



Ville Romakkaniemi

BYTRONIC-VESIPROSESSIN KÄYTTÖÖNOTTO

BYTRONIC-VESIPROSESSIN KÄYTTÖÖNOTTO

Ville Romakkaniemi
Opinnäytetyö
Kevät 2014
Automaatiotekniikan koulutusohjelma
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun seudun ammattikorkeakoulu
Automaatiotekniikka

Tekijä: Ville Romakkaniemi
Opinnäytetyön nimi: Bytronic-vesiprosessin käyttöönotto
Työn ohjaaja: Timo Heikkinen
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2014
Sivumäärä: 47

Tämän työn tarkoituksena oli Oulun seudun ammattikorkeakoulun automaatiotekniikan laboratorioon hankitun Bytronic Process Control Unit -vesiprosessin käyttöönotto, kokoonpano ja mahdollisten vikojen diagnosointi.

Työn tavoitteena oli selvittää PCU-vesiprosessin taustoja ja teoriaa ja tehdä laitteistolle käyttöönotto. Käyttöönottoon kuului sekä laitteisto- että sovelluspuolen tarkastelu. Vesiprosessin on tarkoitus toimia automaation laboraatiotyönä tulevaisuudessa.

Aineistona käytettiin valmistajan manuaalia, kirjaston kirjoja ja internetin tietolähteitä. Työ yhdisteli jo opittua teoriaa sekä sen soveltamista käytäntöön monipuolisesti.

Lopputuloksena oli käyttövalmis vesiprosessi, jota voidaan käyttää apuna prosessiteollisuudelle tyypillisten osaprosessien hahmottamisessa.

Asiasanat: Bytronic, vesiprosessi, simulaatio, prosessiautomaatio

ALKULAUSE

Tahdon erityisesti kiittää toimeksiantajaa lehtori Tero Hietasta, ohjaavaa opettajaa Timo Heikkistä sekä kielenopettajaa Tuula Hopeavuorta. Kiitokset myös ystäville ja perheelle, jotka ovat tukeneet työn teossa.

6.2.2014

Ville Romakkaniemi

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ALKULAUSE	4
SISÄLLYS	5
1 JOHDANTO	7
2 PROSESSITEOLLISUUS	9
3 SÄÄTÖ JA SÄÄDÖN TARKOITUS	10
3.1 PID-säätö	10
3.1.1 PID-säätimen osat	11
3.1.2 Säädön viritys	12
3.2 Digitaalinen säätö	12
4 LAITTEISTO	14
4.1 Lämpötilamittaus	14
4.2 Virtausmittaus	15
4.3 Pumppu	15
4.4 Prosessisäiliö	16
4.4.1 Lämmitin	16
4.4.2 Sekoitin	17
4.4.3 Pinnankorkeusmittaus	18
4.5 Allas	18
4.6 Takaisinkytkentä	18
4.7 Näytöt ja ilmaisimet	19
4.7.1 LED-näytöt	19
4.7.2 Ilmaisimet	19
4.8 Jäähdytin	19
4.9 Solenoidit	20
4.9.1 Ohjausventtiilin solenoidi	21
4.9.2 Tyhjennysventtiilin solenoidi	21

5 LAITTEISTOKOKOONPANO	22
5.1 Tietokoneohjausmoduuli	22
5.2 Bytronic-liitäntäkortti	22
5.3 Ulostulo-ohjainkortti	22
5.3.1 Optoerotin	23
5.3.2 Teho-MOSFET	24
5.3.3 Rele	25
5.3.4 Darlington-pari	25
5.3.5 Ulostulokortin kanavat	26
5.4 Signaalinmuokkaukorkortti	26
5.4.1 Pt100-signaalin muokkaus	27
5.4.2 Nestevirtausmittarin signaalin muokkaus	27
5.5 Tiedonhankinta- ja lämmittimenohjauskortti	28
5.5.1 Tiedonhankintajärjestelmä	28
5.5.2 Lämmittimen ohjaus	28
5.5.3 Ohjaimen piirit	29
5.6 Pumpunohjauskortti	29
5.7 Teholähde	30
5.8 Ohjausohjelmisto	31
6 KÄYTTÖÖNOTTO	32
6.1 Laitteisto	32
6.2 Ohjelmisto	33
6.2.1 Virtaussäätö	35
6.2.2 Lämpötilan säätö	37
6.2.3 Annossäätö	40
6.2.4 Pinnankorkeussäätö	43
6.2.5 Avoimen piirin säätö	44
7 YHTEENVETO	45
LÄHTEET	46

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö on tehty Oulun seudun ammattikorkeakoulun automaatiotekniikan laboratorioon, jossa yhteyshenkilönä on toiminut lehtori Tero Hieta-
nen. Ohjaavana opettajana on toiminut lehtori Timo Heikkinen Oulun seudun ammattikorkeakoulusta.

Työn aiheena on Bytronic-vesiprosessin käyttöönotto ja testaus. Vesiprosessin käyttöönoton tarkoituksena on tarkastaa laitteiston toimivuus, testata sen toimintakunto ja diagnosoida mahdolliset viat.

Vesiprosessi koostuu vesialtaasta, pumpusta, jäähdyttimestä, kahdesta solenoidiventtiilistä ja prosessisäiliöstä, johon kuuluu lämmitin ja sekoitin sekä pinnan korkeusmittaus (kuva 1). Vesiprosessin yhteydessä on myös tietokone, jonka avulla ohjataan vesiprosessin toimilaitteita ja tutkitaan muutoksia graafisesti.



KUVA 1. Vesiprosessi

Erilaisia säätöjä ohjelmistolla on useita. Näistä tärkeimmät ovat virtaus- ja lämpötilasäätö sekä annossäätö. Tietokoneella syötetään PID-säätimen (Proportional-Integral-Derivative) parametrit ja tutkitaan prosessien käyttäytymistä havainnollisesti.

2 PROSESSITEOLLISUUS

Prosessi tarkoittaa järjestelmää, jossa esiintyy mekaanisia ja sähköisiä ilmiöitä, kuten nesteiden, kiinteän ja kaasujen virtausta, lämmön siirtymistä ja kemiallisia reaktioita (1, s. 5). Prosessiteollisuudella tarkoitetaan teollisuutta, jossa jalostettava raaka-aine etenee fysikaalisista tai kemiallisista käsittelyvaiheista toiseen (2).

Tarkasteltaessa prosessiteollisuuden laitoksia, valmistukseen liittyviä menetelmiä ja prosessiteollisuuden lopputuotteita jää tarkastelijalle vaikutelma, että jokainen noista kokonaisuuksista on täysin erilainen ja uniikki. Kuitenkin jo 1900-luvun alussa huomattiin, että kaikkiin valmistusprosesseihin liittyy samankaltaisia yksittäisiä vaiheita eli osaprosesseja. (3, s. 5.) Osaprosesseja voi olla esimerkiksi paperikoneen perälaatikko tai terästeollisuudessa valssain.

Instrumentointi taas tarkoittaa niiden mittalaitteiden, säätimien ja toimilaitteiden kokonaisuutta, joita tarvitaan prosessin säädön toteutukseen ja toiminnan valvontaan (3, s. 9).

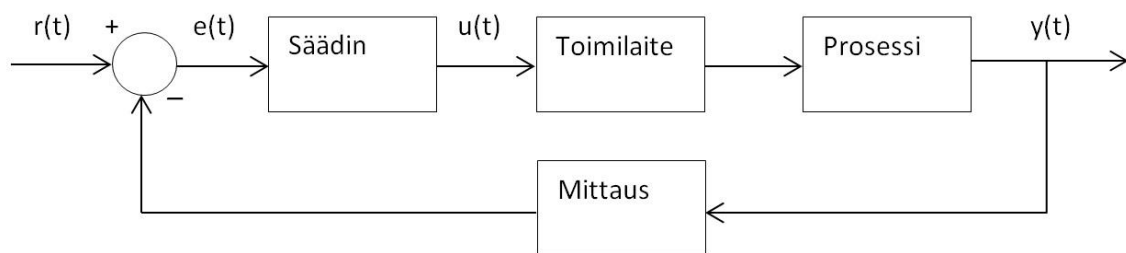
Prosessiteollisuus on kehittynyt valtavasti viimeisten vuosikymmenten aikana (3, s. 5). Tämä on seurausta siitä, että tietokoneet ovat halpenemisen myötä yleistyneet ja niiden laskentateho on lisääntynyt. Tietokoneiden myötä digitaalisen säädön osuus prosessiteollisuudessa on kasvanut ja tämä on mahdollistanut monia hyötyjä, niin taloudellisesti kuin laadullisestikin.

Prosessiteollisuus on hyvin suhdanneherkkä ala, jossa pienikin muutos voi tuoda huomattavia säästöjä. Alalle ominaista on korkea laatu sekä korkeat energiakustannukset, joihin säädöillä voidaan vaikuttaa suotuisasti. Digitaalisen säädön avulla tehty optimointi ja oikea-aikaisuus auttavat laskemaan kustannuksia ja parantamaan tuotantotehokkuutta. Jotta prosessiteollisuudelle tyypilliset vaatimukset tulisivat tutuksi, on kehitetty erilaisia simulaatioita, joiden avulla havainnollistetaan prosessien säätöä.

3 SÄÄTÖ JA SÄÄDÖN TARKOITUS

Kaikki teolliset prosessit tarvitsevat säätöä ja ohjausta. Säätö voi olla manuaalista operaattorin tekemää tai automaattisesti muodostettuna. Automaattinen säätö tarkoittaa sitä, että ohjaussignaali perustuu johonkin prosessista mitattuun arvoon takaisinkytkennän avulla. (3, s. 9.)

Takaisinkytkennässä (kuva 2) asetusrvo r ohjataan säätimen, toimilaitteen ja prosessin lävitse, jonka jälkeen siitä tulee säädettävä suure (ulostulo) y . Säädettävän suureen mitattu arvo y vähennetään asetusrvosta r summaimella. Tämän erosuureen e säädin säätää ohjausarvoksi u toimilaitteelle ja toimilaitte ohjaa prosessia haluttuun suuntaan. Mikäli erosuure e on nolla, pysyy säätö muuttumattomana. (3, s. 23.)



KUVA 2. Takaisinkytketty säätö

Takaisinkytketyn säädön lisäksi on myös muita säätötapoja, joita käytetään. Yleisimpiä näistä ovat kaskadikytkentä, myötäkytkentä ja suhdesäätö. Näitä käytetään käyttökohteen tarpeiden mukaan. (3, s. 23.)

3.1 PID-säätö

PID-säädin (Proportional-Integral-Derivative) on yleisimmin teollisuudessa käytetty säädintyyppi. PID-säädin on rakenteeltaan yksinkertainen, mutta soveltuu erittäin hyvin prosesseihin, joissa on useita häiriö- ja epävarmuustekijöitä. Tämä johtuu siitä, että PID-säädin osaa reagoida erosuureen muutokseen ja muutosnopeuteen ja kompensoida näitä virheitä hyvin nopeasti. PID-säätimestä voi-

daan käyttää eri variaatioita, kuten P-, PI- ja PD-säätimiä. PID-säätimen yleisin rakenne on PI-säädin, joka on riittävä tyypillisille teollisuusprosesseille. PI-säädinten osuus teollisuudessa on n. 80 %. (4, s. 82.)

PID-säädin laskee ohjauksen kolmen eri osan summasta. Säädin koostuu siis seuraavista osista:

- P-osa, suhdetermi,
- I-osa, integroiva termi,
- D-osa, derivoiva termi. (3, s. 44.)

3.1.1 PID-säätimen osat

P-säädössä jatkuva-aikainen ohjaussignaalin arvo $u(t)$ riippuu lineaarisesti erosuureen arvosta $e(t)$. Matemaattisesti kyseessä on siis pelkkä kerto- ja yhteenlasku. Jos erosuure $e(t)$ on nolla, on myös säätimen lähtö $u(t)$ sama kuin ohjausarvo vakiotaso u_0 . (3, s. 45–46.)

Integroivaa säätöä käytetään yleisesti P-säädön kanssa, koska integroivan osan ansiosta tyypillinen P-säädön mittauksen ja asetuseron välinen säätövirhe poistuu. Pelkkään P-säätöön verrattuna integroivan säätimen signaalin vakiotaso u_0 on korvattu ajan funktiona muuttuvalla erosuureen integraalilausekkeella. Integraalilauseke voidaan siis mieltää vanhojen erosuureiden summaan verrannolliseksi. Matemaattisesti integrointi tarkoittaa pinta-alan laskemista eli I-säädin integroi erosuuretta, jolloin säätimen lähtö muuttuu niin kauan, kun erosuure ei ole nolla. (3, s. 47–48.)

Derivoivaa termiä käytetään P-säädön kanssa (PD-säädin) tai integroivan ja P-säädön kanssa (PID-säädin). Derivoiva termi reagoi erosuureen muutosnopeuteen, joten jos muutosnopeus on nolla, on D-osan lähtökin nolla. Derivoiva termi ei siis tunnista poikkeaman suuruutta, vaan ainoastaan muutosnopeuden. Tästä syystä D-säädintä ei voi käyttää yksin, vaan se tulee liittää aina liittää vähintään P-säätimeen. (3, s. 48.)

3.1.2 Säädön viritys

PID-säätimen parametrien viritykselle on olemassa erilaisia tapoja, joista yleisimmät lienevät kriittisen värähtelyn tapa ja Ziegler-Nicholsin viritystapa.

Viritysparemetrit (taulukko 1) vaikuttavat säätöön eri tavoin. Esimerkiksi P-säädön vahvistus kasvattaa säädön nopeutta, mutta vähentää stabiiliutta. Kun tiedetään jokaisen parametrin vaikutus säätöön, voidaan parametrejä muuttamalla optimoida säätöä haluttuun suuntaan.

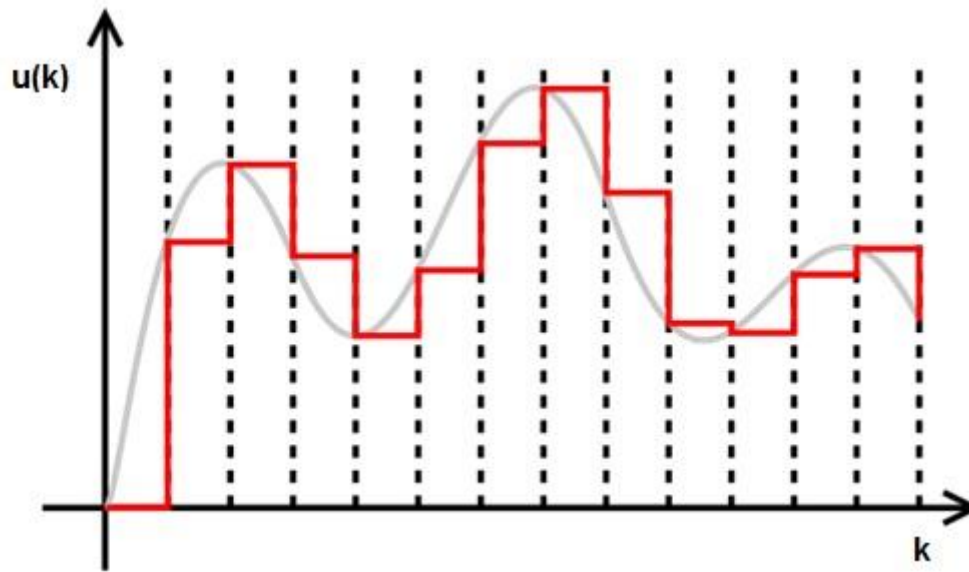
TAULUKKO 1. Viritysparemetrien vaikutus säätöön (3, s. 114.)

	Nopeus	Stabiilisuus
P-säädön vahvistus kasvaa	kasvaa	vähenee
Integrointiaika kasvaa	vähenee	kasvaa
Derivointiaika kasvaa	kasvaa	kasvaa

3.2 Digitaalinen säätö

Digitaalisella säädöllä tarkoitetaan esimerkiksi mikroprosessorilla toteutettua säädintä. Tietokonepohjaisen säädön etuja on sen muokattavuus, halpuus ja sen kyky toteuttaa monimutkaisiakin laskelmia. Mikroprosessorissa tietojenkäsittely perustuu peräkkäisiin toimintoihin, joten laskenta vie aikaa. (3, s. 52–53.)

Digitaalinen säädin perustuu näytteisiin, joita säädin poimii tietyin aikaväleihin eli säätöväleihin. Ohjaus pidetään vakiona koko säätövälin ajan, joka saa aikaan porrasmaisen ohjauksen. Tätä kutsutaan nolannen kertaluvun pitopiiriksi (Zero Order Hold). Siinä ulostulo $u(k)$ pysyy vakiona aina säätövälin k ajan (kuva 3). (3, s. 52–53.)



KUVA 3. Nollannen kertaluvun pitopiiri (3, s. 53.)

4 LAITTEISTO

Bytronicin valmistamassa PCU-vesiprosessilaitteistossa (Process Control Unit) ohjataan nesteen virtausta ja lämpötilaa. PCU-vesiprosessissa on esimerkiksi elintarvike- ja petrokemialliselle teollisuudelle tyypillisiä osaprosesseja, kuten prosessisäiliö ja varastoallas. (5, kpl. 3.1.)

Vesiprosessista löytyy tavallisimpia prosessiteollisuudessa käytettyjä kohteita, kuten antureita, allas, prosessisäiliö, jossa lämmitys ja annostelu sekä jäähdytin. (5, kpl. 3.1.)

4.1 Lämpötilamittaus

Lämpötilan ja metallien sähköisen resistanssin riippuvuus on hyödynnettävissä sähköisiin lämpötilan mittauksissa. Metallien sähkövastus kasvaa, kun lämpötila nousee. (6.)

Pt100 soveltuu hyvin käytettäväksi, kun käyttökohteen lämpötila-alue on välillä $-200\dots+600$ °C. Pt100-anturin nimellisvastus 0 °C:ssa on 100 ohmia ja resistanssin muutos $0,385 \Omega/^\circ\text{C}$ (taulukko 2). Myös suuren kemiallisen keston ansiosta se soveltuu vaativimpiinkin käyttökohteisiin. (6.) Bytronicin PCU-vesiprosessissa on kolme Pt100-anturia ja ne sijaitsevat prosessisäiliössä, altaassa ja putkistossa.

TAULUKKO 2. Pt100:n ominaisresistanssi eri lämpötiloissa (7.)

Lämpötila °C	-50	0	50	100	150	200
Resistanssi Ω	80,31	100,00	119,40	138,50	157,31	175,84

Koska PCU:ssa lämpötilat ovat välillä 0–100 °C, soveltuvat Pt100-tyypin lämpötila-anturit siihen mainiosti (5, kpl. 3.4).

Kuten edellä mainittiin, lämpötila mitataan vastuksen muutoksina, mistä seuraa se, että liitäntäjohtojen pituudet vaikuttavat mittaustulokseen. PCU:ssa käytetään ns. kolmen johdon järjestelmää, jossa kolmas johto on johdinten resistanssin kompensointia varten. (5, kpl. 3.4.)

Pt100:lta saatu signaali linearisoidaan ja kalibroidaan signaalinmuokkauskortilla ja tätä signaalia käytetään laitteistokehikossa sijaitsevan LED-näytön ohjaukseen. Signaalinmuokkauskortilla signaali linearisoidaan ja laajennetaan kattamaan koko mittausalue. (5, kpl. 4.17.) Tiedonhankintakortilla Pt100:sten mitattu signaali muutetaan digitaaliseksi ja lähetetään edelleen PC:lle (5, kpl. 3.4.).

4.2 Virtausmittaus

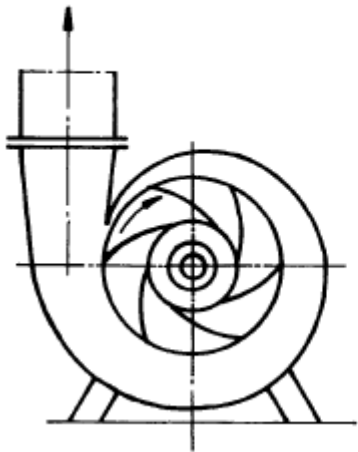
Nesteen virtausta PCU:ssa mitataan juoksupyörätyyppisellä mittauksella. Neste virtaa kuusilapaisen roottorin läpi, jossa roottori katkoo sen molemmille puolille sijoitetun infrapunalähttimen ja -vastaanottimen välistä kommunikaatiota. Näin saadaan taajuus, joka on suorassa suhteessa virtauksen nopeuteen. (5, kpl. 3.5.)

Kun virtausnopeus on maksimissaan (2,0 l/s), asettuu ulostulo tasolle n. 570 Hz. Tämä signaali muutetaan jännitetasoksi signaalinmuokkauskortilla ja tätä jännitettä käytetään ohjaamaan laitteistokehikon LED-näyttöä ja muutetaan digitaalisanaksi tiedonhankintakortille edelleen PC:lle käytettäväksi. (5, kpl. 3.5.)

4.3 Pumppu

Laitteistossa käytetään keskipakopumppua, jota ei ole upotettu suoraan nesteeseen. Tämä johtaa siihen, että nesteen virtaus ei ole lineaarisesti suhteessa pumpun pyörimisnopeuteen. (8, s. 6.)

Keskipakopumpussa (kuva 4) sähköenergia muutetaan liike-energiaksi juoksupyörän avulla. Liike-energia muutetaan edelleen paine-energiaksi johtolaitteen avulla. (8, s. 6.) Näin syntyy paine-ero imuaukon ja painepuolen välille, joka saa nesteen virtaamaan.



KUVA 4. Keskipakopumppu (8, s. 6.)

4.4 Prosessisäiliö

Prosessisäiliö pitää sisällään lämmittimen, Pt100-vastuslämpötila-anturin, sekoittimen sekä uimurikytkimen ylivuodon ilmaisemiseksi.

Prosessisäiliö on kooltansa 14 cm leveä, 14 cm syvä ja 22 cm korkea eli tilavuudeltaan n. 4,3 litraa. Prosessisäiliön uimurikytkin, joka ilmaisee säiliön olevan täynnä, on sijoitettu 15 cm:n päähän pohjasta, jolloin prosessoitavan veden tilavuudeksi jää n. 3 litraa.

4.4.1 Lämmitin

Prosessisäiliössä on 2,4 kW:n lämmityselementti, jota ohjataan tietokoneelta pulssinleveysmodulaatiota käyttäen (Pulse-Width Modulation) tai sitten manuaalisesti suoraan laitteistokehikolta potentiometrin avulla (5, kpl. 3.11).

Pulssinleveysmodulaatio on modulointitapa, jossa kuormaan, tässä tapauksessa lämmittimelle, menevää jännitettä säädetään pulssisuhdetta muuttamalla niin, että lähtösignaalin keskiarvo yhden värähtelyjakson ajalta on sama kuin modulointisignaalin arvo. Kun ylä- ja alapulssien suhde kasvaa, kasvaa lämmityselementin vastaanottama keskimääräinen jännite, näin lisäten prosessisäiliön lämmitystehoa. Pulssinleveysmodulaation suurin hyöty on se, että kytkimenä käytettäessä se on suurimman osan ajasta joko johtavassa tai estävässä tilas-

sa. Näin siinä ei tapahdu tehohäviötä ja hyötysuhde on korkeampi kuin verrattuna esimerkiksi säätimiin, himmentimiin ja vahvistimiin. (9.)

Koska lämmitin on kytketty suoraan verkkovirtaan, on siihen asennettu mekaanisia ja ohjelmallisia suoja mekanismeja.

Ensimmäinen varotoimenpide on ”säiliö täynnä”-anturin tarkkailu. Jos lämmitysvastus menisi päälle säiliön ollessa kuiva, voi se pahimmillaan sulaa ja syttyä palamaan. Mikäli säiliö ei ole täynnä, kun lämmitintä kytketään päälle, tietokoneen näytölle tulee hälytys. Sen jälkeen pumppua ajetaan täydellä teholla, jotta säiliö täyttyisi ja lämmitys voi jatkua. (5, kpl. 3.11.)

Toinen on verkkojännitteen galvaanisesti erottaminen elektroniikkaosista. Tämä tapahtuu optoerottimella ohjattavan releen avulla. Optoerotin on yksinkertaisuudessaan valolähde ja -vastaanotin, joka toimii päälle-pois-kytkimenä. (5, kpl. 3.11.)

Kolmas suojaus liittyy itse PC-ohjelmistoon ja sen toimintaan vikatilanteessa. Mikäli PC-ohjelmisto ”kaatuu” lämmittimen ollessa päällä, kytkee tietokoneohjausyksikkö (CCM) lämmitysvastuksen automaattisesti pois päältä. (5, kpl. 3.11.)

4.4.2 Sekoitin

Tasaisemman mittaustuloksen saamiseksi prosessisäiliöön on asennettu sekoitin. Sekoittimen tarkoituksena on tasoittaa lämmönjakautumista lämmittimeltä ja näin mittaustulos on tarkempi. (5, kpl. 3.10.)

PCU:ssa sekoitinta pyörittää 12 V:n tasavirtamoottori, jonka kierrosnopeus on n. 300 kierrosta/min (5, kpl. 3.10.).

4.4.3 Pinnankorkeusmittaus

Pinnankorkeusmittaus PCU:ssa on toteutettu jatkuvalla kapasitiivisella pinnan-
korkeusanturilla. Pinnankorkeusanturi on sijoitettu prosessisäiliön reunan vie-
reen, säiliön sisäpuolelle.

Kapasiitivinen pinnankorkeusmittaus perustuu anturin ja säiliön seinämän muo-
dostaman kondensaattorin kapasitanssin mittaukseen. Anturin ja seinämän vä-
lille muodostuu kapasitanssi, joka vaihtelee väliaineen korkeuden eli tässä ta-
pauksessa veden korkeuden mukaan. Kun säiliö on tyhjä eli välissä on ilmaa,
on kapasitanssi alhainen. Vedenpinnan noustessa kapasitanssi nousee ja mitat-
tu arvo kasvaa. Kapasitanssi on verrannollinen väliaineen ominaisuuksiin ja se
tuleekin kalibroida eri aineille uudestaan. (10, s. 5.)

Pinnankorkeusanturin kalibrointi tapahtuu PCU-sovelluksen asetuksista. Kalib-
roinnissa säiliö tyhjenetään ja täytetään uudestaan, jotta saataisiin maksimi- ja
minimiarvot. Näiden arvojen avulla muodostetaan yhtälö, jonka avulla pinnan-
korkeusmittaus tapahtuu.

4.5 Allas

Altaan tehtävänä on tasata nesteen virtausta ja toimia varastosäiliönä vedelle.
Allas on mitoiltaan 28,5 cm leveä, 20 cm syvä ja 20 cm korkea. Näin ollen al-
taan tilavuudeksi tulee 11,4 litraa. Altaasta pumppu pumppaa nesteen putkis-
toon, joten on tärkeä, että altaassa on nestettä, kun pumppua käytetään. Pum-
pun käyminen kuivana voi rikkoa pumpun ja siksi on tärkeä, että altaassa on
aina vettä, kun pumppua käytetään. Kun vesi on kiertänyt prosessisäiliöön, se
valuu ylivuotona tai tyhjennysventtiilin avulla takaisin altaaseen. (5, kpl. 3.1.)

4.6 Takaisinkytkentä

PCU:lla altaan, putkiston ja prosessisäiliön lämpötilat mitataan Pt100-lämpötila-
anturilla ja virtaus läpivirtausmittarilla. Nämä analogiasignaalit syötetään takai-
sin CCM:llä sijaitseviin signaalinmuokkaimiin ja niille suoritetaan AD-muunnos.

PC ottaa näytteet AD-muunnoksista, skaalaa ne ja tulostaa PC:n näytölle. (5, kpl. 3.2.)

4.7 Näytöt ja ilmaisimet

LED-näyttöillä ja ilmaisimilla ilmaistaan tietoja prosessin kulusta. Ne helpottavat prosessin seuraamista ja antavat tietoa nopeasti ja varmasti. Yksi etu on myös, että nämä LED-näytöt ja ilmaisimet sijaitsevat laitteistokehikossa eikä PC-näytöllä, joten niitä voi seurata samalla kuin seuraa prosessin kulkua. (5, kpl. 3.6.)

4.7.1 LED-näytöt

Laitteistokehikon LED-näytöt ovat 3,5 numeron (esim. 8,88 tai -4,45) LED-näyttöjä. PCU:ssa LED-näytöt näyttävät altaan, putkien ja prosessisäiliön lämpötiloja (°C), putkiston virtausnopeutta (litraa/min) ja lämpövastuksen tehonsyötöä (kW). (5, kpl. 3.6.)

4.7.2 Ilmaisimet

Ilmaisimet ovat ns. on/off-toiminteisia eli ne syttyvät kun tarvittavat ehdot täyttyvät. Ilmaisimilla tarkastellaan seuraavien elementtien tiloja:

- jäähdytin päällä
- ”säiliö täynnä”-anturi
- tyhjennysventtiilin solenoidi auki
- ohjausventtiilin solenoidi auki. (5, kpl. 3.6.)

Lamppuina ilmaisimilla käytetään kahta 1 watin lamppua rinnankytkettyinä (5, kpl. 3.6).

4.8 Jäähdytin

Mikäli automaatio havaitsee, että nesteen lämpötila on liian korkea, se voi ohjata nesteen kulkemaan jäähdyttimen kautta. Nesteen kiertoa jäähdyttimelle ohja-

taan ohjausventtiilillä. Tavallisesti ohjausventtiili on kiinni, jolloin virtaus kulkee suoraan prosessisäiliölle.

Jäähdytin koostuu kennosta ja puhaltimesta, joka puhaltaa lämpöä kennolta ja saa näin saaden kennossa kiertävän nesteen jäähtymään. Jäähdytin voidaan kytkeä päälle tai pois tietokoneen ulostulo-ohjainkortin kautta (taulukko 3). (5, kpl. 3.7.)

TAULUKKO 3. Puhaltimen sähköiset ominaisuudet (5, kpl. 3.7.)

Käyttöjännite	24 V DC
Hetkellinen maksimivirta	2,5 A
Vakiovirta	1 A
Ohjauslinja	Ulostulo-ohjainkortin linja 0

4.9 Solenoidit

Solenoidi on sähkömagneetti, joka koostuu yksinkertaisimmillaan käämistä ja ankkurista. Ankkurina voi olla esimerkiksi rautasydän. Käämi luo ympärilleen magneettikentän, joka työntää rautasydäntä eli ankkuria ulos.

Solenoidiventtiileitä eli magneettiventtiileitä on peruseriaatteeltaan kahta eri tyyppiä. Toinen on normaalisti avoin eli venttiili on auki, kun sähkövirta ei kulje solenoidiin. Toinen tyyppi on normaalisti suljettu. Se toimii taas päinvastoin kuin normaalisti avoin eli venttiili on kiinni, kun solenoidissa ei kulje sähkövirta. (11.) Yleensä magneettiventtiilit ovat jousipalautteisia eli kun sähkövirta on katkaistu, palauttaa jousi ankkurin takaisin alkuasentoonsa.

PCU:ssa käytetyt magneettiventtiilit ovat normaalisti suljettuja, joten nestevirtaus kulkee vasta, kun sähkövirta on johdettu käämiin, jolloin venttiili aukeaa ja neste pääsee virtaamaan vapaasti.

4.9.1 Ohjausventtiilin solenoidi

Ohjausventtiilillä (taulukko 4) ohjataan nestevirtaus tavallisesti suoraan prosessisäiliöön altaalta. Tarvittaessa ohjausventtiilillä voidaan kierrättää nesteen virtaus jäähdyttimen kautta ja sieltä prosessisäiliöön, mikäli kiertävän nesteen lämpötila on liian suuri.

TAULUKKO 4. Ohjausventtiilin solenoidin sähköiset tiedot (5, kpl. 3.8.)

Käyttöjännite	24 V DC
Vetovirta	1 A
Ohjauslinja	ulostulo-ohjainkortin linja 3

4.9.2 Tyhjennysventtiilin solenoidi

Tyhjennysventtiiliä (taulukko 5) käytetään tyhjentämään prosessisäiliön sisältö takaisin altaaseen.

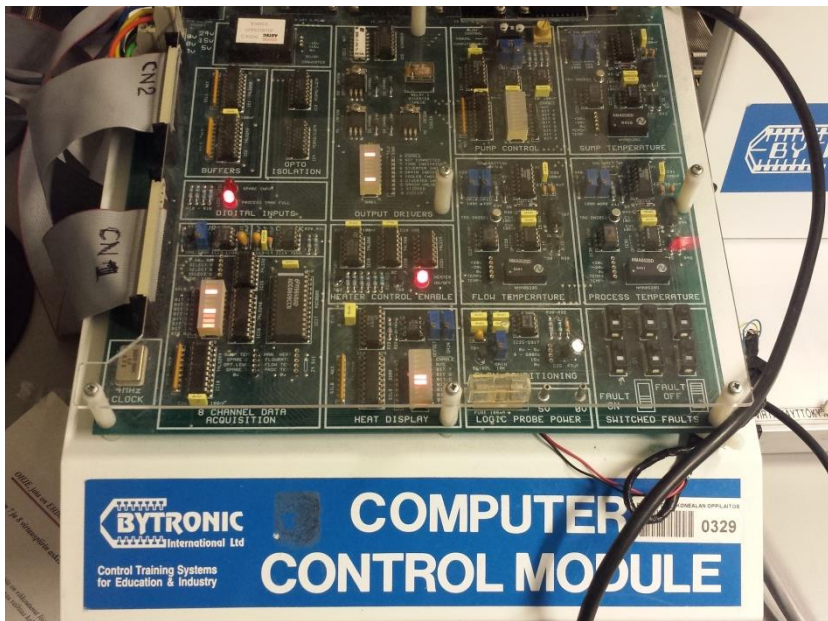
TAULUKKO 5. Tyhjennysventtiilin solenoidin sähköiset tiedot (5, kpl. 3.8.)

Käyttöjännite	24 V DC
Vetovirta	1 A
Ohjauslinja	ulostulo-ohjainkortin linja 2

5 LAITTEISTOKOKOONPANO

5.1 Tietokoneohjausmoduuli

Tietokoneohjausmoduuli (Computer Control Module, CCM) koostuu niistä sähköisistä kytkennöistä, joita tarvitaan kytkemään laitteistokehikko PC:hen (kuva 5).



KUVA 5. Tietokoneohjausmoduuli

5.2 Bytronic-liitântäkortti

Koska CCM:ltä tuleville kahdelle lattakaapelille ei ole suoraa paikkaa PC:n emolevyissä, täytyy väliin asentaa liitântäkortti. PC:n emolevyn ISA-porttipaikkaan asennetaan Bytronicin valmistama oma kortti, jonka avulla CCM ja PC kommunikoivat keskenään.

5.3 Ulostulo-ohjainkortti

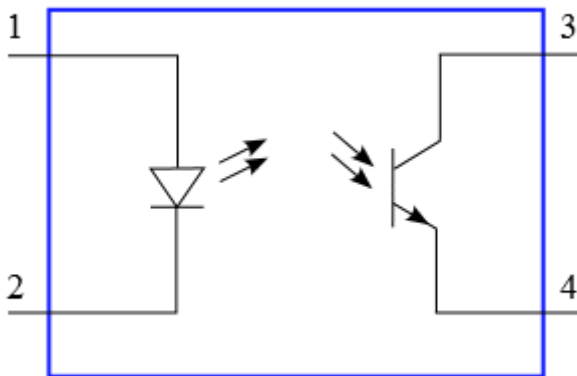
Ulostulo-ohjainkortti tarvitaan, koska tietokoneella ei voida suoraan käyttää suurivirtaisia laitteita. Ulostulo-ohjainkortin avulla vahvistetaan tietokoneen lähettämä pienitehoinen signaali suurivirtaisille laitteille sopivaksi. Koska laitteistossa

ohjaillaan suhteellisen suuria virtoja ja induktiivisia laitteita, suuret jännite-transientit ja magneettiset häiriöt voisivat tuhota laitteiston herkän elektroniikan. Tämä ongelma hoidetaan häiriöpoistotekniikoilla ja optoerotuksella. (5, kpl. 4.7.)

5.3.1 Optoerotin

Optoerotuksen tarkoituksena on suojata tietokone kaikilta vahinkoa tuottavilta häiriösignaaleilta. PCU:ssa käytetään optoerottimena nelinapaisia optotransistoripareja. (5, kpl. 4.9.)

Kuvassa 6 näkyvät numerot kuvastavat napoja ja ne voidaan kuvitella siten, että napaan 1 tulee +5 V:n käyttöjännite ja napaan 2 ohjaussignaali. Näin ollen napaan 3 kytkeytyy +24 V:n käyttöjännite ja 4. napaan ulostulo laitteille. (5, kpl. 4.9.)



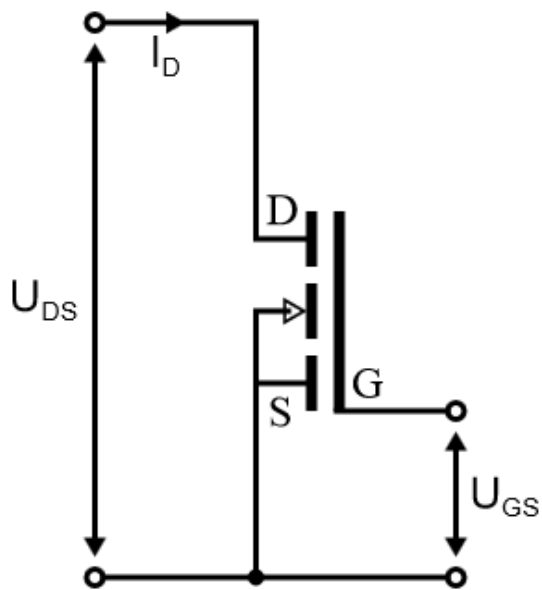
KUVA 6. Optoerottimen toimintaperiaate (12.)

Optoerotin toimii siten, että virta kytkeytyy LED:lle eli kun optoerotin on kytketty "kiinni", suuntautuu lähtötransistorille infrapunasäde ja lähtötransistori kytkeytyy "kiinni". Tämä sallii 24 voltin syötön kytkeytymisen kollektori-emitteriliitoksen väliin. Lähtöön kytketty ulostulo-ohjain saa näin 24 V:n ohjauksen. Kun optoerotin on "auki", lähtötransistori on poiskytketty ja siten lähtöön liitetty laite ei saa

jännitettä. Ulostulo-ohjaimina PCU:ssa käytetään relettä, teho-MOSFETia ja Darlington-transistoria. (5, kpl. 4.9.)

5.3.2 Teho-MOSFET

Teho-MOSFET on puolijohdeista koostuva kanavatransistori, jota käytetään kytkenä PCU:ssa. MOSFET sallii hyvin suuren virran kytkemisen pienellä ohjausvirralla toisin kuin perinteinen bipolaaritransistori ja siksi sitä käytetään tässä laitteistossa. PCU:ssa MOSFETina käytetään N-kanavaista tyyppiä IRF530 MOSFETia. MOSFET koostuu kolmesta jalasta, jotka ovat nimeltään hila (gate, G), nielu (drain, D) ja lähde (source, S) (kuva 7). Ulostulo-ohjainkortilla MOSFETejä käytetään ohjaamaan suurivirtaisia laitteita eli tuuletinta, sekoitinta ja tyhjennyssolenoidia. (5, kpl. 4.10.)



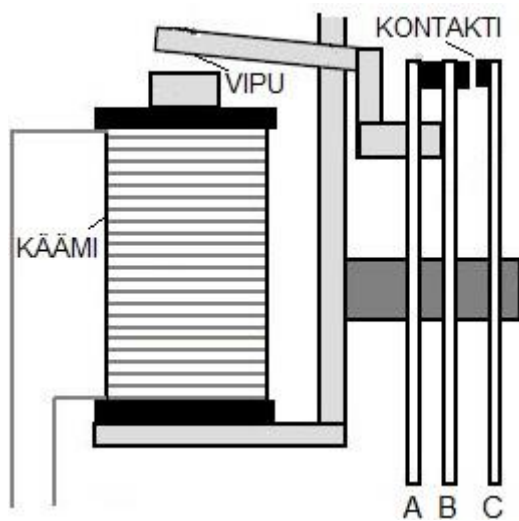
KUVA 7. N-tyyppinen MOSFET

Toimintaperiaatteeltaan MOSFET toimii seuraavanlaisesti: Lähdejännite kytketään D-napaan ja kun jännite G:n ja S:n välillä kasvaa kynnysjännitteen yli, D-napa kytkeytyy S-napaan. Täten ohjausvirtapiiri sulkeutuu ja kytketty laite saa käyttöjännitteen, tässä tapauksessa +24 V. Kun optoerotin kytkeytyy ”kiinni”, LED:n läpi kulkevalla jännitteellä (U_{GS}) MOSFETin hilalle (G) kytkeytyy 24 voltin

syöttöjännite, jolloin syöttö kytkee 24 voltin jännitteen myös kuorman ja maan välille (U_{DS}). (5, kpl. 4.10.)

5.3.3 Rele

PCU:ssa relettä käytetään ohjaamaan lämmitysvastusta. Rele on yksinkertaisesti liikkuva varsi, joka toimii kytkimenä, ja sähkömagneettisesta käämistä, joka ohjaa varren liikkeitä (kuva 8). Johtamalla virta käämin läpi, saadaan aikaan magneettikenttä, joka vetää kytkimen toiseen asentoon. Kun virta kytkeytyy pois päältä, jousi palauttaa kytkimen takaisin alkuasentoon. (5, kpl. 4.12.)



KUVA 8. Releen toiminta

Kun virta kytkeytyy käämiin, vipu vetäytyy kiinni kelaan ja kääntää kontaktin AB-väliltä välille AC. Jos B:tä tai C:tä ei ole kytketty, toimii rele auki-kiinni-kytkimenä.

5.3.4 Darlington-pari

Kun relettä ohjataan PC:n pientehosignaalilla, ongelmana on, että signaalin vahvistaminen releen käämin vaatimalle tasolle ei riitä. Tämä ongelma ratkaistaan käyttämällä integroitua piiriä nimeltään Darlington-ohjain. Tätä piiriä käytetään ohjaamaan laitteistokehikossa esim. ohjaussolenoidia, joka vaatii aktivoitukseen 1 A ja 24 V ja ilmaisimia. Darlington-kytkentä (Darlington-pari) on yk-

sinkertaisesti kaksi transistoria, joista ensimmäinen vahvistaa sisääntulosignaalin riittäväksi toista, tehokkaampaa transistoria varten, joka edelleen vahvistaa signaalia. (5, kpl. 4.10.)

5.3.5 Ulostulokortin kanavat

Ulostulokortilla on 8 kanavaa (taulukko 6), joista jokaiselle ulostulolle on oma laite ja sähköiset vaatimukset.

TAULUKKO 6. Ulostulokortin kanavat ja laitteet (5, kpl. 4.10.)

Linja	Ohjaimen tyyppi	Ohjattu laite	Vaatimukset
0	MOSFET	Jäähdytin	24 V, 1 A
1	MOSFET	Sekoitin	24 V, 150 mA
2	MOSFET	Tyhjennyssolenoidi	24 V, 0,625 A
3	Rele	Ohjaussolenoidi	24 V, 0,625 A
4	Darlington	Jäähdyttimen ilmaisin	24 V, 85 mA
5	Darlington	Tyhjennysilmaisin	24 V, 85 mA
6	Darlington	Ohjausilmaisin	24 V, 85 mA
7	Darlington	"Säiliö täynnä"-ilmaisin	24 V, 85 mA

5.4 Signaalinmuokkauskortti

Signaalinmuokkauskorttia käytetään linearisoimaan ja kalibroimaan kolmelta Pt-100-vastuslämpöanturilta tulevat signaalit. Läpivirtausmittarilta tuleva taajuus muutetaan jännitearvoksi erillisellä piirillä. Tältä kortilta lähteviä, muokattuja

ulostuloja käytetään myös ohjaamaan laitteistokehikon digitaalisia LED-näyttöjä. Käyttöjännite ± 15 V tulee kortilta sijaitsevalta DC/DC-muuntimelta. (5, kpl. 4.17.)

5.4.1 Pt100-signaalin muokkaus

Pt100-vastuslämpöantureilta tuleva signaali linearisoidaan lähdössä vastaavuudella $50 \text{ mV}/^\circ\text{C}$ (taulukko 7). Näin saadaan lineaarinen vastaavuus mitatulle lämpötilalle, ominaisresistanssille ja lähtöjännitteelle. (5, kpl. 4.17.)

TAULUKKO 7. Pt-100 vastuslämpöantureiden linearisointi (5, kpl. 4.17)

Mitattu lämpötila	Pt100 ominaisresistanssi	Lähtöjännite
0 °C	100 ohm	0 V lähdössä
50 °C	119,40 ohm	2,5 V lähdössä
100 °C	138,50 ohm	5 V lähdössä

Signaalikortin lähettämä analogiasignaali (jännite) lähetetään analogia-digitaalimuuntimelle, joka muuttaa analogiasignaalin digitaalisanaksi, jotta se voidaan prosessoida PC:llä (5, kpl. 4.17).

5.4.2 Nestevirtausmittarin signaalin muokkaus

Nestevirtausmittarin pulssisignaali muokataan analogiseksi jännitearvoksi integroidulla kierrosnopeudenmittauksella. Virtausmittarilta lähtevä pulssijono muutetaan analogiseksi signaaliksi eli jännitteeksi (0–4,55 V) signaalinmuokkauskortilla, joka taas muutetaan digitaaliseksi AD-muuntimella. (5, kpl. 4.19.)

5.5 Tiedonhankinta- ja lämmittimenohjauskortti

Tiedonhankinta- ja lämmittimenohjauskortilla on neljä päätehtävää laitteistossa:

- laitteistokehikolta saatujen takaisinkytkentäsignaalien AD-muunnos ja niiden tutkiminen
- lämmittimenohjauksen elektroniikka
- lämpötilan asetusarvon DA-muunnos ja välitys laitteistokehikon LED-näytölle
- ”säiliö täynnä”-anturin tarkkailu. (5, kpl. 4.23.)

5.5.1 Tiedonhankintajärjestelmä

Jotta prosessinohjaus toimisi oikein, tarvitsee se takaisinkytkennän. Tästä syystä analogiset takaisinkytkentäsignaalit täytyy muuttaa digitaalisiksi PC:tä varten ja tämä toteutetaan AD-muuntimella (analogia-digitaali). PCU:ssa käytetään peräkkäisen tarkennuksen tyyppistä AD-muunninta, joka on täysin riittävä tähän tarkoitukseen. (5, kpl. 4.25.)

Käytetty AD-muunnin on tyyppiä Siliconix Si520 ja se on 8-bittinen CMOS-piiri ja se pitää sisällään 8-linjaisen multipleksoidun analogiasisääntulon. Sen AD-muunnin käyttää ”binäärisesti painotetut kondensaattorit”-peräkkäistarkennustekniikkaa. (5, kpl. 4.25.)

Näytteenotto alkaa aloituspulssin nousevalla reunalla. Peräkkäisen tarkennuksen järjestelmässä jokainen bitti määrätään lataamalla joukko binäärisesti painotettuja kondensaattoreita. Kun kondensaattoreiden tuottama jännite vastaa analogiatuloja, saatu 8-bittinen tavu lähetetään PC:n käytettäväksi. Lopussa ilmoitetaan, että muutos on tehty viemällä EOC (end of conversion) -linja ylös. (5, kpl. 4.25.)

5.5.2 Lämmittimen ohjaus

Lämmittimen ohjaus tapahtuu pulssinleveysmodulaatiota (PWM) käyttäen, joko automaattilla tietokoneelta tai käsin potentiometriltä laitteistokehikolta. Valinta

tehdään dippi-kytkimellä ohjauskortilta. Lämmittimenohjausta varten on tehty erinäisiä turvallisuuspiirteitä, jotka on nimetty kappaleessa 4.4.1.

Tietokoneohjattuna PC tarkkailee prosessisäiliön asetettujen ja todellisten lämpötilojen eroja. Mitä suurempi ero on, sitä voimakkaammin ohjelmisto muuttaa pulssisuhdetta ja täten lämmityselementille syötetään enemmän tehoa. Lämmitystehon suuruus tulostuu laitteistokehikossa olevalle LED-näytölle. (5, kpl. 4.29.)

Käsinohjauksessa elementille syötetyn tehon määrää säädellään laitteistokehikölle sijoitetulla potentiometrillä. Tämä jännite muutetaan digitaaliseksi sanaksi DA-muuntimella ja syötetään PC:lle käsittelyä varten ja siten lämmityselementin pulssisuhdetta. Tietokoneelta tulee myös digitaalinen sana, joka muutetaan analogiasignaaliksi DA-muuntimella ja tällä ohjataan laitteistokehikossa olevaa LED-näyttöä. Lämmitysteho näytetään kilowatteina, jolloin käyttäjän on helppo seurata tehoa. (5, kpl. 4.34.)

”Säiliö täynnä”-ilmaisimen kellukytkimen tilaa tarkkaillaan ja se arvo välittyy suoraan I/O-liitäntäyksikölle ja täten PC:lle. Kun kellukytkin sulkeutuu säiliön täyttymisen johdosta, ohjelmisto tunnistaa tilan ja aktivoi laitteistokehikossa sijaitsevan ilmaisimen ulostulo-ohjainkortin kautta. (5, kpl. 4.34.)

5.5.3 Ohjaimen piirit

Logiikkapiirit havaitsevat ohjausbitin oikean tilan ja sitten kytkevät verkkovirran lämmityselementille puolijohdereleellä, joka sijaitsee hakkuriteholähteen kotelossa. Turvallisuussyistä ohjausbitti CB2 (control bit) on invertoitu ja liitetty NAND-piiriin PC:ltä tulevan loogisen 1:n kanssa. Täten, jos porttia ei ole alustettu tai jos BREAK-näppäintä painetaan huomaamatta, CB2 aktivoituu ja lämmitin pakko-ohjautuu pois päältä. (5, kpl. 4.32.)

5.6 Pumpunohjauskortti

Pumpunohjauskortilla ohjataan pumpun pyörintänopeutta ja siten nesteen virtausnopeutta. Pyörimisnopeutta säädetään muuttamalla DC-moottorille syötet-

tävän virran määrää. Kortilla on kaksoiskytkin, jonka avulla vaihdetaan ohjaus käsi- tai automaattikäyttöiseksi. Vaihdettaessa käsinohjaukselle, kytkeytyy LED-näyttö pois päältä, jotta sekaannuksilta vältyttäisiin. (5, kpl. 4.37.)

Piiri tuottaa ohjausjännitteen 0–1,26 V, sekä käsin- että tietokoneohjauksella. Ohjauselektronikka koostuu kahdesta operaatiovahvistimesta, jotka ohjaavat MOSFETin hilaa. MOSFET on samaa tyyppiä kuin ulostulo-ohjainkortissa käytetty, mutta tässä sovellutuksessa MOSFETin hila on ohjattu, jolloin MOSFETin sisäistä resistanssia voidaan säädellä. Tämä mahdollistaa MOSFETin ja sitä kautta pumpun läpi kulkevan sähkövirran säätelyn. Tällä säädetään pumpun pyörimisnopeutta ja sitä kautta nestevirtauksen nopeutta. (5, kpl. 4.37.)

5.7 Teholähde

Teholähteenä PCU:ssa on hakkuriteholähde, joka sisältää sulakkeelliset 5, 15 ja 24 voltin lähdöt. Teholähteen kanssa samassa on puolijohderele, jolla ohjataan lämmityselementin tehonsyöttöä. (5, kpl. 5.1.)

Hakkuriteholähde on DC/DC-teholähde ja siitä on useita eri toteutustapoja, mutta periaate on kaikilla sama. Tasajännite muutetaan ensin vaihtojännitteeksi suurella taajuudella, jonka jälkeen vaihtojännite muutetaan takaisin tasajännitteeksi. Hakkuriteholähteellä voidaan muuttaa tulojännite suuremmaksi tai pienemmäksi tai invertoida se vaihtamalla hakkuritopologiaa eli rakennetta. (13, s. 11.)

Vaikka hakkuriteholähteen toteutustapoja on monia, peruskomponentit ovat aina samat. Hakkuriteholähteeseen tarvitaan kela tai muuntaja, kytkintransistori, kytkindiodi, tulopuolen kondensaattori, lähtöpuolen kondensaattori ja ohjainpiiri. (14, s. 9.)

Lähtöjännite pienennetään halutun suuruiseksi katkomalla syöttöjännitettä tietyn väliajoin, josta syntyy kanttiaalto. Kanttiaalto suodatetaan LC-suodatuksella (kela ja kondensaattori). Lisäksi kelan energian purkamiseksi tarvitaan diodi tai transistori. Jännitettä nostavan tai napaisuutta kääntävän hakkuriteholähteen

toiminta perustuu kelaan varattavaan energiaan muuttamalla magneettikentän energia halutuksi jännitteeksi. Ohjainpiirin tehtävänä on ohjata kaikkea tätä. (13, s. 11.)

Koska hakkuriteholähteissä on minimoitu häviöllisten komponenttien käyttö. hakkuriteholähteiden hyötysuhde on hyvä eli n. 95 %. Hyvän hyötysuhteen ansiosta hakkuriteholähteet pysyvät viileinä paremmin ja ne voidaan koteloida tiiviimmin. (13, s. 11.)

PCU:ssa hakkuriteholähteellä on kaksi verkkosisäätuloa (AC 48 – 400 Hz, 196 – 264 V), joista toinen on lämmityselementille (10 A) ja toinen PCU:lle (1,5 A) (5, kpl. 5.1).

5.8 Ohjausohjelmisto

Ohjausohjelmisto on Bytronicin valmistama PCU-ohjelmisto. Ohjelmisto pitää sisällään vesiprosessille tyypillisten prosessien säädön sekä säädön parametrisoinnit. Ohjelmiston on tarkoitus havainnollistaa prosessissa tapahtuvia muutoksia ja piirtää kuvaajaa muutoksista ajan funktiona.

6 KÄYTTÖÖNOTTO

6.1 Laitteisto

Laitteiston kytkeminen alkoi PC:n, tietokoneohjausmoduulin ja laitteistokehikon sijoittamisella rinnakkain kytkemisen helpottamiseksi. Päällisin puolin laitteistokehikko näytti ehjältä.

Ensimmäinen vaihe oli kytkeä kolme nauhakaapelia (D1, D2, D3) CCM-moduulilta laitteistokehikolle. Nämä kaapelit on mahdottomuus kytkeä väärin, sillä uros- ja naarasliittimet ovat polarisoidut eli päinvastaiset toisiinsa nähden. Tässä vaiheessa myös kaksi 4 mm pistoketta kytketään CCM:ltä laitteistokehikolle. Nämä ovat värikoodatut (punainen ja vihreä).

Teholähteeltä tietokoneohjausmoduulille kulkee kaksi kaapelia, jotka ovat 7-napainen virtakaapeli ja 5-napainen ohjausjohto. Teholähteeltä laitteistokehikolle menee virransyöttö lämmittimelle.

Kaikki kaapelit ja johtimet on mahdotonta kytkeä väärin ilman väkivaltaa. Tämä siksi, että työ olisi mahdollisimman turvallinen ja välttyään vääriltä kytkennöiltä.

Seuraavaksi vuorossa oli virran kytkeminen laitteistoon sekä ohjelmiston aukaiseminen tietokoneelta. Virta kytketään teholähteeltä kahdesta kytkimestä, joista toinen on lämmittimen oma virtakytkin. Virrat kytkettyäni aloin käydä läpi jokaisen LED-näytön ja ilmaisimen yksitellen tarkastaen niiden toimivuuden. Tarkastus tehtiin kytkemällä lähtöjä tietokoneelta yksitellen ja seuraamalla valojen syttymistä laitteistokehikolla.

Tässä vaiheessa altaaseen lisättiin tislattua vettä 3/4 altaan tilavuudesta eli n. 8 litraa. Tällä määrällä putkistossa ja altaassa on aina sen verran vettä, ettei pumppu pääse käymään tyhjänä. Tislattu vesi estää epäpuhtauksien syntymistä ja kertymistä laitteiden pinnoille ja putkistoon.

Seuraavana vuorossa oli antureiden ja lähtöjen toimivuuden tarkastaminen. Ohjelmasta voi ohjailta kaikkia lähtöjä yksitellen. Tietokoneohjausmoduulilla on vielä erikseen pumpunohjauskortti, jolta voidaan valita dippikytkimen avulla, miten pumppua ohjataan. Pumppua ohjataan joko manuaalilla käyttäen potentiometriä tai sitten kääntämällä kytkin tietokoneohjaukselle, jolloin sitä ohjataan tietokoneelta suoraan.

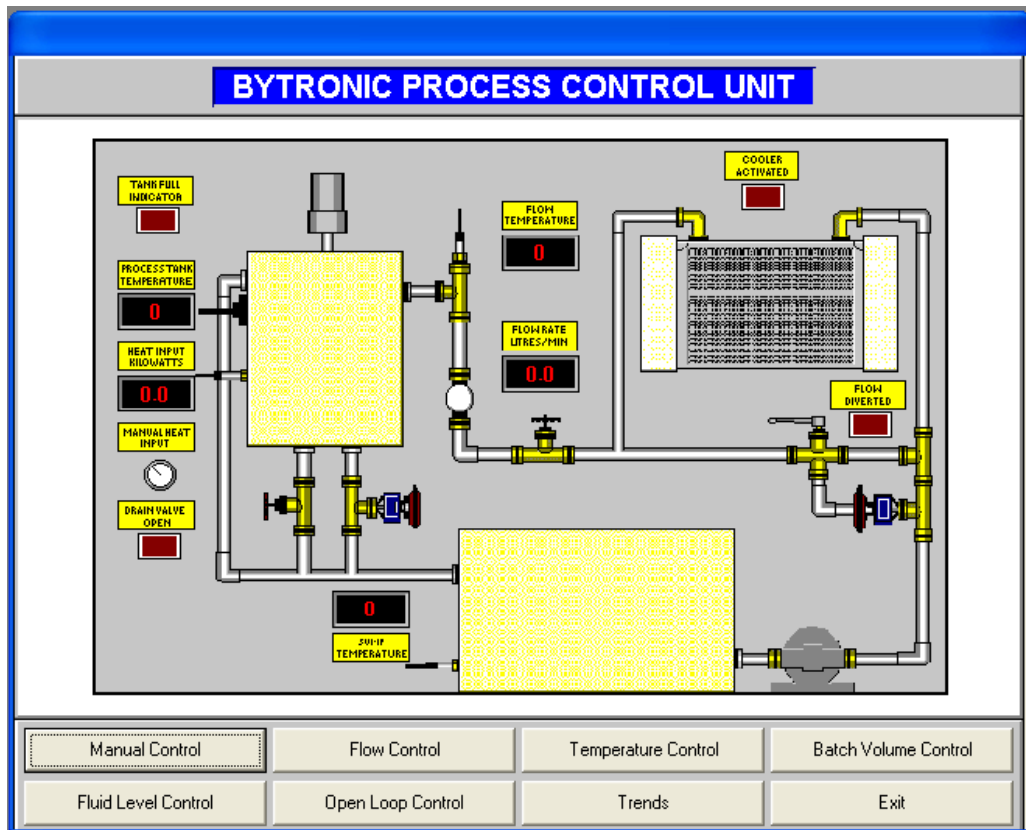
Anturit näyttivät juuri niitä lukemia, mitä pitikin ja jokainen lähtö kytkettyi päälle ja pois päältä. Ainoana huolta aiheutti putkiston lämpötilamittaus, joka näytti alussa lukemaa 14 °C, vaikka huoneen lämpötila oli 23 °C. Anturin toimivuus testattiin siten, että lämmitettiin vettä prosessisäiliön avulla ja kytkettiin pumppu päälle, jolloin lämmin vesi alkoi kiertää prosessissa. Lämpötila alkoi nousta putkistossa ja lämpötila-anturikin alkoi näyttää oikeita lukuja. Laitteistoa ei ole käytetty moneen vuoteen, joten on mahdollista, että anturin mittapäähän oli kertynyt jotain, joka väärensi mittaustulosta.

Laitteistokehikko, teholähde ja tietokoneohjausmoduuli olivat kaikki käyttökuntoisia ja korjaustoimenpiteitä ei tarvittu.

6.2 Ohjelmisto

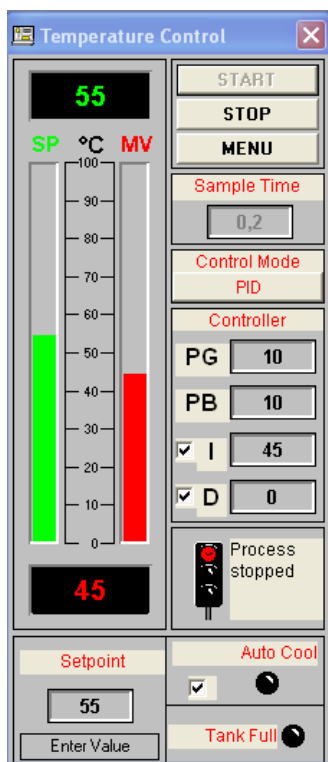
PCU-sovellus on Bytronicin juuri tälle vesiprosessille tekemä sovellus, jolta voidaan ohjata lähtöjä, toteuttaa digitaalista säätöä ja muuttaa säätimien säätöparametrejä. Sovellus oli asennettu valmiiksi PC:lle, joten asennusta ei tarvinnut itse suorittaa. Sovellus tulostaa käyrää halutuista muuttujista ja käyrältä on helppo seurata eri suureiden muuttumista sekä ohjauksen toteutuvuutta.

Aloituskäytöstä (kuva 9) valitaan tutkittava säätö. Eri vaihtoehtoja ovat virtaussäätö, lämpötilan säätö, annossäätö, pinnankorkeuden säätö, sekä avoimen piirin säätö.



KUVA 9. PCU-sovelluksen aloitusnäky

Kuvasta 10 näkyy P-, I- ja D-parametrien asetusarvot, joita voidaan muuttaa tai ottaa yksitellen kokonaan pois päältä. Näytteenottoaika (Sample Time) on myös muokattavissa oleva parametri.



KUVA 10. Lämpötilasäädön säätöparametrit

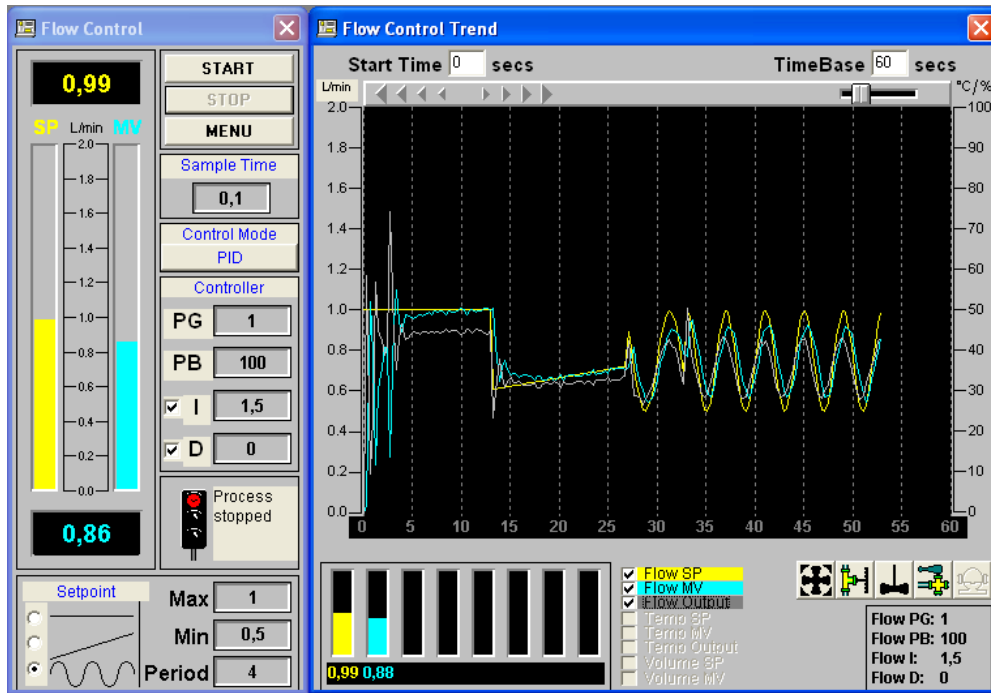
Seuraavissa säätöjen esimerkeissä ei ole puututtu säätöpiirin parametreihin, vaan tarkoitus on esimerkkien avulla demonstroida mitä erilaisia ominaisuuksia laitteistolla on.

6.2.1 Virtaussäätö

Virtaussäädössä ohjataan pumpun syöttöjännitettä ja sitä kautta pumpun kierrosnopeutta. Tämä kasvattaa tai laskee virtausnopeutta putkistossa. Virtausnopeus mitataan virtausmittarilla, muutetaan digitaalisesti tietokoneelle ja piirretään kuvaajaan.

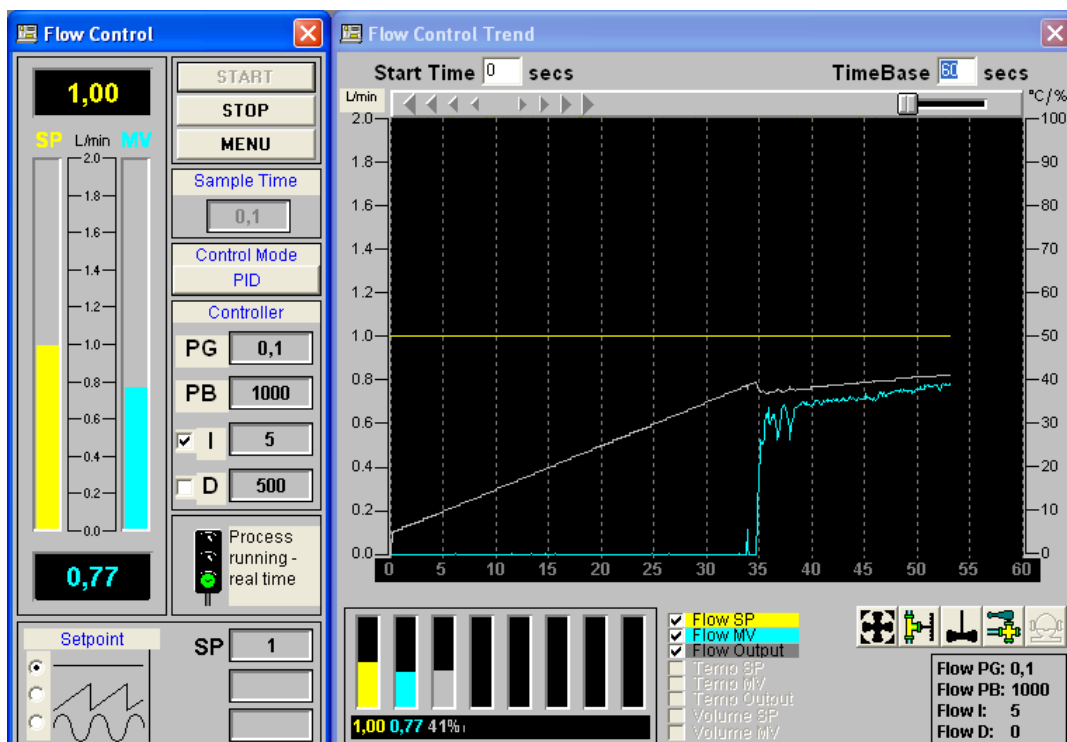
Kuvassa 11 keltaisella on asetusarvo (SP), sinisellä mitattu arvo (MV) ja harmaalla pumpun lähtö. Säätöpiireissä on valittavana asetusarvolle erilaisia valmiita käyriä, kuten sahalaita, sinikäyrä ja tasaisesti nouseva käyrä. Näille valitaan maksimi- ja miniarvo sekä sinikäyrälle jaksonaika. Kuvassa 11 näkyy, kuinka asetusarvo on alussa tasainen 1,0 l/min, mutta n. 15 sekunnin kohdalla

se muuttuu tasaisesti nousevaksi käyräksi ja lopulta 30 sekunnin kohdalla sini-käyräksi, jonka maksimi on 1 l/min, minimi 0,5 l/min ja jaksonaika 4 sekuntia.



KUVA 11. Yleiskuva virtaussäädöstä

PCU-vesiprosessissa käytetty pumppu lähtee pyörimään miniminopeudella vasta kun lähtöjännite on n. 40 % maksimista (kuva 12), joka tarkoittaa n. 0,8 l/min:n virtausta putkistossa. Syöttöjännite on siis tuolla hetkellä riittävän suuri, jotta pumppu lähtisi pyörimään. Tämä johtaa siihen, että alle 0,8 l/min virtausnopeusta ei voi saavuttaa pumppua säätämällä, vaan sitten joudutaan käyttämään käsikäyttöistä säätöruuvia, joka sijaitsee putkistossa ennen virtausmittausanturia.

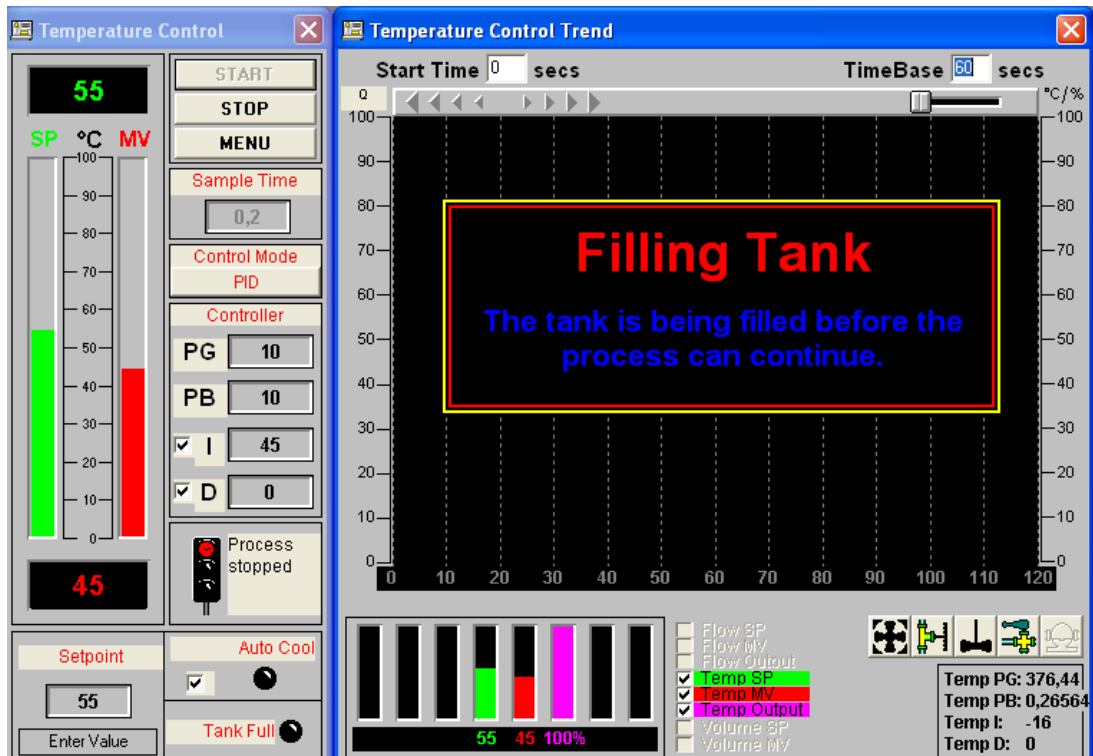


KUVA 12. Pumpun toiminta-alue

6.2.2 Lämpötilan säätö

Lämpötilan säädössä prosessisäiliössä oleva vesi lämmitetään lämmitysvastuksen avulla tai jäädytetään jäähdytyskennolla haluttuun lämpötilaan välillä 20 – 90 °C. Sekä manuaali- että automaattikäytöllä prosessisäiliön on oltava täysi, jotta lämmitysvastusta voidaan käyttää.

Mikäli lämpötilan säätöä halutaan käyttää ja prosessisäiliö ei ole jo täynnä, antaa ohjelma logiikalle käskyn alkaa täyttään prosessisäiliötä, kunnes prosessisäiliön pintakytkin kytkeytyy päälle ja säiliö on täysi. Tästä tapahtumasta tulee myös ilmoitus tietokoneen näytölle (kuva 13). Prosessisäiliössä on 3 litraa prosessoitavaa vettä.



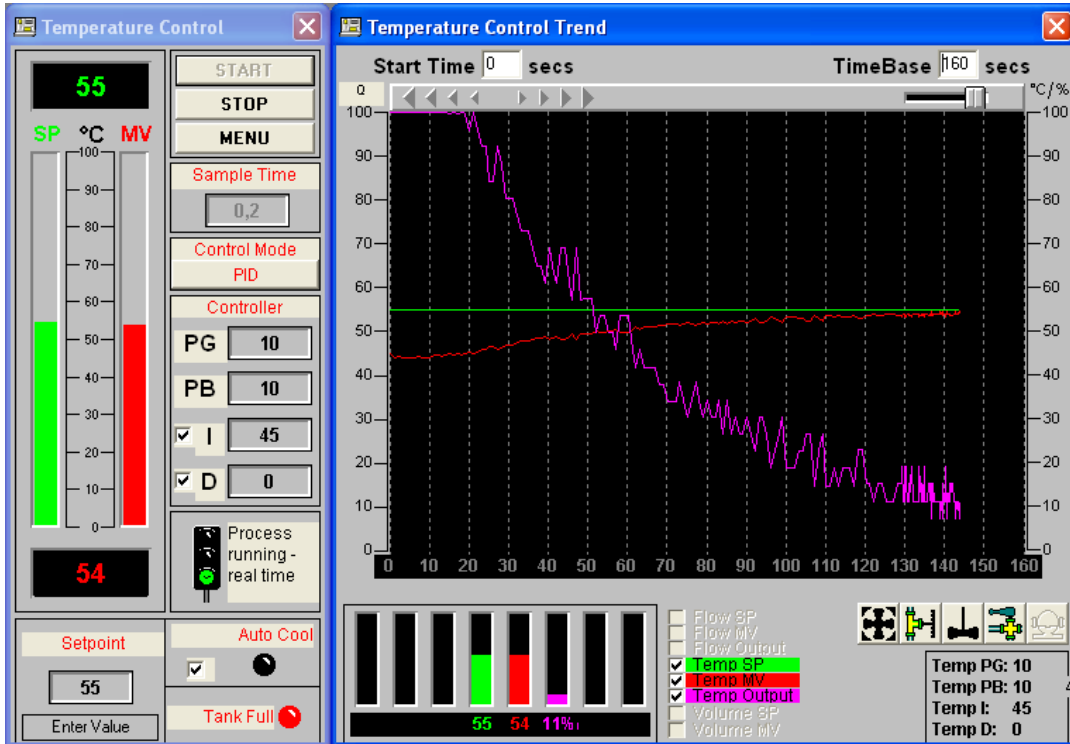
KUVA 13. Prosessisäiliötä täytetään

Kun prosessisäiliö on täynnä, voi veden lämmittäminen tai jäädyttäminen alkaa. Prosessi toimii kuten virtaussäädössäkin eli annetaan asetusarvo (SP), mitataan mitta-arvo (MV) ja näiden lähtötietojen perusteella joko lämmitetään tai jäädytetään vettä.

Jäädyttämistä varten pumppu ja jäädytyskennon tuuletin kytkeytyvät päälle ja vesikierto ohjataan ohjausventtiilin avulla kulkemaan kennon kautta. Jäädytyskennolla vesi kiertää kennon sisällä ja tuuletin haihduttaa vedestä putkistoon johtunutta lämpöä putken ulkopinnoilta, jolloin putkessa kiertävä vesikin jäähtyy.

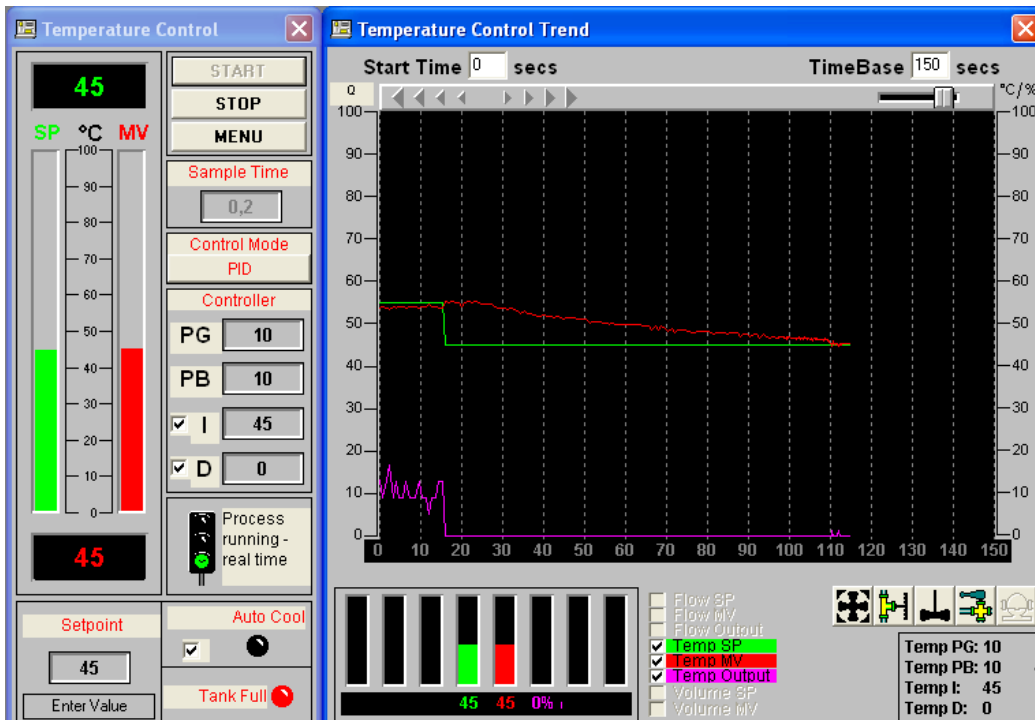
Lämmitettäessä prosessisäilön vettä lämmitysvastus ja sekoitin kytkeytyvät, kunnes saavutetaan asetusarvon lämpötila. Sekoittimen tarkoituksena on sekoittaa vesi eli tasoittaa lämpötilaeroja säiliössä ja siten taata tasaisempi mittausulos.

Kuvassa 14 punaisella viivalla merkitty n. 45 asteiseksi mitattu vesi lämmitetään prosessisäiliössä 50 asteeseen (SP), jota merkitään vihreällä. Lämmittimen ohjausta kuvataan vaaleanpunaisella. Säättöpiirinä on käytetty PI-säädintä prosessin hitauden ja stabiiliuden vuoksi. Mikäli alun mitattu arvo olisi korkeampi kuin asetusarvo, jouduttaisiin prosessisäiliön vesi jäähdyttämään.



KUVA 14. Lämmityssäätö

Kuvassa 15 asetusarvo ja mittausarvo ovat 55 asteisia, mutta 20 sekunnin kohdalla asetusarvoa muutettiin 45 asteeseen, jolloin prosessi alkoi jäähdyttää prosessisäiliön vettä.



KUVA 15. Jäähdytyksen säätö

Jäähdytettäessä prosessisäiliön vesi lasketaan takaisin altaaseen automaattisen tyhjennysventtiilin avulla ja pumppu kytkeytyy päälle. Ohjausventtiili ohjaa kierron jäähdytinkennon kautta ja pyörittää kiertoa niin kauan, kunnes prosessisäiliöstä mitataan asetusravon lämpötila.

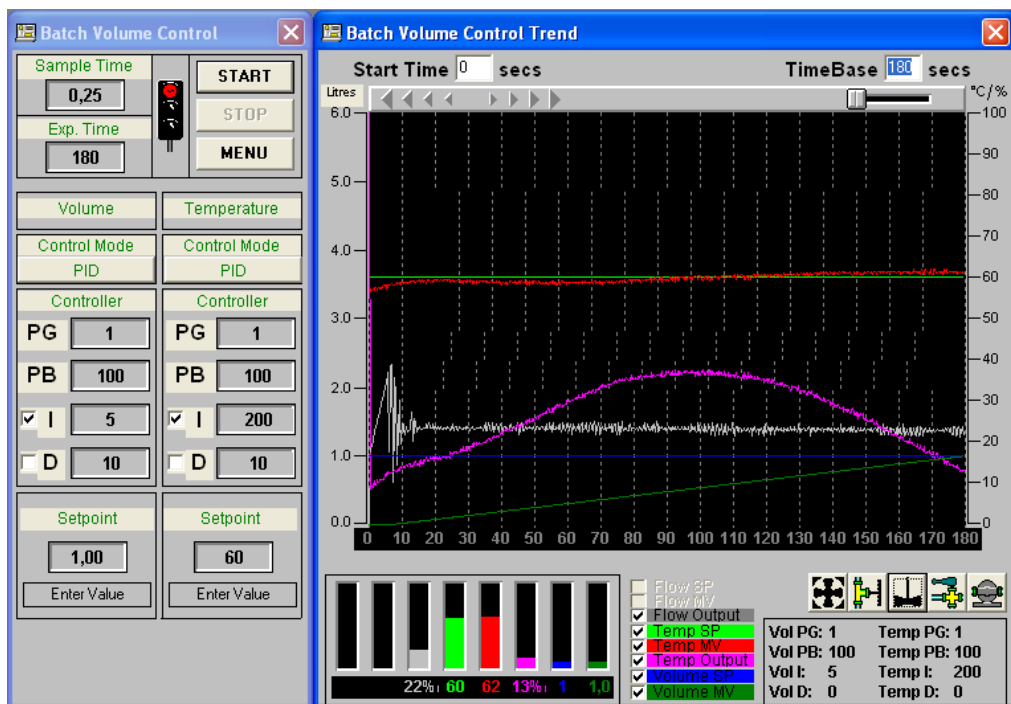
Jäähdytysprosessissa on huomioitava se, että altaassa sijaitsevan veden lämpötila on yleensä alhaisempi tai sama kuin prosessisäiliössä. Tämä voi johtaa mittaustuloksen vääristymiseen, koska jäähtynyt vesi pumpataan altaasta prosessisäiliöön heti jäähdytyksen kytkeydyttyä päälle. Tarkan mittaustuloksen takaamiseksi on myös altaan lämpötilaa seurattava, sille asennetulta lämpötilanturilta.

6.2.3 Annossäätö

Annossäädössä asetetaan lähtöarvoiksi nesteen tilavuus litroissa ja sille haluttu lämpötila eli annossäätö yhdistelee sekä virtaus-, että lämpötilasäädön. Annossäädössä siis halutaan prosessisäiliöön tietty määrä nestettä, tietyllä lämpötilal-

la. Annossäädölle on annettu päättymisaika, johon mennessä annoksen tulee olla säiliössä (Exp. time).

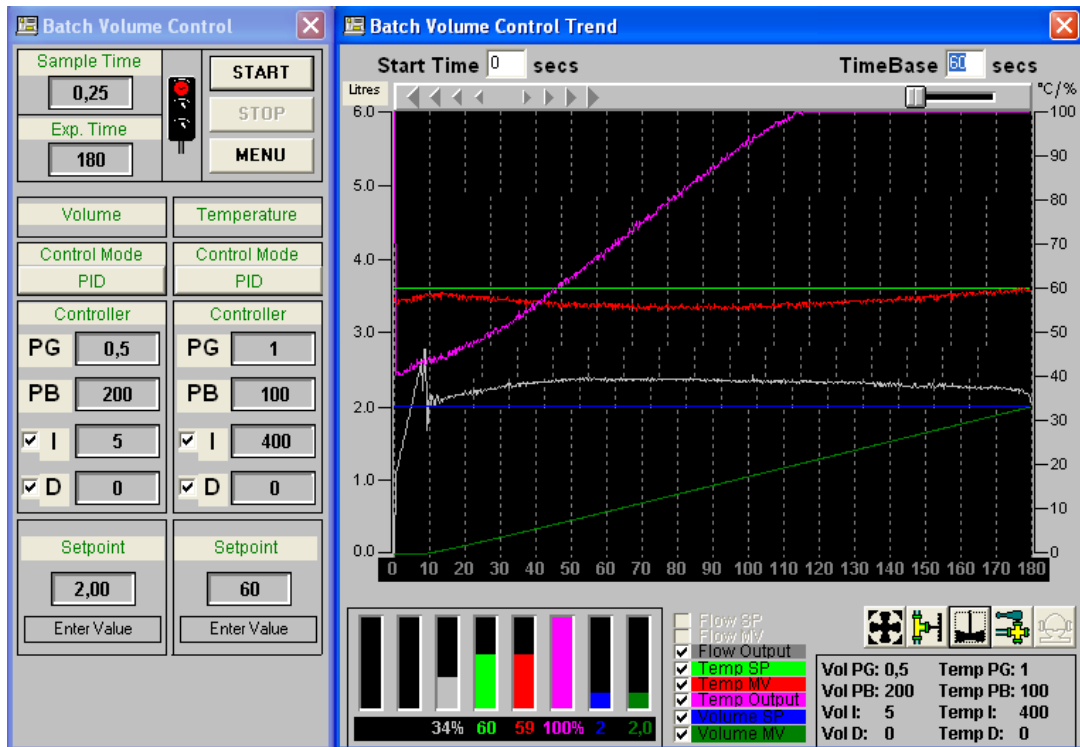
Alussa prosessisäiliö tyhjenetään mahdollisesta vedestä, jotta haluttu tilavuus saadaan pumpattua tarkasti säiliöön. Altaassa sijaitsevan veden lämpötila määrää, kierrätetäänkö vesi jäähdyttimen kautta vai pumpataanko se suoraan prosessisäiliöön lämmitettäväksi. Mikäli altaassa olevan veden lämpötila on matalampi kuin lämpötilan asetusarvo, alkaa pumppu pumpata vettä suoraan prosessisäiliöön (kuva 16).



KUVA 16. Annossäädön virtauksen esimerkki

Tilavuus säiliössä mitataan virtausmittauksen ja päättymisajan avulla. Esimerkiksi, jos päättymisaika on 3 minuuttia ja tilavuudeksi on saatava 1 litra, on virtausnopeus silloin 0,33 l/min. Tämä vastaa n. 17 %:a pumpun saavuttamasta maksimivirtauksesta. Koska pumpun syöttöjännitteen ja virtauksen suhde ei ole täysin lineaarinen, on pumpun ulostulo hieman enemmän kuin 17 %, kuten kuvasta 16 näkyy (harmaa viiva).

Kuvassa 17 alhaalla vasemmalla näkyvät asetusrivot tilavuudelle (2,0 litraa) ja lämpötilalle (60 °C). Säädön alussa altaan lämpötila oli n. 58 °C, joka on asetusrivon 60 °C alapuolella, joten altaasta vesi pumpattiin suoraan prosessisäiliöön. Lämmitysvastus alkoi lämmittää prosessisäiliöön pumpattua vettä välittömästi.



KUVA 17. Annossäädön trendikäyrä

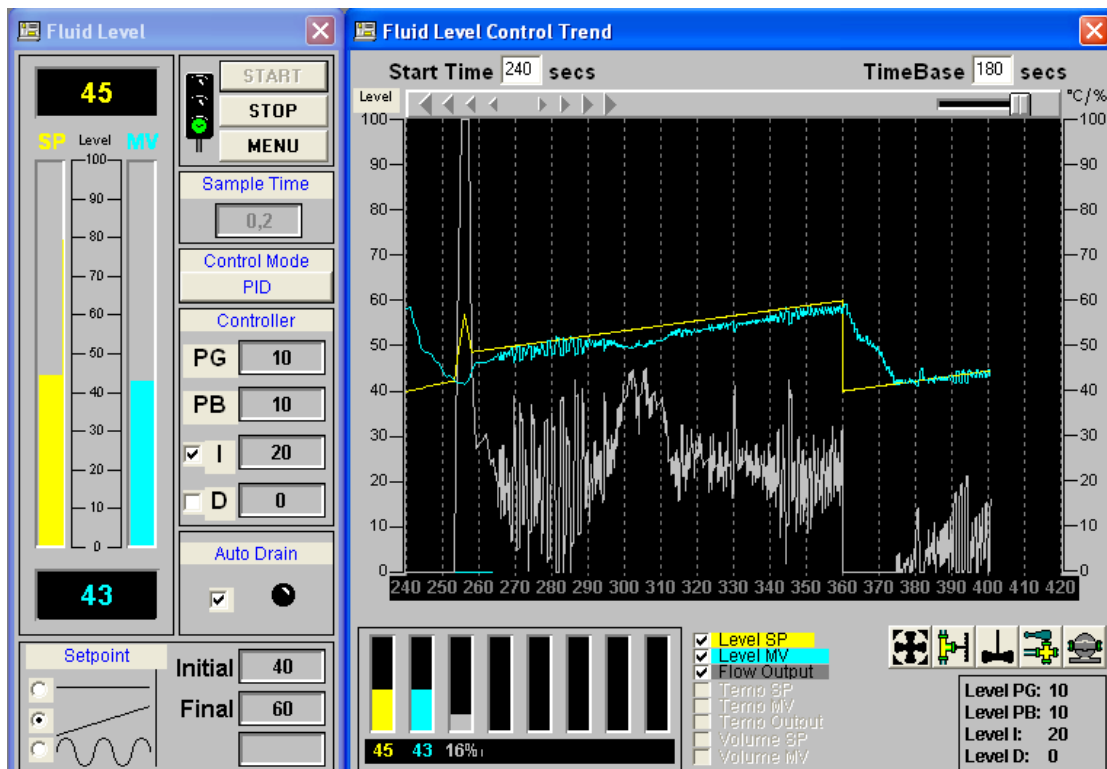
Pumppu pyrkii pitämään virtausnopeuden vakiona koko annostuksen ajan. Tämä menettely parantaa annoksen tasalaatuisuutta. Koska logiikka laskee tilavuuden ajan ja virtausnopeuden suhteen, on kuvaajaan piirtyvä tilavuuden mitausarvo tasaisesti nouseva käyrä, jota tietenkään todellisuudessa se ei ole. Teollisuudessa nesteen määrä mitattaisiin pinnankorkeusanturin ja säiliön tilavuuden avulla, eikä virtausnopeuden ja ajan suhteen, kuten PCU-laitteistossa.

6.2.4 Pinnankorkeussäätö

Pinnankorkeussäädöllä säädetään prosessisäiliön pinnankorkeutta pumpun ja tyhjennysventtiilin avulla. Lähdössä pinnankorkeus mitataan kapasitiivisella pinnankorkeusanturilla ja tyhjenetään tai pumpataan vettä tarpeen mukaan.

Pumppu pumpkaa altaasta vettä säiliöön tyhjennysventtiilin ollessa kiinni. Näin pinnankorkeus nousee asetusarvon tasolle. Kun mitattu vesimäärä säiliössä ylittää asetusarvon, tyhjennysventtiili aukeaa ja tyhjentää säiliötä.

Kuvassa 18 keltaisella on merkitty asetusarvo, sinivihreällä mitattu arvo ja harmaalla pumpun lähtöä. Tässä kokeessa pinnankorkeuden asetusarvoa nostettiin 40 %:sta 60 %:iin ja kun 60 % on saavutettu, niin sama toistettiin. Kuvaajassa 360 sekunnin kohdalla pinnankorkeuden asetusarvo laskee lähtöarvoonsa 40 %:iin ja pumppu kytkeytyy pois päältä ja tyhjennysventtiili aukeaa.



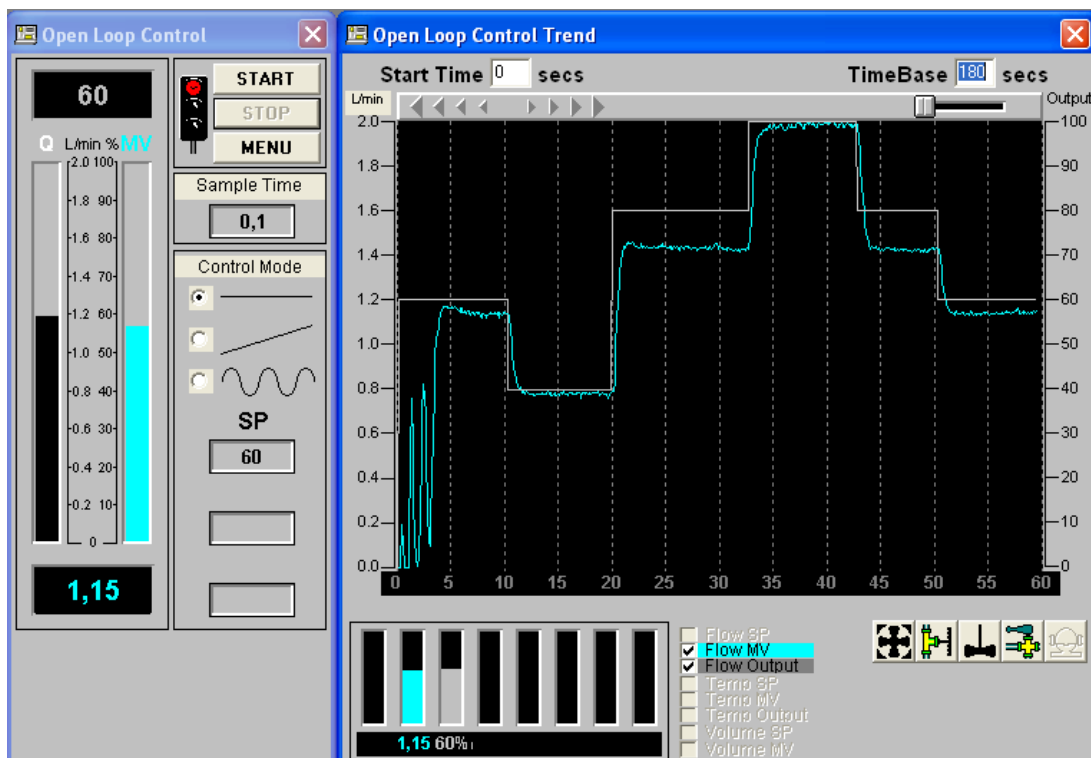
KUVA 18. Pinnankorkeussäädön tarkastelua

Kun vakioasetusarvoa lähestytään alhaalta, pumppu pumppaa vettä säiliöön. Kun asetusrvo saavutetaan, tyhjennysventtiili avautuu ja pumppu lopettaa toiminnan. Tämä tarkoittaa sitä, että asetusrvoa ei voida pitää vakiona pitempää aikaa tällä kokoonpanolla. Tähän säätöön kaivattaisiin hystereesi, jolla asetettiin maksimi- ja minimiparametrit, jotka pitäisivät säädön tyytyväisenä ja näin pumppu ja tyhjennysventtiili eivät toimisi jatkuvasti ristiin.

6.2.5 Avoimen piirin säätö

Avoimen piirin säädössä ohjataan suoraan lähtöä ilman takaisinkytkentää. Tällöin lähtöön eivät vaikuta häiriöt, eikä siinä voida puhua automaattisesta säädöstä. Avoimen piirin säätö siis luottaa manuaaliseen valvontaan ja siksi sitä käytetään yksinkertaisissa prosesseissa, joissa ei tarvetta automaattisäädölle.

Asetusrvona on suoraan virtauksen lähtö eli pumpun lähtö ja mitattuna arvona virtaus. Kuten kuvasta 19 näkyy, avoimessa säädössä ei ole viritysparametreja, vaan pelkästään asetusrvon muuttaminen on mahdollista.



KUVA 19. Avoimen piirin virtaussäätöä

7 YHTEENVETO

Työn päätarkoituksena oli PCU-vesiprosessin käyttöönotto ja asennus, vesiprosesseille tyypillisen teorian tukemana. Teoriaan tutustuttiin lähtöaineiston, internetin ja kirjaston aineiston avulla. Teoriapuoli oli teknistä ja opettavaista ja jo tuttuihin laitteisiin ja tapoihin tuli tutustuttua tarkemmin.

Itse prosessin asennus ja käyttöönotto sujui lähes ongelmitta. Vesiprosessin matkassa tullut manuaali oli vanhentunut ja jouduin käyttämään ylimääräistä aikaa ja vaivaa nykyisen laitteistokokoonpano selvittämiseen. Esimerkiksi jatkuvatoimisesta pinnankorkeusanturista ei puhuttu sanallakaan itse manuaalissa, vaikka sellainen vesiprosessissa oli. Tämän anturin selvittämiseen kului hieman odotettua enemmän aikaa, mutta anturi saatiin selville.

Vanhentuneesta tiedosta huolimatta manuaali oli työn paras tiedonlähde. Siinä kerrottiin yksityiskohtaisesti laitteiden toimintaa ja teoriaa, jota sitten täydennettiin internetistä ja kirjaston aineistosta löytyvällä materiaalilla.

Alussa määritellyt tavoitteet toteutuivat eli laitteisto saatiin käyttöönotettua. Työn aloituspalaverissa mainituilta mahdollisilta laitteistovioilta ja korjauksilta vältyttiin, mikä edesauttoi työn nopeaa valmistumista.

LÄHTEET

1. Pihkala, Juhani. 1998. Prosessitekniikan yksikköprosessit. Helsinki: Opetushallitus.
2. Prosessiteollisuus. 2013. Wikipedia. Saatavissa: <http://fi.wikipedia.org/wiki/Prosessiteollisuus>. Hakupäivä 4.12.2013.
3. Harju, Timo – Marttinen, Arto. 2000. Säättöpiirin virityksen perusteet. Espoo: Control CAD Oy.
4. Jansson, Erik. 2000. Säättö- ja mittaustekniikka. Iisalmi: IS-VET.
5. Prosessin ohjaus. Bytronic-vesiprosessin manuaali. Käytettävissä OAMK:n automaatiotekniikan laboratoriossa.
6. Mittausperiaate Pt100-vastuselementeillä. 2013. Buerkert. Saatavissa: <http://www.buerkert.fi/FIN/316.html>. Hakupäivä 4.12.2013
7. Vastuslämpötila-anturi. 2013. Wikipedia. Saatavissa: <http://fi.wikipedia.org/wiki/Vastusl%C3%A4mp%C3%B6tila-anturi>. Hakupäivä 4.12.2013
8. SFS 4874. 1982. Pumput. Nesteiden siirtoon käytettyjen pumppujen ryhmitely ja toimintaperiaatteet. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.
9. PWM. 2013. Wikipedia. Saatavissa: <http://fi.wikipedia.org/wiki/PWM>. Hakupäivä 5.12.2013
10. Endress+Hauser. Elektroniikkayksikkö FEC12 jossa HART-liityntä. Asennus ja käyttöohje.
11. Solenoid valve. 2013. Wikipedia. Saatavissa: http://en.wikipedia.org/wiki/Solenoid_valve. Hakupäivä 9.12.2013.

12. Opto-coupler. 2013. Wikipedia. Saatavissa:
<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/89/Optocoupler.svg>. Hakupäivä 3.2.2014.
13. Lapinkangas, Hannu. 2009. DC-DC-teholähteen suunnittelu Full Bridge-topologialla. Oulun seudun ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. Saatavissa:
http://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/25265/Lapinkangas_Hannu.pdf?sequence=1. Hakupäivä 3.2.2014.
14. Reiman, Mika. 2002. Teholähdepiirilevyn suunnittelu akkukäyttöiseen laitteeseen. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu, sähkötekniikan osasto. Diplomityö. Saatavissa:
<http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/35413/nbnfi-fe20021295.pdf?sequence=1>. Hakupäivä 3.2.2014.