

Lauri Luoma

**Festo MPS PA Compact Workstation -laitteiston
ohjelmointi ja käyttöliittymän tekeminen**

Opinnäytetyö

Kevät 2011

Tekniikan yksikkö

Tietotekniikka

Mekatroniikka



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö

Koulutusohjelma: Tietotekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Mekatroniikka

Tekijä: Lauri Luoma

Työn nimi: Festo MPS PA Compact Workstation -laitteiston ohjelmointi ja käyttöliittymän tekeminen

Ohjaaja: Martti Lehtonen

Vuosi: 2011 Sivumäärä: 40 Liitteiden lukumäärä: 1

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tehdä Festo MPS PA Compact Workstation säätötekniikan opetuslaitteeseen logiikkaohjelma ja käyttöliittymä. Laitteistoa käytetään Seinäjoen ammattikorkeakoulun tekniikan yksikön automaatiolaboratoriossa säätötekniikan harjoituksiin. Kurssien rajallisen tuntimäärän vuoksi opiskelijoilla ei ole aikaa perehtyä kunnolla muuhun kuin itse säätötekniikkaan.

Laitetta ohjataan ohjelmoitavalla logiikalla, jonka sisäänrakennetulla PID-säätimellä eri säädöt toteutettiin. Käyttöliittymä suunniteltiin yksinkertaiseksi ja selkeäksi, mutta silti niin, että siinä näkyy kaikki oleellinen tieto.

Työstä tehtiin myös lyhyempi versio ohjekirjan muotoon, jossa esitellään pääkohdat ja suurimmat ongelmakohdat. Sitä käytetään kurssin ohessa ohjeistamaan oppilaita.

Työn tavoitteet saavutettiin hyvin pienistä ongelmista huolimatta. Käyttöliittymästä saatiin yksinkertainen ja selkeä. Ohjekirjasta onnistuttiin tekemään sellainen, että se helpottaa asioiden ymmärtämistä ja opiskelijat pääsevät nopeammin itse säätötekniikan pariin. Suurimmat ongelmat aiheutti ohjelmoitavan logiikan PID-säätimen käyttäminen.

Avainsanat: säätötekniikka, PID-säädin, ohjelmoitava logiikka, käyttöliittymä

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Information Technology

Specialisation: Mechatronics

Author: Lauri Luoma

Title of the thesis: Programming and designing a user interface for Festo MPS PA Compact Workstation

Supervisor: Martti Lehtonen

Year: 2011 Number of pages: 40 Number of appendices: 1

The purpose of this final thesis was to design a logic program and user interface for Festo MPS PA Compact Workstation, which is used for learning control systems in Seinäjoki University of Applied Sciences. Because of the limited number of lectures in a course, students do not have the time to make themselves familiar with anything but just the control systems.

A programmable logic controller controls the machinery. It has integrated PID-controllers which were used to make all the different regulations. The user interface was designed to be simple and explicit, but in a way that it still shows all the essential information.

A shorter version of the thesis was made into a form of a manual, which contains all the essential information and the biggest obstacles. The manual's purpose is to make things easier for the students.

All objectives that were set for the thesis were met despite some minor problems. The manual helps students to get into the actual control systems more quickly instead of using a lot of time in the basic programming and designing the interface. The integrated PID-controllers in the programmable logic controller caused the biggest problems but they were solved, too.

Keywords: control systems, PID controller, programmable logic controller, user interface

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract.....	3
SISÄLTÖ.....	4
Kuvio- ja taulukkoluetelo.....	6
Käytetyt termit ja lyhenteet	8
1 JOHDANTO	9
1.1 Työn tausta	9
1.2 Työn tavoite	9
1.3 Työn rakenne	9
2 SÄÄTÖTEKNIikka	10
2.1 Sääntöteknikan perusteet.....	10
2.2 PID-säätimet	11
2.2.1 P-säädin.....	12
2.2.2 PI-säädin.....	13
2.2.3 PID-säädin	14
2.2.4 PID-säätimen virittäminen	15
2.3 Ohjelmoitavat logiikat.....	16
2.3.1 Yleistä ohjelmoitavista logiikoista.....	17
2.3.2 Logiikan komponentit	17
3 FESTO MPS PA COMPACT WORKSTATION	20
3.1 Yleistä laitteistosta	20
3.2 Laitteiston anturit ja toimilaitteet.....	21
3.2.1 Keskipakoispumppu P101.....	21
3.2.2 Proportionaaliventtiili V106.....	22
3.2.3 Lämmityselementti E104.....	23
3.2.4 2-tie-palloventtiili V102.....	24
3.2.5 Ultraäänianturi B101	25
3.2.6 Virtausanturi B102	25
3.2.7 Paineanturi B103	26
3.2.8 Lämpötila-anturi B104.....	27

3.3 Suljetut takaisinkytketyt säätöjärjestelmät laitteistossa	28
3.3.1 Vedenpinnan säätö	28
3.3.2 Virtausnopeuden säätö	29
3.3.3 Paineen säätö	30
3.3.4 Lämpötilan säätö	31
3.4 Laitteiston ohjausjärjestelmä	32
4 PLC-ohjelma	33
4.1 Ohjelmointikieli	33
4.2 Logiikkaohjelma	33
4.2.1 FB41 Continious Control (PID)	33
4.2.2 Muunnokset ja skaalaukset	35
5 KÄYTTÖLIITTYMÄ	36
6 OHJEKIRJA	38
7 YHTEENVETO	39
LÄHTEET	40
LIITTEET	41

Kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuva 1. Suljettu takaisinkytketty säätöjärjestelmä.....	11
Kuva 2. P-säädön toiminta eri vahvistuksen arvoilla.	12
Kuva 3. PI-säädön käyttäytyminen. Vahvistus on pidetty vakiona.	14
Kuva 4. PID-säädön käyttäytyminen derivointiajan muuttuessa ja vahvistuksen sekä integrointiajan pysyessä vakiona.....	15
Kuva 5. Siemens S7-300 -sarjan modulaarinen logiikka.....	17
Kuva 6. Siemens S7-300 CPU 313C -kompaktilogiikka.....	19
Kuva 7. Festo MPS PA Compact Workstation.....	20
Kuva 8. PI-kaavio, Festo MPS PA Compact Workstation.....	21
Kuva 9. Keskipakoispumppu P101.....	22
Kuva 10. Proportionaaliventtiili V106.	23
Kuva 11. Lämmityselementti E104, pinnantasoanturi S117 sekä lämpötila-anturi B104.	24
Kuva 12. 2-tie-palloventtiili V102.....	24
Kuva 13. Ultraäänisensorin mittaaman välimatkan ja signaalin korrelaatio.....	25
Kuva 14. Analogisen signaalin muutos virtauksen muuttuessa.....	26
Kuva 15. Virtausanturi B102.....	26

Kuva 16. Paineanturi B103	27
Kuva 17. Resistanssin muutos lämpötilan funktiona	28
Kuva 18. PI-kaavio, vedenpinnan säätö.....	29
Kuva 19. PI-kaavio, virtausnopeuden säätö.....	30
Kuva 20. PI-kaavio, Paineen säätö	31
Kuva 21. PI-kaavio, lämpötilan säätö.....	32
Kuva 22. FB41 Cont_c.....	35
Kuva 23. Käyttöliittymän aloitusruutu.	36
Kuva 24. Vedenpinnan säädön näyttöruutu.	37

Käytetyt termit ja lyhenteet

I/O-lista	Lista tietyn laitteen tuloista ja lähdöistä, inputeista ja out- puteista.
mbar	Millibaari. Baarin tuhannesosa. Paineen yksikkö.
mA	Milliampeeri. Ampeerin tuhanneosa. Virran yksikkö.
PID-säädin	Säädin, jonka nimen 3 kirjainta tulevat sanoista propor- tional, integral ja derivative. Yksi säätötekniikan perussää- timistä.
PLC	Programmable logic controller, ohjelmoitava logiikka.
Pneumatiikka	Paineistetun kaasun käyttötekniikka tehonsiirtoon.
V	Voltti. Jännitteen yksikkö.

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta

Seinäjoen ammattikorkeakoulun Tekniikan yksikön automaatiolaboratorion uuteen Festo MPS PA Compact Workstation säätötekniikan opetuslaitteeseen haluttiin tehdä logiikkaohjelma ja käyttöliittymä, jotta opiskelijoilla olisi esimerkit, joista ottaa mallia, kun he tekevät laboratoriokokeita laitteistolla.

1.2 Työn tavoite

Työn tavoitteena on tehdä ohjelma ja käyttöliittymä Festo MPS PA Compact -laitteeseen. Kurssien tuntimäärä on hyvin rajallinen, joten laitteeseen tarvitaan malliohjelma ja -käyttöliittymä, joista opiskelijat voivat ottaa esimerkkiä ja tutustua aiheeseen ennen varsinaisia laboratoriokokeita. Toisena tavoitteena on tehdä pieni ohjekirja siitä, miten laitteen ohjelmointi ja käyttöliittymän tekeminen tapahtuvat, jotta opiskelijat voisivat enemmän keskittyä laitteiston säätämiseen.

1.3 Työn rakenne

Ensimmäinen osio käsittää työn taustan, tavoitteen ja rakenteen. Toisessa osiossa käsitellään säätötekniikan, PID-säätimen sekä ohjelmoitavien logiikoiden perusteet. Kolmannessa osiossa käsitellään itse laitteiston ominaisuuksia. Neljäs ja viides osio käsittelevät tehtyä työtä ja kuudes osio työstä tehtyä ohjekirjaa.

2 SÄÄTÖTEKNIikka

2.1 Säätoetekniikan perusteet

Säätoetekniikka muodostaa merkittävän osan nykypäivän automaatiosta. Teollisuudessa säätoetekniikkaa käytetään esimerkiksi kone-, prosessi- ja sähköautomaatiossa. Puhtaampien ja säästävempien tuotantomenetelmien tarpeen kasvaessa säätoetekniikan merkitys kasvaa koko ajan. Mittauslaitteiden, elektroniikan ja tietokoneiden kehittyessä säätoetekniikkaa pystytään hyödyntämään laitteissa ja sovelluksissa, joissa se ei ennen ole ollut mahdollista esimerkiksi taloudellisista syistä. (Savolainen 2001, 5-7.)

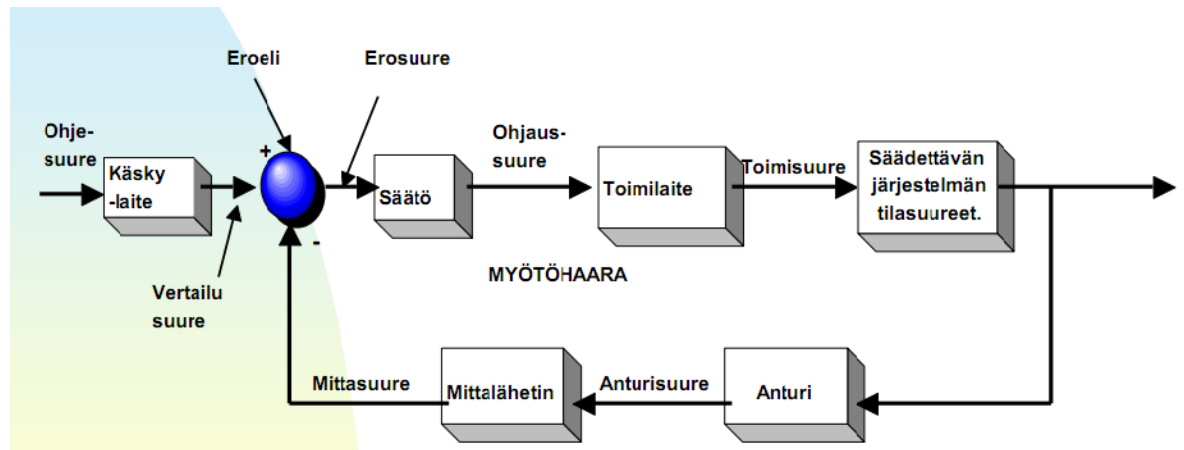
Kun laitteen toimintaa ohjataan vertailemalla mittausarvoja asetettuihin arvoihin, on kyse säätoimisestä. Ohjaustoimet määräytyvät sen mukaan, kuinka paljon järjestelmän mittausarvot poikkeavat halutuista arvoista. Tätä kutsutaan säätoetekniikaksi. (Savolainen 2001, 13.)

Teollisuuden alalla säätoetekniikka tukeutuu luonnontieteellisen ja matemaattisen teorian perusrakenteeseen. Nämä luonnonlait ovat selviä ja yleisesti tunnettuja. Kun niitä sovelletaan teollisuudessa, niiden tulokset ovat havaittavissa konkreettisesti. (Virtanen 1981, 12.)

Sääto voidaan toteuttaa monella eri tavalla: pneumaattinen tai elektroniinen yksikösäädin, digitaalinen monitoimisäädin, ohjelmitava logiikka jne. Prosessin hyvä tuntemus on tärkeää, jotta edellä mainituista vaihtoehdoista osataan valita tilanteeseen ja prosessiin sopiva vaihtoehto. (Savolainen, 2001, 16.)

Suljettu takaisinkytketty säätojärjestelmä tarkoittaa järjestelmää, jossa informaatio lähetetään takaisin säätoisuudesta mittauksen ja eroelimen kautta säätolohkolle. (Kuva 1). Anturi mittaa järjestelmän lähtösuureen muutoksia ja muodostaa niistä anturisuureen, jonka mittalähetin muuntaa mittasuureksi, useimmiten joksikin ennalta sovituksi standardiviestiksi. Ohjearvo eli asetusarvo kertoo, mikä säätoisuureen arvon tulisi olla. Käskyelimen tehtävä on muuttaa sille tuleva ohjesuure vertailusuureksi, joka tulee olla samaa tyyppiä mittasuureen kanssa (standardiviesti). Eroelin muodostaa erosuureen vähentämällä vertailusuureesta mittasuure-

reen ja lähettää sen säätölohkolle. Säätölohko muodostaa sille lähetetystä erosuuresta ohjauksuureen, joka välitetään toimilaitteelle, joka välittömästi ohjaa säädettävää järjestelmää toimitukseen avulla. (Savolainen 2001, 20-21.)



Kuva 1. Suljettu takaisinkytketty säätöjärjestelmä (Lehtonen, 2011.)

2.2 PID-säätimet

Huolimatta säätötekniikan voimakkaasta kehityksestä ja sen mukanaan tuomista uusista säädinmahdollisuuksista PID-säädin ei ole menettänyt asemaansa teollisuudessa. Se on ylivoimaisesti suosituin säädin, koska sen yksinkertainen rakenne mahdollistaa edullisen ja helposti hallittavan toteutuksen ja ylläpidon. Teoreettisten menetelmien kehitys on osaltaan edistänyt PID-säätimen kehitystä tuomalla uusia menetelmiä sen virittämiseen ja analysointiin. (Lehtonen, 2011.)

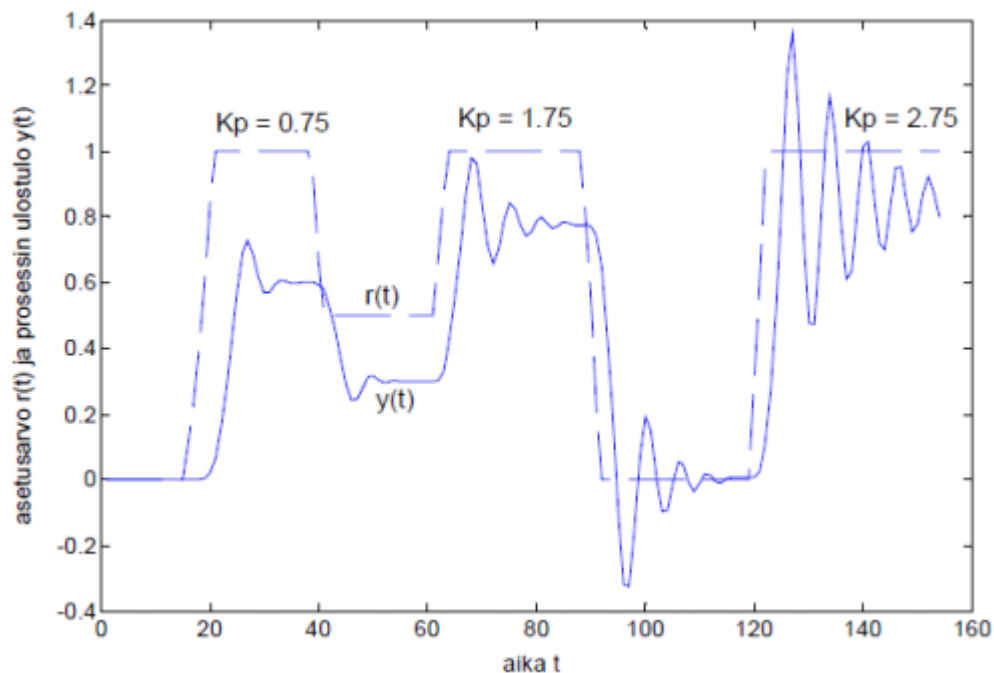
PID-termin jokainen kirjain vastaa säätimen eri toimintoa. Säädintä valittaessa tulisi tietää, tarvitaanko P-, I-, PI-, vai PID-säädin. P-säädin tekee säätöhäiriön jälkeen nopean korjauksen, mutta mittasuureta saa harvoin vertailusuureen kanssa samalla tasolle. Niiden väliin jää yleensä pysyvä säätöpoikkeama. I-säädin on P-säädintä hitaampi, mutta sitä käytettäessä pysyvää säätöpoikkeamaa ei esiinny. PI-säädin on I-säädintä nopeampi, eikä siinä myöskään esiinny säätöpoikkeamaa. PID-säädin tulee valita, jos prosessissa esiintyy kuollutta aikaa eli mittaushitautta. (Mikkola 1999, 66-67.)

Nykyisin kaikki sähköisesti toteutetut säätimet tai automaatiojärjestelmien säätölohkot sisältävät täydellisen PID-algoritmin. Tarpeen mukaan niistä voidaan sitten ottaa käyttöön tarvittavat algoritmit. (Savolainen 2001, 47.)

2.2.1 P-säädin

P-säädin pyrkii pitämään mittasuureen vahvistuksen K_p mukaan määräytyvällä säätöalueella sen sijaan, että se pyrkisi säätämään sen vertaussuureen suuriksi. Tästä johtuen mitta- ja vertaussuure ovat harvoin yhtä suuria. Niiden välistä erotusta kutsutaan pysyväksi säätöpoikkeamaksi. Jos säätimen vahvistus asetetaan suureksi, säätöpoikkeama on pieni, mutta säätöpiiri alkaa helposti värähdellä. Säätimen ohjaussuureen suuruuteen vaikuttavat eroarvo ja säätimen vahvistus. Jos vahvistus on valittu oikein, mittaussuure asettuu huojahetken jälkeen. (Mikkola 1999, 62.)

Kuvasta 2 havaitaan, kuinka vahvistuksen kasvaessa prosessin ulostulo $y(t)$ alkaa värähdellä enemmän ja enemmän samalla kun säätöpoikkeama pienenee.



Kuva 2. P-säädön toiminta eri vahvistuksen arvoilla. (Lehtonen, 2011.)

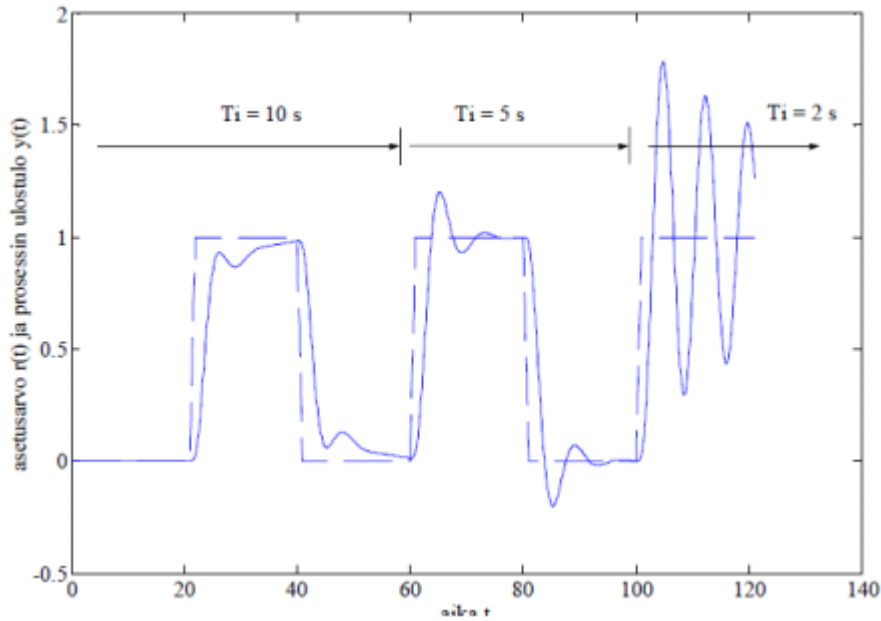
Huolimatta P-säädön yleensä jättämästä pysyvästä säätöpoikkeamasta se on usein varsin käyttökelpoinen menetelmä. Virityksen suhteen se on hyvin yksinkertainen, vain yksi parametri. Se voidaan toteuttaa omavaraisena eli ilman ulkoista tehonsyöttöä, esim. lämpöpatterien termostaatit. Kuitenkin säätömenetelmää valittaessa tulee muistaa tarkistaa, ettei säätöpoikkeamasta ole haittaa. (Savolainen 2001, 42.)

2.2.2 PI-säädin

PI-säädössä yhdistyvät P- ja I-säädön hyvät puolet. P-säätö muuttaa välittömästi säätimen ohjaussuuretta, kun kumpi tahansa mitta- tai vertausuure muuttuu. Sitteen I-säätö hoitaa säädön loppuun säätäen sitä niin kauan, että pysyvä säätöpoikkeama poistuu. (Mikkola 1999, 65.)

Integrointitermi ilmoitetaan usein integrointiaikavakion T_i avulla, joka ilmaisee suurpiiteisesti sen ajan, jonka säätöpoikkeaman poistaminen vie. Tästä voisi äkkiseltään ajatella, että T_i tulee asettaa nolaksi, jotta säätöpoikkeama poistuisi välittömästi, mutta tällöin järjestelmä alkaisi värähdellä epästabiiilisti samalla lailla kuin jos K_p on liian suuri. Käytännössä T_i :n alarajan määrittävät järjestelmän dynaamiset ominaisuudet. (Savolainen 2001, 43-44.)

Kuvasta 3 havaitaan PI-säädön käyttäytyminen samassa prosessissa eri T_i :n arvoilla vahvistuksen pysyessä vakiona.



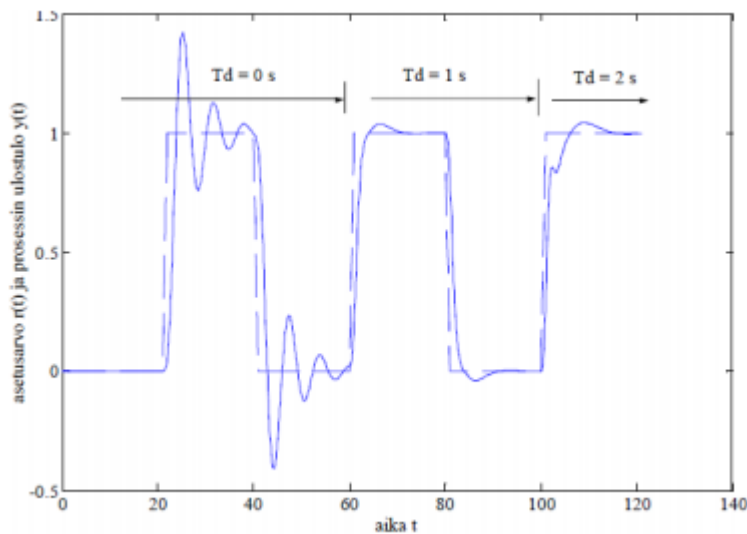
Kuva 3. PI-säädön käyttäytyminen. Vahvistus on pidetty vakiona. (Lehtonen, 2011.)

PI-algoritmi on suositeltavaa valita silloin, kun pysyvää säätöpoikkeamaa ei voida sallia. Täytyy kumminkin muistaa sekin, että viritysparametrien määrä kaksinkertaistuu (yhdestä kahteen), jonka takia oikean virityksen löytäminen tulee paljon vaikeammaksi kuin P-säädössä. (Savolainen 2001, 45.)

2.2.3 PID-säädin

Jos säätöpiirissä on paljon kuollutta aikaa, voidaan sen toimintaa parantaa lisäämällä PI-säätimeen D-osa. Kun mittaussuure kasvaa nopeasti, derivaattorin ohjaussuure muuttuu heti saman verran, mutta sen jälkeen se alkaa vähentyä eksponenttifunktion mukaan. Vaikutus lakkaa noin viiden T_d :n (derivointiaika) jälkeen. Mittaussuureen muuttuessa säätimen ohjaussuure kasvaa heti P- ja D-osan vaikutuksesta. Tämän jälkeen I-osa kasvattaa lähtöä ja samalla D-osan vaikutus alkaa vähentyä. Suljetussa säätöpiirissä PID-säätimen ohjaussuureta muutetaan niin kauan, että mittaussuure saavuttaa vertailusuureen, eli PID-säätimessä ei jää pysyvää säätöpoikkeamaa. PID-säätöä tarvitaan harvoin, usein riittää P- tai PI-säätö. (Mikkola 1999, 66.)

Kuvasta 4 havaitaan PID-säädön käyttäytyminen eri T_d -arvoilla vahvistuksen ja integrointiavakion pysyessä vakiona.



Kuva 4. PID-säädön käyttäytyminen derivointiajan muuttuessa ja vahvistuksen sekä integrointiajan pysyessä vakiona. (Lehtonen, 2011.)

2.2.4 PID-säätimen virittäminen

Säädön tulee olla hyvin viritetty, jos siitä halutaan minkäänlaista hyötyä. Virittäminen tarkoittaa oikeiden parametrien löytämistä PID-säätimen arvoille. Viritys on hyvä silloin, kun säädössä ei esiinny liikaa värähtelyä ja pysyvä säätöpoikkeama on mahdollisimman pieni. Oikeaa viritystä voidaan lähteä hakemaan kokeilemalla, joka P-säätimen tapauksessa ei ole hirvittävän vaikeaa. Kun muuttujia lisätään, mahdollisten eri variaatioiden lukumäärä kasvaa huomattavasti, ja oikean säädön löytäminen kokeilemalla voisi kestää jopa vuosia. Tämän takia PID-säätimien viritämiseen on kehitetty useita menetelmiä. (Savolainen 2001, 48.)

Yksi yleisimmin käytetyistä menetelmistä on Ziegler-Nicholsin värähtelymenetelmä. Tässä menetelmässä aluksi säätö tulee asettaa P-säädöksi eli T_i asetetaan äärettömäksi tai niin suureksi kuin mahdollista ja T_d nolaksi. Tämän jälkeen vahvistus asetetaan pieneksi ja sitä lähdetään nostamaan vähän kerrallaan, kunnes säätösuure alkaa värähdellä vakiotajudella. Tätä tilaa kutsutaan kriittiseksi värähtelyksi. Sitä vahvistuksen arvoa, jolla säätö saadaan tähän tilaan kutsutaan kriitti-

seksi vahvistukseksi K_{Pkr} . Kriittisestä värähtelystä saadaan myös selville kriittinen jakson aika T_{kr} . Näiden avulla voidaan laskea säätöjen viritysparametrit seuraavasti:

P-säädössä:

$$- K_p = 0,5 K_{Pkr}$$

PI-säädössä:

$$- K_p = 0,45 K_{Pkr}$$

$$- T_i = 0,83 T_{kr}$$

PID-säädössä:

$$- K_p = 0,8 K_{Pkr}$$

$$- T_i = 0,5 T_{kr}$$

$$- T_d = 0,125 T_{kr}$$

Nämä arvot suuntaa antavia, joten vielä lopuksi viritys tulee hienosäätää, mutta arvojen jo ollessa hyvin lähellä oikeita se ei vaadi suurta vaivaa. Usein riittää pelkkä vahvistuksen hienosäätäminen. (Savolainen 2001, 50-51.)

2.3 Ohjelmoitavat logiikat

Ohjelmoitavalla logiikalla eli PLC:llä (programmable logic controller) tarkoitetaan erilaisten reaaliaikaisten automaatioprosessien esim. tuotantolinjojen ohjaukseen käytettävää pientä tietokonetta, joka on varustettu mikroprosessorilla. (Keinänen 2007, 212.)

2.3.1 Yleistä ohjelmoitavista logiikoista

Ohjelmoitavalla logiikalla korvataan suuri määrä ajastimia ja releitä. Tämä helpottaa laitteiden uudelleen ohjelmointia ja johdotusta huomattavasti. Logiikan vikadiagnostiikka helpottaa huomattavasti vikatilanteiden selvittämistä. (Keinänen 2007, 212.)

Erilaisia logiikkatyyppejä on muutamia. Ne vaihtelevat muutamaa relettä korvaavista mikrologiikoista suuriin useita lähtö- ja tuloportteja sisältäviin logiikoihin, joihin voidaan liittää useita kenttälaitteita. (Keinänen 2007, 212.)



Kuva 5. Siemens S7-300 -sarjan modulaarinen logiikka (Siemens, 2011a.)

2.3.2 Logiikan komponentit

Vaikka ohjelmoitavia logiikoita on erilaisia ja eri valmistajilta, niillä on kuitenkin aina 6 yhteistä tekijää:

1. teholähde (PSU)
2. keskusyksikkö (CPU)
3. tuloyksikkö (Inputs)
4. lähtöyksikkö (Outputs)
5. asennusteline (rack assembly)
6. ohjelmointilaite. (PLCtutor.com 2011.)

Teholähteestä saadaan keskusyksikön sekä tulo- ja lähtöyksiköiden tarvitsema tasavirta. Yleensä teholähteet toimivat 24V tasajännitteellä tai 230V vaihtojännitteellä. (PLCtutor.com 2011.)

Keskusyksikkö toimii logiikan "aivoina". Sen koko ja malli määrää esim. mitkä ohjelmointifunktiot ovat mahdollisia, kuinka suuri ohjelma siihen voidaan tehdä, kuinka paljon siinä on muistia ja kuinka nopeasti se prosessoi tietoa. (PLCtutor.com 2011.)

Tuloyksikkö tuo prosessista tietoa logiikalle. Tieto voidaan saada esim. rajakytkimeltä tai lämpötila-anturilta. Lähtöyksikkö ohjaa järjestelmän eri laitteita esim. lampuja tai moottoreita. Tulo- ja lähtöyksikköön voidaan kiinnittää monia erilaisia laitteita, mutta ne voidaan signaalinsa mukaan jakaa kahteen ryhmään: digitaalisiin ja analogisiin. Digitaaliset tulot ja lähdöt ovat binäärisiä, eli päällä/pois, kyllä/ei jne. Analogiset tulot ja lähdöt taas käyttävät muuttuvaa signaalia, joka vaihtelee esim. lämpötilan tai halutun moottorin kierrosnopeuden mukaan. (PLCtutor.com 2011.)

Keskikokoiset ja sitä isommat ohjelmoitavat logiikat kasataan pala palalta samaan asennustelineeseen. Pienemmät logiikat ovat yleensä valmiiksi samassa paketissa. (PLCtutor.com 2011.)

Ohjelmointilaitteena nykyisin toimii oikeastaan aina tietokone ja siihen asennetut ohjelmat, joilla logiikka ohjelmoidaan ja ladataan PLC:n sisälle. (PLCtutor.com 2011.)

Yleisempiä logiikoita ovat niin sanotut modulaariset logiikat. Niihin käyttäjä voi itse valita joka komponentin makunsa ja tarpeensa mukaan, ja ne ovat jälkeempään helposti vaihdettavissa tarpeen muuttuessa tai vaikkapa uuden mallin tullessa markkinoille. Toinen yleinen ratkaisu on kompaktilogiikat, joissa keskusyksikköön on liitettyjä tiettyjä määriä I/O-yksiköitä. Ne eivät myöskään vaadi erillistä virtalähdettä toimiakseen. (Siemens 2011a.)



Kuva 6. Siemens S7-300 CPU 313C -kompaktilogiikka (Siemens 2011b.)

3 FESTO MPS PA COMPACT WORKSTATION

3.1 Yleistä laitteistosta

Laitteisto on suunniteltu prosessiautomaation säätötekniikkaan tutustumista varten. Sen eri suljetut säätöjärjestelmät on suunniteltu helpottamaan prosessiautomaation ymmärtämistä ja siihen kuuluvat eri laitteet ovat käytössä myös teollisuudessa. Laitteisto opettaa muun muassa:

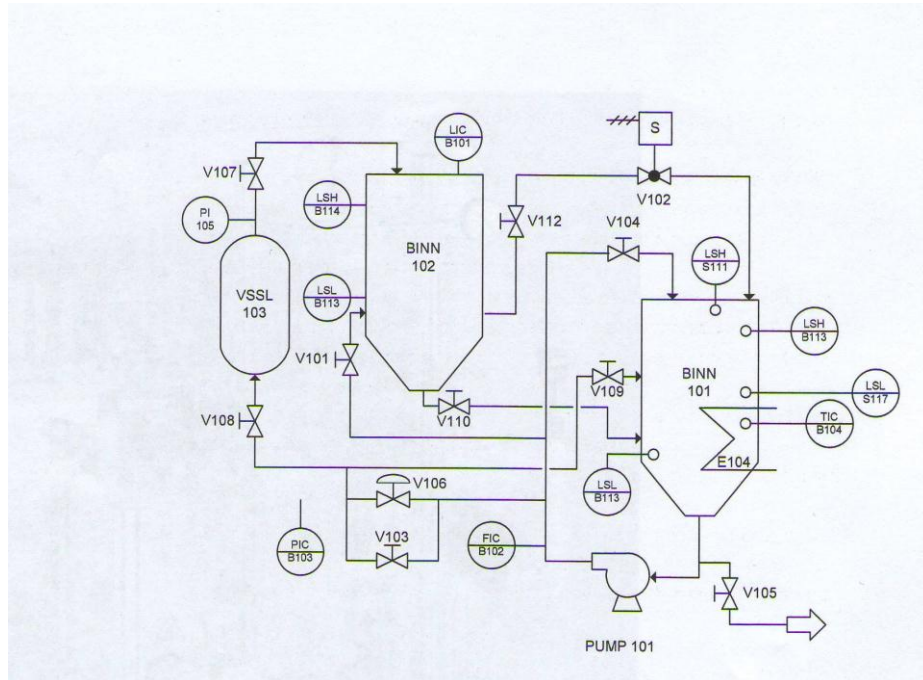
- prosessiautomaatiota
- pneumatiikkaa
- erilaisten antureiden käyttöä (digitaalisten/analogisten)
- ohjelmoitavan logiikan ohjelmointia
- suljetun takaisinkytketyn säätöjärjestelmän toimintaa
- PID-säätimen toimintaa ja viritystä. (Festo 2008, 5-6)



Kuva 7. Festo MPS PA Compact Workstation (Festo 2011.)

3.2 Laitteiston anturit ja toimilaitteet

Laitteistossa on useita erilaisia antureita ja toimilaitteita, joista oleellimmat esitellään tässä luvussa. Mainitut tulot ja lähdöt ovat liitteessä 1.



Kuva 8. PI-kaavio, Festo MPS PA Compact Workstation (Festo 2008.)

3.2.1 Keskipakoispumppu P101

Keskipakoispumppua käytetään jokaisessa laitteiston eri suljetussa säätöjärjestelmässä. Sen tarkoitus on pumpata vettä tankista B101 laitteiston lävitse. Pumpua ohjaa moottorikontrolleri, joka ohjaa moottoria analogisella signaalilla 0-10 V. Rele määrää ohjataanko pumpppua digitaalisesti vai analogisesti. Releen ollessa pois päältä (0) pumpppua ohjataan digitaalisesti lähdöllä O3. Sen ollessa päällä (1) moottoria ohjataan analogisesti lähdöllä UA1. (Festo 2008, 24.)



Kuva 9. Keskipakoispumppu P101

3.2.2 Proportionaaliventtiili V106

Proportionaaliventtiili V106 on suoratoiminen 2/2-tieventtiili, jolla voidaan säädellä virtausnopeutta. Sitä voidaan käyttää järjestelmän virtausnopeuden säädössä tai paineen säädössä. Venttiili aktivoidaan digitaalisella lähdöllä O4. Sen jälkeen sitä voidaan ohjata analogisella lähdöllä UA2, jonka signaali on välillä 0-10 V. (Festo 2008, 25.)



Kuva 10. Proportionaaliventtiili V106.

3.2.3 Lämmityselementti E104

Lämmityselementtiä kontrolloi sisäinen mikrokontrolleri, joka aktivoidaan digitaalisella lähdöllä O1. Elementin tulee päällä ollessaan olla kokonaan veden peitossa. Tästä syystä pinnantasoanturi S117 on suoraan kytketty lämmityselementtiin. Jos se ei ole vaikuttuneena, elementti ei mene päälle. Myöskin jos elementin lämpötila nousee yli 60 °C, se sammuu ja käynnistyy uudelleen, kun sen lämpötila on laskeutunut alle 45 °C. Nämä varokeinot ovat tehty suoraan laitteistoon, joten käyttäjä ei niihin voi vaikuttaa. Niiden tarkoitus on ohjelmointivirheen sattuessa estää laitteiston rikkoutuminen. (Festo 2008, 26-27.)



Kuva 11. Lämmityselementti E104, pinnantasanturi S117 sekä lämpötila-anturi B104.

3.2.4 2-tie-palloventtiili V102

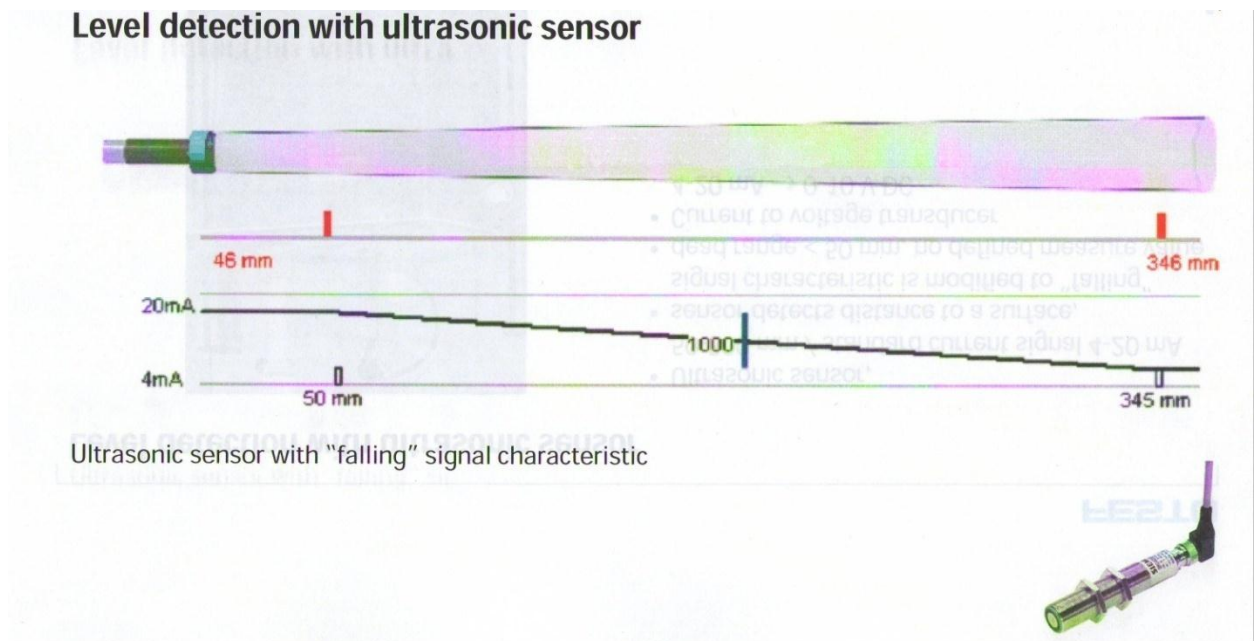
Palloventtiili kontrolloi nesteen virtausta tankista B102 tankkiin B101. Venttiili avataan digitaalisella lähdöllä O0. Sen ollessa kiinni digitaalinen tulo I5 on päällä ja sen ollessa auki digitaalinen tulo I6 on päällä. (Festo 2008, 28.)



Kuva 12. 2-tie-palloventtiili V102.

3.2.5 Ultraäänianturi B101

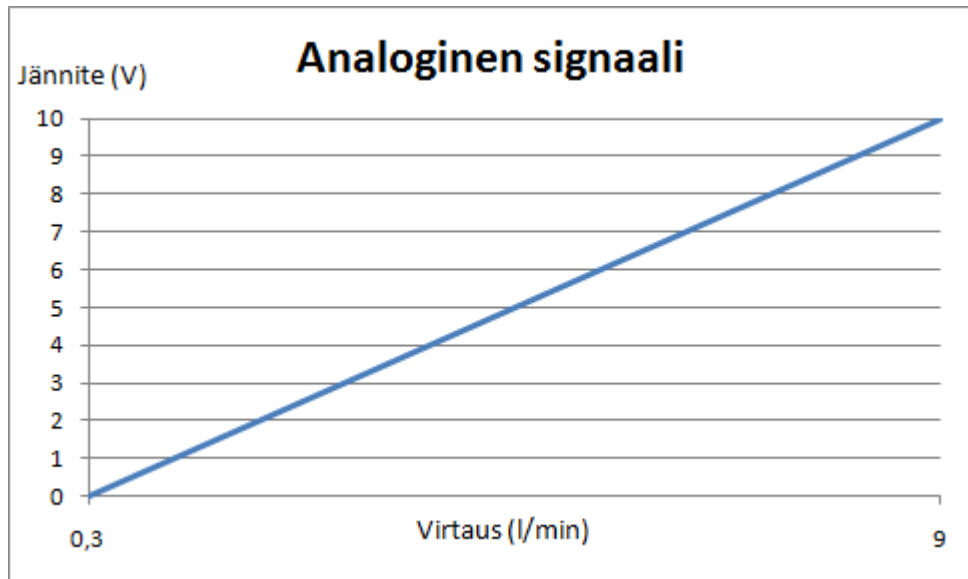
Ultraäänianturin toiminta perustuu sen lähettämän ultraäänen kimpoamiseen takaisin anturiin. Lähettämisen ja vastaanoton välinen aika on suoraan verrannollinen mitattavan objektin välimatkaan anturista. Anturi pystyy havaitsemaan objektin välimatkan 50 - 345 mm:n päästä, jota vastaava analoginen signaali on 4 - 20 mA. Eli kun välimatka kasvaa, niin signaali kasvaa. Tässä laitteistossa signaali joudutaan kääntämään toisinpäin, koska vedenpinta nousee kohti anturia. Eli silloin signaali onkin 50 - 345 mm etäisyydellä 20 - 4 mA. Sen signaali syötetään analogiseen tuloon UE1. (Festo 2008.)



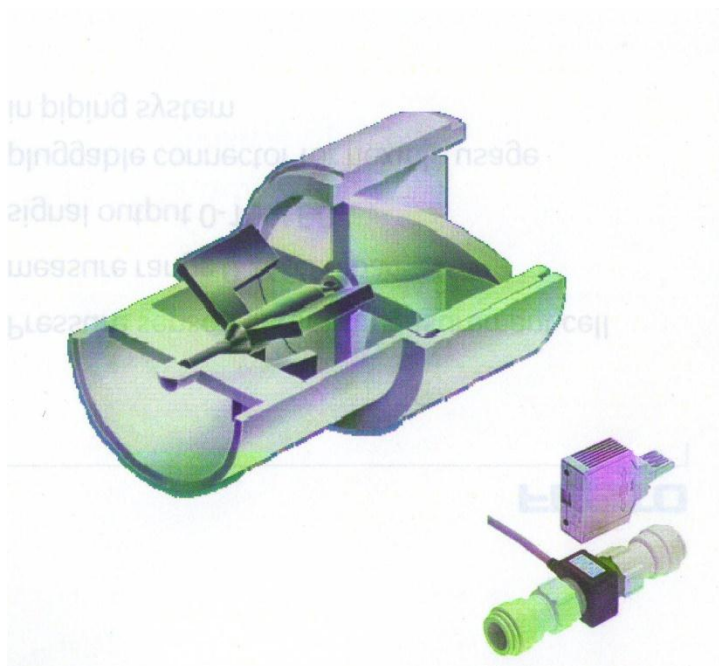
Kuva 13. Ultraäänisensorin mittaaman välimatkan ja signaalin korrelaatio. (Festo 2008.)

3.2.6 Virtausanturi B102

Virtausanturi mittaa laitteistossa virtaavan nesteen virtausnopeuden. Anturin sisällä olevan turbiinin akselin kierrosnopeus minuutissa on suoraan verrannollinen sen läpi virtaavan nesteen virtausnopeuteen. Anturin mittausalue on 0,3 - 9 l/min ja sen arvo syötetään analogiseen tuloon UE2 (kuva 14).



Kuva 14. Analogisen signaalin muutos virtauksen muuttuessa



Kuva 15. Virtausanturi B102 (Festo 2008)

3.2.7 Paineanturi B103

Paineanturi mittaa järjestelmän sisäisen paineen. Anturin mittausalue on 0 - 400 mbar. Sen analoginen arvo on välillä 0 - 10 V ja se syötetään analogiseen lähtöön UE3.

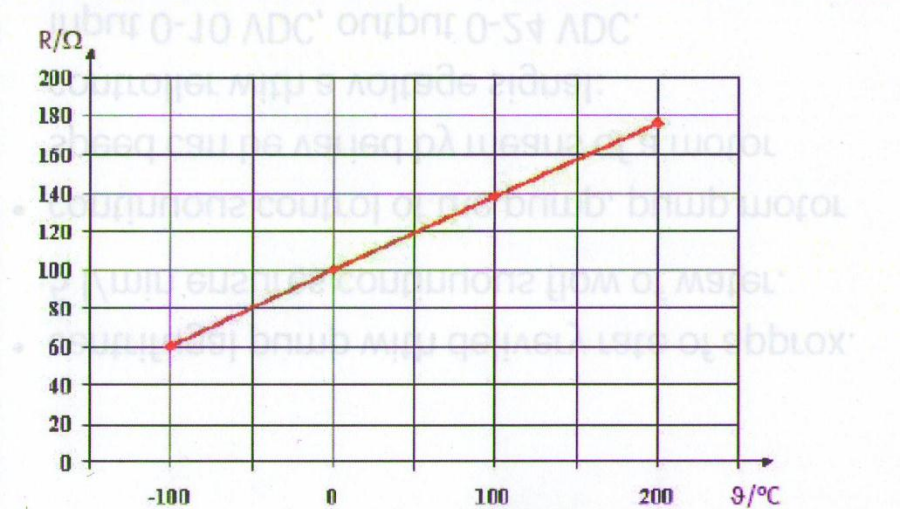


Kuva 16. Paineanturi B103

3.2.8 Lämpötila-anturi B104

Lämpötila-anturi (kuva 11) mittaa tankissa B101 olevan nesteen lämpötilan. Anturi on PT100-mallinen. Lämpötilan muuttuessa anturin resistanssi muuttuu suoraan verrannollisesti (kuva 17). Anturin mittausalue on -50°C - $+150^{\circ}\text{C}$ ja sen analoginen arvo syötetään lähtöön UE4.

Temperature [°C]	-100,00	0,00	100,00	200,00
Basic value [Ω]	60,25	100,00	138,50	175,84



Kuva 17. Resistanssin muutos lämpötilan funktiona. (Festo 2008.)

3.3 Suljetut takaisinkytketyt säätöjärjestelmät laitteistossa

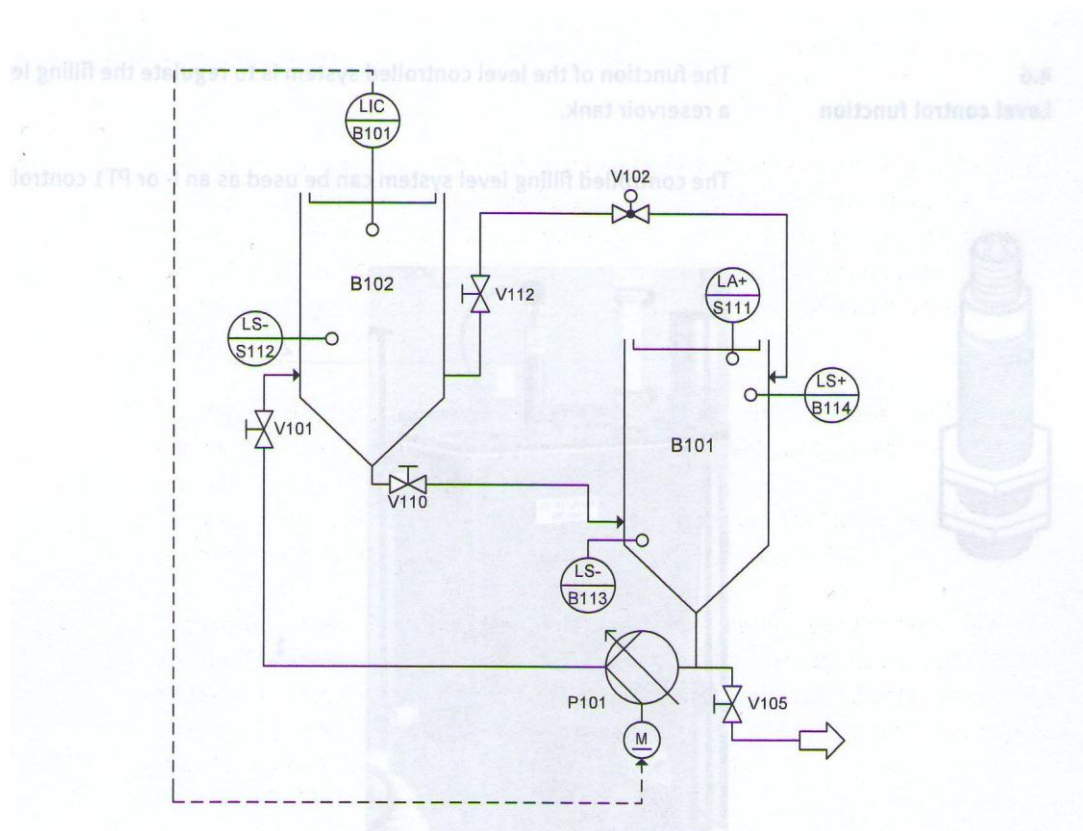
Laitteisto yhdistää 4 erilaista säätöjärjestelmää, joita ohjataan ohjelmoitavalla loogiikalla:

- tankin B102 vedenpinnan säätö
- virtausnopeuden säätö
- paineen säätö
- lämpötilan säätö. (Festo 2008, 17.)

3.3.1 Vedenpinnan säätö

Vedenpinnan säädön tavoitteena on pitää tankin B102 pinnantasoa halutulla tasolla. Pumppu P101 pumppaa vettä tankista B101 tankkiin B102. Tankin B102 pinnantaso mitataan ultraäänianturilla B101. Pinnantasoa tulisi pysyä halutulla tasolla, vaikka haluttu taso vaihtuu tai häiriöitä ilmenee esim. venttiili V102 aukeaa.

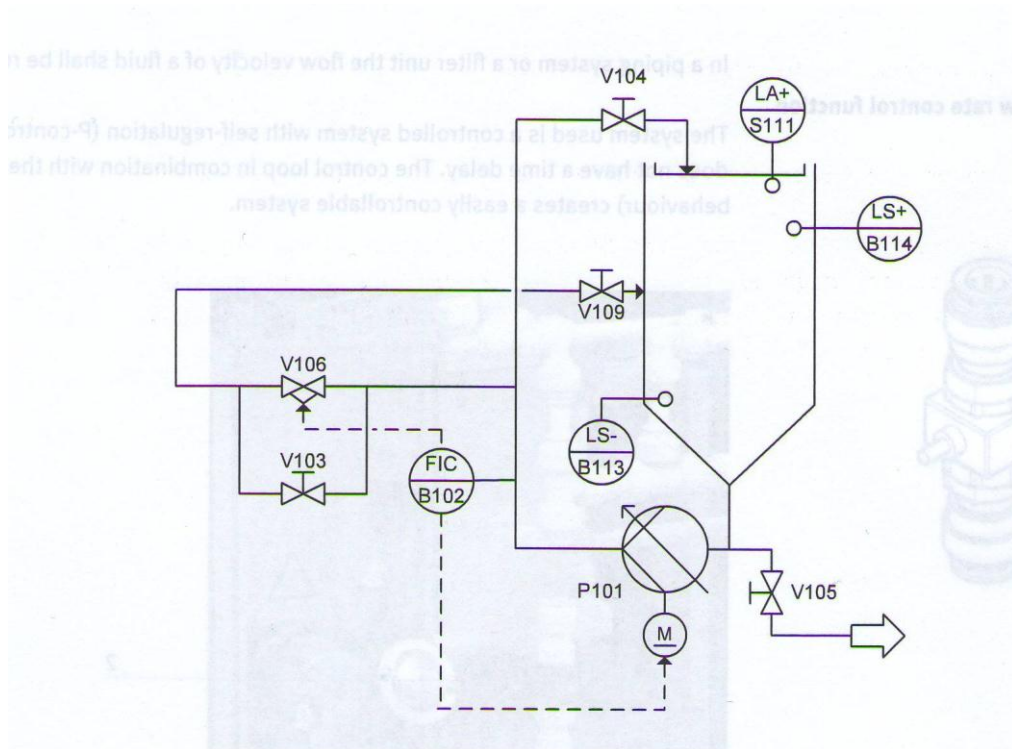
Tämä toteutetaan PID-säätimellä. Pumpua ohjataan analogisella signaalilla 0-10 V. (Festo 2008, 29-30.)



Kuva 18. PI-kaavio, vedenpinnan säätö. (Festo 2008)

3.3.2 Virtausnopeuden säätö

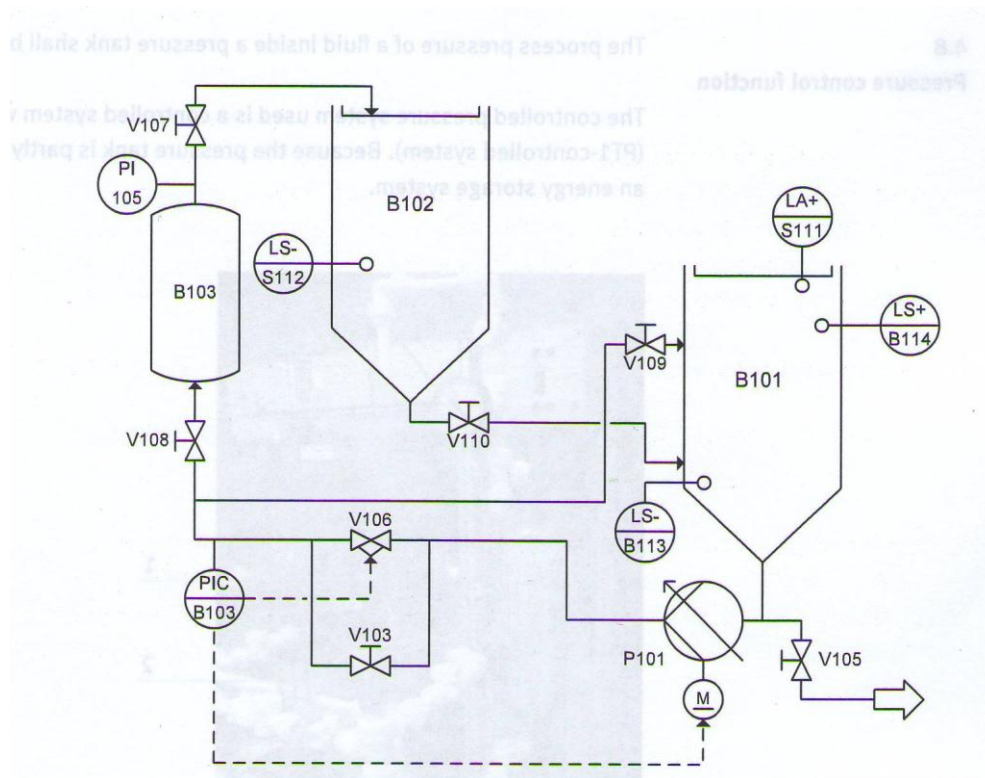
Virtausnopeuden säädön tavoitteena on pitää järjestelmän virtausnopeus halutulla tasolla. Pumppu P101 pumppaa tankista B101 nestettä järjestelmään ja sen virtausnopeutta pyritään säätämään. Virtausanturi B102 mittaa järjestelmän virtausnopeuden analogisen arvon. Virtausnopeuden tulisi pysyä halutussa arvossa, vaikka haluttu arvo muuttuu tai häiriöitä ilmenee. Virtausnopeutta voidaan säätää joko pumpun P101 avulla tai venttiilin V106 avulla. Kumpaakin niitä ohjataan erillisillä 0 - 10 V analogisilla signaaleilla. Jos virtausnopeutta säädetään venttiilin V106 avulla, P101 tulee asettaa pumppaamaan digitaalisella tulolla O3. (Festo 2008, 31-32.)



Kuva 19. PI-kaavio, virtausnopeuden säätö (Festo 2008)

3.3.3 Paineen säätö

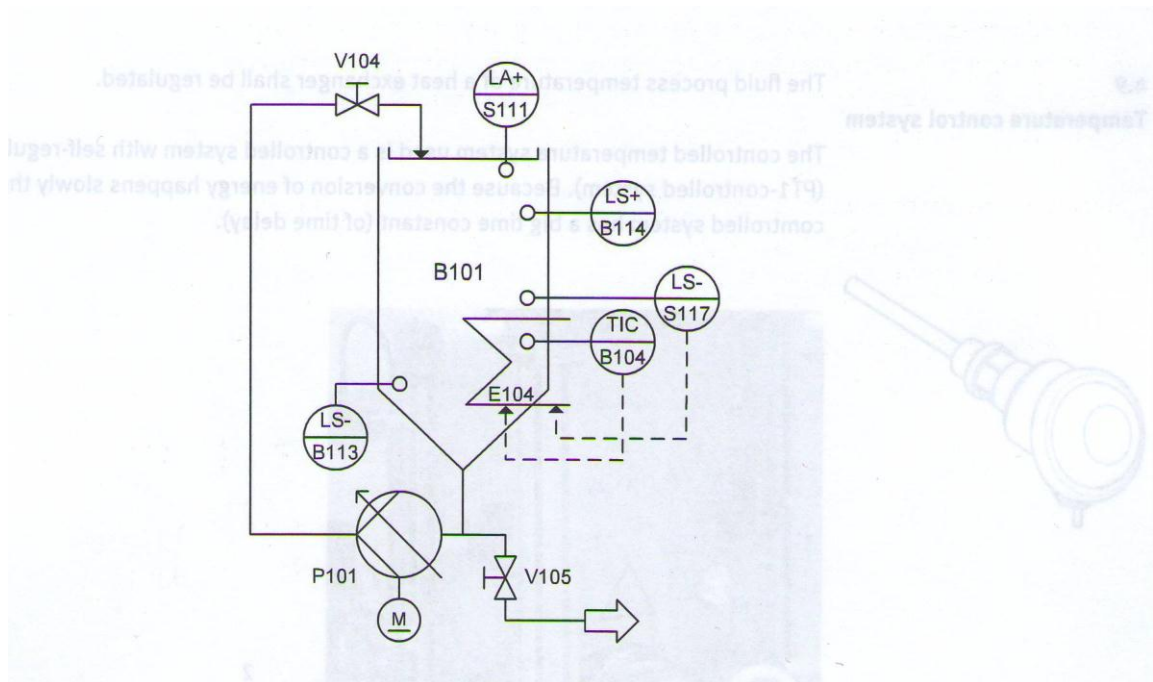
Paineen säädön tavoitteena on pitää järjestelmän paine halutulla tasolla. Pumppu P101 pumppaa nestettä tankista B101 järjestelmään ja sen painetta pyritään säätämään. Paineanturi B103 mittaa järjestelmän paineen analogisen arvon. Paineen tulisi pysyä halutussa arvossa, vaikka haluttu arvo muuttuu tai häiriöitä ilmenee esim. jos venttiiliä V109 aukaistaan. Painetta voidaan säätää pumpun P101 tai venttiiliin V106 avulla. Kumpaakin niitä ohjataan erillisillä 0 - 10 V analogisilla signaaleilla. Jos painetta säädetään venttiiliin V106 avulla, P101 tulee asettaa pumpaamaan digitaalisella tulolla O3. (Festo 2008, 33-34.)



Kuva 20. PI-kaavio, Paineen säätö. (Festo 2008.)

3.3.4 Lämpötilan säätö

Lämpötilan säädön tavoitteena on pitää tankin B101 nesteen lämpötila kahden eri arvon välissä. Tätä kutsutaan ns. kaksipistesäädöksi. Eli kun haluttu lämpötilan yläraja on saavutettu, lämmitys lopetetaan, ja kun lämpötila laskee alarajalle, se käynnistyy taas. Lämmityselementtiä E104 ohjataan digitaalisella lähdöllä O1. Lämpötilan tulisi pysyä arvojen välissä, vaikka häiriötä tapahtuu tai rajoja muutetaan. Lämpötila-anturi B104 mittaa nesteen lämpötilan tankissa B102 ja lähettää analogisen arvon logiikalle. (Festo 2008.)



Kuva 21. PI-kaavio, lämpötilan säätö (Festo 2008)

3.4 Laitteiston ohjausjärjestelmä

Laitteistoa ohjaa Siemens S7-300 CPU 313C -ohjelmoitava logiikka (kuva 6). Siinä on 24 digitaalista tuloa, 16 digitaalista lähtöä, 4 analogista tuloa ja 2 analogista lähtöä. Se sisältää sisäänrakennetun PID-säätimen, Ohjausjärjestelmä sisältää myös 3 yksikkömuunninta, jotka muuttavat ultraääni-, virtausnopeus- ja lämpötilantureiden analogiset signaalit standardimuotoon 0 - 10V. Paineanturin lähtösignaali on valmiiksi tätä muotoa. Logiikassa standardisignaali on muotoa 0-27648. (Siemens 2011b.)

4 PLC-ohjelma

4.1 Ohjelmointikieli

Ohjelma ohjelmointiin Siemens Step7 -kielellä. Ohjelmana käytettiin Simatic Manageria.

Step7-kielessä on valittavissa 3 erilaista ohjelmointimuotoa, joita ovat relekaavio (LAD), logiikkakaavio (FBD) sekä käskylista (STL). Työ tehtiin relekaavio-ohjelmoinnilla ja se onkin yleisin ohjelmointimuoto. Step7-kielellä ohjelmoidessa voidaan käyttää useita erilaisia blokkeja:

- Organization Blocks (OB). Ne määrittävät ohjelman rakenteen ja PLC kutsuu niitä automaattisesti. Muut blokit kutsutaan OB:ssa.
- Function Call (FC). FC:t sisältävät ohjelmat usein käytetyille funktioille.
- Function Blocks (OB). Blokkeja, joita voi ohjelmoida itse, tai valita kirjastoista valmiiksi tehtyjä. Ne tallentavat tietonsa muistiin.
- Data Blocks (DB). FB:en tiedot tallenetaan näihin. Jokaiselle FB:lle voi asettaa oman DB:n tai samaa voi käyttää useammassa. (Siemens, 2004.)

4.2 Logiikkaohjelma

Laitteen perustoimintalogiikka oli hyvin yksinkertainen tehdä. Haluttu säätö voidaan käynnistää, kun säätökohtaiset ehdot ovat voimassa ja mikään muu säätö ei ole päällä. Se tehtiin ohjelman FC1:een, lähtöjen ohjaukset tehtiin FC2:een ja ohjelmassa tarvittavat muunnokset tehtiin FC3:een. Sen sijaan PID-säätimien ohjelmointi toimintakuntoon ja niihin liittyvät yksiköiden muutokset ja skaalaukset tuottivat suurimmat ongelmat. Niitä käydään läpi työn seuraavassa vaiheessa.

4.2.1 FB41 Continuous Control (PID)

Suljettujen takaisinkytkettyjen säätöjärjestelmien PID-säätö toteutettiin Step7:n omista kirjastoista löytyvällä FB41 Cont_c:llä. Se on logiikan sisäänrakennettu

PID-säädin. FB41:t kutsuttiin OB35:ssa, joka kutsutaan aina 100 ms välein. Tämä oli välttämätöntä, jotta PID-säätimien laskelmat pysyivät tarkkoina ja niihin ei tullut virheitä. Samasta syystä CYCLE asetettiin vastaamaan OB35:n kutsuaikaa eli 100 millisekuntiin. Jokaiselle säätöjärjestelmälle tehtiin oma FB41 ja niihin jokaiseen asetettiin oma DB, jotta laskelmat onnistuivat tarkasti, eivätkä menneet sekaisin.. Säädöstä riippuen sitä vastaavan anturin analoginen tieto syötettiin PV_PER-kohtaan. Tällöin myös PVPER_ON täytyi kytkeä päälle. Säädöstä riippuen myös P-, I- ja D-säädöt kytkettiin päälle P_SEL-, I_SEL- ja D_SEL-kohdista. GAIN -kohtaan asetettiin haluttu vahvistus, TI-kohtaan haluttu T_i ja TD-kohtaan haluttu T_d . SP_INT-kohtaan asetettiin haluttu vertailusuure. Sen täytyi olla REAL-muodossa välillä 0-100. Kohdasta LMN_PER otettiin ohjaussuure, jolla sitten ohjattiin pumpua tai proportionaaliventtiiliä. MAN_ON laitettiin päälle, jos vastaava säätö on pysäytettynä, jotta PID-säätimen laskelmat pysähtyvät myös ja pysyvät tarkkoina. MAN arvoksi asetettiin nolla.

5 KÄYTTÖLIITTYMÄ

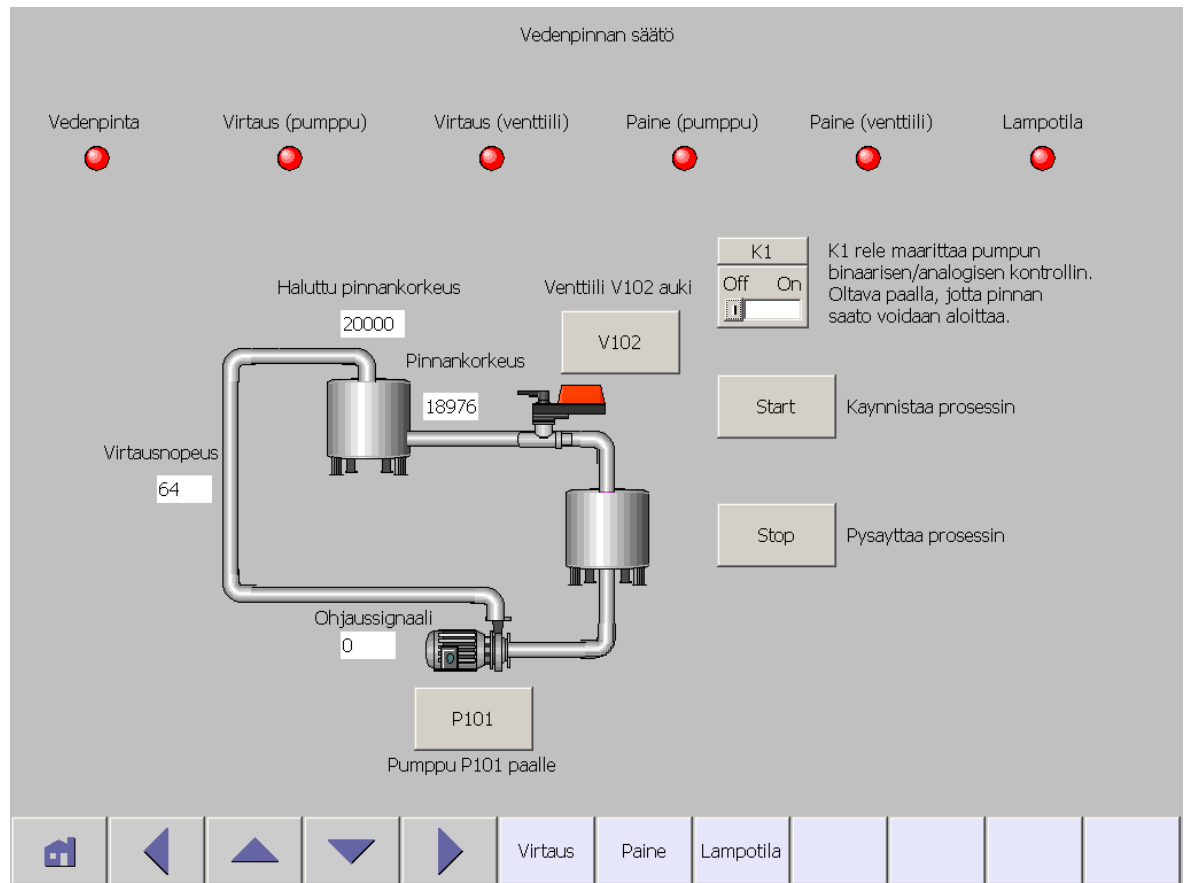
Käyttöliittymän ulkoasun malliksi päätettiin ottaa eri säätöjä kuvaavat PI-kaaviot. Käyttöliittymä luotiin Simatic WinCC Flexible 2007 -ohjelmalla ja ohjaavaksi laitteeksi valittiin tietokone erillisen käyttöpaneelin sijaan. Joka säädölle tehtiin oma ruutu, jottei säätöjen hallinta ja havainnointi kävisi liian vaikeaksi. Alkuruudulle laitettiin näppäin, jolla pääsee halutun säädön ruutuun, sekä merkkivalot, joista näkee onko joku säädöstä päällä. Samat merkkivalot laitettiin näkymään muissakin ruuduissa, koska jos joku säädöstä on käynnissä, mitään muuta niistä ei voida käynnistää, ennen kuin se on sammutettu.



Kuva 23. Käyttöliittymän aloitusruutu.

Jokaisen eri säädön omassa ruudussa näkyy sille olennaiset tiedot. Esimerkiksi vedenpinnan säädössä näkyy tankin B102 pinnankorkeus, mutta ei järjestelmän painetta, koska se ei liity siihen olennaisesti, ja päinvastoin. Releen K1 säätö laitettiin jokaiseen ruutuun, koska pumppua P101 käytetään jokaisessa eri säädössä

joko analogisena tai digitaalisena. Samoin joka ruutuun laitettiin vastaavan säädön käynnistävät ja pysäyttävät näppäimet. Lisäselvennystä oudommallekin käyttäjälle pyrittiin antamaan lyhyillä teksteillä nappien vieressä. Kuvassa 24 on vedenpinnan säädön näyttöruutu, muut näyttöruudut ovat tehty vastaavalla periaatteella.



Kuva 24. Vedenpinnan säädön näyttöruutu.

6 OHJEKIRJA

Ohjekirja on tehty mahdollisimman helpoksi omaksua. Aluksi siinä kerrotaan hie-
man perusteita WinCC Flexible 2007 -ohjelmasta ja sen toiminnoista, sekä itse
laitteiston ominaisuuksista. Seuraavaksi käytiin läpi logiikan ohjelmoinnin suurim-
mat kompastuskivet. Ensin selvitettiin PID-piirin virittäminen toimintakuntoon, sit-
ten vaaditut muunnokset ja skaalaukset, ja sen jälkeen vielä analogialähtöjen oh-
jaus. Mallikuvat otettiin itse työn ohjelmasta ja käyttöliittymästä. Loppuun lisättiin
liitteiksi laitteiston I/O-lista, venttiilitaulukko, josta näkee, mitkä käsiventtiilit tulee
olla auki ja kiinni kussakin säätöjärjestelmässä, sekä FB41-manuaali.

7 YHTEENVETO

Työn tavoitteet saavutettiin tekijän mielestä erittäin hyvin. Laitteistoon saatiin tehtyä perustoiminnoille ohjelmat sekä käyttöliittymä. Myös ohjekirjasta saatiin havainnollinen ja selkeä.

Suurimmat ongelmat työtä tehdessä syntyivät siitä, kun tekijä ei tuntenut PID-säätimiä kovinkaan tarkasti, eikä varsinkaan ollut käyttänyt niitä ennen ohjelmoitavaan logiikan sisällä. Myös vertaussuureen muuttaminen REAL-muotoon vaati useita tunteja perehtymistä, ennen kuin asia valkeni.

Vaikka WinCC Flexible 2007 -ohjelma oli täysin tuntematon ennestään, sen selkeyden takia siihen perehtyminen ei tuottanut suurempia ongelmia ja pahimmista ongelmista selvittiin muiden vastaavien ohjelmien tuntemuksen ansiosta, sekä yritys/erehdys-periaatteella.

Tulevaisuudessa työtä voitaisiin jatkokehittää esim. monimutkaistamalla harjoituksia. Yksi esimerkki olisi yhdistää useampia säätöjä samaan harjoitukseen.

LÄHTEET

Festo. 2008. Festo MPS PA Compact Workstation manual. Käsikirja.

Festo. 2011.[Verkkodokumentti]. [Viitattu 3.2.2011] Saatavissa: <http://www.festo-didactic.com/int-en/learning-systems/process-automation/overview/professional,industry-focused-qualification-solutions-for-process-automation.htm?fbid=aW50LmVuLjU1Ny4xNy4xOC44NzkuNDc3Nw>

Keinänen, T., Kärkkäinen, P., Lähetkangas, M. & Sumujärvi, M. 2007. Automaatiojärjestelmien logiikat ja ohjaustekniikat. Helsinki: WSOY

Lehtonen, M. 2011. Kurssimateriaali. Seinäjoen ammattikorkeakoulu. Tekniikan yksikkö. Vain sisäisessä käytössä.

Mikkola, J-M. & Värjä, P. 1999. Uusi kiinteistöautomaatio. Elimäki: Koria.

PLCtutor.com. 2011.[Verkkodokumentti]. [Viitattu 3.2.2011] Saatavissa: <http://www.plctutor.com/plc-components.html>

Savolainen, J. & Vaittinen R. 2001. Sääätötekniikan perusteita. Helsinki: Gummerus.

Siemens. 2004. Programming with STEP 7 V5.3 manual.[PDFdokumentti]. [Viitattu 4.2.2011]. Saatavissa: http://www.fer.hr/_download/repository/S7prV53_e.pdf

Siemens. 2011a .[Verkkodokumentti]. [Viitattu 1.2.2011] Saatavissa: <http://www.automation.siemens.com/mcms/programmable-logic-controller/en/simatic-s7-controller/Pages/Default.aspx>

Siemens. 2011b. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 3.2.2011] Saatavissa: <http://www.automation.siemens.com/mcms/programmable-logic-controller/en/simatic-s7-controller/s7-300/cpu/compact-cpus/Pages/Default.aspx>

Virtanen, M. 1981. Yleinen säätötekniikka. Jyväskylä: Gummerus.

LIITTEET

LIITE 1: I/O-lista

LIITE 1. I/O-lista

Commissioning

5.8 Allocation list of inputs and outputs

Symbol	PIN assignment	EasyPort/ Simbox address	PLC address	Description
Binary inputs (XMA1)			J	
B102	I 0	I 0	124.0	Flow rate sensor (frequency 0...1000Hz)
S111	I 1	I 1	124.1	Float switch, overflow tank B101
S112	I 2	I 2	124.2	Float switch tank B102
B113	I 3	I 3	124.3	Capacitive sensor min. level tank B101
B114	I 4	I 4	124.4	Capacitive sensor max. level tank 101
S115	I 5	I 5	124.5	Micro switch 2-way ball valve V102 closed
S116	I 6	I 6	124.6	Micro switch 2-way ball valve V102 opened
-	I 7	I 7	124.7	Not used
Binary outputs (XMA1)			Q	
M102	O 0	Q 0	124.0	Open 2-way ball valve V102
E104	O 1	Q 1	124.1	Switch ON heating tank 101
K1	O 2	Q 2	124.2	Relay, select pump 0=binary/1=analogue
M1	O 3	Q 3	124.3	Switch ON pump P101 binary
M106	O 4	Q 4	124.4	Switch ON proportional valve V106
-	O 5	Q 5	124.5	Not used
-	O 6	Q 6	124.6	Not used
-	O 7	Q 7	124.7	Not used
Analogue inputs (X2)			P	
LIC B101	UE1	AI 0	752	Process value PV, level in tank B102
FIC B102	UE2	AI 1	754	Process value PV, flow rate in pipe system
PIC B103	UE3	AI 2	756	Process value PV, pressure in pipe system
TIC B104	UE4	AI 3	760	Process value PV, temperature in tank B101
Analogue outputs (X2)			P	
P101	UA1	AQ 0	752	Manipulated output CO, pump P101
V106	UA2	AQ 1	754	Manip. output CO, proportional valve V106