

Ronny Lindqvist

Pumppujen vuorottelukäytön suunnittelu ja käyttöönotto

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Automaatiotekniikka

Insinööriytyö

4.5.2017

Tekijä(t) Otsikko	Ronny Lindqvist Pumppujen vuorottelukäytön suunnittelu ja käyttöönotto
Sivumäärä Aika	20 sivua 4.5.2017
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Automaatiotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	
Ohjaaja(t)	Lehtori Kai Virta Suunnitteluinsinööri Juha Martikainen
<p>Opinnäytetyössä käsiteltiin PID-säätimen yleistä rakennetta sekä sen virittämiseen käytettäviä menetelmiä. Lisäksi käsiteltiin erilaisia prosessimittauksen menetelmiä, erityisesti painemittausta.</p> <p>Käytännön työnä suunniteltiin kahden pumpun vuorottelukäytön ohjauspiiri sekä taajuusmuuttajien parametointi. Työhön kuului lisäksi valmiin konttipumppaamon käyttöönotto Boliden Kevitsan kaivoksella Sodankylässä.</p> <p>Työn ensimmäinen osa käsitteli PID-säätimen eri osia sekä näiden virittämistä teoriassa, sekä prosessisuureiden mittaamista. Jälkimmäinen osa esitteli opinnäytetyön käytännön osuuden suunnittelua sekä käyttöönottoa.</p> <p>Työn tuloksena saatiin täysin toimiva ja käytössä oleva pumppaamo, jossa kaksi pumppua toimii isäntä-seuraaaja-periaatteella. Pumput vuorottelevat käyntivuoroa käyttötuntien tasaimiseksi, ellei sisään tuleva vesimäärä vaadi molempien pumppujen käyttöä. Pumppaamo toimii välipumppaamona avolouhoksessa veden poistamiseksi kaivoksen pohjalta ylös.</p>	
Avainsanat	pumppu, taajuusmuuttaja, PID-säädin, vuorottelu

Author(s) Title Number of Pages Date	Ronny Lindqvist Planning and Commissioning of an Alternating Pump Application 20 pages 4 May 2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Automation Technology
Specialisation option	
Instructor(s)	Kai Virta, Senior Lecturer Juha Martikainen, Design Engineer
<p>The main objective of this study was to cover the common structure of a PID-controller and different ways of tuning one. Different types of process measurement were also covered in the thesis, particularly measuring pressure.</p> <p>The practical part consisted of planning an alternating pump application for a customer project. The commissioning of the finished pump application on site at the Boliden Kevitsa mine in Sodankylä was also a part of the project.</p> <p>The first part of the thesis covers the structure and tuning of a PID-controller and the second part presents the planning and commissioning of the pump application.</p> <p>A fully functioning and in-use pump application was produced as a result of this study. The application works on a Master-Follower principle, in which the Master inverter takes care of alternating between the two pumps to even out running hours, unless the amount of water flowing through requires use of both pumps simultaneously. The pump station works as a halfway pumping station in an open-pit mine for removing water from the bottom of the pit.</p>	
Keywords	pump, frequency inverter, PID-controller, alternation

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	PID-säätö	2
2.1	PID-säädin yleisesti	2
2.1.1	Säätimen P-osa	3
2.1.2	Säätimen I-osa	3
2.1.3	Säätimen D-osa	4
2.2	PID-säätimen viritys	4
2.2.1	Manuaalinen viritys	5
2.2.2	Ziegler-Nichols	5
2.2.3	PID-viritysohjelmistot	6
3	Prosessin mittaaminen	7
3.1	Yleistä	7
3.2	Painemittaus	7
4	Käytännön työ, suunnittelu	9
4.1	Laitteisto	9
4.2	Danfoss VLT Motion Control Tool MCT-10	14
5	Käytännön työ, käyttöönotto	17
6	Yhteenveto	19
	Lähteet	20

Lyhenteet

AI	Analog input, analogitulo
DI	Digital input, digitaalinen tulo
DO	Digital output, digitaalinen lähtö
Hz	Hertsi, taajuus
LCP	Local Control Panel, paikallisohjauspaneeli
MCT-10	Danfoss VLT Motion Control Tool, Danfossin parametointiohjelmisto
PID	Proportional-integral-derivative, suhde-integroiva-derivoiva
rpm	revolutions per minute, kierrosta minuutissa

1 Johdanto

Tämä opinnäytetyö tehdään JTL-Control Oy:lle, ja projektin loppuasiakas on Xylem Water Solutions Suomi Oy.

JTL-Control Oy on vuonna 1983 perustettu teollisuuden automaatiopalveluja tuottava yritys. Yrityksen toimenkuvaan kuuluvat mm. sähkö- ja automaatioprojektien osa- ja kokonaistoimitukset ja asiantuntijapalvelut, sekä keskusvalmistus. Lisäksi yritys on erikoistunut erilaisiin vaativien olosuhteiden sähköasennuksiin kuten tunneli- ja kaivostyömaiden sähköistykset sekä räjähdysvaarallisten tilojen sähköasennukset. [1.]

Xylem Water Solutions Suomi Oy on osa globaalia Xylem-konsernia, joka on erikoistunut kattavasti eri vedenkäsittelytarpeisiin ja tarjoaa tuotteita, huoltopalveluita ja vuokrausta nesteiden käsittelyyn ja käyttöön teollisuuden, kuntien ja kiinteistöjen kohteissa. [2.]

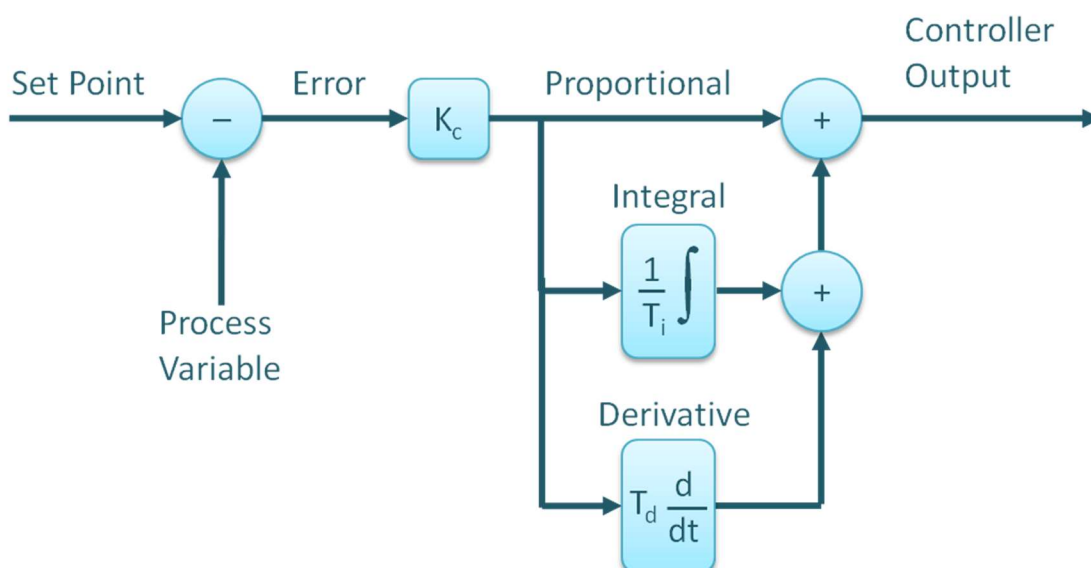
Opinnäytetyössä tullaan käsittelemään keskeisiä prosessin säätöön liittyviä elementtejä, erityisesti PID-säätimen käyttöä erilaisten prosessien säätämiseen, sekä painemittausta.

Opinnäytetyön käytännön tavoitteena on suunnitella ja toteuttaa kahden pumpun avulla toteutettavan vuorottelukäytön ohjaus. Loppuasiakas on valinnut pumppujen käyttöä varten Danfossin VLT AQUA Drive FC 202 -sarjan taajuusmuuttajat. Työn alkuvaiheessa selvitetään, käytetäänkö ohjauksen toteutuksessa ohjelmoitavaa logiikkaa vai toteutetaan ohjaus Danfossilta saatavissa olevalla laajennetun kaskadiohjauksen lisäoptiokortilla.

2 PID-säätö

2.1 PID-säädin yleisesti

PID-säädin on ylivoimaisesti yleisin teollisuudessa käytetty säätöalgoritmi (Kuva 1.). PID-säädintä voidaan käyttää käytännössä minkä vain prosessin säätämiseen, koska säätimen toiminta perustuu ainoastaan prosessista mitattavaan muuttujaan. Lyhenne PID tulee sanoista proportional-integral-derivative (suhde-integroiva-derivoiva). Jonkin prosessin muuttujan mitatun arvon ja asetusarvon välistä eroa kutsutaan erosuureeksi, jota PID-säätimellä pyritään jatkuvasti korjaamaan mahdollisimman pieneksi. [1; 2]



Kuva 1. PID-säätimen yleinen esitystapa lohkokkaaviona. [3.]

Säädin koostuu kolmen erillisen lohkon eri yhdistelmistä. Yleisesti käytössä olevat säätimet ovat P-, PI- tai PID-säätimiä sekä harvemmin PD-säätimiä. Tietyt säädintyyppit soveltuvat paremmin erilaisiin käyttökohteisiin. Pääsääntöisesti nopeampaa säätimen reagoitua vaativia kohteita säädetään P- ja PI-säädintyypeillä ja hitaampaa sekä tarkempaa säätöä vaativia kohteita PI- tai PID-säätimellä. [1; 4]

PID-säätimen kaavan (1) yleinen muoto:

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + K_p T_d \frac{d}{dt} e(t) \quad (1)$$

2.1.1 Säätimen P-osa

Säätimen P-osa muodostaa termin (kaava 2.) joka on suoraan verrannollinen erosuureeseen nähden. Erosuureen lisäksi termi sisältää vahvistuskertoimen K_p , joka on P-osan säädettävä osa. Vahvistuskerroin K_p määrittää, kuinka voimakkaasti säädin reagoi erosuureeseen. [3.]

P-osa vaikuttaa aina suoraan nykyhetken erosuureen perusteella, esimerkiksi jos erosuure on suuri ja positiivinen, on myös P-osan ulostulo suuri ja positiivinen. [6.]

Pelkkää P-säätöä käyttämällä on käytännön tilanteissa yleensä mahdotonta päästä tilanteeseen, jossa erosuure olisi 0, koska termi pienenee sitä mukaa kun mitattu arvo lähestyy asetusarvoa. Tästä syystä pelkkää P-säätöä ei käytetä kovin usein. [3; 4]

$$P = K_p e(t) \quad (2)$$

2.1.2 Säätimen I-osa

Säätimen I-osa (kaava 3.) integroi erosuuretta ajan suhteen, jolloin säätimen ns. integrointivaste on sitä suurempi, mitä pidempään erosuure on tietyn suuruinen. Vahvistuskerroin K_i määrittää kuinka voimakkaasti säädin reagoi integrointivasteeseen. Vahvistuskerroin K_i voidaan korvata termillä K_p/T_i , jolloin I-osan viritykseen voidaan käyttää integrointiaikaa T_i . [3, 4]

I-osa vaikuttaa aina PID-säätimen ulostuloon menneen ajan perusteella. Jos erosuure on ollut viime hetkinä suuri ja positiivinen, on myös säätimen I-osan arvo suuri ja positiivinen. [6.]

I-säätöä ei tavallisesti käytetä yksinään, vaan osana joko PI- tai PID-säädintä, jolloin saavutetaan vaadittava säädön stabiilius ja tehokkuus. [3.]

$$I = K_i \int_0^t e(\tau) d\tau \quad (3)$$

2.1.3 Säätimen D-osa

Säätimen D-osa (kaava 4.) derivoi erosuuretta ajan suhteen, jolloin säädin reagoi erosuureen muutosnopeuteen kumpaan tahansa suuntaan. Tämän ansiosta se toimii ennakoivasti ja auttaa sen takia lyhentämään aikaa jonka prosessi tarvitsee säädön vaikautumiseen asetusarvon muutoksen jälkeen. Vahvistuskerroin K_d määrittää kuinka voimakkaasti säädin reagoi derivoivaan osaan. Myös säätimen D-osan K_d voidaan korvata integroivan osan tapaan termillä $K_p \cdot T_d$, jolloin D-osan viritykseen voidaan käyttää integrointiaikaa T_d . [4; 6]

$$D = K_d \frac{d}{dt} e(t) \quad (4)$$

D-osan voi ajatella vaikuttavan aina tulevan ajan perusteella. Jos erosuureen muutosnopeus on kasvamassa tietyllä hetkellä, kasvaa myös D-osan ulostulo. Tällöin se reagoi odotettavissa olevaan suurempaan erosuureeseen. [3; 6]

D-osaa ei ikinä käytetä itsenäisenä säätimenä, vaan joko PD- tai PID-säätimet ovat yleisempiä. Derivoivan osan käyttö etenkin hitaammin reagoivissa prosesseissa ei yleensä ole optimaalista, koska se aiheuttaa näissä kohteissa ei-toivottuja piikkejä säätimen ulostuloon. Derivoiva osa on myös altis reagoimaan mittauksen kohinaan, jota esiintyy käytännössä kaikissa prosesseissa. Tämä voidaan välttää käyttämällä alipäästösuodatinta mittaussignaaliin. [4.]

2.2 PID-säätimen viritys

PID-säätimestä ei välttämättä ole mitään hyötyä, ellei käytettäviä PID-säätimen osia ensin viritetä optimaaliksi. PID-säätimen viritykseen on olemassa lukuisia eri vaihtoehtoja trial-and-error-tyyppisestä manuaalisesta kokeilemisestä aina monipuolisiin viritysohjelmistoihin. Pelkän P-säädön virittäminen pelkästään kokeilemalla on kohtuullisen helppoa, mutta PI- tai PID-säädön virittäminen pelkästään kokeilemalla on jo erittäin haastavaa. [4.]

2.2.1 Manuaalinen viritys

Manuaalista viritystä ei normaalitilanteessa suositella käytettäväksi, ellei se jostain syystä ole välttämätöntä. Yleisin tapa tehdä PID-säätimen manuaalinen viritys on asettaa integrointi- ja derivointiajat aluksi nollassa, jonka jälkeen suurennetaan vahvistuskerrointa K_p siihen asti, että ulostulo alkaa värähdellä tasaisesti eikä koskaan vaimene kohti asetusrvoa. Tämän jälkeen vahvistuskerroin K_p pienennetään noin puoleen tästä arvosta, jolloin yleensä ulostulon värähtely laskee noin neljäsosaan jokaista värähtelyaaltoa kohden. [6.]

Seuraavaksi suurennetaan integrointivasteen vahvistuskerrointa K_i , kunnes pelkän P-säädön aiheuttama pysyvä erosuureen virhe häviää. Integrointivastetta viritettäessä pitää huomioida, että liian suuren integrointivasteen vahvistuksen käyttö voi tehdä säätimestä epävakaa. [6.]

Lopuksi voidaan vielä lisätä derivoivan osan vahvistusta K_d , jos tälle on tarvetta. Yleensä PID-säätimen ulostulo ylittää askelvasteen aluksi, jolla saavutetaan erosuureen häviäminen nopeammin. Jos säädettävässä prosessissa ei jostain syystä voida sallia tätä ylitystä, on tarpeen käyttää ns. ylivaimennettua säätöpiiriä, jossa K_p on huomattavasti pienempi kuin tavallisessa säädössä. Tämä johtaa kuitenkin säätimen hitaampaan reagointiin. [6.]

2.2.2 Ziegler-Nichols

Zieglerin ja Nicholsin kehittämä PID-säätimen viritysmenetelmä on yksi vanhimmista yhä käytössä olevista menetelmistä. Menetelmät esiteltiin alun perin jo vuonna 1942. Ennen menetelmän esittelyä PID-säädin oli kyllä jo laajasti tiedossa mutta sitä ei juurikaan käytetty varteenotettavien viritysmenetelmien puutteessa. [7.]

Ziegler-Nicholsin menetelmää käyttämällä saadaan tyypillisesti säädin, jossa esiintyy suurehko säätimen ulostulon ylitys erosuureeseen nähden sekä lyhyt vasteaika. Ziegler-Nicholsia pidetään nykyään monien mielestä epätarkkana ja monin paikoin täysin sopimattomana viritysmenetelmänä. Se on yleensä sovelias käytettäväksi systeemeissä, jotka ovat lineaarisia ja hitaahkoja. [7.]

Menetelmässä toimitaan aluksi kuten manuaalisessakin virittämisessä, eli asetetaan integrointi- ja derivointiaika nolaksi ja kasvatetaan vahvistusta K_p , kunnes saavutetaan säätimen ulostulon kriittinen värähtely K_u . Tämän lisäksi pitää määrittää kriittisen värähtelyn värähtelyjakso T_u . Tämän jälkeen katsotaan taulukosta (taulukko 1.) virityspareille oikeat kertoimet, riippuen mikä säädinkokoonpano on käytössä. [8.]

Taulukko 1. Ziegler-Nicholsin askelvastemenetelmän likimääräisiä virityskertoimia.

Ziegler-Nichols askelvastemenetelmä			
Säädintyyppi:	K_p	T_i	T_d
P	$0,5 * K_u$	-	-
PI	$0,45 * K_u$	$T_u/1,2$	-
PD	$0,8 * K_u$	-	$T_u/8$
PID	$0,6 * K_u$	$T_u/2$	$T_u/8$

2.2.3 PID-viritysohjelmistot

Nykyään suuremmissa laitoksissa ei enää juurikaan käytetä manuaalisia viritysmenetelmiä vaan turvaudutaan PID-viritysohjelmistojen käyttöön. Yksinkertaisimmillaan ne automatisoivat ainoastaan esimerkiksi Ziegler-Nicholsin menetelmän viritysarvojen laskennan. Tästä on erityisen suuri hyöty, jos kyseessä on erittäin hitaasti reagoiva prosessi jolloin käsin arvojen laskeminen ja säätäminen voi viedä kohtuuttoman pitkän ajan. Kehittyneemmät ohjelmistot pystyvät vielä tämän lisäksi hienosäätämään itseään tekemään erittäin pieniä muutoksia säädön asetusarvoon ja laskemalla prosessin muutoksen perusteella vielä tarkemmin optimoituja arvoja. [6.]

Maininnan arvoisia ilmaisia PID-viritysohjelmistoja ovat muun muassa

- Scilab
- GNU Octave
- PID Control Lab
- DotX Control Solutions PID tuning tool
- Tunewizard.

3 Prosessin mittaaminen

3.1 Yleistä

Prosesseissa on usein tarve mitata monia eri suureita, kuten

- paine
- lämpötila
- virtaus
- massavirta
- pinnankorkeus jne.

Prosesseissa läsnä olevien mitattavien suureiden muutoksiin on yleensä tarve reagoida, jotta prosessin toiminta saadaan pysymään optimaalisena kaikissa tilanteissa. Monissa tapauksissa esimerkiksi lämpötilan tai paineen kasvu voi olla suorastaan vaarallista ja täten vaatii välittömiä toimia vaaratilanteiden ehkäisemiseksi. Myös aiemmin käsitelty PID-säädin vaatii aina jonkin takaisinkytkennän säädettävästä prosessista. Se voi olla esimerkiksi jonkin yksittäisen prosessisuureen mittaus tai koostua useamman eri mittauksen yhdistelmästä.

3.2 Painemittaus

Painemittaus on yksi yleisimmistä mitattavista suureista prosessiteollisuudessa. Painetta voidaan mitata joko absoluuttisena paineena, suhteellisena paineena tai paine-erona. Absoluuttisessa painemittauksessa käytetään asteikkoa, jossa täydellinen tyhjiö on 0-paine. Suhteellisessa painemittauksessa mitataan painetta suhteessa ympäröivään ilmanpaineeseen. Paine-eromittauksessa puolestaan verrataan painetta johonkin toiseen prosessissa esiintyvään paineeseen. [9.]

Paineenmittaukseen on olemassa monia eri tapoja, nykyään yleisimmin prosessiteollisuudessa käytetyt painemittaukset käyttävät eri tavoin paineen aiheuttaman voiman mittaamista

- pietsoresistiivinen
- kapasitiivinen
- elektromagneettinen
- pietsosähköinen
- optinen
- potentiometrinen.

Näistä yleisimmin nykyään käytetty on pietsoresistiivinen mittausta. Sen toiminta perustuu siihen, että sen resistanssiarvo kasvaa, kun kasvava paine taivuttaa pietsoresistiivistä materiaalia. [10.]

Näiden lisäksi on myös olemassa muita mitattavia ominaisuuksia hyväksikäytettäviä mitaustyyppisiä:

- resonoiva
- terminen
- ionisaatio.

Näistä erityisesti resonointia käyttävä mittausta on mainitsemisen arvoinen, koska sillä saavutetaan erityisen vakaa mittaustulos [10].

Paineen mittaaminen on erittäin monipuolinen käytettävyydeltään, sillä paineen avulla voidaan epäsuorasti mitata muun muassa pinnankorkeutta, virtausta sekä tiheyttä [9].

4 Käytännön työ, suunnittelu

Opinnäytetyön käytännön osuuden perustana toimi asiakasyrityksen tilaama kontti-pumppaamon sähköistys sekä ohjauspiirin suunnittelu ja toteutus. Näistä rajattiin opinnäytetyön ulkopuolelle päävirtojen suunnittelu ja keskityttiin ainoastaan ohjausvirtapiirin suunnitteluun sekä kahden taajuusmuuttajan parametroinnin tekemiseen.

4.1 Laitteisto

Asiakas oli valinnut työhön käytettäväksi kaksi WEG:n 690V/132kW:n moottoria, joita ohjattaisiin kahdella Danfossin VLT Aqua Drive FC202 -sarjan taajuusmuuttajalla (kuva 2.).

Kontin sisällä on pumppujen ja taajuusmuuttajien lisäksi sähköpääkeskus, jonka ovesa sijaitsevat sekä pumppujen ohjaukseen käytettävät käyttökytkimet sekä merkkivalot. Pumput pumppaavat vettä eteenpäin kontin sisälle sijoitetusta säiliöstä, jonka tilavuus on noin 8m³.



Kuva 2. Kuva moottoreista pumppaamokontissa, sekä taajuusmuuttajat sivuseinillä.

Danfossilla on tarjolla FC202 -sarjan taajuusmuuttajiin laajennetun kaskadisäädön lisäoptiokortti, jolla saadaan käyttöön isäntä-seuraaja-konfiguraatio, joka mahdollistaa helposti useamman taajuusmuuttajaohjatun tai vakionopeuspumpun yhteiskäytön. Työn alkuvaiheessa oli tarpeen selvittää, onko tämän lisäoptiokortin käyttö tarkoituksenmukaista kyseisessä sovelluksessa vai tultaisiko vastaavat toiminnallisuudet toteuttamaan ohjelmoitavan logiikan avulla.

Lisäoptiokortin dokumentaatioon perehtymisen jälkeen päädyttiin ratkaisuun, jossa käytetään kyseistä korttia ohjelmoitavan logiikan sijasta sen hyvän kyseiseen sovellukseen soveltuvuuden vuoksi, sekä kustannussyistä.

Taajuusmuuttajien ohjaamiseen päätettiin toteuttaa normaalioloissa käytettävän isäntä-seuraaja-konfiguraation lisäksi molemmille oma ulkoinen käsisäätö sekä toisistaan riippumaton PID-säätö, joka käyttäisi takaisinkytkentänä kontin sisällä olevan säiliön pinnankorkeutta.

Kontin säiliö oli varustettu kahdella erillisellä painelähettimellä, joilla mitattiin säiliön pinnankorkeutta, sekä kaksi pressostaattia (kuva 3.) eli painekytkintä, jotka oli asennettu lisäsuojaksi estämään pumppujen kuivana pyöriminen, jos säiliön pinnankorkeus laskee pumppujen alapuolelle, mikä voisi johtaa niiden rikkoutumiseen.



Kuva 3. Pressostaatti sekä painelähetin.

Kontin päälle asennettiin hälytysmajakka, jonka oli määrä vilkkua, jos jompikumpi taajuusmuuttajista antaa hälytyksen. Tätä varten molemmista taajuusmuuttajista parametroidiin yksi rele, joka kytkettiin hälytysignaalin antamista varten majakkaan. Lisäksi sähkökeskuksen oveen käyttökytkimien yhteyteen sijoitettiin vielä erilliset merkkivalot molemmille taajuusmuuttajille. Molemmat pressostaatit varustettiin erillisillä kuittauspainikkeilla, jotka pitää kuitata aina, kun pinnankorkeus on käynyt pressostaatin alarajan alapuolella. Tämä tehtiin asiakkaan pyynnöstä jolloin pumppaamoä käyttävä henkilöstö varmemmin huomaa tavallisesta poikkeavan toiminnan (kuva 4.).



Kuva 4. Merkkivalot keskuksen ovelta.

Kummallekin pumpulle on oma Käsi-0-Auto-käyttökäytin, josta voidaan valita, toimiiko kyseinen pumpu käsiajolla vai automaattilla. Näiden lisäksi pumpuille on yhteinen PID-Kaskadi-valintakäytin, jolla valitaan, toimivatko pumput itsenäisesti oman PID-säätimen varassa vai isäntä-seuraaja-konfiguraatiossa isäntätaajuusmuuttajan PID-säätimen varassa. Käsiajotilassa pumpun nopeusohje annetaan keskuksen ovelta olevalla nopeusohjepotentiometrillä, joka on kytketty 0-10 V AI:n taajuusmuuttajassa. PID-säätimen takaisinkytkentänä käytettävä painelähetin oli kytketty 4-20 mA AI:n taajuusmuuttajassa.



Kuva 5. Pumppujen käyttökytkimet sekä nopeusohjepotentiometrit.

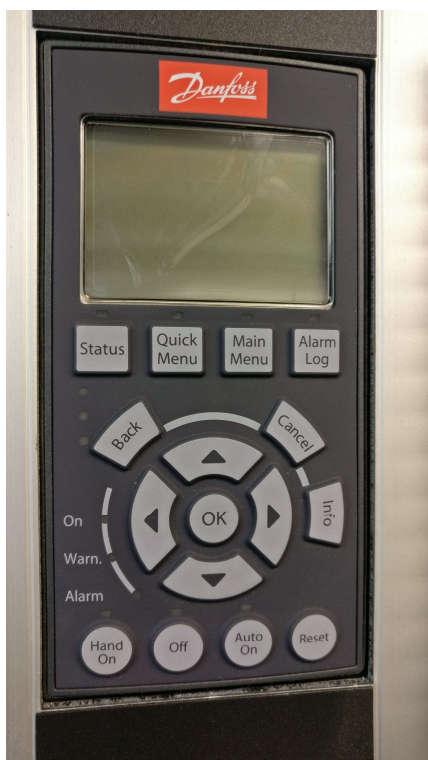
Koska pumppujen ohjaukseen päädyttiin toteuttamaan useita eri ohjaustapoja, oli tarpeen, että eri ohjaustavoilla pystytään käyttämään eri parametreja. Taajuusmuuttajista löytyi tätä varten neljä rinnakkaista parametrilistausta, ns. set-upia. Ennen kuin tähän ratkaisuun päädyttiin lopullisesti, piti vielä varmistaa, että kaikkia oleellisia parametreja on mahdollista muuttaa myös pumppujen pyöriessä.

Taajuusmuuttajien parametrintioppaassa oli listattu kaikki parametrit sekä voiko niiden arvoa muuttaa kesken ajan. Oppaan läpikäynnin jälkeen todettiin, ettei yksikään tarvittava parametri kuulu niiden joukkoon, joita ei voinut muuttaa pumppujen pyöriessä.

Set-upien välillä vaihtaminen toteutettiin kytkemällä Käsi-0-Auto-kytkimien sekä PID-Kaskadi-valintakytkimen kärjet taajuusmuuttajien DI:n nro. 18 ja 19 ja parametroimalla nämä toimimaan valintabitti 0 sekä 1:nä. Tällöin saatiin parametrilistat jaettua niin, että käsiajolla on käytössä set-up 1, itsenäisellä PID-säädöllä set-up 2 sekä isäntä-seuranta-konfiguraatiolla set-up 3. Set-up 1 on käytössä, kun kumpikaan valintabiteistä ei ole aktiivisena. Set-up 2 aktivoituu, kun valintabitti 0 saa arvon 1, sekä set-up 3 kun valintabitti 1 saa arvon 1. Työssä jäi käyttämättä viimeinen set-up 4, joka aktivoituu, kun molemmat valintabitit saavat arvon 1.

4.2 Danfoss VLT Motion Control Tool MCT-10

Kaikkien parametrien syöttäminen käsin LCP:n (kuva 6.) kautta jokaiselle set-upille ja molemmille taajuusmuuttajille olisi ollut kohtuuttoman työläs ja hidas prosessi.



Kuva 6. Taajuusmuuttajan LCP

Parametrintia varten Danfossilta löytyy ilmaiseksi ladattavissa oleva ohjelmisto nimeltä MCT-10. Ilmaisversiossa on muutama rajoitus täysversioon verrattuna se rajoittaa yhden projektin taajuusmuuttajien maksimimäärän neljään, eikä useamman taajuusmuuttajan samanaikainen parametrien kirjoitus tai luku onnistu. Tämä ei kuitenkaan haitannut kyseisessä sovelluksessa taajuusmuuttajien määrän ollessa vain kaksi. Useamman taajuusmuuttajan parametrien luku tai kirjoitus on hyödyllinen ainoastaan, jos ne parametroidaan täysin identtisillä parametreilla.

Ohjelman käyttö oli hyvin yksinkertaista eikä vaatinut erityisempää käyttöohjeen lukemista alkuun pääsemiseksi. Normaalien parametrilistojen lisäksi ohjelmasta löytyy muutama asetusten tekoa helpottava graafinen käyttöliittymä. Näistä erityisesti laajennetun kaskadiohjauksen käyttöliittymät osoittautuivat erittäin hyödyllisiksi sekä suunnittelu-,

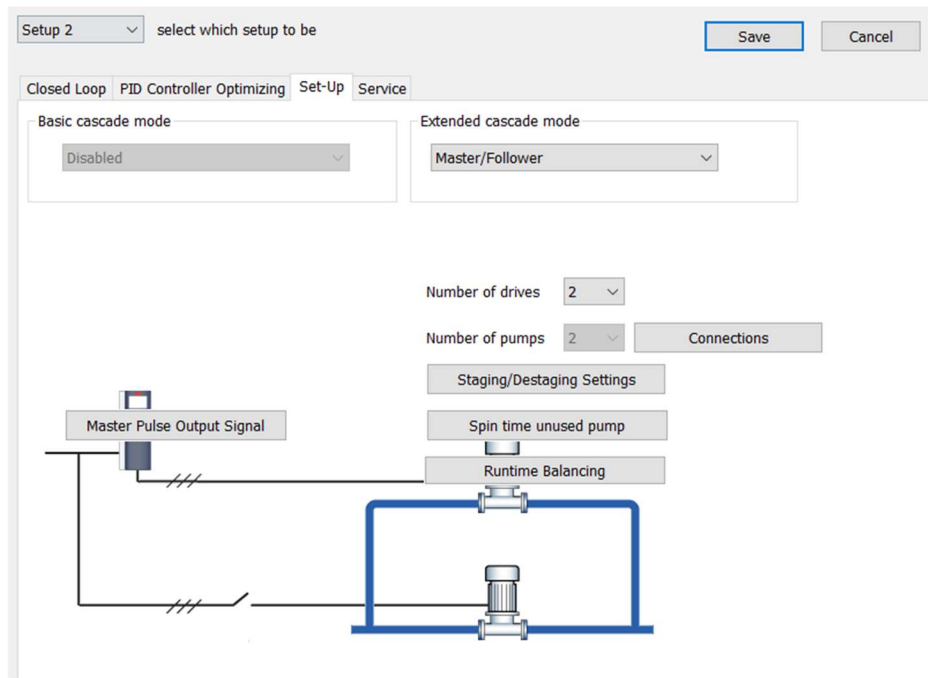
että käyttöönottovaiheessa. Kaikki säädön kannalta oleelliset parametrit on koottu muuttamaan selkeään näkymään eikä niitä tarvinnut etsiä parametrivalikoista (kuva 7.).

The screenshot shows a configuration window for a PID controller. At the top, there is a dropdown menu for 'Setup 2' and buttons for 'Save' and 'Cancel'. Below this, there are tabs for 'Closed Loop', 'PID Controller Optimizing', 'Set-Up', and 'Service'. The main area contains several sections:

- Control Mode:** Checkboxes for 'Closed Loop' and 'Level Control (Increase speed at increased feedback signal)'. Radio buttons for 'Internal Setpoint' (selected) and 'External Setpoint'. A text field for the setpoint value '10.900'.
- Unit Type:** A dropdown menu for 'Setpoint and Feedback unit type' set to 'kPa'.
- Setpoint Section:** 'Signal source' set to 'Analog Input 53'. A 'Switch position' icon with a 'Show location & settings' button. Two graphs showing 'S.P. High' and 'S.P. Low' vs 'AI Low' and 'AI High'. Text fields for 'Setpoint High: 500.00 kPa' and 'Setpoint Low: 1.00 kPa'. 'AI Low: 4.00 mA' and 'AI High: 20.00 mA'.
- Feedback Section:** 'Signal source' set to 'Analog Input 54'. A 'Switch position' icon with a 'Show location & settings' button. Two graphs showing 'F.B. High' and 'F.B. Low' vs 'AI Low' and 'AI High'. Text fields for 'Feedback High: 500.00 kPa' and 'Feedback Low: 1.00 kPa'. 'AI Low: 4.00 mA' and 'AI High: 20.00 mA'.
- Reference Range:** 'Min Reference: 0.000 kPa' and 'Max Reference: 15.000 kPa'.
- Live Zero:** 'Live Zero Time Out' set to 'Off'. Checkboxes for 'Enable Terminal 53 Live Zero' and 'Enable Terminal 54 Live Zero'.
- Digital Input:** 'Digital input for low level signal' with 'Digital I/O' set to 'PNP - Active at 24V' and 'DI 32'.
- External Interlock Delay:** A text field set to '0'.

Kuva 7. Takaisinkytkennän parametrien asettelu graafinen käyttöliittymä. Kuvassa isäntätaajuusmuuttajan arvoja itsenäiselle PID-käytölle.

Kaskadiohjauksessa oleelliset parametrit oli kerätty kuvan 8. mukaiseen näkymään, josta pystyttiin helposti muuttamaan muun muassa taajuusmuuttajien ja pumppujen määrää, lisäpumppujen käynnistys- sekä pysäytysasetuksia, käyntiaikojen tasaamisen parametreja sekä määrittämään pulssiohjauksen DI/DO.



Kuva 8. Kaskadiohjauksen graafinen näkymä.

Kaskadiohjauksessa tarvittavat kytkennät taajuusmuuttajien välillä isäntä-seuraaja-konfiguraatiossa olivat hyvin yksinkertaiset. Käytännössä niiden välille tuli isäntään yksi rele, joka parametroitiin kaskadiohjausreleeksi, joka antaa käynnistyskäskyn seuraajataajuusmuuttajan käynnistyksen sallintatuloon. Tämän lisäksi isäntätaajuusmuuttajassa otettiin yksi DO käyttöön pulssilähdöksi, joka antaa pyörimisnopeuden pulssitietona seurantaajuusmuuttajan DI:n.

5 Käytännön työ, käyttöönotto

Konttipumppaamon käyttöönotto päätettiin vielä ottaa mukaan osaksi opinnäytetyön käytännön osuutta aikataulun näin salliessa. Projektiin oli lisäksi määritelty kirjallisen käyttöohjeen tekeminen sekä mahdollisesti perehdytyskoulutuksen pitäminen kaivoksella pumppaamon tulevalle käyttöhenkilöstölle. Nämä rajattiin kuitenkin työn ulkopuolelle aikataulujen epävarmuuden vuoksi. Tämä tehtiin osittain myös siksi, että pumppaamo ei ollut mahdollista testata Vantaan toimipisteellä, jossa sähköistys tehtiin. Pumppujen yhteenlaskettu maksimituotto oli pumppujen arvokilpien perusteella noin 570m³/h. Tällaisia vesimääriä olisi ollut mahdotonta saada käyttöön, kuin myös 690 V:n sähkönsyöttöä joka olisi mahdollistanut pumppujen pyörittämisen.

Konttipumppaamon käyttöönotto ajoittui huhtikuun 2017 lopulle, jolloin kaivosalue, joka sijaitsee noin. 50km Sodankylästä pohjoiseen, ei ollut vielä alkanut mainittavasti sulamaan mikä olisi aiheuttanut suurta pumppaustarvetta. Käyttöönoton aikana kontin vesisäiliöön syötettiin vettä yhdellä uppopumpulla, jonka tuotto oli noin 130m³/h. Myöhemmin kevään alkaessa konttia oli tarkoitus alkaa syöttää kolmella vastaavalla uppopumpulla, jolloin niiden yhteenlaskettu tuotto olisi noin 400m³/h.

Pumppaamo oli sijoitettu noin 60 metrin syvyyteen avolouhoksessa, koko louhoksen syvyyden ollessa käyttöönottohetkellä noin 120 metriä. Pumppujen oli pystyttävä pumppaamaan vettä 60 metrin verran ylöspäin louhoksen reunan yli, mikä luo huomattavan vastapaineen putkistoon. Tämä aiheutti jonkin verran haasteita saada taajuusmuuttajat säädettyä niin että ne ajaisivat pumppuja aina sellaisella nopeudella, ettei vastapaine ylitä pumpun tuottoa, jolloin vesi valuu takaisin pumppujen läpi säiliöön.

Pumppujen sallittu käyttöalue oli 5–50Hz, 50 Hz:n nimellistaajuudella pumpun pyörintänopeus oli 2980 rpm. Käytännössä veden nostokorkeuden vuoksi pienin käyttökelpoinen taajuus oli n. 37 Hz, jolloin yksi pumppu pystyi voittamaan vastapaineen. Parametreissa

tämän taajuuden asettaminen onnistui helposti itsenäiselle PID-säädölle, mutta kaskadiohjauksen kohdalla se aiheutti suuria haasteita, koska minimipyörimisnopeuden määrittäminen avoimen piirin tilassa olevalle seuraajataajuusmuuttajalle sai sen käynnistymään aina ja pyörimään tällä nopeudella, vaikkei isäntätaajuusmuuttaja antanut käynnistyskäskyä.

Käytännössä minimipyörimisnopeus jouduttiin jättämään tämän takia pois kaskadiohjauksesta. Normaalitylanteessa tämän ei pitäisi aiheuttaa ongelmia niin kauan, kun vettä tulee konttipumppaamolle. Ongelmia saattaisi silti ilmetä, jos ja kun konttia syöttävät pumput joudutaan sammuttamaan huoltoa tms. varten. Vastapaineesta johtuvien paineiskujen välttämiseksi päätettiin, että lähtevään putkeen lisätään takaiskuventtiili myöhemmässä vaiheessa.

Alkuvaiheen ongelmien ja muutaman kytkentävirheen löytymisen ja korjaamisen jälkeen oli pumput saatu toimimaan suhteellisen vakaasti ja luotettavasti. Seuraavaksi tarkoituksena oli säätää taajuusmuuttajien PID-säätimien parametrit optimaalisiksi. Säätötoimet aloitettiin ensin hakemalla karkeat arvot kokeilemalla, jonka jälkeen oli tarkoitus käyttää taajuusmuuttajissa sisäänrakennettuna olevaa PID-autotuning-työkälyä.

Seuraavana ongelmaksi muodostui painelähtimet, joiden mittausalue ei ollut kaikkein optimaalisin tähän käyttötarkoitukseen. Säädön kannalta oleellinen pinnankorkeus oli noin 0–1,5 m ja lähtimien piti olla mittausalueelle 0,1–10 m. Käyttöönoton yhteydessä osoittautui, että kyseessä oli muuten samanlainen painelähtin mutta mittausalue olikin 0,5–50 m. Tämän johdosta mittauksesta tuli jokseenkin epätarkka. 4–20 mA:n virtaviestistä oli käytössä käytännössä vain 4–4.6 mA, ja se johti pinnankorkeuden arvoissa hyvin karkeisiin porrasmaisiin muutoksiin.

Käytännössä mittauksella saatu pinnankorkeus tuli taajuusmuuttajalle seitsemän senttimetrin portaina, mikä johti PID-säätimen epävakaaseen toimintaan. Säädin jatkoi pumpun kiihdyttämistä, vaikka pinnankorkeus oli jo kääntynyt laskuun, koska tätä ei pystytäkään havaitsemaan tarpeeksi tarkasti.

PID-autotuning oli mahdotonta saada onnistumaan ilman, että pinnankorkeus karkasi niin korkealle, että vettä tuli kontin päällä olevasta ylivuodosta, jolloin PID-autotuningin saavuttamat viritysarvot eivät enää pidä paikkaansa.

Kärsivällisellä käsisäädöllä sekä ramppiaikojen säädöllä pinnankorkeus ja pumppujen nopeus saatiin lopulta pysymään kohtuullisen vakaana. Selvityksen alle jäi, miksi painelähttimiksi oli valittu väärällä mittausalueella varustetut mallit sekä tullaanko ne vielä jossain vaiheessa vaihtamaan toisiin.

6 Yhteenveto

Työtä aloitettaessa tiedettiin, että PID-säätimen säätämiseen on olemassa monia erilaisia tapoja, ja näiden vertailun yhteydessä saatiin parempi ymmärrys PID-säätimen ja sen eri osien toimintaan.

Tärkeimpinä huomioina viritystapaa valittaessa oli säädettävän prosessin luonteen selvittäminen ja sitä kautta minkä tyyppinen säätö on optimaalinen kyseiselle prosessille. Voidaan myös perustellusti sanoa, ettei säätimen D-osaa kannata välttämättä käyttää, ellei sille ole erityistä tarvetta prosessin luonteesta johtuen.

Käytännön osuuden lopputuloksena saatu valmis konttipumppaamo tulee toimimaan kairoksen vedenpoistossa seuraavien lähivuosien ajan ja on tarvittaessa helposti siirrettävissä toiseen kohteeseen.

Lähteet

- 1 JTL-Control Oy. Verkkosivut. <<http://www.jtl-control.fi/fi/yritys.html>> Luettu 13.2.2017
- 2 Xylem Water Solutions Suomi Oy. Verkkosivut. <<http://www.xylemwatersolutions.com/scs/finland/fi/industries/Sivut/default.aspx>> Luettu 13.2.2017
- 3 PID-säädin. 2016. Verkkodokumentti. Wikipedia. <<https://fi.wikipedia.org/wiki/PID-s%C3%A4%C3%A4din>> Päivitetty 2.12.2016. Luettu 14.2.2017
- 4 Mäkinen Jarno. 2014. Insinööriyö. PID- ja kaskadisäädinten vitysmenetelmien vertailua. <<https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/74833/Insinoori-tyo.pdf?sequence=1>> Luettu 14.2.2017
- 5 Control Notes. Reflections of a Process Control Practitioner. 2011. Verkkoblogi. <<http://blog.opticontrols.com/archives/344>>
- 6 PID-controller. 2017. Verkkodokumentti. Wikipedia. <https://en.wikipedia.org/wiki/PID_controller#Proportional_term> Päivitetty 7.3.2017. Luettu 7.3.2017
- 7 Ziegler-Nichols tuning rules for PID. 2010. Verkkodokumentti. <<http://www.mstar-labs.com/control/znrule.html>> Luettu 4.4.2017
- 8 Ziegler-Nichols method. 2017. Verkkodokumentti. Wikipedia. <https://en.wikipedia.org/wiki/Ziegler%E2%80%93Nichols_method> Päivitetty 14.3.2017. Luettu 4.4.2017
- 9 Paineen mittaus ja säätö. 2017. Verkkodokumentti. <<http://www.sarlin.com/fi/Automaatio/Prosessiautomaatio/Paine/Paineen-mittaus-ja-saato>> Luettu 6.4.2017
- 10 Pressure sensor. 2017. Verkkodokumentti. Wikipedia. <https://en.wikipedia.org/wiki/Pressure_sensor> Päivitetty 23.3.2017. Luettu 7.4.2017