

Miska Hänninen

Pesukeskuksen pumppuohjauksen modernisointi

Opinnäytetyö

Kevät 2012

Tekniikan yksikkö

Automaatiotekniikan koulutusohjelma

Koneautomaation suuntautumisvaihtoehto



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö

Koulutusohjelma: Automaatiotekniikan koulutusohjelma

Suuntautumisvaihtoehto: Koneautomaation suuntautumisvaihtoehto

Tekijä: Hänninen Miska

Työn nimi: Pesukeskuksen pumppuohjauksen modernisointi

Ohjaajat: Tupamäki Ismo
Mäki-Soini Lasse

Vuosi: 2012

Sivumäärä: 45

Liitteiden lukumäärä: 2

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tehdä modernisointi- ja kehityssuunnitelma jo olemassa olevan pumppuryhmän ohjaukselle. Ohjaus haluttiin uudistaa, koska se oli jo vanha ja kaikkia sen osia ei enää ollut saatavilla varaosina. Ohjauksesta haluttiin saada myös järkevämpi sekä huollettavuutta ja vikatilanteita helpottava. Nykyisestä ohjauksesta ei ole ajantasaisia sähkökuvia ja toimintakuvausta, lisäyksiä ja muutoksia on tullut vuosien varrella paljon.

Työn alussa kartoitettiin nykyisen ohjauksen komponentit ja toimintamalli. Koska ajantasaista toimintamallia ei ollut kirjallisena, tieto täytyi kerätä ihmisiltä, jotka laitteen kanssa olivat olleet tekemisissä sekä itse laitetta tutkimalla. Apuna toiminnan kartoituksessa käytettiin dataloggeria, jolla kerättiin tietoa ohjauksen toiminnasta. Nykyisen ohjauksen puutteiden ja heikkouksien pohjalta aloitettiin suunnittelu uudelle toimintamallille ja ohjaukselle.

Opinnäytetyön tuloksena saatiin pumppuryhmän ohjauksen modernisointisuunnitelma. Modernisointisuunnitelmassa pumppuryhmän ohjaus on toteutettu niin että nykyisen ohjauksen ongelmat on saatu poistettua, sekä laitetta on kehitetty vastaamaan sille asetettuja vaatimuksia.

Avainsanat: pumppu, pumppuohjaus, modernisointi, uudistaminen, kehittäminen

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Automation Technology

Specialisation: Machine Automation

Author: Hänninen Miska

Title of the thesis: Modernization plan for the control system of a pump assembly

Supervisors: Tupamäki Ismo
Mäki-Soini Lasse

Year: 2012 Number of pages: 45 Number of appendices: 2

The purpose of this thesis was to make a modernization and a development plan for the control system of a pump assembly. The control system needed to be renewed, because it was outdated, and all of its spare parts were no longer available. Another aim was to make the actual controlling more rational in order to ease maintenance and make faults more approachable. Real-time electrical diagrams and descriptions of operations for the current control system do not exist, because there have been many additions and changes over the years.

First, all of the current control system's parts and operations were studied. Because up-to-date documents about the control system were missing, the data needed was acquired from people who had worked with the machine. Some information was also gathered by studying the machine. A data collection system was used, as well, to survey the machine functions. Based on the lacks and weaknesses of the current control system, a planning for the new operational approach and control model was started.

As a result of this thesis, a modernization plan was created for the pump assembly's control system. In that modernization plan, the controlling of the pump assembly is executed so that the problems of the current control system are removed, and the machine is improved to meet all the requirements it was created for.

With this thesis, it is possible to gather what is needed to be taken into account in the machine's modernization, and what benefits may be achieved with modernization.

Keywords: pump, pump assembly, control system, modernization

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract.....	3
SISÄLTÖ.....	4
KÄYTETYT TERMIT JA LYHENTEET.....	6
1 JOHDANTO.....	7
1.1 Työn tausta.....	7
1.2 Työn tavoite.....	7
1.3 Työn rajaus.....	7
2 PUMPPUKÄYTÖT.....	8
2.1 Kavitaatio ja paineiskut.....	8
2.2 Keskipakopumput ja paineensäätö.....	9
2.3 Ohjelmoitava logiikka.....	10
2.4 Säätojärjestelmä.....	11
2.5 Sääto menetelmiä.....	12
2.5.1 Kaksipistesäätö.....	13
2.5.2 P-säätö.....	13
2.5.3 PI-säätö.....	14
2.5.4 PID-säätö.....	15
3 NYKYISEN LAITTEISTON KARTOITTAMINEN.....	17
3.1 Mekaaninen rakenne.....	18
3.2 Ohjauksen rakenne.....	19
3.3 Logiikkaohjelman toiminta.....	20
3.4 Dataloggerin käyttö.....	20
3.5 Nykyisen ohjauksen ongelmat ja kehitettävät kohteet.....	22
4 UUDEN OHJAUKSEN SUUNNITTELU.....	24

4.1 Ohjauksen rakenne	24
4.2 Komponenttien valinta.....	24
4.3 Kytkenä	25
4.3.1 Tulot.....	25
4.3.2 Lähdöt.....	26
4.4 Turvallisuus.....	28
5 LOGIIKAN JA OHJAUSPANEELIN OHJELMOINTI	30
5.1.1 Ajovalintakytkin	31
5.1.2 Pumppujen kiertojärjestys	31
5.1.3 Pumppujen käynnistys ja sammutus.....	32
5.1.4 Paineen säätö ja pumppujen ohjaus	32
5.1.5 Häiriöt.....	36
5.2 Ohjauspaneeli	36
6 TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELUT	40
6.1 Tavoitteiden toteutuminen.....	40
6.2 Suunnitelman toteutus ja sen jatkokehitys	41
LÄHTEET	42
LIITTEET	43

KÄYTETYT TERMIT JA LYHENTEET

Kavitaatio	Haitallinen ilmiö hydraulisissa laitteissa, voi aiheuttaa voimakasta ääntä, värähtelyä sekä paineiskuja
Paineisku	Haitallinen ilmiö hydraulisissa laitteissa, riittävän suuri paineisku voi vaurioittaa järjestelmää
Dataloggeri	Laitteeseen tuodaan digitaalisia ja/tai analogisia signaaleja. Laite tallentaa niiden muutoksia halutun ajan ja tieto voidaan siirtää tietokoneelle ja tarkastella esim. viimeisen vuorokauden aikaisia tapahtumia.
Säätöjärjestelmä	Säätöjärjestelmä pyrkii pitämään jonkin suureen halutun suuruisena.
Säätösuure	Suure, jota säädin säätää, esim. lämpötila, paine, nopeus.
Tilasuure	Tilasuureilla kuvataan säätimen sisäisiä olosuhteita.
Tulosuure	Ohjaus- ja häiriösuureet
Ohjaussuure	Suure, jolla säätö säätää toimilaitetta
Häiriösuure	Mahdolliset virhettä aiheuttavat suureet säätimen ohjaussuureissa.
Lähtösuure	Säätöjärjestelmästä ulos lähtevä suure
Siemens Step 7	Siemens logiikoiden ohjelmointityökalu
Wincc	Siemensin valvomo-ohjelmisto
Template-sivu	Valvomo-ohjelman sivu, joka voi sisältää esim. hälytysikkunat. Sivulla olevat asiat näkyvät kaikilla muilla sivuilla kun esim. hälytys on aktiivinen.

CADS Planner

Sähkösuunnittelu ohjelma

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö on tehty elintarvikkeita tuottavalle yritykselle, Atria Suomelle. Atria Suomi on Atria Oyj:n tytäryhtiö, joka vastaa konsernin Suomen toiminnoista. Yritys kehittää, valmistaa ja markkinoi tuoreita elintarvikkeita ja niihin liittyviä palveluja. Yrityksen palveluksessa toimii tällä hetkellä noin 5900 henkilöä, ja sen juuret ulottuvat vuoteen 1903, jolloin perustettiin sen vanhin omistajaosuuskunta. Yrityksen liikevaihto oli vuonna 2011 noin 1,3 miljardia euroa. (Atria, [viitattu 12.4.2112])

1.1 Työn tausta

Tutkimuksen kohteena oli seitsemän pumpun ryhmä ja sen ohjaus, jonka tarkoituksena on pitää pesulinjastossa vakiovedenpaine. Pumppuryhmän ohjaus ei ole enää nykyaikainen, eikä sen kaikkia osia ole enää saatavilla varaosana. Vanhasta ohjauksesta ei ole ajantasaisia sähkökuvia ja toimintakuvausta. Lisäyksiä ja muutoksia on tullut vuosien varrella paljon.

1.2 Työn tavoite

Opinnäytetyön tavoitteena oli saada pumppuryhmän ohjaukselle modernisointi- ja kehityssuunnitelma. Ohjauksesta haluttiin nykyaikainen sen komponenttien sekä toiminnan kannalta. Uuden ohjauksen haluttiin myös helpottavan laitteen huoltoa ja vikatilanteiden selvittämistä. Samalla sähkökuvat ja laitteen toimintakuvaus saadaan ajantasaisiksi.

1.3 Työn rajaus

Opinnäytetyössä käsitellään jo olemassa olevaa pumppuryhmää. Työssä ei oteta kantaa pumppuryhmän mekaaniseen rakenteeseen. Työssä luodaan pumppuryhmän sähköiselle ohjaukselle modernisointisuunnitelma. Työssä ei käsitellä suunnitelman toteuttamista, eikä uuden ohjauksen käyttöönottoa.

2 PUMPPUKÄYTÖT

Pumppukäyttöä ja sen ohjausta suunnitellessa on tunnettava pumpun ja koko järjestelmän käyttäytyminen erilaisissa tilanteissa. Kavitaatio ja paineiskut voivat aiheuttaa vauriota järjestelmään ja on syytä huolehtia että niitä ei pääse syntymään. Paineensäätö voidaan toteuttaa monella tavalla ja valitsemalla oikea tapa järjestelmästä saadaan vakaa ja energiatehokas.

2.1 Kavitaatio ja paineiskut

Kavitaatio on haitallinen ilmiö, joka voi esiintyä putkistossa, pumpuissa ja venttiileissä. Kavitaatiolla on monia haitallisia vaikutuksia: melu, materiaaleja väsyttävä värähtely, materiaalien kuluminen ja heikentyminen, huonontunut pumppauksen hyötysuhde, merkittävä vastuksen kasvu pumppaamiselle ja vaarallisten paineiskujen syntyminen. Kavitaatiossa nesteen paine alittaa höyrystymispaineen, jolloin nesteestä alkaa erottua höyrykuplia ja höyryonteloita. Paineen jälleen ylittäessä höyrystymispaineen höyrykuplat ja höyryontelot romahtavat kasaan aiheuttaen hyvin paikallisen paineiskun. Erityisesti kuplatyyppisessä kavitoinnissa, jota esiintyy hydraulisisissa laitteissa (pumppujen juoksupyörät), kuplat iskeytyvät kasaan hyvin pienellä alalla mikä aiheuttaa todella voimakkaan paineiskun. Voimakas kavitointi voidaan huomata terävänä ja kovana äänenä, lievempi kavitointi voi aiheuttaa suhinamaisen äänen. (Pulli 2009, 25-26, 30-37, 40-42.)

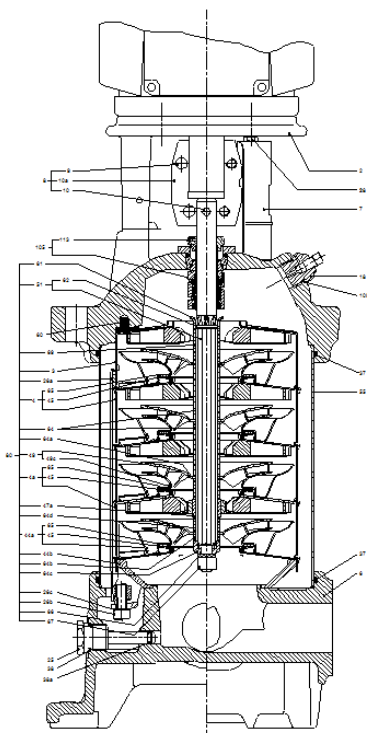
Kavitoinnin lisäksi paineiskuja voi aiheuttaa mm. nopea venttiilin sulkeminen, takaiskuventtiilin sulkeutuminen, sähkökatkon aiheuttama pumppausseisokki ja pumpun käynnistäminen sähkökatkon jälkeiseen kavitointitilaan. Pahimmillaan paineiskut voivat aiheuttaa putkisto- tai komponenttivaurioita. Paineiskuja voidaan hallita useilla erilaisilla hallintalaitteilla, joista yksi on painesäiliö. Painesäiliön yläosassa on ilmaa, joka puristuu kokoon paineen kasvaessa. Tätä paine-energiaa hyväksikäyttäen saadaan vettä syötettyä linjaan paineen laskiessa, ja taas paineen noustessa paluuvirtaus saadaan pidettyä hallittuna. Vesi- ja ilmatila on usein yhteistä. Ajan mittaan ilma pääsee liukenemaan veteen, jolloin ilmamäärää täytyy

tarkkailla säiliön vaimennuskyvyn ylläpitämiseksi. (Pulli 2009, 25-26, 30-37, 40-42.)

2.2 Keskipakopumput ja paineensäätö

Keskipakopumppu on teollisuuden eniten käytetty pumpputyyppejä. Pumppuja on teollisuudessa paljon ja monesti ne muodostavat suurimman osan prosessin sähkönkulutuksesta. Oikealla pumpaustavalla saadaan prosessi toimimaan tasaisesti ja varmasti, sekä säästetään merkittävästi sähköä. (Motiva, 2009.)

Keskipakopumpun toiminta perustuu sen nimen mukaisesti keskipakovoimaan. Keskipakovoima pakottaa juoksupyörän siipien välissä olevan nesteen juoksupyörän ulkokehälle, ulkokehältä pumpun pesään ja sitä kautta paineputkeen. Keskipakopumppu ei siis ole niin sanottu itse imeväpumppu, vaan keskipakopumppu täytyy olla täynnä vettä, ennen kuin se käynnistetään. Kuvassa 1 on keskipakopumpun halkileikkauskuva. (Grundfos, 2011.)



Kuva 1. Keskipakopumpun halkileikkauskuva. (Grundfos 2011.)

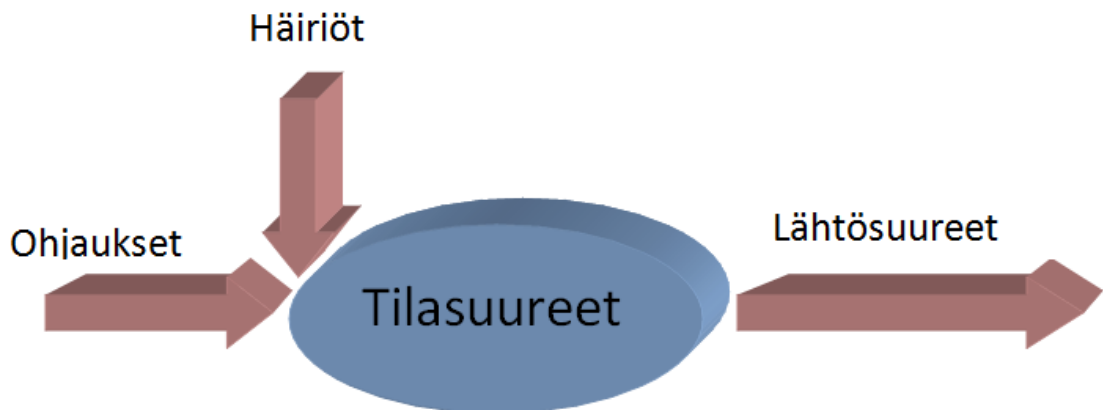
Virtauksen säädössä, kun pumppausvastus muodostuu pelkästään putkiston häviöistä, virtaus kasvaa lineaarisesti pyörimisnopeuden kasvaessa. Keskipakopumpun rakenteesta johtuen sen ominaisuuden eivät ole ihanteelliset, kun pumppua käytetään paineen korotukseen, koska korkealla paineella ja pienillä kierroksilla pumppu ei saa aikaan virtausta, vaan pumppu ”luistaa”. Kierrosten noustessa riittäväksi pumppu saavuttaa tasapainotilanteen, jolloin syntyy virtaus. Kierroslukusäädön käyttöä ei suositella paineensäätöön, jos järjestelmän nostokorkeus muodostuu pelkästään staattisesta nostokorkeudesta. Parempi ratkaisu on käyttää useita rinnakkain kytkettyjä vakionopeuspumppuja, jolloin päästään myös parempaan energiatehokkuuteen. Myös vakionopeuspumppujen ja kierroslukusäätöisten pumppujen yhdistelmä on hyvin yleinen ja toimiva ratkaisu. Silloin on kuitenkin varmistettava, ettei kierroslukusäädettävä pumppu pääse jäämään rinnalla olevan vakionopeuspumpun katveeseen ja huonolle toiminta-alueelle. Pumppu voi siis pyöriä tuottamatta mitään, tai sen hyötysuhde voi olla todella huono. (Pulli 2009, 65-67.)

2.3 Ohjelmoitava logiikka

Ohjelmoitava logiikka on uudelleenohjelmoitavissa oleva laite, jota käytetään ohjaamaan koneita ja laitteita. Ohjelmoitavista logiikoista puhuttaessa käytetään monesti myös lyhennettä PLC (Programmable Logical Controller). PLC koostuu viidestä pääosasta: tuloyksikkö, lähtöyksikkö, prosessori, flash-muisti ja tiedonsiirtoportti. Tuloyksikkö ottaa vastaan tietoa laitteen antureilta ja painikkeilta, prosessori käsittelee tiedot ja ohjaa laitteen toimilaitteita lähtöyksikön kautta. PLC ohjelmoidaan tavallisella tietokoneella. Ohjelma siirretään tiedonsiirtoportin kautta PLC:n muistiin. (Frid & Johnsson 2001, 98-100.)

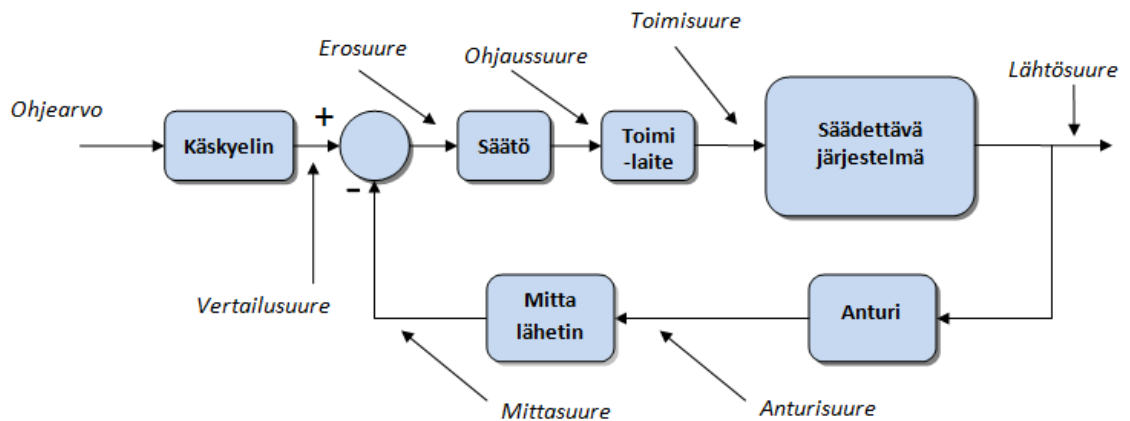
2.4 Säätojärjestelmä

Säätojärjestelmällä pyritään pitämään *sääto suure* halutussa arvossa. Säätojärjestelmän sisäisiä olosuhteita kuvataan *tilasuureilla* (kuva 2). Tyypillisiä esimerkkejä tilasuureista ovat lämpötila, paine, nopeus ja paikka. Sellaiset suureet, mitkä vaikuttavat järjestelmän tilaan, ovat *tulosuureita*. Tulosuureita on kahdenlaisia, sellaiset joita voidaan halutulla tavalla muuttaa, eli *ohjauksuureet*, ja ne suureet mitkä ei voida hallita, eli *häiriösuureet*. Jotta järjestelmää voitaisiin kutsua säätojärjestelmäksi, tulee järjestelmän pystyä vaikuttamaan ympäristöönsä. Tämä tapahtuu *lähtösuureiden* avulla, jotka määritellään tilasuureiden funktioksi. Näitä suureita tutkitaan sääto teoriassa matemaattisten mallien avulla, jotka ovat aina todellisuutta yksinkertaistavia. (Savolainen & Vaitinen 1999, 16-18.)



Kuva 2. Säätojärjestelmän kuvaus.

Kun säätojärjestelmässä on takaisinkytkentähaara, sitä kutsutaan suljetuksi sääto piiriksi. Muita sääto piirin osia ovat käskyelin, sääto, toimilaite, itse säädetty järjestelmä, anturi ja mittalähetin (Kuva 3).



Kuva 3. Suljettu takaisinkytketty säätöjärjestelmä.

Anturin tehtävä on tutkia *lähtösuureen* muutoksia. Lähtösuureesta anturi muodostaa *anturisuureen*, mikä lähetetään **mittalähttimelle**. Mittalähetin muuttaa anturisuureen *mittaussuureeksi*. **Käskyelin** muodostaa sille annetusta *ohjearvosta vertailusuureen*. Ohjearvon ja vertailusuureen erotuksesta muodostuu *erosuure*, jonka avulla **säätö** säätää **toimilaitetta** *ohjaussuureen* välityksellä. Toimilaitte taas muodostaa *toimisuureen*, jolla säädetään itse **säädettävää järjestelmää**. Tätä kokonaisuutta kutsutaan säätimeksi. Säädin voi olla erillinen laite, niin kutsuttu yksikkösäädin, mutta säädin voi olla myös ohjelmallisesti toteutettu ohjelmoitavassa logiikassa. (Savolainen & Vaitinen 1999, 20-21.)

2.5 Säätömenetelmiä

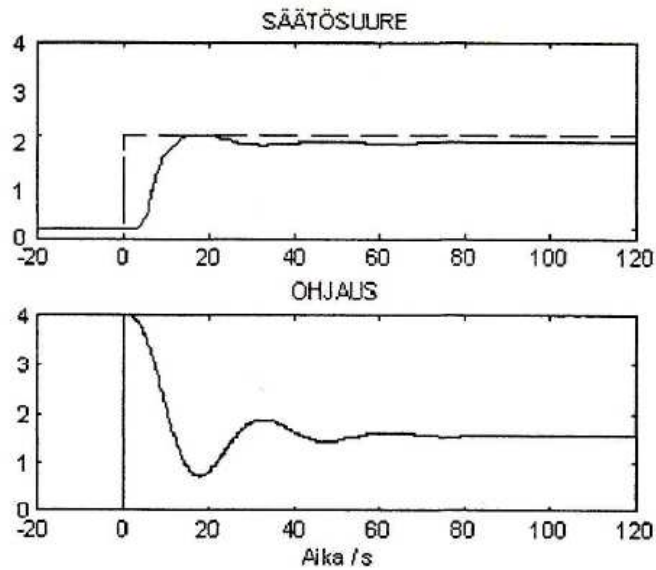
Se, miten säädin säätää toimilaitetta sille annettujen signaalien perusteella, määräytyy säätölohkossa olevassa säätöalgoritmista. Säätöalgoritmi pyrkii ohjaamaan toimilaitetta niin, että säätösuure pysyisi sille annetussa ohjearvossa. Säätölohkon sisältämistä säätömenetelmistä ehkä yleisimpiä ovat kaksipistesäätö, proportionaalisäätö eli P-säätö, PI-säätö ja PID-säätö. (Savolainen & Vaitinen 1999, 38.)

2.5.1 Kaksipistesäätö

Kaksipistesäätö on kaikkein yksinkertaisin säätömenetelmä. Kaksipistesäädössä säätösuurelle annetaan ylä- ja alarajalla määritelty sallittu alue, minkä välissä säätösuure yritetään pitää. Säätolohkolta toimilaitteelle lähtevällä ohjaussuureella on tällöin vain kaksi tilaa, päälle tai pois päältä (esimerkiksi pumppu tai lämpöpatteri). Kun säätösuure laskee alarajalle, toimilaitte asetetaan päälle ja kun taas saavutetaan yläraja, toimilaitte asetetaan pois päältä. (Savolainen & Vaittinen 1999, 38.)

2.5.2 P-säätö

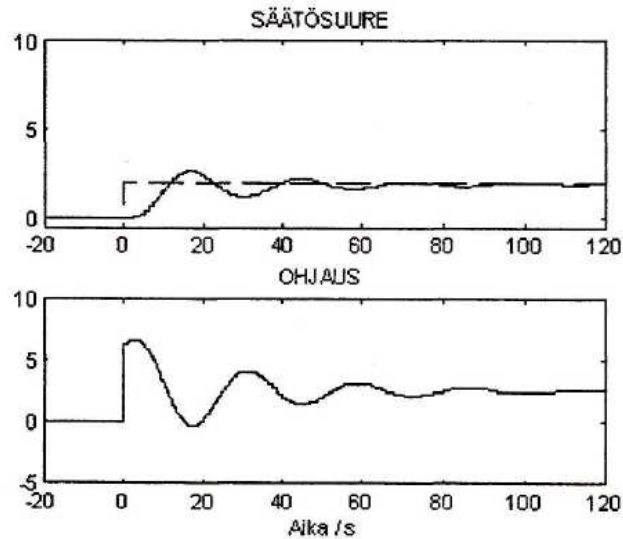
P-säätö on proportionaalinen, eli suhteellinen tai verrannollinen säätö. Säätimessä on yksi viritysparametri, *vahvistus* = K_p . Ohjaussuure on siis erosuureen ja vahvistuksen tulo. Mitä suurempia vahvistus ja erosuure ovat, sitä suurempi on ohjaussuure. Jos erosuuretta ei ole, eli on päästy ohjearvoon, ohjaussuure on nolla. Ohjaussuure voi olla myös negatiivinen. Säätolohkolta lähtävä ohjaus on siis suoraan verrannollinen erosuureen arvoon. Koska ohjaussuure on nolla erosuureen ollessa nolla, P-säätöä käytettäessä ohjearvolla ja säätösuurella on aina pieni säätöpoikkeama. Säättöpoikkeama on sitä pienempi, mitä suuremmaksi vahvistus asetetaan, mutta määrättömästi vahvistusta ei voida kuitenkaan kasvattaa. Vahvistuksen ollessa liian suuri, pienikin erosuure aiheuttaa voimakkaan ohjauksen ja säätöjärjestelmästä voi tulla epävakaata. Kuvassa 4 on esitetty P-säädön käyttäytymisen, kun ohjearvo muuttuu askelmaisesti. Kuvassa olevan säätimen vahvistus on viritetty hyvin, säätöpoikkeama on pieni, mutta säädin käyttäytyy kuitenkin vielä vakaasti. (Savolainen & Vaittinen 1999, 39-42.)



Kuva 4. P-säädön käyttäytyminen ohjearvomuutoksissa. Ohjearvo on merkitty katkoviivalla. (Savolainen & Vaittinen 1999, 42.)

2.5.3 PI-säätö

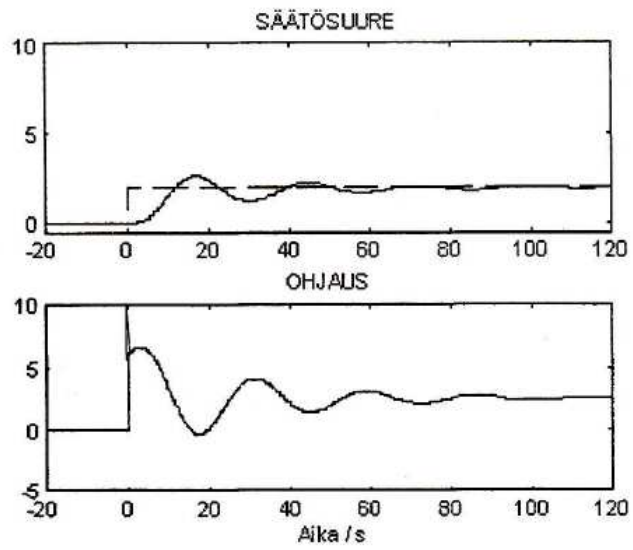
PI-säädössä P-säädön rinnalle on lisätty I-säätö eli integroiva säätö. Integroivalla säädöllä pystytään poistamaan P-säädössä syntyvä säätöpoikkeama. Integroivan säädön viritysparametri on *integrointiaika*, T_i . Tällä parametrilla pystytään muuttamaan integroivan säädön vaikutusta kokonaissäätöön. Integrointiaika kuvaa aikaa, jossa lähdön arvo kasvaa erosuureen verran. Kun säätimen erosuure on vaikkapa 1, lähdön arvo kasvaa erosuureen verran integrointiajassa. Kun erosuure taas menee nolllaksi, integroivan säädön arvo ei mene nolllaksi, vaan arvo lopettaa kasvamisen. Jos säätösuure kasvaa ohjearvoa isommaksi, erosuure muuttuu negatiiviseksi, jolloin lähdön arvo pienenee erosuureen verran integrointiajassa. Näin erosuureen mennessä nolllaksi säätösuure ei menekään nolllaksi, ja P-säädön pysyvä säätöpoikkeama saadaan poistettua. (Kuva 5) (Savolainen & Vaittinen 1999, 43-45.)



Kuva 5. PI-säätimen käyttäytyminen ohjearvon askelmaisessa muutoksessa. (Savolainen & Vaittinen 1999, 44.)

2.5.4 PID-säätö

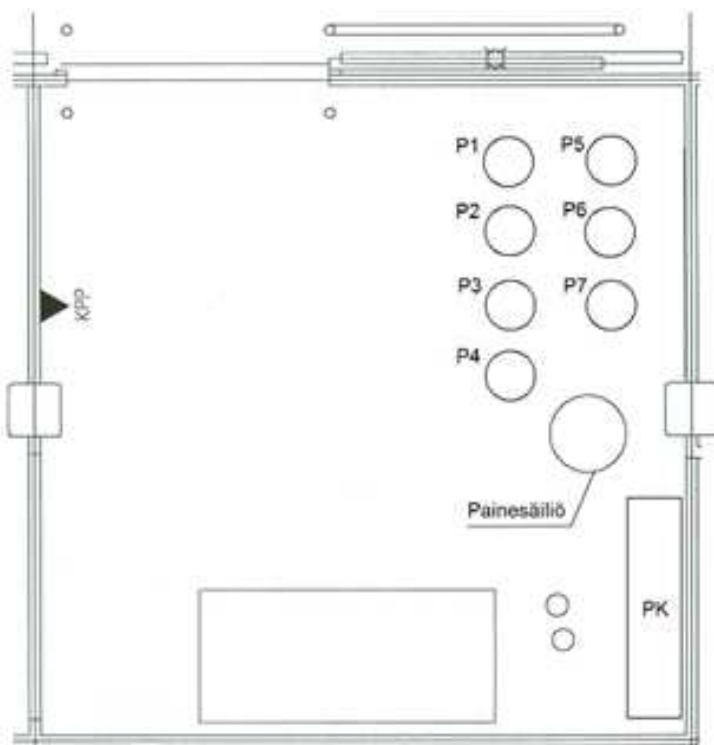
PID-säätöä käytetään, kun säädöltä vaaditaan erityistä reagoitinopeutta säätöpoikkeaman ilmettyä. Tässä säädintyyppissä on P- ja I-säädön lisäksi säätimeen lisätty D-säätö, eli derivoiva säätö. Derivoivan säädön ulostulo on nolla, aina kun säätöpoikkeama ei ole tai jos säätöpoikkeaman suuruus ei muutu. Se siis tutkii säätöpoikkeaman muutosnopeutta. Jos muutosnopeus on suuri, derivoiva säätö antaa suuren arvon ohjaukseen, jos muutosnopeus taas on pieni, derivoiva säätö ei vaikuta kokonaissäätöön juuri ollenkaan. Derivoivasta säädöstä on erityisesti hyötyä, jos mittausjärjestelmässä esiintyy viivettä. Silloin säätö reagoi ikään kuin myöhässä, mutta derivoivalla säädöllä saadaan vastaavasti pientä ”ennakointia” säätöön. Derivoivan säädön vaikutuksen voimakkuutta säädetään derivointiajalla T_d . Kuvassa 6 nähdään PID-säätimen reagointi askelmaiseen ohjearvomutokseen. Koska ohjearvon muutos tapahtuu askelmaisesti, eli ”äärettömän” nopeasti, myös derivoiva säätö saa äärettömän arvon, mikä näkyy piikkinä ohjauksessa. (Savolainen & Vaittinen 1999, 45-47.)



Kuva 6. PID-säätimen reagointi ohjearvon askelmaiseen muutokseen. (Savolainen & Vaitinen 1999, 46.)

3 NYKYISEN LAITTEISTON KARTOITTAMINEN

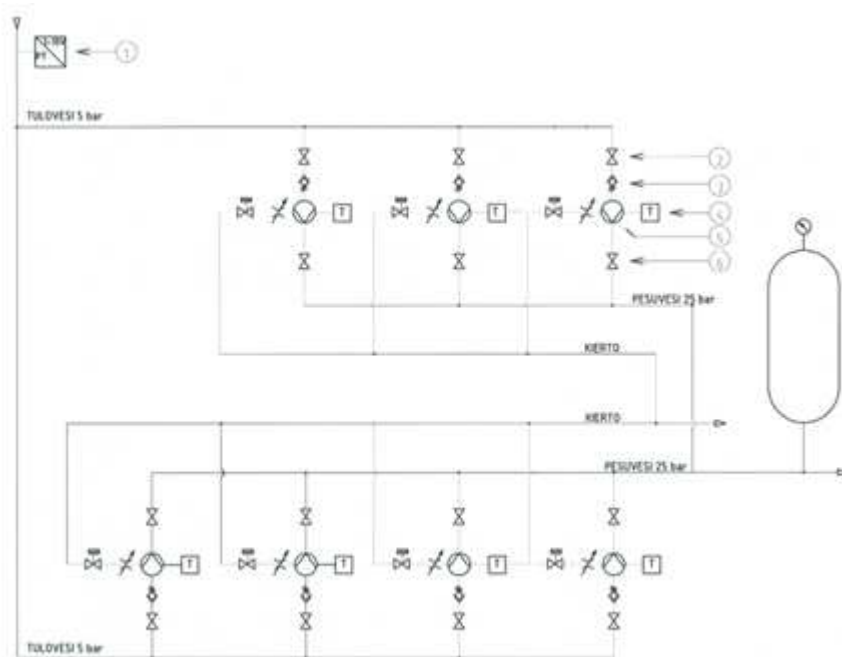
Pumppuryhmän tarkoitus on nostaa vedenpaine 5 baarin tulopaineesta 25 baarin lähtöpaineeksi ja ylläpitää sitä. Painevesi on 55 asteista ja sitä tarvitaan elintarviketeollisuuden koneiden ja laitteiden pesemiseen. Vettä kulutetaan useista eri vesipisteistä, ja koska vesipisteet toimivat on-off -tyyppisesti, veden kulutus voi vaihdella ajoittain todella nopeasti. Ihmisiä ei ole valvomassa pumppuryhmän toimintaa, eikä sen läheisyydessä työskennellä jatkuvasti. Tarvittaessa kunnossapitohenkilöstö tarkistaa ja huoltaa laitteen, mutta varsinaisia käyttäjiä itse pumppuryhmällä ei siis ole. Pumppuryhmä sijaitsee sille varatussa erillisessä huoneessa (kuva 7).



Kuva 7. Pumppuryhmälle varattu erillinen huone.

3.1 Mekaaninen rakenne

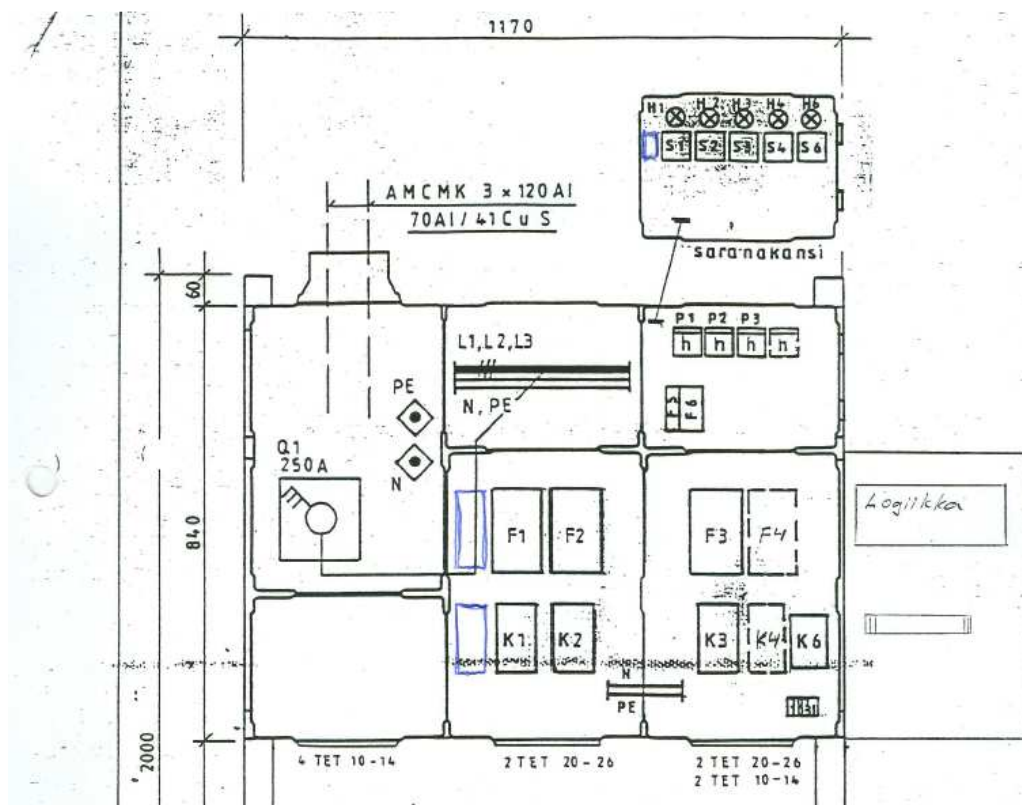
Pumppuja on seitsemän ja kunkin pumpun sähkömoottorin teho on 15 kW, nimellistuoto on 16 m³/h. Jokainen pumppu pystytään erottamaan muusta järjestelmästä sulkuventtiilein (Kuva 8), mikä mahdollistaa pumppujen huollon ja vaihdon pysäyttämättä koko järjestelmää. Pumppujen lähtöpaine ohjataan verkkoon paineiskuja tasaavan painesäiliön kautta. Säiliön yläosassa on ilmaa, joka puristuu kasaan pehmentäen paineiskuja. Koska pumppuja käytetään paineenkorotuksessa, virtaukset saattavat olla ajoittain todella pienet. Pumppujen liiallisen kuumenemisen estämiseksi pumppuihin on asennettu niiden yläpäässä olevaan ilmausaukkoon ohivirtaus. Magneettiventtiilin ollessa auki vesi pääsee virtaamaan takaisin pumpun tulopuolelle. Ohivirtaus kuristetaan linjasäätöventtiilillä sopivaksi.



Kuva 8. Putkikaavio

3.2 Ohjauksen rakenne

Keskus koostuu monesta eri osasta (Kuva 9). Pääkytkimelle ja syöttöjohdoille on varattu oma kotelo. Pumppujen 1-3, 4-5 ja 6-7 moottorinsuojajakytkimet ja kontaktorit ovat omissa koteloihissaan (6-7 ei näy kuvassa). Myös jännitteen jaolle, logiikalle, lämpötilahälytyksille ja ajovalintakytkimille on varattu kaikille oma kotelo. Pehmokäynnistimet ovat omassa keskuksessaan ohjauskeskuksen yläpuolella.



Kuva 9. Nykyinen ohjauskeskus.

Nykyinen ohjaus on toteutettu Siemensin S5-logiikalla, jolla ohjataan pumppuja päälle kontaktorien ja pehmokäynnistimien avulla. Lähtöpainetieto saadaan logiikan analogiatuloon kytketystä paineanturista. Pumppujen kavitoinnin estämiseksi pumppuille on järjestetty 5 baarin tulopaine ja sitä valvotaan paineanturilla tuloputkessa. Jokaisessa pumpussa on ylikuumentumisen varalle termostaattit, jotka on kytketty katkaisemaan kontaktoreille menevä ohjaus. Vain kolmessa pumpussa on

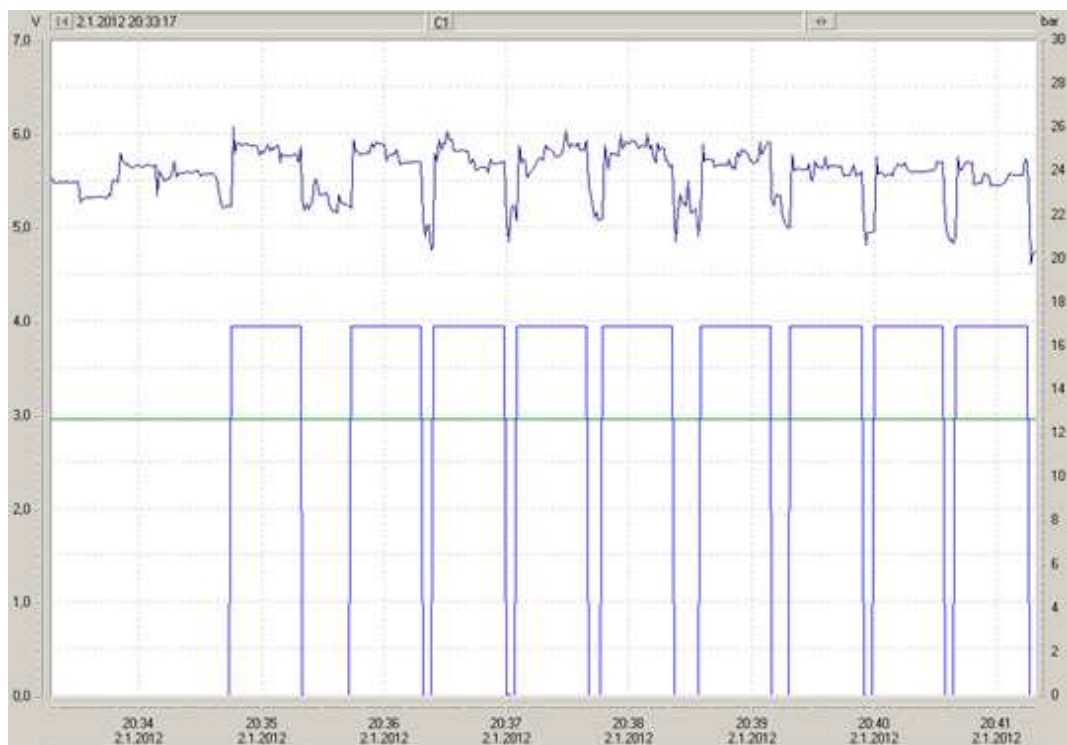
turvakytkin. Oikosulku- ja ylikuormitussuojana on käytetty ulkopuolisella kytkimellä olevia moottorinsuojakytkimiä. Moottorinsuojakytkimiltä, turvakytkimiltä ja termostaateilta ei ole kytketty tilatietoja logiikalle.

3.3 Logiikkaohjelman toiminta

Ohjaus pyrkii pitämään painetta 25 baarissa. Jos paine laskee alle 24 baarin, lisätään seuraavana vuorossa oleva pumppu päälle. Jos paine taas nousee yli 26 baarin, poistetaan yksi pumppu käytöstä. Jos paine menee asetettujen rajojen ulkopuolelle, pumpun lisäystä tai vähennystä ei tapahdu heti, vaan se tehdään pienen viiveen kuluttua. Tällä on vältetty turha pumppujen käynnistäminen ja sammuttaminen paineen noustessa tai laskiessa hetkellisesti. Pumppuja kierrätetään vaihtamalla tunnin välein pumppujen käynnistysjärjestystä, tällä haetaan tasaisempaa pumppujen kulumista. Tulopainetta valvotaan paineanturilla tuloputkessa. Jos tulopaine laskee alle 5 baarin, pumput pysäytetään heti.

3.4 Dataloggerin käyttö

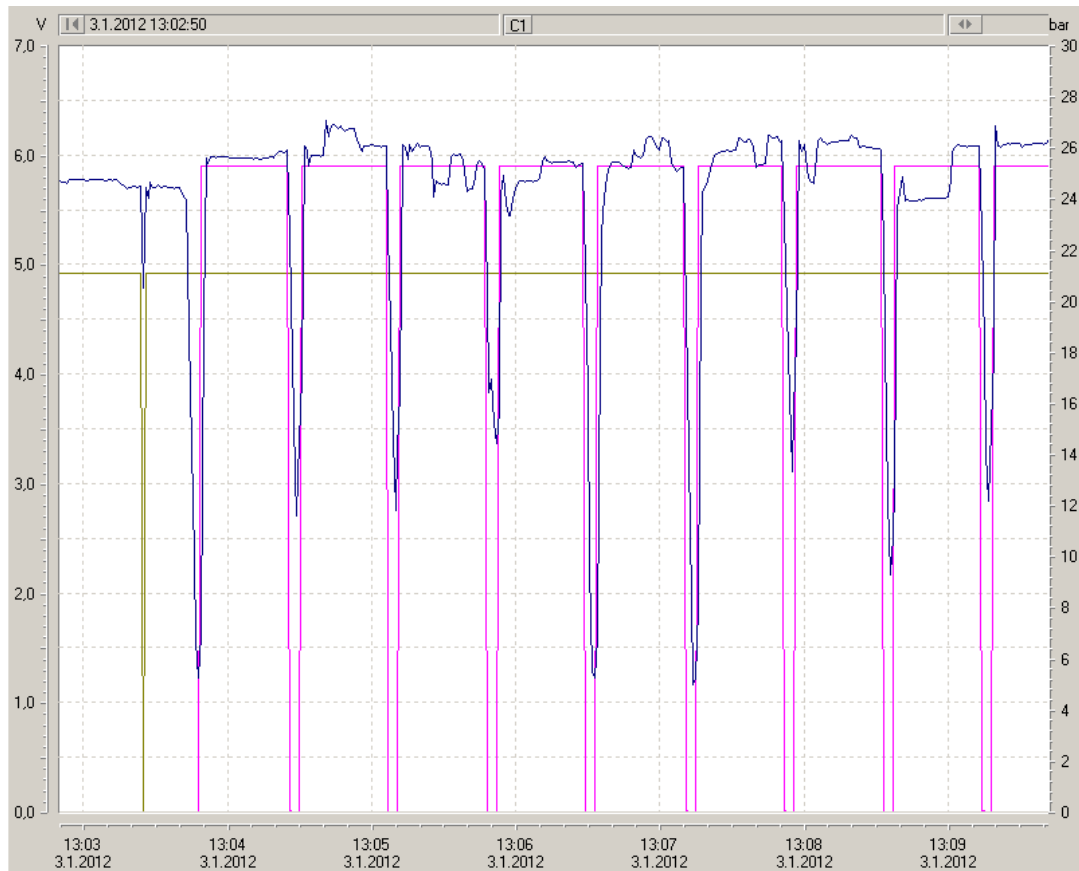
Ohjauksen toimintatavan määrittämiseen otettiin avuksi dataloggeri, jossa on 3 digitaalista tuloa ja 8 analogista tuloa. Dataloggerin tuloihin kytkettiin pumppujen kontaktoreilta otetut käyntitiedot ja dataloggeria varten lähtöputkeen asennettu oma paineanturi. Koska pumppujen käyntitietoja on seitsemän, jouduttiin ne kytkemään analogisiin tuloihin. Dataloggeria pidettiin kaksi vuorokautta keräämässä tietoa ohjauksen toiminnasta. Kuvissa 10-12, vasemmalta pystyakselilta nähdään mitä pumppua tai pumppuja ohjataan päälle (vaakasuorat viivat kuvaajassa), oikeasta pystyakselista nähdään paine (violetti viiva). Alhaalta vaaka-akselilta voidaan tarkastella aikaa.



Kuva 10. Paineen vaihtelu kun 1-2 pumppua on päällä.



Kuva 11. Paineen vaihtelu kun 4-6 pumppua on päällä.



Kuva 12. Rajua paineen vaihtelua.

3.5 Nykyisen ohjauksen ongelmat ja kehitettävät kohteet

Koska säätö tehdään lisäämällä tai poistamalla käynnissä olevia pumppuja, varsinkin hyvin pienillä kulutuksilla paineen vaihtelu on kohtuullisen rajua, tyypillisesti 5-6 baaria (kuva 10). Kun kulutus on suurempi ja useampi pumppu on päällä, paineen vaihtelu ei enää ole niin rajua koska yhden pumpun lisäys tai poistaminen ei vaikuta suhteessa niin paljoa. Silti halutun paineen ylläpitäminen vaatii todella useita sammutuksia ja käynnistyksiä lyhyen ajan sisällä (kuva 11). Koska säätö on erittäin karkea ja se reagoi paineen muutoksiin pienellä viiveellä, kulutuksen ollessa sopiva, paineen vaihtelu saattaa olla erittäinkin rajua (kuva 12). Kuvasta kaksitoista voidaan nähdä että kun yksi pumppu on koko ajan päällä, se ei riitä pitämään yllä tavoiteltua painetta. Kun lisätään toinen pumppu, paine kasvaa taas liian

suureksi. Ohjauksen reagoinnin viiveestä johtuen paine ehtii laskea todella alas, pahimmillaan jopa viiteen baariin.

Nykyisessä ohjauksessa ei turvakytkimiltä, moottorinsuojakytkimiltä eikä ylikuumenemissuojilta ole viety tilatietoja logiikalle, mikä tekee ohjauksesta todella ”su-mean ohjauksen”. Vaikka ylikuumenemisesta huolehtiva termostaatti katkaisee pumpun kontaktorille menevän jännitteen ja pumppu pysähtyy, logiikka ei tätä kuitenkaan tiedä, vaan jatkaa pumpun ohjaamista. Paineen laskettua pyydetään vain seuraavaa pumppua päälle.

4 UUDEN OHJAUKSEN SUUNNITTELU

Nykyisessä ohjauksessa havaittujen ongelmien pohjalta aloitettiin suunnittelu uudelle ohjaukselle. Osien valinnassa on otettu huomioon yhtiön omasta varaosajärjestelmästä löytyvät osat, sekä logiikkaosien valinnassa on varmistettu että ne ovat elinkaarensa alussa. Sähkökuvat uudelle ohjaukselle piirrettiin Cads Planner Electric -sähkösuunnitteluohjelmalla. Liitteenä on ote sähkökuvista (liite 2).

4.1 Ohjauksen rakenne

Koska Nykyinen säätö on erittäin karkea, päätettiin vakionopeuspumppujen lisäksi tehdä yhdestä pumpusta kierrossäädettävä. Näin saataisiin aikaan huomattavasti tarkempi tehonsäätö. Nykyisen ohjauksen pehmokäynnistimet päätettiin jättää pois, ja pumput käynnistettäisiin kaikki taajuusmuuttajan avulla. Tästä syystä jokaiselle pumpulle tulisi verkkokontaktorin lisäksi taajuusmuuttajakontaktori. Jotta kaikki tilatiedot saataisiin järkevästi tuotua esille, päätettiin laitteeseen liittää kosketusnäyttö, mistä voitaisiin helposti ilmaista laitteen tila. Kosketusnäytön lisäksi päätettiin käyttää myös fyysisiä kytkimiä, joiden avulla automaattiajo voitaisiin käynnistää ilman kosketusnäyttöäkin. Koska pumppuryhmä sijaitsee sille varatussa erillisessä tilassa, tilan ulkopuolelle tulee laitteen tilaa indikoiva valotorni, punaisella ja vihreällä merkkivalolla. Taajuusmuuttajaa ei asenneta keskuksen sisään turhaan keskuksen kokoa kasvattamaan, se sijoitetaan keskuksen viereen.

4.2 Komponenttien valinta

Logiikaksi valittiin Siemensin S7 300-sarjan logiikka. Sen digitaalisiksi tulo- ja lähtökorteiksi valittiin 32-kanavaiset mallit, mistä jäisi muutamia ylimääräisiä kanavia. Analogiseksi tulokortiksi valittiin 8-kanavainen malli, analogialähtökortti on 4-kanavainen. Niistä jäisi monta kanavaa käyttämättä, mutta koska nämä kortit löytyisivät jo valmiiksi yhtiön varaosajärjestelmästä, säästyttäisiin uusien varaosien

hankinnalta. Ohjauspaneeli on Siemensin 170-sarjan 6 tuuman paneeli. Taajuusmuuttaja on Vacon NXL -mallisarjasta. Kontaktoreille, releille, sulakkeille ja muille yleisille osille ei määritetty tarkkoja malleja, riittää että yhtiön varaosajärjestelmästä löytyy niille korvaavat komponentit.

4.3 Kytkeä

Jännite on jaettu pääkytkimeltä sulakkeiden ja moottorinsuojakytkinten kautta verkkokontaktoreille, taajuusmuuttajalle ja virtalähteelle. Taajuusmuuttajan lähtö on johdotettu taajuusmuuttajakontaktoreille. Jännitteenjako virtalähteeltä on jaettu neljän sulakkeen kautta logiikan CPU:lle, logiikan tuloille, logiikan lähdöille ja ohjauspaneelille. Logiikka ja ohjauspaneeli kytketään yhteen profibus-kaapelilla.

4.3.1 Tulot

Termostaateilta, turvakytkimiltä ja moottorinsuojakytkimiltä tuodaan kosketintiedot logiikan tuloihin. Muita digitaalisia tuloja ovat taajuusmuuttajan häiriö, ajovalintakytkimen asennot ja start-painike. Analogisia tuloja ovat lähtö- ja tulopaine sekä taajuusmuuttajan nopeustieto. Tulot on lueteltu taulukossa 1.

Taulukko 1. Logiikan tulot.

DI:	0.0	Vara	2.0	Vara
	0.1	Termostaatti 1	2.1	Moottorinsuojakytkin 1
	0.2	Termostaatti 2	2.2	Moottorinsuojakytkin 2
	0.3	Termostaatti 3	2.3	Moottorinsuojakytkin 3
	0.4	Termostaatti 4	2.4	Moottorinsuojakytkin 4
	0.5	Termostaatti 5	2.5	Moottorinsuojakytkin 5
	0.6	Termostaatti 6	2.6	Moottorinsuojakytkin 6
	0.7	Termostaatti 7	2.7	Moottorinsuojakytkin 7
	1.0	Vara	3.0	Vara
	1.1	Turvakytkin 1	3.1	Taajuusmuuttajan häiriö
	1.2	Turvakytkin 2	3.2	Ajovalintakytkin, käsiajo
	1.3	Turvakytkin 3	3.3	Ajovalintakytkin, nolla-asento
	1.4	Turvakytkin 4	3.4	Ajovalintakytkin, automaattiajo
	1.5	Turvakytkin 5	3.5	Start
	1.6	Turvakytkin 6	3.6	Vara
	1.7	Turvakytkin 7	3.7	Vara
AI:	272	Lähtöpaine		
	274	Tulopaine		
	276	Taajuusmuuttajan nopeustieto		
	278	Vara		
	280	Vara		
	282	Vara		
	284	Vara		

4.3.2 Lähdöt

Verkko- ja taajuusmuuttajakontaktorit ovat 230V keloilla ja logiikka ohjaa niitä väli-releiden kautta. Kontaktorien apukoskettimet on kytketty siten, että saman pumpun taajuusmuuttajakontaktori ja verkkokontaktori ei voi olla yhtä aikaa päällä. Myös

ohikierrosta huolehtivia magneettiventtiilejä ja taajuusmuuttajan käyntikäskyä ohjataan välireleiden kautta. Merkkivaloja ohjataan suoraan logiikan lähdöllä. Taajuusmuuttajalle annetaan nopeusohje virtaviestinä. Lähdöt on lueteltu taulukossa 2.

Taulukko 2. Logiikan lähdöt.

DO:	1.0	Vara	3.0	Vara
	1.1	P1 verkkok.	3.1	Ohitusventtiili 1
	1.2	P2 verkkok.	3.2	Ohitusventtiili 2
	1.3	P3 verkkok.	3.3	Ohitusventtiili 3
	1.4	P4 verkkok.	3.4	Ohitusventtiili 4
	1.5	P5 verkkok.	3.5	Ohitusventtiili 5
	1.6	P6 verkkok.	3.6	Ohitusventtiili 6
	1.7	P7 verkkok.	3.7	Ohitusventtiili 7
	2.0	Vara	4.0	Vara
	2.1	P1 taajuusmuuttajak.	4.1	Taajuusmuuttajan käyntilupa
	2.2	P2 taajuusmuuttajak.	4.2	H1 (valotorni, vihreä)
	2.3	P3 taajuusmuuttajak.	4.3	H2 (valotorni, punainen)
	2.4	P4 taajuusmuuttajak.	4.4	H3 (start)
	2.5	P5 taajuusmuuttajak.	4.5	Vara
2.6	P6 taajuusmuuttajak.	4.6	Vara	
2.7	P7 taajuusmuuttajak.	4.7	Vara	
AO:	288	Taajuusmuuttajan nopeusohje		
	290	Vara		
	292	Vara		
	294	Vara		

4.4 Turvallisuus

Nykyisessä ohjauksessa ei ole havaittu ongelmia turvallisuudessa. Uutta ohjausta suunniteltaessa turvallisuutta mietittiin uudestaan. Liikkuvia mekaanisia osia järjestelmässä ei ole kuin pumpuissa olevat roottorit, sähkömoottorin roottorit ja moottorien ja pumppujen väliset kytkimet. Mihinkään näistä ei ihmisen ole mahdollista koskea, jos kytkimen ympärillä olevat suojat ja moottorin tuulettajansuojat ovat paikallaan. Pumput pystyvät korottamaan painetta 23 baaria, eli tulopaineen ollessa 5 baaria linjaston periaatteellinen maksimipaine on 28 baaria, vaikka kaikki pumput pyörisivät yhtä aikaa.

Nykyisessä laitteessa ei ole hätäseis-piiriä, mutta sen lisäämistä pohdittiin. Jos järjestelmän putkistoon tulisi vuoto, ei tämä kuitenkaan olisi ihmiselle vaarallinen ja ottaen huomioon putkiston laajuus, hätä-seis-kytkimien lisääminen koko tälle alueelle olisi käytännössä mahdotonta. Pumppujen mekaanisiin pyöriviin osiin ei ihmisellä pääsyä ole. Jos kuitenkin oletetaan että henkilö voisi esimerkiksi työntää kätensä pumpun ja moottorin välissä olevan kytkimen väliin, ei hätä-seis-kytkimen painaminen nopeuttaisi pumpun pysähtymistä niin, että vahingolta vältyttäisiin. Jos laitteeseen lisättäisiin hätä-seis piiri, laitteessa tulisi olla vähintään yksi kontaktori, joka erottaa sähkönsyötön pumpuilta. Pumppujen yhteisteho on 105 kW, jolloin erottava kontaktori olisi fyysiseltä kooltaan suurehkon kokoinen. Jos taas ajatellaan laitteen turvallisuutta, hätä-seis-piirillä tätä ei saataisi parannettua, koska laitetta ei kukaan ole valvomassa.

Valtioneuvosto on asettanut koneiden turvallisuutta koskevan asetuksen (liite 1), minkä mukaan jokaisessa koneessa tai laitteessa on oltava hätäpysäytyslaite. Tästä voidaan kuitenkin poiketa tietyissä tapauksissa.

”Koneessa on oltava yksi tai useampia hätäpysäytyslaitteita, joiden avulla todellinen tai uhkaava vaara voidaan torjua.

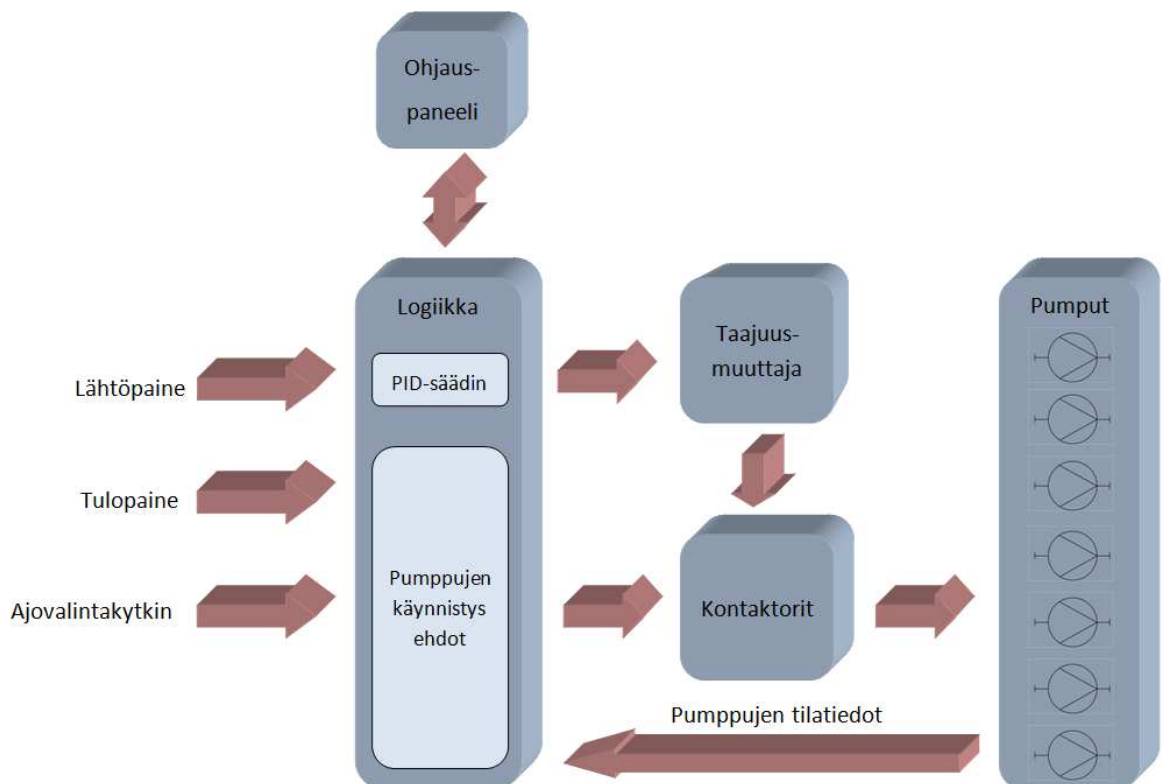
Tästä voidaan poiketa:

Koneissa joissa hätäpysäytyslaite ei vähentäisi riskiä joko siksi, että se ei lyhentäisi pysäytysaikaa, tai siksi, että se ei mahdollistaisi niitä erityistoimenpiteitä, joita riskin hallitsemiseksi tarvitaan.” (Finlex 2008.)

Edellä mainitun asetuksen ja oman pohdinnan perusteilla päätettiin että laitteeseen ei tehdä hätäpysäytyslaitetta.

5 LOGIIKAN JA OHJAUSPANEELIN OHJELMOINTI

Logiikkaohjelmaa lähdettiin suunnittelemaan sen keskeisen osan, paineen säädön ympärille. Paineensäätö toteutettiin PID-säätimen avulla. Paineensäädön lisäksi ohjelmassa täytyi huomioida pumppujen käynnistykseen ja sammutukseen liittyvät seikat. Tärkeitä asioita olivat myös pumppujen kierto ja mahdollinen kierrosta poistaminen ja takaisin kiertoon palauttaminen. Kuvassa 13 on esitetty ohjelman toiminnan pääperiaatteet. Logiikalle tuodaan tiedot tulo- ja lähtöpaineesta, ajovalintakytkimestä, ohjauspaneelista ja pumppujen tiloista. Lähtöpaine viedään suoraan PID-säätimelle, joka antaa nopeusohjeen taajuusmuuttajalle. Logiikka ohjaa tarvittavan määrän pumppuja päälle kontaktorien avulla. Ohjelman testaamiseen käytettiin oikeaa logiikkaa, sekä sen analogiatuloihin kytkettyä potentiometriä ja virtaviestilähetintä. Näiden avulla saatiin simuloitua ohjelman toimintaa.



Kuva 13. Logiikkaohjelman periaatekuva.

5.1.1 Ajovalintakytkin

Ajovalintakytkimessä on kolme asentoa. Kun ajovalintakytkin käännetään automaattiajoasentoon, start-painikkeen merkkivalo alkaa vilkkua ja kun painetaan start-painiketta, automaattiajo käynnistyy kolmen sekunnin kuluttua. Käynnistyksessä on viive, koska jos laitteen ollessa automaattiajolla ajovalintakytkin käännetään nollalle ja heti sen jälkeen käynnistettäisiin uudestaan automaattiajo, pumput eivät ehtisi pysähtymään kokonaan. Ajovalintakytkimen ollessa käsiajolla, käsiajo on mahdollistettu ohjauspaneelissa. Nolla-asennossa kaikki toiminnot estetään.

5.1.2 Pumppujen kiertojärjestys

Pumppuja kierrätetään, että ne kuluisivat tasaisesti. Kaikilla pumpuilla on oma järjestysnumero, joka määrää pumppujen käynnistys- ja sammutusjärjestyksen. Järjestysnumero on normaalitilanteessa pumpun oma numero. Poikkeustilanteessa, kun esim. pumppu on valittu pois päältä tai pumppu on häiriöllä, se poistuu kierrosta ja muiden järjestysnumerot muuttuvat. Esimerkiksi jos pumppu-4 poistuu käytöstä, pumppujen 5 ja 6 järjestysnumerosta vähennetään 1. Näin ohjaus ei yritä ohjata päälle pumppuja jotka eivät ole käytettävissä.

Kun pumppu palautuu häiriöstä tai se valitaan takaisin käyttöön, automaattinen uudelleenkäynnistys pysäyttää kaikki pumput ja aloittaa automaattiajon uudelleen. Automaattinen uudelleenkäynnistys on tehty, koska muuten voi syntyä tilanne, jossa pysäytettynä olevaa pumppua ohjataan suoraan verkkokontaktorilla päälle. Automaattisella uudelleenkäynnistyksellä saadaan palautettua pumppu takaisin kiertoon järkevästi.

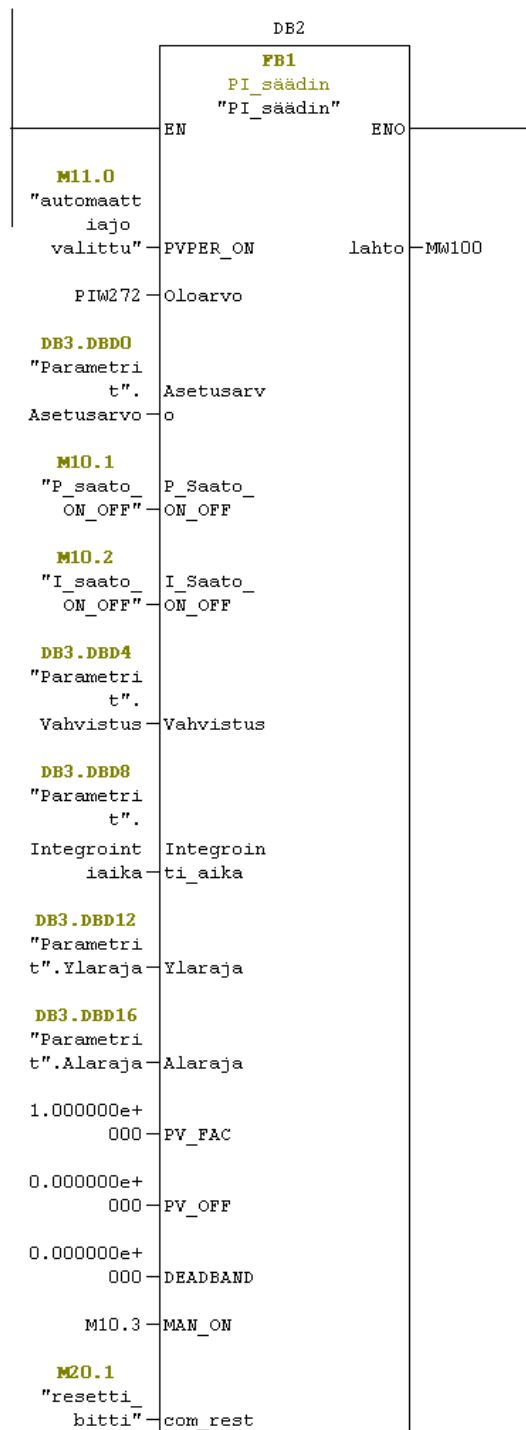
5.1.3 Pumppujen käynnistys ja sammutus

Pumpuilla on kolme eri käyntitilaa; poissa, taajuusmuuttajakäytöllä ja suoralla verkkokäytöllä. Pumppujen ohjausta helpottamaan tehtiin pumppujen käynnistykselle toimilohko. Toimilohkolle annetaan kaksi tietoa: pumppu päälle ja pumppu pois. Kun pumppu päälle -käsky tulee, pumpun taajuusmuuttajakontaktori ohjataan päälle ja 200 ms:n kuluttua taajuusmuuttajalle annetaan käyntilupa. Kun pumppu päälle -käsky katoaa, taajuusmuuttajakontaktori avataan ja pumpun verkkokontaktori kytkeytyy 200 ms:n viiveen jälkeen. Pumppu pois -käskyllä kaikki pumpun ohjaukset nollataan.

Käsiäjolla pumppuja voidaan ohjata myös päälle suoraan verkkokontaktorilla, mutta tämä rasittaa pumppuja paljon, joten käsiajo on tarkoitettu vain hätätilanteita varten (esim. jos taajuusmuuttaja on rikkoutunut ja painevettä täytyisi saada heti).

5.1.4 Paineen säätö ja pumppujen ohjaus

Paineen säätö perustuu lähtöpaineen mittaukseen ja PID-säätimeen. PID-säätimenä käytettiin Siemensin Step 7 -ohjelmointityökalusta löytyvää säädintä (Kuva 14).



Kuva 14. PID-säädin

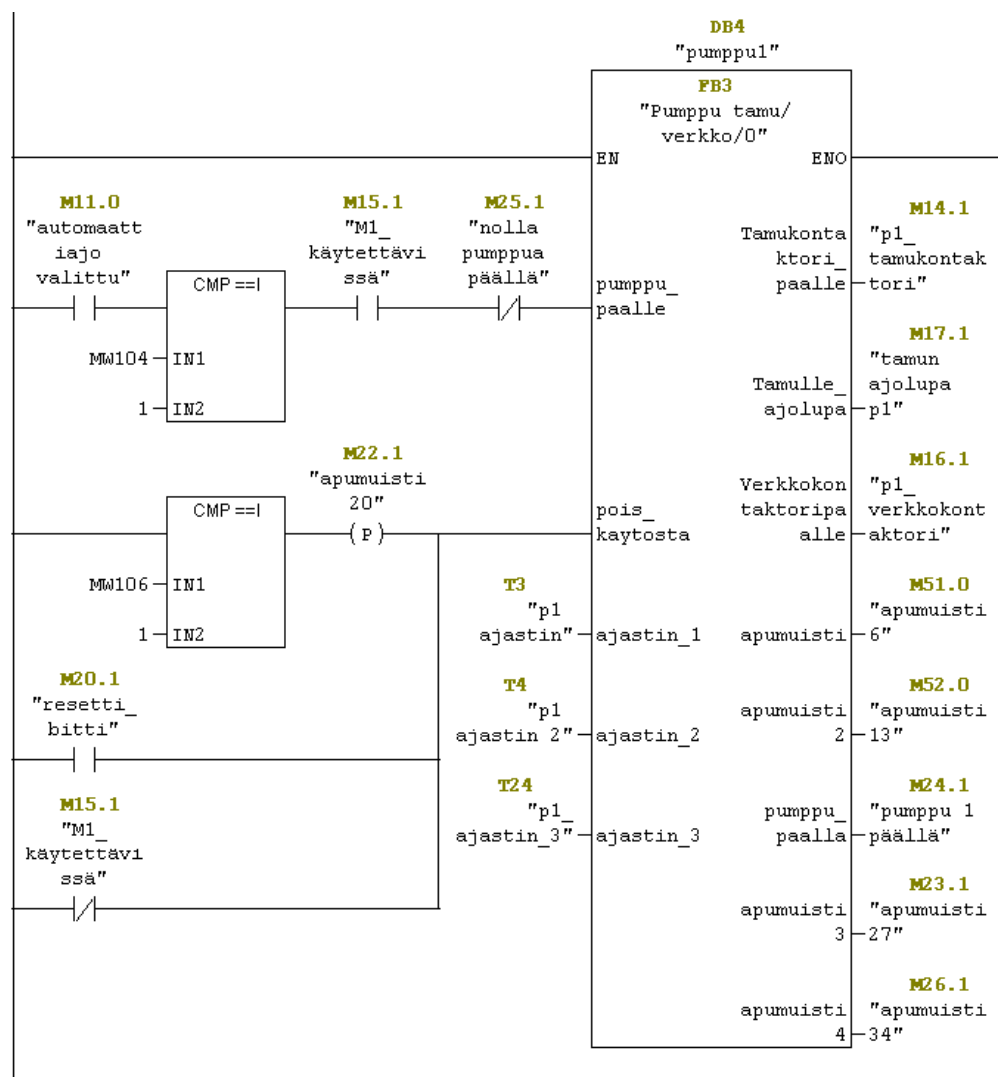
Lähtöpainetta mitataan paineentasaussäiliössä olevasta paineanturista ja anturin antama arvo on viety suoraan PID-säätimen oloarvo tuloon. Säätimelle annetaan

asetusarvo, vahvistus, integrointiaika ja lähtöarvon ylä- ja alaraja. Myös D-säädön saa tarvittaessa käyttöön. Säätimeistä löytyy myös paljon muitakin ominaisuuksia, mutta niitä ei otettu käyttöön. Säätimen lähtö on kytketty suoraan analogialähtöön, jolla annetaan taajuusmuuttajalle taajuusohje. Kun automaattiohjaus kytketään päälle, ohjelma tutkii onko painetta riittävästi. Jos painetta ei ole riittävästi, annetaan ”lisää pumppu -pulssi”. Tällöin ensimmäinen vuorossa oleva pumppu kytkeytyy taajuusmuuttaja kontaktorille, ja PID-säädin antaa taajuusohjeen taajuusmuuttajalle. Jos PID-säädin ohjaa taajuusmuuttajan maksimitaajuudelle, eikä painetta edelleenkään ole riittävästi, annetaan taas ”lisää pumppu -pulssi” jolloin taajuusmuuttajakäytöllä ollut pumppu siirtyy suoralle verkkokäytölle, ja seuraavana vuorossa oleva pumppu kytkeytyy taajuusmuuttajakäytölle. Taajuusmuuttaja alkaa taas ajaa pumppua säätimen antamalla taajuusohjeella. Jos paine ei riitä, taajuusmuuttaja ohjaa pumpun maksimitaajuudelle, jonka jälkeen otetaan seuraava pumppu käyttöön. Jos paine ei edelleenkään riitä, pumppujen ylösajoa jatketaan, kunnes kaikki pumput ovat päällä. Jos paine kasvaa liian suureksi huolimatta siitä, että säädin ohjaa taajuusmuuttajakontaktorilla olevaa pumppua minimitaajuudella, annetaan ”vähennä pumppu -pulssi”. Tällöin ensimmäisenä käynnistetyn pumpun verkkokontaktori avataan.

Pumppujen ohjaus pulsseilla tapahtuu laskurien ja vertailijoiden avulla. Ohjelmassa on kaksi laskuria. Toinen laskee säätimen antamia lisää pumppu -pulsseja, ja toinen laskee vähennä pumppu -pulsseja (plus- ja miinus-pulssilaskuri). Jokaisen pumpun toimilohkon käynnistys- ja sammutusehdoissa on vertailija, jonka vertailtava arvo on pumpun järjestysnumero (Kuva 15). Kun ensimmäinen pumppu päälle -pulssi tulee, plus pulssilaskuri saa arvon 1, jolloin ensimmäisenä vuorossa olevan pumpun käynnistysehto täyttyy, ja pumppu kytketään taajuusmuuttajakontaktorille. Kun seuraava lisää pumppupulssi tulee, laskuri saa arvon kaksi, jolloin pumpun kaksi käynnistysehto täyttyy. Samalla pumpun yksi käynnistysehto katoaa, jolloin se siirtyy verkkokontaktorikäytölle, ja pumppu kaksi kytkeytyy viiveen jälkeen taajuusmuuttajakontaktorille. Kun lisää pumppu -pulsseja on tullut 7, kaikki pumput ovat käytössä, pumpun seitsemän ollessa taajuusmuuttajakäytöllä. Tällöin ei lisää pumppupulsseja enää tule. Kun paine kasvaa liian suureksi ja säädin antaa vähennä pumppu -pulssin, niitä laskeva laskuri saa arvon 1. Tällöin pumpun

yksi sammutusehdoissa olevan vertailijan ehto täyttyä ja pumppu yksi sammuu. Jos vähennä pumppu -pulsseja tulee 7, kaikki pumput sammuvat, myös pumppu 7, joka oli taajuusmuuttajakäytöllä.

Näin saadaan aikaan kierto, jossa sammutetaan aina se pumppu joka on käynnistynyt ensimmäisenä, eli se pumppu joka on ollut kauimmin käytössä.



Kuva 15. Pumpun 1 toimilohko ja sen käynnistys- ja sammutusehdot

5.1.5 Häiriöt

Kun pumppua ohjataan taajuusmuuttajan kautta ja taajuusmuuttaja antaa hälytyksen, ohjauspaneelissa annetaan häiriö ja ilmoitetaan kyseessä oleva pumppu.

Jokaisen pumpun termostaatti on kytketty omaan tuloon logiikalla. Jos termostaatin kosketin aukeaa, kyseessä olevasta pumpusta annetaan ylikuumenemishälytys ohjauspaneelissa ja pumppu poistetaan kierrosta.

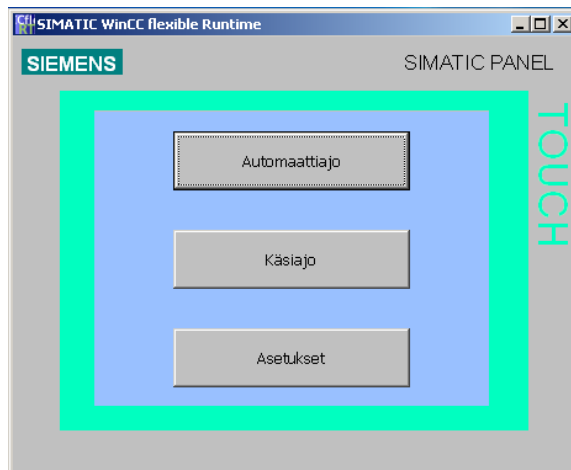
Jokaisen pumpun turvakytkimeltä tulee tieto logiikalle. Jos turvakytkin avataan, pumppu poistetaan kierrosta ja ohjauspaneeli antaa tiedon turvakytkimen auki olemisesta.

Jokaisen moottorinsuojakytkimen tilatiedot on viety logiikan tuloihin. Jos moottorinsuojakytkin laukeaa, pumppu poistetaan kierrosta ja siitä annetaan hälytys.

Tulopainetta täytyy vahtia jatkuvasti pumppujen kavitoinnin estämiseksi. Jos tulo-paine laskee alle 5 baarin, pumput pysäytetään välittömästi ja siitä annetaan hälytys.

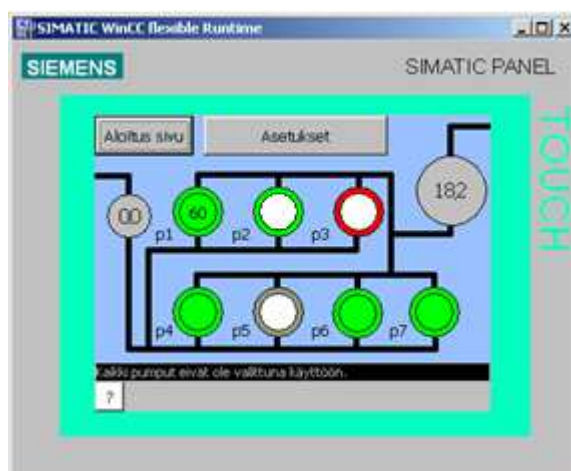
5.2 Ohjauspaneeli

Käyttöliittymän suunnittelussa erityishuomiota täytyi antaa sen selkeydelle ja laitteen tilatietojen esille tuonnille. Käyttöliittymä koostuu viidestä sivusta: aloitussivu, automaattiajosivu, käsiajosivu, asetukset-sivu ja säätöarvot-sivu. Aloitussivulta (Kuva 16) päästään automaattiajosivulle, käsiajosivulle ja asetuksiin. Paneelin template-sivulla on hälytysikkuna. Hälytykset näkyvät kaikilla käyttöliittymän sivuilla, jos niitä tulee.



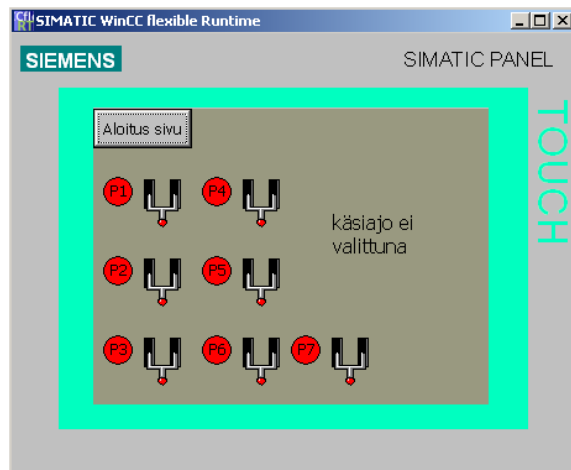
Kuva 16. Aloitussivu

Automaattiajosivulta (Kuva 17) nähdään pumppujen tilat. Kun pumpun kehys on vihreä, se on valittu käyttöön ja siitä ei ole annettu hälytyksiä. Jos kehys on harmaa, pumppua ei ole valittu käyttöön. Kehyksen ollessa punainen, pumpusta on annettu häiriöilmoitus. Pumpun sisempi ympyrä kertoo, onko pumppu pysäytettynä vai käytössä, sekä taajuusmuuttajakäytöllä olevan pumpun päällä näkyy taajuus, jolla pumppua ohjataan. "Tuloputkessa" on painemittari, mikä näyttää tulopaineen. "Painesäiliössä" oleva mittari näyttää lähtöpainetta. Alareunassa olevasta viestikentästä ei anneta hälytyksiä, vaan laitteen tilasta kertovia viestejä. Käyttöliittymä ilmoittaa, jos jokin pumppu ei ole valittu käyttöön.



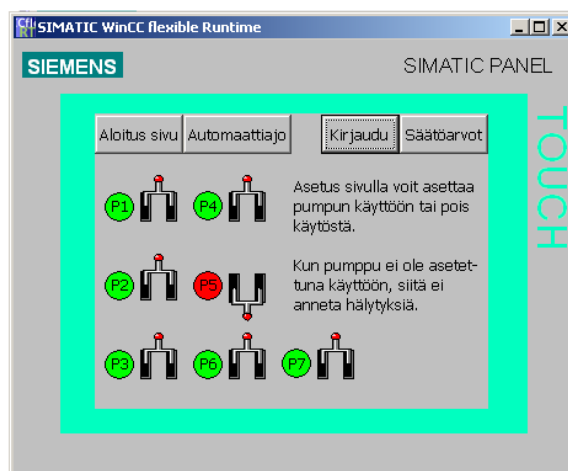
Kuva 17. Automaattiajosivu

Käsiajosivulla (Kuva 18) voidaan asettaa pumppuja käsikäytölle. Jos ajovalintakytkin ei ole valittuna käsiajolle, sivulla lukee teksti; ”käsiajo ei valittuna”. Vaikka ajovalintakytkin olisi käsiajolla, kaikki pumput sammuvat kun poistutaan käsiajosivulta.



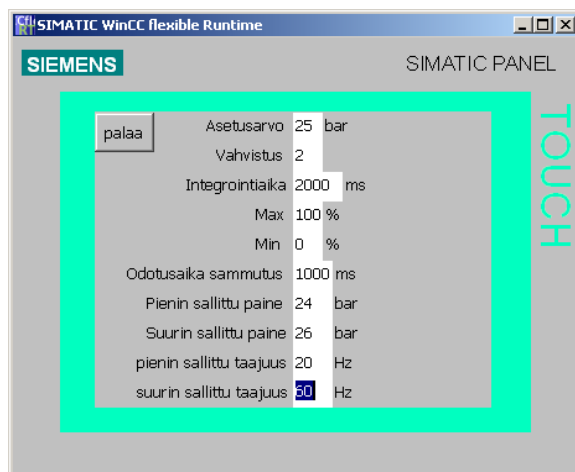
Kuva 18. Käsiajosivu

Asetussivulla (Kuva 19) käyttäjä voi valita onko pumppu käytössä vai ei. Asetussivulta pääsee säätöarvosivulle, jos on kirjautunut sisään salasanan avulla.



Kuva 19. Asetussivu

Säätöarvosivulta (Kuva 20) löytyvät kaikki säätimen parametrit, paineen asetusarvo, vahvistus, integrointi-aika, lähdön maksimi- ja minimiarvo, aika pumpun sammutuksen jälkeen, ennen kuin sammutetaan seuraava pumppu (jos paine on edelleenkin yli sallitun), pienin ja suurin sallittu paine sekä pienin ja suurin sallittu taajuus.



Kuva 20. Säätöarvosivu

6 TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELUT

Työn tuloksena saatiin modernisointisuunnitelma pumppuryhmän ohjaukselle. Työn ensisijainen tavoite oli saada laitteelle sellainen modernisointisuunnitelma, että sen kaikki osat ovat nykyaikaisia. Tavoitteena oli myös saada suunnitelmasta sellainen, että laitteen ohjauksesta tulisi järkevämpi, sekä huollettavuuden kannalta kehittyneempi. Modernisointisuunnitelmassa pyrittiin poistamaan nykyisen ohjauksen ongelmat ja parantamaan laitteen käytettävyyttä. Kaikissa tavoitteissa onnistuttiin mielestäni hyvin. Dataloggeria apuna käyttäen pystyttiin huomaamaan paljon laitteessa olevia ongelmia ja sen toiminnassa olevia kehityskohteita.

6.1 Tavoitteiden toteutuminen

Modernisointisuunnitelman ensisijainen tavoite oli saada suunnitelmasta sellainen, että kaikki laitteen osat olisivat nykyaikaisia ja mahdollisimman pitkään saatavilla varaosina. Tämä tavoite luonnollisesti myös toteutui. Osat ovat myös sellaisia, että mahdollisimman moni löytyy jo valmiiksi yhtiön varaosajärjestelmästä, jolloin uusia varaosia tarvitsee hankkia mahdollisimman vähän. Logiikkaosien valinnassa on varmistettu, että ne ovat elinkaarensa alussa ja saatavana varaosina mahdollisimman pitkään.

Nykyisessä järjestelmässä on ongelma, ajoittain jopa raju paineen vaihtelu. Dataloggerilla tehtyjen havaintojen perusteella paineen vaihtelua aiheuttaa vaihtelevan kulutuksen lisäksi järjestelmän oma toiminta. Karkeasta säädöstä johtuen sopivaa tehoa ei saada säädettyä, ja yhden pumpun jatkuvasta käynnistelystä ja sammuttelusta aiheutuu ajoittain suuria paineen vaihteluja. Ohjauksen reagoinnin viive korostaa paineenvaihtelua. Tämä ongelma on pyritty poistamaan taajuusmuuttajalla ja PID -säätimellä, joilla saadaan yhdelle pumpulle kierrossäätö.

Nykyisessä ohjauksessa oleva pumppujen kierrätys haluttiin myös tulevaan laitteeseen. Taajuusmuuttaja käynnistää jokaisen pumpun ja kierrossäädettävä pumppu vaihtelee, jolloin pumppujen kuluminen on tasaista. Pumput käynnistetään ja sammutetaan niiden järjestysnumeron mukaan, jolloin ensimmäisenä

käynnistetty pumppu sammutetaan myös ensimmäisenä, eli kauimmin pyörinyt pumppu sammuu aina ensimmäisenä. Myös tällä päästään tasaisempaan pumppujen kulumiseen.

Nykyisen ohjauksen ”sumeus”, eli se että pumppujen tiloista ei annettu logiikalle tietoa, on poistettu tuomalla kaikki tilatiedot logiikalle. Tilatietoja hyväksi käyttämällä pumppu sammutetaan välittömästi häiriön syntyessä, eikä sitä yritetä turhaan ohjata päälle.

Laitteen huollettavuutta helpottavat ajantasaiset sähkökuvat ja kuvaus laitteen toiminnasta. Pumpuille varatun tilan ulkopuolella oleva valotorni kertoo laitteessa olevasta häiriöstä, ja käyttöliittymästä voidaan tarkastaa nopeasti, mistä häiriöstä on kyse. Käyttöliittymän automaattiajosivulta näkee nopeasti laitteen tilan, kuinka monta pumppua pyörii ja onko jokin pumppu häiriöllä, tai valittu pois käytöstä. Käyttöliittymä myös ilmoittaa, jos jokin pumppu on valittu pois käytöstä, ettei se jäisi vahingossa pois kierrosta. Valitsemalla pumppu pois käytöstä, siitä ei anneta enää häiriöilmoituksia, jolloin turvakytkimen ja moottorinsuojakytkimen voi huoletta avata pumpun huollon ajaksi.

6.2 Suunnitelman toteutus ja sen jatkokehitys

Ennen suunnitelman toteuttamista täytyisi varmistaa, että kaikki suunnitelmassa mainitut logiikkaosat ovat edelleen elinkaarensa alkuvaiheessa. Ennen suunnitelman toteuttamista suunnitelmaa voitaisiin myös hieman jatko kehittää. Työn alussa mainitussa teoriaosuudessa on kerrottu keskipakopumpun ominaisuuksista ja käyttäytymisestä. Paineesta riippuen keskipakopumppu voi luistaa pienillä kierroksilla, ja kun tasapainopiste saavutetaan, pumppu alkaa tuottaa tilavuusvirtaa. Tämän tasapainopisteen asema pystytään laskennallisesti osoittamaan, ja sen avulla ennen laitteen käyttöönottoa pystyttäisiin määrittämään taajuusmuuttajan minimitaajuus. Näin todennäköisesti säästettäisiin aikaa laitteen käyttöönotossa. Ennen käyttöönottoa täytyy myös määrittää parametrit taajuusmuuttajalle.

LÄHTEET

Atria. 2012. Atria Suomi. [www-dokumentti]. [Viitattu 12.4.2012]. Saatavissa: <http://www.atriagroup.com/atria-konserni/AtriaSuomi/Sivut/default.aspx>

Pulli, M. 2009. Virtaustekniikka. Tampere: Tammertekniikka.

Savolainen, J. & Vaittinen, R. 1999. Sääätötekniikan perusteita. Helsinki: Opetushallitus.

Frid, J. & Johnsson, J. 2005. Ohjaustekniikka. Iisalmi: IS-VET OY.

FINLEX. 2008. Valtion säädöstietopankki. [www-dokumentti]. [Viitattu 4.4.2012] Saatavissa: [http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2008/20080400?search\[type\]=pika&search\[pika\]=kone](http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2008/20080400?search[type]=pika&search[pika]=kone)

Grundfos. 2011. Grundfos Finland. [www-dokumentti]. [Viitattu 4.4.2012] Saatavissa: <http://www.grundfos.fi/>

Motiva. 2009. Energiatehokas pumppausjärjestelmä. [www-dokumentti]. [Viitattu 4.4.2012] Saatavissa: http://www.motiva.fi/files/2419/Energiatehokas_pumppausj_rjestelm_.pdf

LIITTEET

Liite 1. Finlex 2011. Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta.

Liite 2. Ote sähkökuvista

Liite 1

Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta

KONEEN SUUNNITTELUA JA RAKENTAMISTA KOSKEVAT OLENNAISET TERVEYS- JA TURVALLISUUSVAATIMUKSET YLEISET PERIAATTEET

1.2.4.3. Häätöpysäytys

Koneessa on oltava yksi tai useampia häätöpysäytyslaitteita, joiden avulla todellinen tai uhkaava vaara voidaan torjua.

Tästä voidaan poiketa:

- koneissa, joissa häätöpysäytyslaite ei vähentäisi riskiä joko siksi, että se ei lyhentäisi pysäytysaikaa, tai siksi, että se ei mahdollistaisi niitä erityistoimenpiteitä, joita riskin hallitsemiseksi tarvitaan; tai
- käsinkannateltavissa tai -ohjattavissa koneissa.

Häätöpysäytyslaitteen on:

- oltava varustettu selvästi tunnistettavilla ja näkyvillä ohjaimilla, jotka ovat nopeasti käytettävissä;
- pysäytettävä vaarallinen prosessi mahdollisimman nopeasti aiheuttamatta muita riskejä; ja
- tarvittaessa käynnistettävä tiettyjä suojausliikkeitä tai sallittava niiden käynnistäminen.

Kun häätöpysäytyslaitteen aktiivinen käyttäminen, josta pysäytyskäsky seuraa, on lakannut, tämän käskyn on jäätävä voimaan häätöpysäytyslaitteen lukkiutumisen avulla kunnes tämä lukitus vapautetaan erityisellä toimenpiteellä. Häätöpysäytyslaitteen lukkiutuminen ei saa olla mahdollista ilman, että aiheutuu pysäytyskäsky. Häätöpysäytyslaitteen vapauttaminen pysäytysasennon lukituksesta saa olla mahdollista vain tarkoituksellisella toimenpiteellä, eikä vapautuminen saa käynnistää konetta uudelleen vaan ainoastaan tehdä uudelleenkäynnistäminen mahdolliseksi.

Häätöpysäytystoiminnon on oltava koko ajan saatavilla ja toimintakunnossa toimintatavasta riippumatta.

Häätöpysäytyslaitteiden on oltava muita suojausteknisiä toimenpiteitä täydentävä keino eikä niiden korvaaja.

Liite 2

