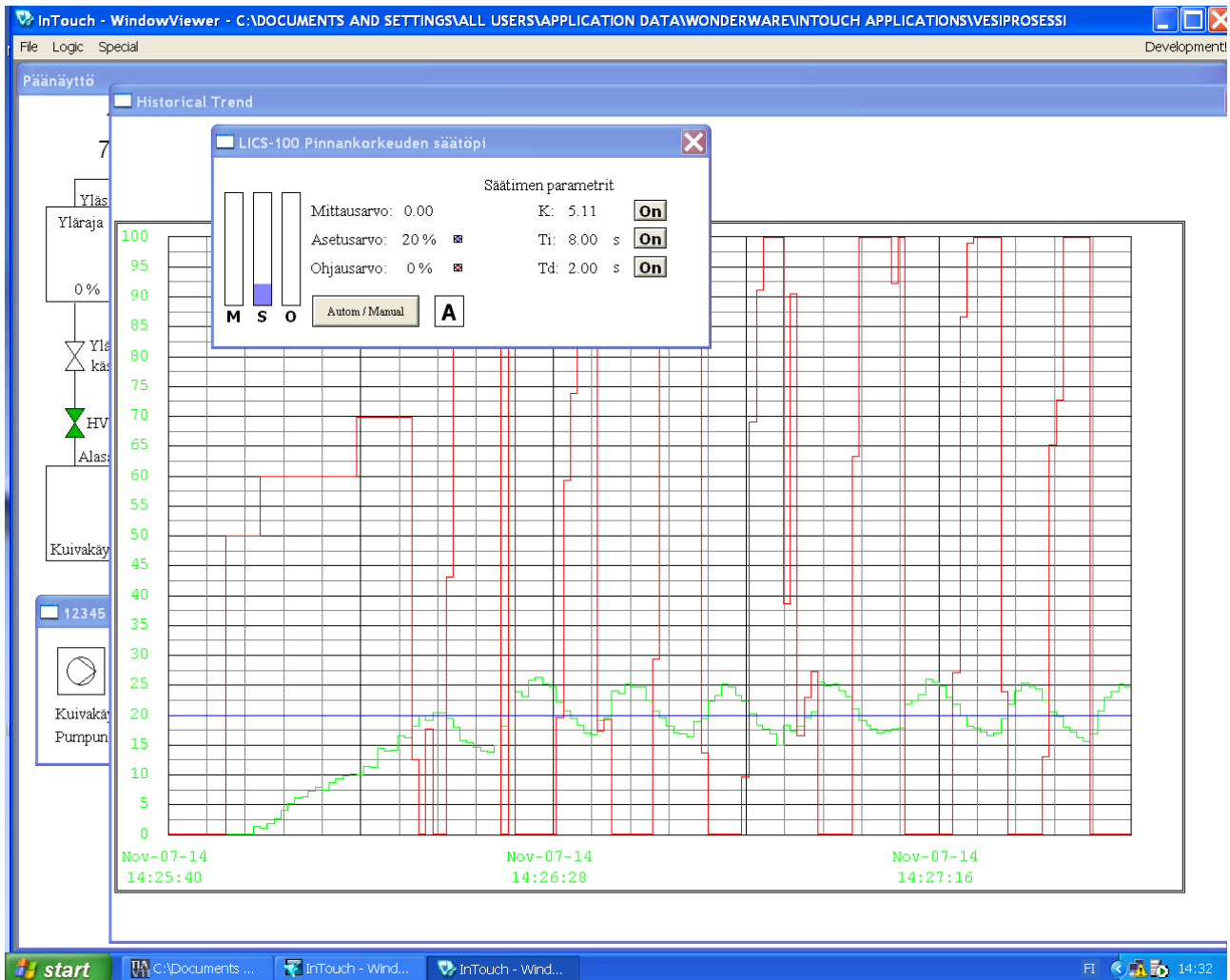
### 1. Toimipiste PID-säädin

$$K_{\text{PID}} := \frac{1.2 \cdot T}{(K \cdot L)} \quad T_{\text{PID}} := 2 \cdot L \quad T_{\text{dPID}} := \frac{L}{2}$$

$$K_{\text{PID}} = 5.112$$

$$T_{\text{PID}} = 8$$

$$T_{\text{dPID}} = 2$$



## PI-säädön viritysparametrit Lambda-menetelmällä

Lambda-viritys, ison aikavakion mukaan:

### 1. Toimipisteen prosessiparametrit:

Vakioarvot:  $\lambda := 1$      $L := 4$      $T := 206$      $K := 12.09$

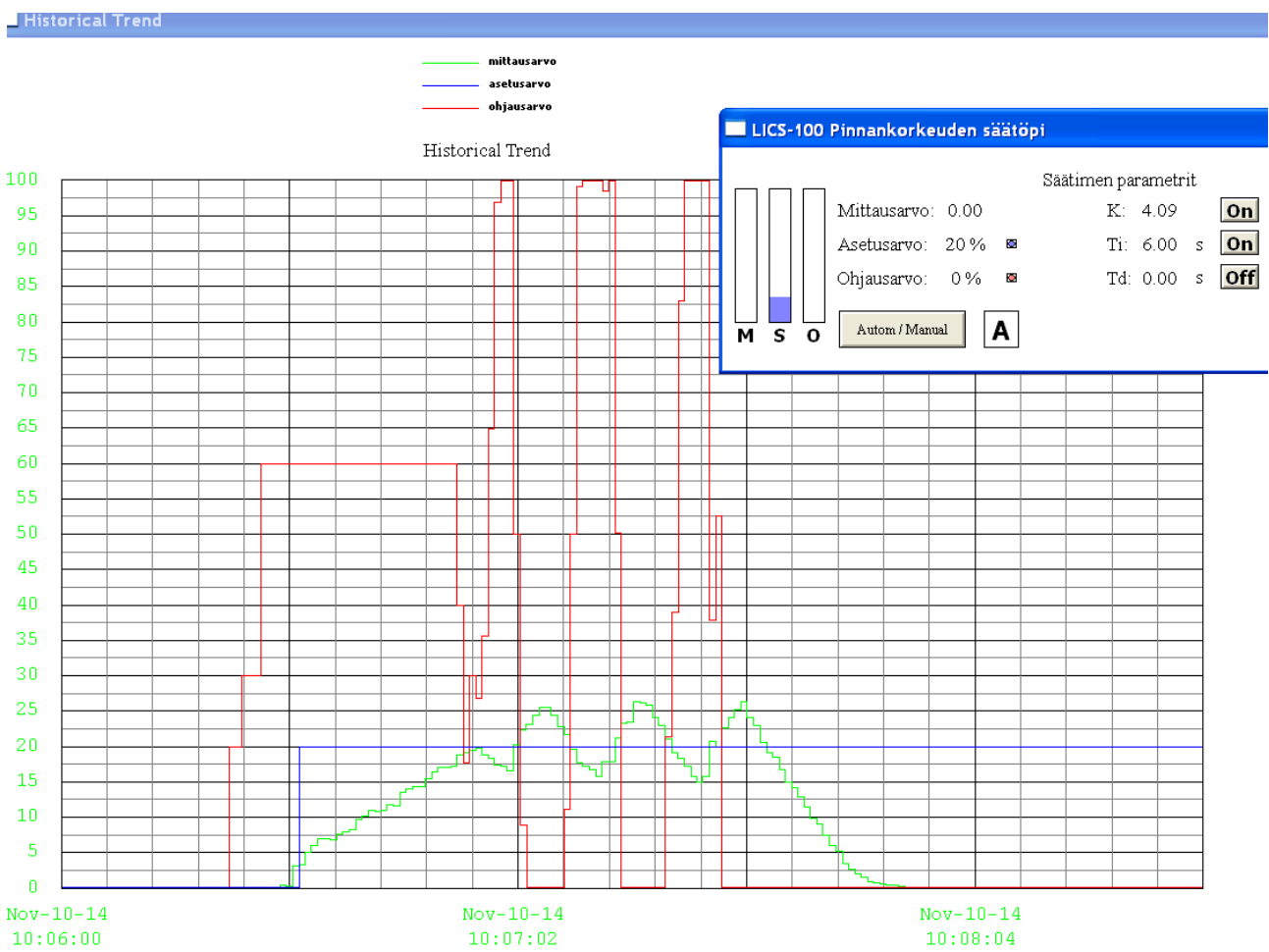
### 1. Toimipiste PI-säätö

$$K_{pPI} := \frac{[T \cdot (2 \cdot \lambda + L)]}{[K \cdot (\lambda + L)^2]}$$

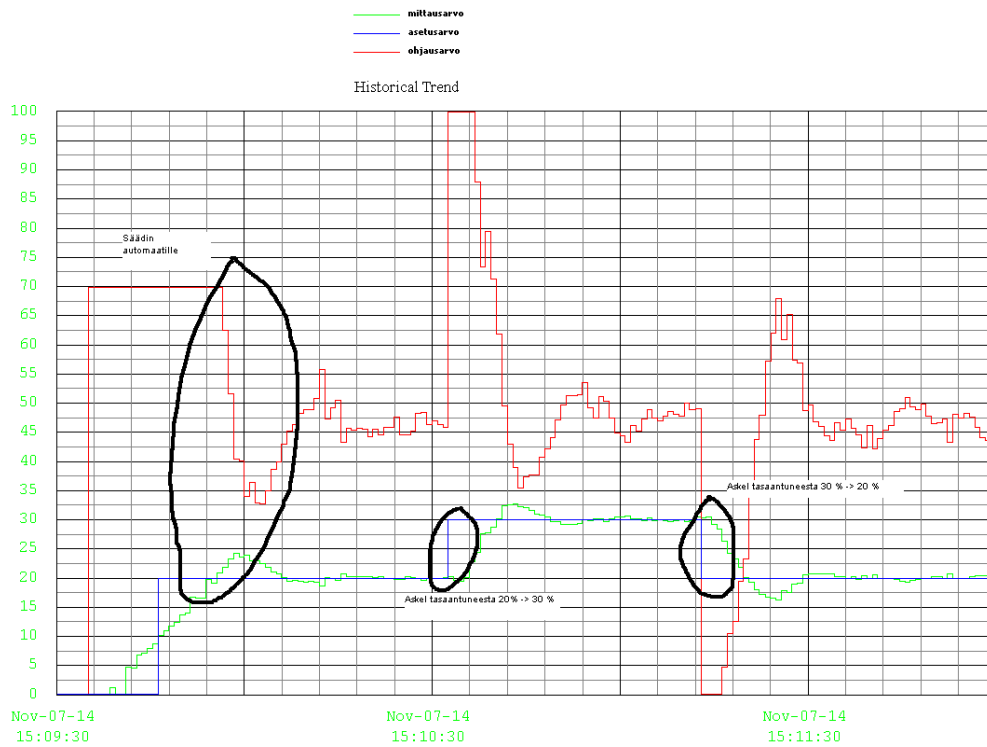
$$T_{iPI} := 2 \cdot \lambda + L$$

$K_{pPI} = 4.089$

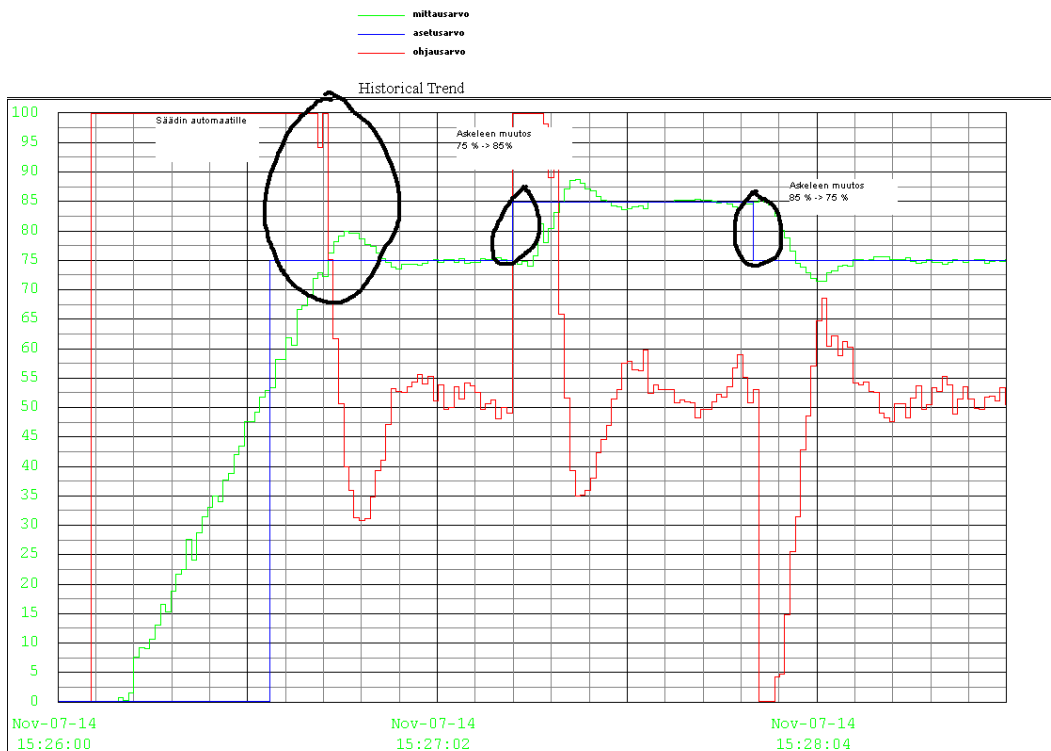
$T_{iPI} = 6$



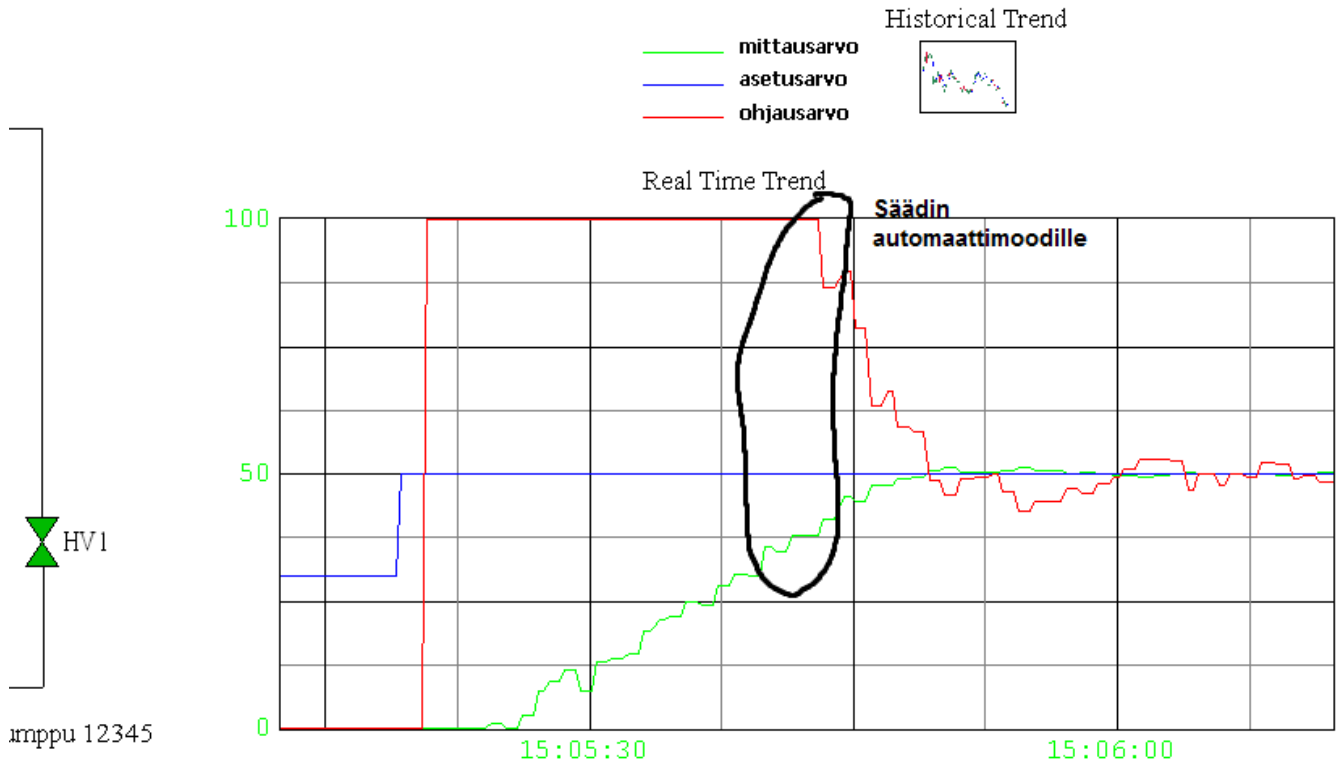
## Pinnankorkeuden muutostila 1. toimipisteessä



## Pinnankorkeuden muutostila 2. toimipisteessä



## 1. Pinnankorkeuden muutos toimintapisteiden ulkopuolella, 0 % -&gt; 50 %



LICS-100 Pinnankorkeuden säätöpi

Säätimen parametrit

Mittausarvo: 50.11

Asetusarvo: 50 %

Ohjausarvo: 49 %

K: 1.25

Ti: 10.00 s

Td: 0.00 s

M S O

12345 Syöttöpumppu

Kuivakäyntisuoja: OK

Pumpun ohjausarvo: 49 %