

REDUKTIOASEMAN AUTOMAATIOMUUTOS

LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU
Kone- ja tuotantotekniikka
Mekatroniikka
Kevät 2019
Eetu Vuorela

Tiivistelmä

| | | |
|---|-------------------------------------|-------------------------------|
| Tekijä Vuorela, Eetu | Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK | Valmistumisaika Kevät 2019 |
| | Sivumäärä 21 | |
| Työn nimi Reduktioaseman automaatiomuutos | | |
| Tutkinto Insinööri (AMK) | | |
| Tiivistelmä <p>Opinnäytetyö tehtiin Lahti Energia Oy:lle ja opinnäytetyön tavoitteena oli parantaa Kymijärven toisen voimalaitoksen kolmannen kaukolämpövaihtimen reductioaseman käytettävyyttä ja turvallisuutta. Reduktioasema koostuu kahdesta reductio- ja ruiskuventtiilistä sekä hydraulikkayksiköstä. Reduktio- ja ruiskuventtiileihin rakennettiin ulkoinen asentomittaus, joka toimii vertailumittauksena olemassa olevan mittauksen rinnalla, täten parantaen asentotiedon tarkkuutta. Kahden pumpun hydraulikkayksikköön tehtiin erilliset linjat molemmille pumpuille ja lisättiin pumppukohtaiset vapaakiertoventtiilit, jolloin niitä voidaan käyttää itsenäisesti häiriön sattuessa. Käytössä oleva Siemensin logiikkayksikkö poistettiin ja laadittiin uusi logiikkaohjelma Valmetin automaatiojärjestelmään.</p> <p>Kaikki yllämainitut työvaiheet saatiin tehtyä voimalaitoksen revision aikana. Lopputuloksena oli reductioaseman yksinkertaisempi käytettävyys automaatiomuutoksen ansiosta. Venttiilien runkoon asennetut lineaarianturit antavat tarkempaa ja luotettavampaa asentotietoa venttiileistä. Hydraulikkayksikön huoltotoimenpiteet eivät enää ole suuri este reductioaseman käytölle linjamuutoksen jälkeen.</p> | | |
| Asiasanat Reduktio, lineaarianturi, hydraulikkayksikkö | | |

Abstract

| | | |
|--|--|--------------------------|
| Author Vuorela, Eetu | Type of publication Bachelor's thesis | Published Spring 2019 |
| | Number of pages 21 | |
| Title of publication Automation change of reduction station | | |
| Name of Degree Bachelor's Degree in Mechanical Engineering, Mechatronics | | |
| Abstract <p>The aim of this thesis is to improve the usability and safety of the third heat exchanger in Lahti Energy Oy Kymijärvi's second power plant. The reduction station consists of two reduction and injection valves and a hydraulic unit. An external position measurement device is built into the reduction and injection valves, which acts as a reference measurement alongside with the existing measurement device, thus improving the accuracy of position information. Separate lines are made to the hydraulic unit for both pumps and a second relief valve is added to the new line, so they can be used independently in the event of a fault. The currently used Siemens logic control is removed and a new program is being built into Valmet's automation system.</p> <p>All the above steps were completed during the power plant revision. The end result was a simpler usability of the reduction station due to the automation change. Displacement transducers mounted on the valve provide more accurate and reliable position information on the valves. Hydraulic unit maintenance is no longer a major obstacle to using a reduction station after a line change.</p> | | |
| Keywords Reduction, displacement transducer, hydraulic unit | | |

SISÄLLYS

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | JOHDANTO | 1 |
| 2 | LAHTI ENERGIA OY | 2 |
| 2.1 | Historia | 2 |
| 2.2 | Yritysesittely | 2 |
| 2.3 | Energian tuotanto | 3 |
| 2.3.1 | Kymijärvi I | 4 |
| 2.3.2 | Kymijärvi II | 4 |
| 2.3.3 | Kymijärvi III | 5 |
| 3 | TOIMINTAYMPÄRISTÖ | 6 |
| 3.1 | Yleiskuvaus | 6 |
| 3.2 | Reduktioasema | 6 |
| 3.3 | Hydrauliikkayksikkö | 6 |
| 3.4 | Reduktio- ja ruiskuventtiilit | 7 |
| 3.5 | Automaatio | 7 |
| 4 | SUUNNITTELU JA ASENNUS | 8 |
| 4.1 | Alkupalaveri | 8 |
| 4.1.1 | Suojamuutos | 8 |
| 4.1.2 | Asentomittaus | 9 |
| 4.1.3 | Hydrauliikkayksikkö ja automaatio | 9 |
| 4.2 | Asentomittaus | 10 |
| 4.2.1 | Lineaarianturit | 10 |
| 4.2.2 | Signaalinvahvistin | 11 |
| 4.2.3 | Asennus | 12 |
| 4.3 | Hydrauliikkayksikön muutos | 13 |
| 4.4 | Automaatiomuutos | 13 |
| 4.4.1 | Hydrauliikkayksikön ohjelman toimintakuvaus | 14 |
| 4.4.2 | Paine-, lämpötila- ja pintamittauksien ohjelman toimintakuvaus | 15 |
| 4.4.3 | Reduktio- ja ruiskuventtiilien ohjelman toimintakuvaus | 16 |
| 4.4.4 | Lukitustoiminnot | 17 |
| 4.4.5 | Suojamuutos | 17 |
| 5 | YHTEENVETO | 19 |
| | LÄHTEET | 20 |
| | LIITTEET | 21 |

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tavoitteena on parantaa Kymijärven II:n voimalaitoksen reductioaseman reductio- ja ruiskuventtiilien sekä hydraulikkayksikön käytettävyyttä ja turvallisuutta. Opinnäytetyö tehtiin Lahti Energia Oy:n Kymijärvi II -voimalaitoksen kolmannen kaukolämmönvaihtimen reductioasemalle. Työn aihetta minulle ehdotti Lahti Energian automaatiomestari Kaj Westman.

Opinnäytetyössä käsiteltävä muutostyö on jaettu kolmeen osioon: reductio- ja ruiskuventtiilien asentomittaus, hydraulikkayksikön muutos sekä Siemensin logiikkaohjauksen siirto Valmet-automaatiojärjestelmään.

Venttiilien asentomittausosiossa käsitellään lineaarianturien toimintaa, lineaariantureilta saatavan tiedon siirtoa järjestelmään sekä varsinaista asennustyötä.

Hydraulikkayksikkö-osiossa käydään läpi pintapuolisesti hydraulikkayksikön toiminta, muutoksen tarkoitus ja työn lopputulos. Varsinaisen suunnittelun ja työn suoritti ulkopuolinen hydraulikkayritys ja Lahti Energian käyttöinsinööri.

Automaatioluvussa keskitytään Siemens-logiikkaohjelman toiminnan selvittämiseen ja toimintakuvauksen kirjoittamiseen. Toimintakuvauksen pohjalta tehdään Valmetin automaatiojärjestelmään ohjelma, johon lisätään tarpeen tullen muutoksia.

2 LAHTI ENERGIA OY

2.1 Historia

Lahti Energian historia voidaan katsoa alkaneeksi vuonna 1907, kun Lahden sähkölaitos perustettiin, kaupunkiin saatiin katuvalot ja yksityisasuntoja alkoi liittyä sähköverkkoon. Yleisradioaseman rakentaminen paikkakunnalle merkitsi sähkönkulutuksen kasvua ja edellytti toiminnan kehittämistä ja laajentamista. Kaukolämmön yleistymisen myötä vuonna 1971 Lahden kaupunki ja Imatran Voima sopivat Kymijärvi I -voimalaitoksen rakentamisesta ja perustivat Lahden Lämpövoima Oy:n voimalaitosta varten. Voimalaitos valmistui 1975, ja kaupallinen toiminta alkoi 1976. Maakaasun käyttö polttoaineena alkoi 1980-luvulla ja voimalaitoksen yhteyteen rakennetun kaasaturpiinin käyttöönotto alkoi samoihin aikoihin. Lahden kaupunki yhtiöitti vuonna 1990 toiminnan sataprosenttisesti omistamansa tytäryhtiön Lahti Energia Oy:n nimiin. Kymijärvi II -kaasutusvoimalaitoksen rakennushanke käynnistettiin vuonna 2009 ja voimalaitos valmistui vuonna 2012. (Lahti Energia 2019a.)

2.2 Yritysesittely

Lahti Energian päätuotteita ovat yhteistuotannolla tuotettu sähkö- ja kaukolämpö, joita tuotetaan tällä hetkellä kahdessa voimalaitoksessa Lahdessa. Lisäksi lämmöntuotannossa käytetään eri puolilla jakeluverkkoa sijaitsevia pienvoimaloita sekä kaukolämmön huippu- ja varakeskuksia lähinnä talvikautena. (Lahti Energia 2019b.)

Kaukolämpöä toimitetaan oman verkon alueella Lahdessa, Hollolassa ja Asikkalassa. Sähkön siirtoverkko ulottuu Lahden ja Hollolan lisäksi osin myös Iitin ja Asikkalan kuntiin. Sähkönsiirtoon liittyvistä asioista huolehtii Lahti Energian tytäryhtiö LE-Sähköverkko Oy. Sähköverkon pituus on 4 583 km ja kaukolämpöverkon pituus 683 km. Uusiutuvan ja ympäristöystävällisen energian tuottaminen on tänä päivänä erittäin tärkeää. Lahti Energian omassa tuotannossa polttoaineina käytetään kierrätyspolttoainetta, maakaasua, kivihiiltä, puuta ja biokaasua, lisäksi osakkuusyhtiöiden kautta yhtiöllä on osuudet vesi-, tuuli- ja ydinvoimaa. Erialaisten polttoaineiden käyttömäärät ja suhteet vaihtelevat vuosittain. (Lahti Energia 2019b.)

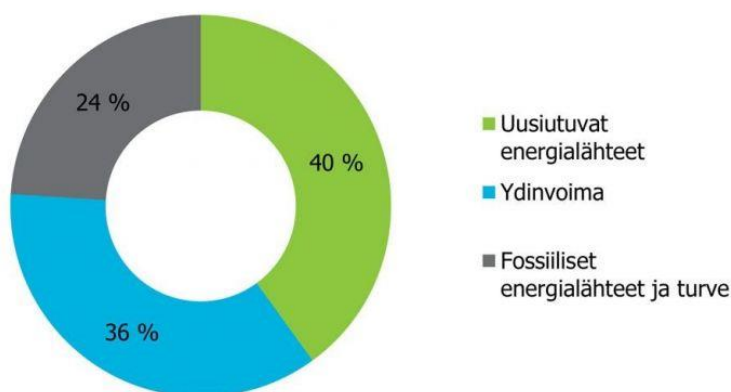
Sähköä myydään kaikkialle Suomeen yli 87 000 asiakkaalle ja kaukolämpöä yli 8 000 asiakkaalle. Vuonna 2017 yhtiön liikevaihto oli 175,6 milj. euroa, liikevoitto 27,5 milj. euroa, investointeihin käytettiin 91,8 milj. euroa, henkilöstöä vuoden lopussa oli 204. (Lahti Energia 2019c.)

2.3 Energian tuotanto

Valtaosa Lahti Energian sähköstä ja kaukolämmöstä tuotetaan Lahdessa Kymijärven voimalaitoksilla. Lisäksi lämmöntuotannossa käytetään eri puolilla jakeluverkkoa sijaitsevia pienlaitoksia sekä kaukolämmön huippu- ja varakeskuksia lähinnä talvikaudella. (Lahti Energia 2019d.)

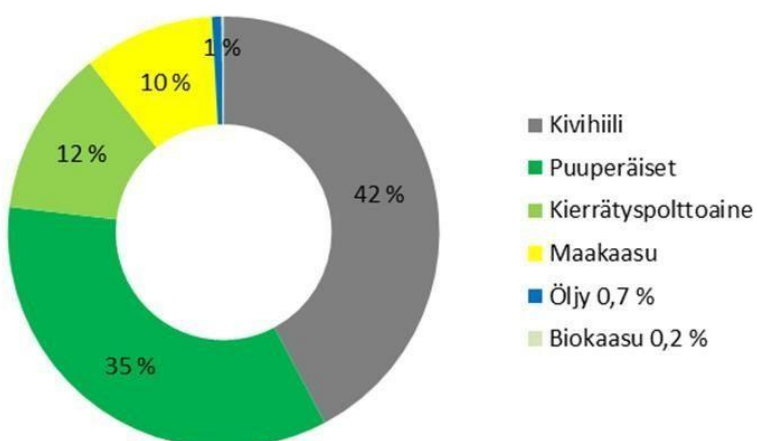
Lahti Energian myymästä sähköstä osa tuotetaan itse ja osa hankitaan EPV Energia Oy:stä ja Suomen Hyötytuuli Oy:stä, joissa Lahti Energia on osakkaana. Teollisuusasiak- kaille Lahti Energia tuottaa myös prosessihöyryä. (Lahti Energia 2019e.)

Lahti Energian omassa tuotannossa polttoaineina käytetään kierrätyspolttoainetta, maa- kaasua, kivihiiltä, biopolttoaineita ja biokaasua. Kuvien 1 ja 2 ympyrädiagrammeista näh- dään sähkön alkuperän jakautuminen sekä oman tuotannon polttoaineet. (Lahti Energia



2019d.)

KUVA 1. Sähkön alkuperä vuonna 2017 (Lahti Energia 2019e.)



KUVA 2. Oman tuotannon polttoaineet 2017 (Lahti Energia 2019d.)

2.3.1 Kymijärvi I

Vuonna 1975 valmistunut Kymijärvi I -voimalaitos tuottaa sähköä ja kaukolämpöä. Voimalaitos muodostuu höyrykattilasta, höyryturbiinista sekä pääkattilan yhteyteen kytketystä kaasutinlaitoksesta. Kaasutinlaitos rakennettiin kattilalaitoksen rinnalle vuonna 1998. Kattilan polttoaineina ovat kivihiili, tuotekaasu ja maakaasu. Tuotekaasu valmistetaan kaasutimessa kaasuttamalla puuperäistä biomassaa. (Lahti Energia 2019f.)

Höyrykattilan polttoainetehto on 350 MW, sähköteho on noin 150 MW ja kaukolämpöteho noin 190 MW. Kaasuturbiinin polttoainetehto on 150 MW, sähköteho noin 45 MW ja kaukolämpöteho noin 60 MW. Vuotuinen energian tuotanto on noin 650 GWh kaukolämpöä ja 350 GWh sähköä. Voimalaitos tuottaa noin puolet Lahti Energian toimittamasta kaukolämpöenergiasta ja neljäsosan sähköenergiasta. (Lahti Energia 2019f.)

Kymijärvi I:n toiminta on pian historiaa, sillä kivihiilivoimalaksi rakennettu laitos korvataan Kymijärvi III valmistuttua uudella tekniikalla.

2.3.2 Kymijärvi II

Vuonna 2012 valmistunut Kymijärvi II on maailman ensimmäinen pelkästään kierrätyspolttoainetta käyttävä kaasutusvoimalaitos, joka tuottaa sähköä ja kaukolämpöä yhdistetyssä prosessissa vastapaineperiaatteella. (Lahti Energia 2019g.)

Voimalaitoksen kokonaisprosessiin kuuluvat kierrätyspolttoaineen vastaanotto- ja varastosiiilot, kaksi kaasutin- ja tuotekaasupuhdistuslinjaa, kaasukattila, höyryturbiini, savukaasupuhdistuslaitteisto sekä savupiippu. Laitoksen polttoaine koostuu materiaali kierrätykseen kelpaamattomista hyvin palavista jätteistä eli muovista, paperista, pahvista ja puusta. (Lahti Energia 2019g.)

Pääpolttoaineena käytetään nykyisin esikäsiteltyä kierrätyspolttoainetta ja kierrätyspuuta, enimmillään 250 000 tonnia vuodessa. Käynnistys- ja apupolttoaineena käytetään maakaasua. (Lahti Energia 2016.)

Materiaali tuodaan Kymijärvi II:n polttoaineenvastaanottoon rekoilla tai naapurikiinteistöllä sijaitsevalta polttoainetoimittajalta esikäsiteltynä kuljetinta pitkin. Polttoainemateriaali vastaanotetaan halliin, jossa kuormat puretaan purkumontun kuljetushihnalle, josta polttoaine kulkee näytteenottimen, seulan ja magneettien läpi varastosiiiloihin. Varastosiiilosta kaasutimelle lähtevä polttoaine kulkee vielä pyörrevirtaerottimen läpi, jolla saadaan erotettua ei-magneettiset metallit. (Lahti Energia 2016.)

Kaasutuksessa jätteestä vapautuu korkeassa lämpötilassa hiilimonoksidia, metaania ja vetyä. Kaasu jäädytetään ennen polttamista, jolloin kaasun mukana kulkeutuvat haitalliset ja korroosiota aiheuttavat aineet tiivistyvät, ja ne voidaan erottaa kaasun joukosta. (Lahti Energia 2016.)

Laitoksen polttoaineteho on 160 MW, josta sähköteho on noin 50 MW ja kaukolämpöteho noin 90 MW. Tänä päivänä voimalaitos tuottaa noin puolet Lahti Energian toimittamasta sähkö- ja kaukolämpöenergiasta. (Lahti Energia 2019g.)

2.3.3 Kymijärvi III

Kymijärvi III -voimalaitos on vielä rakenteilla oleva vuonna 2019 valmistuva lämpölaite, jolla korvataan Kymijärvi I -laitoksen toiminta. Valmistuttuaan laitos tuottaa ainoastaan kaukolämpöä, mutta lisäinvestoinneilla laitos voidaan muuntaa myös sähköntuotantoon. Laitoksen kaukolämpöteho on noin 190 MW ja pääpolttoaineena tullaan käyttämään sertifioitua biomassaa. Laitoksen kiertoleijukattila mahdollistaa tarvittaessa muidenkin kiinteiden polttoaineiden käytön, muun muassa kivihiilen. Lämpölaite vähentää Lahti Energian hiilidioksidipäästöjä 600 000 tonnia vuodessa. (Lahti Energia 2019h.)

3 TOIMINTAYMPÄRISTÖ

3.1 Yleiskuvaus

Kymijärvi II voimalaitoksella voidaan tuottaa sähköä ja kaukolämpöä. Kattilalta tuleva tulistettu höyry ohjataan sähköntuotannossa höyryturbiiniin, jossa höyrynpaine pyörittää turbiinin roottoria. Höyryturbiiniin roottorin akseli on kiinnitetty generaattoriin, joka tuottaa sähkövirran. Sähkön hinnan ollessa alhainen on kannattavaa vähentää sähkön tuotantoa ja siirtyä reduktioajolle, jolloin tuotetaan kaukolämpöä. Kattilalta tuleva tulistettu höyry, joka normaalitilanteessa ohjattaisiin turbiinille sähkön tuotantoa varten, johdetaan reduktioasemalle.

3.2 Reduktioasema

Reduktioasema on kokonaisuus, johon kuuluu reduktio- ja ruiskuventtiilit, hydraulikkayksikkö, pikasulkuventtiilit sekä paine- ja lämpötilamittaukset. Kyseisen reduktioaseman tehtävä on laskea höyrynpaine ja lämpötila kaukolämmönvaihtimelle ja omakäyttöhöyrytuotille sopivaksi. Haluttu höyrynpaine ja lämpötila määräytyvät tahdotun kaukolämpöveden lämpötilan mukaan.

3.3 Hydraulikkayksikkö

Hydraulikkayksikkö paineistaa reduktioaseman öljylinjat, mikä ohjaa järjestelmän venttiilien liikkeitä. Hydraulikkayksikkö koostuu kahdesta pumpusta, joista toinen on normaalitilanteessa käytössä. Pumpun vaihto tapahtuu häiriötilanteessa tai kun pumppu on käynyt 500 sykliä. Syklit lasketaan vapaakiertolinjan aukeamisesta. Pumpun häiriötilannevaihto tapahtuu, jos 100 baarin öljynpainetta ei saavuteta 10 sekunnin aikana käynnistyksestä. Toinen paineraja on asetettu 180 baariin, joka pitää saavuttaa 100 sekunnin aikana käynnistyksestä. Molemmilla pumpuilla on yhteinen vapaakiertolinja, joka päästää öljyn virtaamaan takaisin tankkiin vapaakiertoventtiilin kautta. Kun öljynpaine saavuttaa 180 baarin, vapaakiertoventtiili aukeaa ja paineen pudotessa 130 baarin, niin vapaakiertoventtiili sulkeutuu. Vapaakiertoventtiilissä on myös mekaaninen hätätoiminta, joka aukaisee venttiilin 200 baarissa. Painelinjassa on myös kaksi öljynsuodatinta, josta tulee hälytys järjestelmään suodattimen tukkeutuessa.

Hydraulikkayksikköön lisätään pumppukohtaiset vapaakiertolinjat ja öljynsuodattimet. Aiemmin vapaakiertolinjan vikatilanteessa molemmat pumput olivat käyttökelvottomia, joten koko yksikön kahdentamisella saadaan turvattua toiminta myös vikatilanteissa.

3.4 Reduktio- ja ruiskuventtiilit

Reduktioventtiili on paineenalennusventtiili höyrylle. Reduktioventtiili alentaa kattilalta tulevan tulistetun höyryn paineen ja ohjaa sen omakäyttöhöyrytukille tai kaukolämmönvaihtimen kautta kaukolämpöverkkoon ja ulospuhallussäiliölle. Höyryn paine ennen reduktiota on noin 117 baria ja reduktion jälkeen noin 2 baria.

Ruiskuventtiilillä tai ruiskutusvesiventtiilillä suihkutetaan syöttövesipumppujen väliotolta tulevaa vettä höyrylinjaan, jossa vesi höyrystyy ja alentaa täten höyryn lämpötilaa. Höyryn lämpötila ennen ruiskutusta on noin 530 °C ja ruiskutuksen jälkeen noin 165°C.

Reduktio- ja ruiskuventtiileille rakennetaan ulkoinen asentomittaus, jolloin saadaan tarkempaa tietoa venttiilien asennosta. Nykyinen asentomittaus on epätarkka, ja useasti ohjaus- ja asentoarvo eroavat toisistaan liikaa, jolloin venttiili niin sanotusti ryntää saavuttaakseen ohjausarvon määräämän asennon.

3.5 Automaatio

Hydrauliikkayksikön sekä reductio- ja ruiskuventtiilien toiminnan ohjaus tulee tällä hetkellä Siemensin S-300 -paikallislogiikasta, josta hälytystiedot siirretään Valmetin automaatiojärjestelmään. Tarkoituksena on poistaa Siemensin logiikka ja ohjata toimintoja suoraan Valmetin järjestelmästä. Tämä mahdollistaa nopeamman ohjelmanmuutoksien tekemisen, parantaa vian selvitystä sekä vähentää Siemensin laitteiston osaamisen tarvetta voimalaitoksella. Lahti Energia käyttää pääsääntöisesti Valmetin automaatiojärjestelmää molempien voimalaitoksien ohjaukseen, mutta muutamia laitekokonaisuuksia ohjataan paikallisesti muun muassa Siemensin logiikoilla. Tärkeimpiä tietoja ja toimintoja Siemensissä on tällä hetkellä: venttiilien ohjaus- ja asentotieto, hydrauliikkapumppujen käyntitieto, öljyn pinta-, paine- sekä lämpötilatieto ja kaikkien laitteiden vikatiedot. Siemensin ohjelma ladataan logiikasta ja laaditaan vanhasta ohjelmasta toimintakuvaus. Varsinaisen ohjelmoinnin Valmetin järjestelmään tekee Valmet Oy.

4 SUUNNITTELU JA ASENNUS

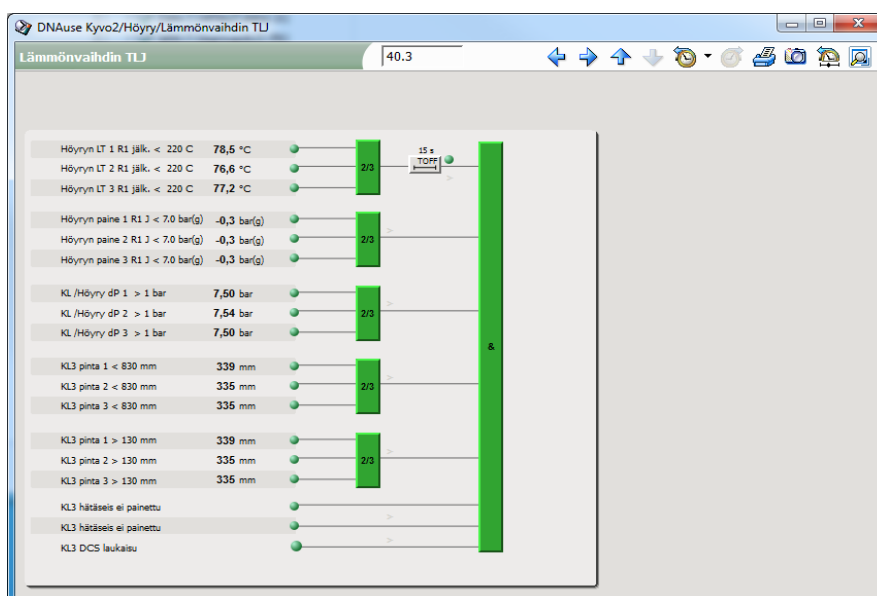
4.1 Alkupalaveri

Projekti aloitettiin pitämällä alkupalaveri käyttöpäällikön, käyttöinsinöörin ja automaatiomestarin kanssa, jossa sovittiin tarkemmin työn sisällöstä, vastuualueista ja aikataulusta. Suunnittelu toteutetaan ennen syksyn revisiota. Muutokset tehdään syksyn revisiossa ja testataan käyttöönotossa. Turva-automaatiojärjestelmän muutosten osalta testaukset tehdään ennen käyttöönottoa. Palaverin pöytäkirjaan kirjattiin seuraavaa. (Lahti Energia 2018.)

4.1.1 Suojamuutos

Nykyinen ylipainesuoja reduktioventtiilille K2SF10S301 toimii kolmella painekeytkimellä K2SF10P006-008, joiden toimintapiste on 7 baria. Kolmannen kaukolämmönvaihtimen ylipainesuoja toimii kolmella painemittauksella K2SF11P001-003, joiden laukaisupiste on 7 barissa.

Kaukolämmönvaihtimen suojaa päivitetään siten, että myös reduktioventtiili K2SF10S301 sulkeutuu. Tähän kuuluu kuvan 3 mukaisesti kaikki nykyisessä KL3:n suojassa olevat laukaisut: höyryn korkea lämpötila tai korkea paine reduktion jälkeen, paine-ero höyry- ja kaukolämpöpuolen välillä, KL3:n lauhdepuolen liian matala tai korkea pinta sekä hätäseis-painikkeet. Painekeytkimet K2SF10P006-P008 poistetaan. Ylipainesuojana muutoksen jälkeen käytetään painemittauksia K2SF11P001-003. Painemittausten K2SF11P001-003 impulssiputkien juuriventtiilit lukitaan auki-asentoon.



Kuva 3. KL3 -suojatoiminto (Valmet 2019, viitattu 26.3.2019)

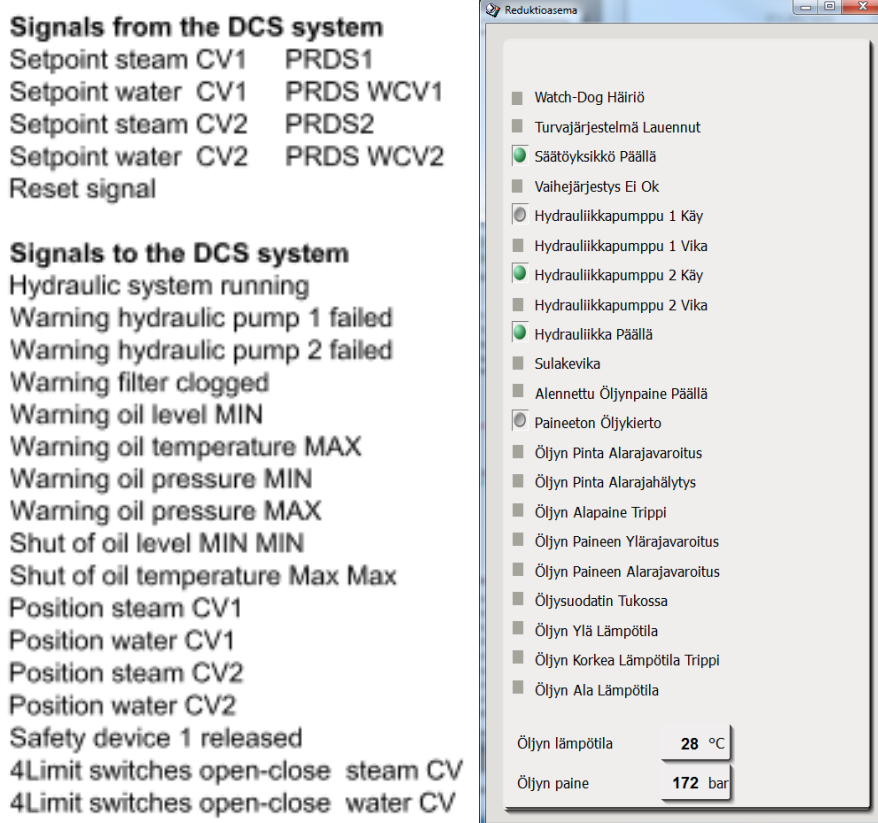
4.1.2 Asentomittaus

Proportionaaliventtiilit ohjaavat reduktio- ja ruiskuventtiilejä. Reduktio- ja ruiskuventtiilien ongelmana on, kun ohjaus- ja asentomittaus poikkeavat toisistaan liikaa, niin venttiili rynnäköi yrittäessään saavuttaa halutun asennon.

Proportionaaliventtiilien ohjausyksiköt muutetaan toisen tyyppiseksi reduktio- ja ruiskuventtiilien osalta. Ongelman ratkaisemiseksi rakennetaan uusi asentomittaus nykyisten rinnalle reduktio- ja ruiskuventtiileille. Käynnin aikana testataan toimivuutta, ja tulosten perusteella voidaan ottaa vakituisen käyttöön nykyisen asentomittauksen tilalle.

4.1.3 Hydraulikkayksikkö ja automaatio

Paikallislogiikkaohjaus tulee siirtää Valmetin automaatiojärjestelmään. Kuvassa 4 näkyy Siemensin paikallislogiikalta tulevat hälytyksen Valmetin järjestelmään.



Kuva 4. Reduktioaseman hälytykset (Valmet 2019, viitattu 26.3.2019)

Hydrauliikkayksikön ohjaukset ja tilatiedot siirretään Valmetiin paikallislogiikasta pois ja valmistellaan kuormitusjärjestelmän kahdentamista pumppukohtaisiksi. Häiriön tapahtuessa vaihdetaan toiseen linjaan öljyn paineen noustessa liian korkeaksi tai laskiessa liian matalaksi. (Lahti Energia 2018.)

4.2 Asentomittaus

Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan neljää venttiiliä, joista tarvitaan tarkempaa asentotietoa. Nämä venttiilit ovat kaukolämmönvaihtimen sekä omakäyttöhöyrytukin linjojen reduktio- ja ruiskuventtiilit. Molempien linjojen reduktio- ja ruiskuventtiilit ovat toiminnaltaan samanlaisia, mutta erikokoisia, jolloin venttiilien karojen liikeratojen pituuksissa on myös eroja.

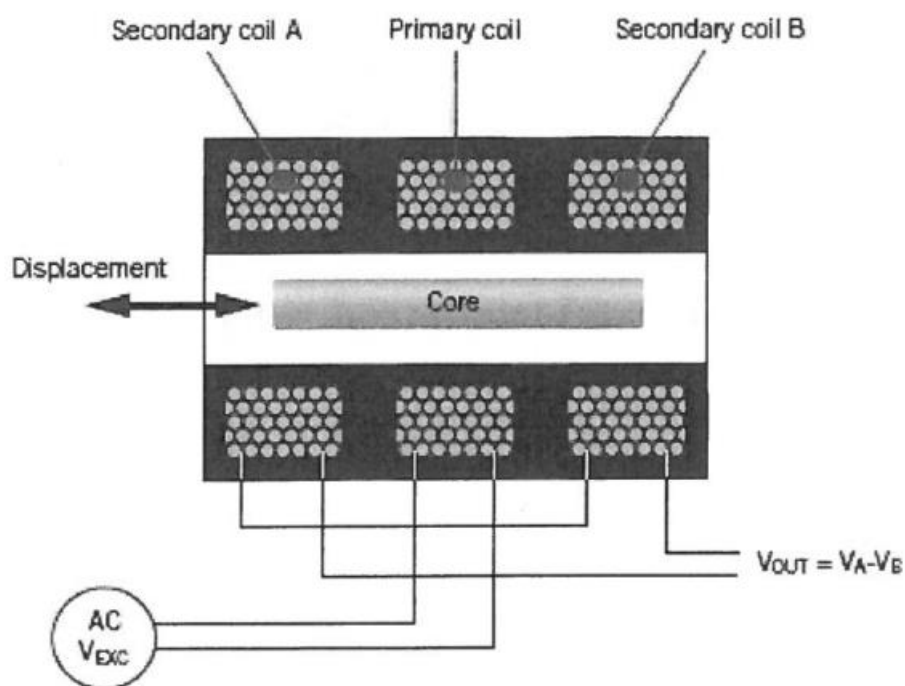
Venttiilien liikeratojen pituudet ovat 0 - 155 mm, 0 - 80 mm, 0 - 55 mm ja 0 - 30 mm. Venttiilien liikkeen mittaamiseksi valittiin lineaarianturit. Lineaariantureilta vaadittavia ominaisuuksia muun muassa ovat korkean lämpötilan kesto, lämpötilan vaihtelun kesto, helppo viritettävyyys sekä signaalin ulostulo 4 - 20 mA.

4.2.1 Lineaarianturit

Lineaarianturi tyyppinä on useita, ja ne voidaan jakaa toimintansa ja mittaustapansa perusteella eri ryhmiin. Lineaarianturit voivat olla absoluutti- tai inkrementtiantureita. Absoluuttiantureilta saadaan mittaustietoa jatkuvasti, ja virran pois- ja takaisinkytkennän jälkeen mittaustieto päivittyy, vaikka anturin paikka olisi muuttunut sähkökatkoksen aikana. Inkrementtianturi puolestaan vaatii niin sanotulla koti- tai nolllapisteellä käymisen, jonka jälkeen anturi pystyy vasta laskemaan sijaintinsa. Toisin sanottuna, jos inkrementtianturi on sähköttömänä ja anturin mittauselintä liikutetaan, paikkatieto ei vastaa todellisuutta sähköjen palautumisen jälkeen. Inkrementtianturin saaminen kotipisteelle tarkoittaa tässä tilanteessa venttiilin ajamista kohtaan, mihin anturin kotipiste on asetettu. Kyseisessä työssä, ja voimalaitosympäristössä ylipäätensä, ei aina ole mahdollista liikuttaa venttiiliä tai vaatisi esimerkiksi linjan alkupäässä sulkuventtiilin sulkemisen, joten absoluuttianturi on huomattavasti parempi vaihtoehto kyseiselle kohteelle, ja absoluuttianturin valinta helpottaa anturin viritystä vikatilanteen sattuessa.

Päädyimme tilaamaan Solartron Metrologyn valmistamia Mach 1 -sarjan LVDT-lineaariantureita, joita otettiin kolmea eri kokoa, 200 mm, 100 mm sekä 50 mm, jolloin kaikkien venttiilien koko liikerata saadaan mitattua. Valittujen antureiden mittaustapa, LVDT, eli lineaarisesti säätävä differentiaalimuuntaja, perustuu lineaarianturin sydämen liikkeen ja magneettikentän aiheuttamaan jännitteen muutokseen. Lineaarianturin ensiökäämiin syötetään vaihtojännitettä ns. herätejännitteenä. Anturissa on kaksi toisiokäämiä, käämi A ja käämi B, joihin indusoituu jännite, kun anturin sydän liikkuu toisiokäämien magneettikentässä. Kuvan 5 mukaisesti, kun anturi liikkuu vasemmalle niin käämin A jännite kasvaa ja käämin B jännite alenee. Käämien jännitteiden arvot vähennetään toisistaan, jolloin saadaan jännitteen suuruus ja suunta, joka on anturin ulostulojännite. Anturin

valmistaja on määrittänyt anturille herkkyysarvon, joka on mV/mm, jolloin ulostulojännitteen suuruudesta saadaan pääteltyä anturin etäisyys keskipisteestä ja jännitteen suunnasta kumpaan suuntaan anturi on liikkunut keskipisteestä. Anturin ollessa keskiasennossa toisiokäämeihin indusoituu pieni jännite, jolloin missään anturin asennossa ulostulojännite ei ole nolla. Tällä mahdollistetaan ulostuloviestin virheellisyyden toteaminen. (Solartron Metrology 2019a.)



Kuva 5. LVDT-anturi (Solartron Metrology 2019a.)

4.2.2 Signaalinvahvistin

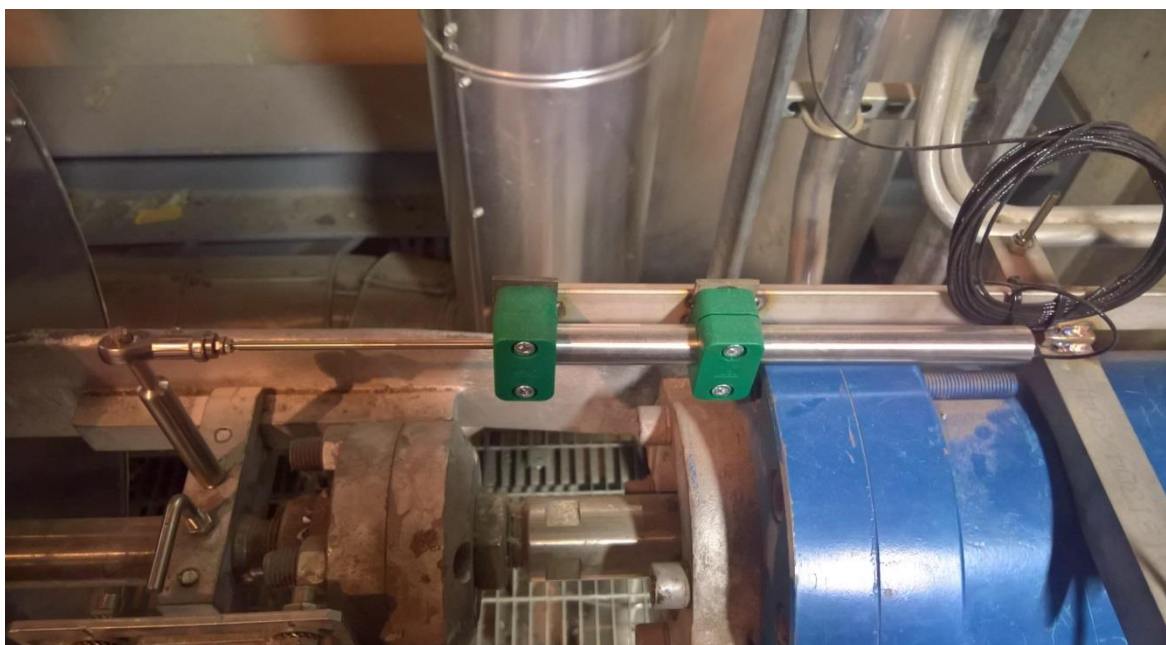
Kyseiseen lineaarianturiin tarvitaan myös signaalinvahvistin. Signaalinvahvistin syöttää lineaarianturille sen tarvitseman herätejännitteen, mittaa anturin toisiokäämeiltä tulevaa jännitettä ja muuttaa tämän jännitearvon milliampeeri viestiksi järjestelmään sekä ehkäisee pitkistä välimatkasta johtuvaa signaalin heikkenemistä. (Solartron Metrology 2019b.)

Tilasimme jälleenmyyjältä kahta eri signaalinvahvistintyyppiä: Solartron Metrologyn valmistamia OD2- sekä DCR-vahvistimia. Työssä päädyimme käyttämään OD2-vahvistinta, koska se osoittautui helpommaksi viritettäväksi. DCR-vahvistimen hyvä puoli oli standardin mukainen DIN-kisko liitettä, mutta rajallisen keskustilan vuoksi DCR-vahvistin olisi pitänyt asentaa keskuksen ulkopuolelle tai asentaa uusi keskus vanhan viereen. OD2-vahvistin

puolestaan on valmiiksi IP65- luokan kotelossa, joten asentaminen keskuksen ulkopuolelle ei ollut ongelma.

4.2.3 Asennus

Kentällä olevaan keskukseseen asennettiin jokaiselle signaalinvahvistimelle virtalähteet, jotka syöttävät tarvittavan käyttöjännitteen signaalinvahvistimille. Signaalinvahvistimet asennettiin mahdollisimman lähelle itse venttiileitä, mikä helpottaa lineaarantureiden viritystä kentältä. Signaalinvahvistimelta tuleva milliampeeriviesti kaapeloitiin Kymijärvi II -voimalaitoksen automaatiotilaan ja kytkettiin Valmetin analogiseen tulokorttiin, jolloin milliampeeritietoa pystyy lukemaan ja käyttämään järjestelmästä. Venttiilien kylkeen rakennettiin kehikko, johon lineaaranturit kiinnitettiin putkikiinnikkeillä kuvan 6 mukaisesti. Putkikiinnikkeiden yksinkertainen kiinnitysmekanismi mahdollistaa lineaaranturin liikuttamisen viritystä varten. Lineaaranturin päähän asennettiin pallonivel, millä ehkäistään kiinnikkeen epälineaarisuudesta ja alueen värinästä aiheutuvaa räsitusta lineaaranturille. Pallonivelen toinen pääty kiinnittyy venttiin karaan, jolloin lineaaranturi liikkuu venttiin mukana. Lineaaranturin viritys tapahtuu asettamalla anturi kiinnikkeeseen siten, että anturin liikerata riittää venttiin koko liikeradan matkalle. Seuraavaksi ajetaan venttiili toiseen ääriasentoon ja mitataan signaalinvahvistimelta ulostuleva milliampeeri arvo. Signaalinvahvistimessa on molemmille ääriasennoille potentiometri, jota säätämällä saadaan milliampeeri arvo oikeaksi. Kun tiedetään, että venttiili on esimerkiksi täysin auki, niin viritetään ulostulovirta 20 mA:n suuruiseksi ja venttiin ollessa kiinni virta säädetään 4 mA:iin.



Kuva 6. Lineaaranturi kiinnitettynä venttiin runkoon. (Eetu Vuorela 2018.)

4.3 Hydraulikkayksikön muutos

Hydraulikkayksikkö koostuu kahdesta 5,5 kW tehoisesta pumpusta, yhteisestä vapaakiertolinjasta, öljytankista, öljynsuodattimista sekä paine- ja lämpötilamittauksista. Alkutilanteessa molemmat pumput käyttivät yhteistä vapaakiertolinjaa, josta hydraulikkaöljy pääsee kiertämään takaisin tankkiin. Vapaakiertolinjan aukaisee vapaakiertoventtiili, jos öljyn paine nousee korkealle. Painelähetin tarkkailee linjan öljyn painetta. Venttiilissä on myös mekaaninen hätätoiminta, joka aktivoituu korkeasta öljyn paineesta siinä tilanteessa, jos öljyn painelähetin ei olisi toiminut. Linjassa on suodatinyksikkö, joka koostuu kahdesta öljynsuodattimesta. Suodattimen likaantumista tarkkaillaan painemittauksella, joka lähettää tiedon järjestelmään.

Työn alussa tilattiin ulkopuolinen hydraulikkayritys voimalaitokselle arvioimaan tilannetta. Heidän kanssaan käytiin lävitse, mitä hydraulikkayksikön muutoksella haluttiin saavuttaa. Muutaman viikon kuluttua saimme tarjouksen, johon kuului muutostyön suunnittelu, asennus ja varaosat.

Pumpuille rakennettiin omat vapaakiertolinjat. Uuteen linjaan lisättiin vapaakiertoventtiili sekä suodatinyksikkö. Linjat yhdistyvät ennen venttiileitä ja yhteisestä linjasta mitataan paine ja lämpötila turvatoimintoja varten. Vapaakiertoventtiilin paineraja säädettiin 200 barista 185 baariin.

Voimalaitoksen revisiossa hydraulikkayksikkö otettiin irti muutostöitä varten. Hydraulikkayksikön osalta sähkö- ja automaatio-osaston työksi jäi uusien antureiden kaapelointi.

4.4 Automaatiomuutos

Automaatiomuutos aloitettiin vanhan logiikkaohjelman toiminnan selvittämällä. Siemensin S-300 -logiikasta ladattiin logiikkaohjelma, jonka pohjalta uutta ohjelmaa alettiin suunnitella. Lahti Energialla ei ole Siemensin logiikkaohjelmoijia eikä Siemensin tietokoneohjelmia, joten ohjelmatiedosto lähetettiin paikalliselle yritykselle, joka käyttää Siemensin logiikoita ja pyydettiin heitä kääntämään ohjelma kuvatiedostoksi. Siemensin ohjelma kuvamuodossa oli 129 sivua pitkä. Kuvien pohjalta kirjoitettiin Valmetin automaatio-ohjelmoijalle kirjallinen ohje uuden ohjelman toiminnasta. Ohjelmoijan kanssa käytiin toimintakuvaus lävitse ja toimintakuvaukseen kirjoitettiin seuraavaa.

4.4.1 Hydraulikkayksikön ohjelman toimintakuvaus

Kumpi tahansa pumpuista voidaan valita käytettäväksi ensimmäisenä. Vanhassa ohjelmassa pumppu PU02 käynnistyy ensimmäisenä. Valmetin näytölle tehdään kuvake, josta valitaan, kumpaa pumppua käytetään.

Pumpun PU02 käynnistyttyä öljyn paineen pitää nousta P0 rajalle 10 sekunnissa. Jos rajaa ei saavuteta, niin vaihdetaan automaattisesti pumppuun PU01 ja lähetetään järjestelmään hälytys pumpun PU02 virheestä. Pumpun PU02 käynnistyttyä öljyn paineen pitää nousta P4 rajalle 100 sekunnissa. Jos rajaa ei saavuteta, niin tapahtuu automaattivaihto pumppuun PU01 ja hälytys pumpun PU02 virheestä.

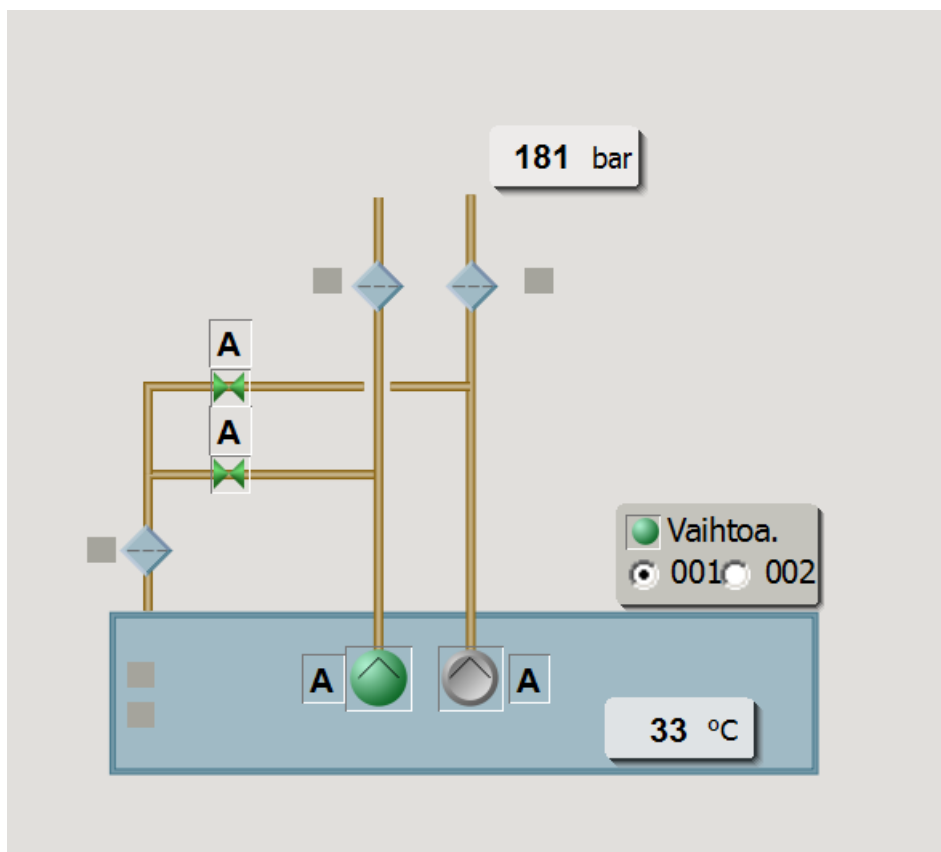
Jos pumppu PU01 ei myöskään saavuta näitä rajoja samoissa aikamääreissä, niin ohjelma sulkee pumpun ja ilmoittaa virheestä. Ohjelma ei vaihda takaisin pumppuun PU02. 500 syklin vaihtotoimintoa ei tehdä uuteen ohjelmaan.

Seuraava toiminto tehdään molemmille pumpuille. Toiminto otetaan käyttöön vasta, kun P4 paine on saavutettu ensimmäisen kerran. Jos paine putoaa käynnin aikana P2 rajalle, ohjelma ottaa toisen pumpun käyttöön, kunnes paineraja P4 on saavutettu. Jos paine putoaa käynnin aikana P1 rajalle, vaikka molemmat pumput käyvät, niin suljetaan pikasulkuventtiili K2SF10S303. Järjestelmään lähetetään hälytysviesti: "Öljyn paineen alarajavaroitus". Venttiili aukeaa vasta kun P2 raja on saavutettu, jos muut estot eivät estä aukeamista.

Kun pumppu PU02 saavuttaa painerajan P4, niin venttiili K2SF10S201 aukeaa ja paineeton öljynkierto on toiminnassa. Kun paine putoaa P3 rajalle, niin venttiili K2SF10S201 sulkeutuu.

Kun pumppu PU01 saavuttaa painerajan P4, uusi vapaakiertoventtiili aukeaa ja paineeton öljynkierto on toiminnassa. Kun paine putoaa P3, niin venttiili sulkeutuu.

Öljynpaineen noustessa rajalle P5 niin molemmat pumput sulkeutuvat. Järjestelmään lähetetään hälytysviesti: "Öljynpaineen ylärajavaroitus". Kuvassa 7 on esitetty Valmetin automaatiojärjestelmään tehty näyttökuva hydraulikkayksiköstä.



Kuva 7. Hydraulikkayksikön näyttökuva. (Valmet 2018.)

4.4.2 Paine-, lämpötila- ja pintamittauksien ohjelman toimintakuvaus

Painemittaus K2SF10P004

Painelähetin tarkkailee hydraulikkayksikön öljyn painetta. Mittausalue on 0 - 200 bar. Ohjelman pitää tarkastaa, onko paineanturi toiminnassa ohjelman alussa. Analoginen mittausalue on 4 - 20 mA, jolloin voidaan tarkkailla alle 4 mA:n sekä yli 20 mA:n alueita. Alle 4 mA:n tilasta lähetetään hälytys järjestelmään: "Painemittaus mittausalueen alapuolella" ja yli 20mA:n tilasta hälytys: "Painemittaus mittausalueen yläpuolella". Jos käynnin aikana tulee mittausvika, niin sammutetaan pumput. Ohjelmaan on asetettu 6 eri painerajaa, P0-P5.

P0 = 100 bar = paineraja 0

P1 = 115 bar = paineraja 1

P2 = 135 bar = paineraja 2

P3 = 150 bar = paineraja 3

P4 = 180 bar = paineraja 4

P5 = 190bar = paineraja 5

Lämpötilamittaus K2SF10T001

Lämpötilälähetin tarkkailee hydraulikkayksikön öljyn lämpötilaa. Mittausalue on 0 - 100,0 °C. Ohjelman pitää tarkastaa, onko lämpötila-anturi toiminnassa ohjelman alussa. Analoginen mittausalue on 4 - 20mA, jolloin voidaan tarkkailla alle 4 mA:n sekä yli 20 mA:n alueita. Alle 4 mA:n tilasta lähetetään hälytys järjestelmään: "Lämpötilamittaus mittausalueen alapuolella" ja yli 20 mA:n tilasta hälytys: "Lämpötilamittaus mittausalueen yläpuolella." Jos käynnin aikana tulee mittausvika, niin sammutetaan pumput. Ohjelmaan on asetettu 3 eri lämpötilarajaa.

Lämpötilaraja 1 aktivoituu, kun lämpötila on yli 70 °C. Kun 70 °C lämpötila ylittyy, niin järjestelmään lähetetään hälytys: "Öljyn ylälämpötila", josta ei aiheudu toimenpiteitä. Hälytys voidaan kuitata kun lämpötila on alle 70 °C.

Lämpötilaraja 2 aktivoituu, kun lämpötila on yli 80 °C. Kun 80 °C lämpötila ylittyy, niin pumput sammuvat ja järjestelmään hälytys: "Öljyn korkea lämpötila trippi". Hälytys voidaan kuitata kun lämpötila on alle 80 °C.

Lämpötilaraja 3 aktivoituu, kun lämpötila on alle 0 °C. Kun 0 °C lämpötila alittuu, niin pumput sammuvat ja järjestelmään hälytys: "Öljyn ala-lämpötila trippi."

Pintakytkimet K2SF10L001 ja K2SF10L002

Pintakytkimet tarkkailevat hydraulikkayksikön öljyn pinnankorkeutta.

Pintakytkimen K2SF10L001 aktivoituessa lähetetään järjestelmään hälytys: "Öljyn pinta alarajavaroitus", joka ei aiheuta toimenpiteitä ja voidaan kuitata vasta, kun öljyn korkeus ylittää kyseisen rajan.

Pintakytkimen K2SF10L002 aktivoituessa sammutetaan pumput ja lähetetään järjestelmään hälytys: "Öljyn pinta alarajahälytys". Hälytys voidaan kuitata vasta, kun öljyn korkeus ylittää kyseisen rajan.

4.4.3 Reduktio- ja ruiskuventtiilien ohjelman toimintakuvaus

Alla mainitut toimenpiteet tehdään molemmille reductio- ja ruiskuventtiileille. Kyseisten venttiilin positiot ovat K2SF10S301, K2RL81S301, K2SF30S301 ja K2RL84S301.

Venttiilin ohjausviesti tulee jo Valmetin järjestelmästä, joka ohjaa magneettiventtiiliä. 4 mA tarkoittaa venttiilin olevan kiinni ja 20 mA venttiilin olevan auki. Jos ohjausarvo eroaa

asentoarvosta 3 %:a viiden sekunnin ajan, niin lähetetään järjestelmään hälytys: ”Ohjausarvo eroaa liikaa asentoarvosta” ja pysäytetään venttiilin liike.

Tämän hetkinen paikanmittaus säilytetään ja rakennetaan ulkoinen mittaus rinnalle. Mittaustapoja pitää pystyä vaihtamaan Valmetista, jolloin toiminnan testaaminen helpottuu. Uusi asentoarvo näytetään venttiilin kuvakkeessa samalla tavalla kuin vanha asentoarvo. Vanha mittaustapa tullaan poistamaan käytöstä, ja ohjelman poistaminen ei saa vaikuttaa muuhun ohjelmaan. Ohjelman pitäisi tarkastaa, onko paikanmittaus toiminnassa ohjelman alussa. Mittausalue on 4 - 20 mA, jolloin voidaan tarkkailla alle 4 mA:n sekä yli 20 mA:n alueita. Alle 4 mA:n tilasta hälytys: ”Asentomittaus mittausalueen alapuolella” ja yli 20 mA:n tilasta hälytys: ”Asentomittaus mittausalueen yläpuolella”.

Auki- ja kiinnirajatieto on jo Valmetissa, ja rajat viimeistään pysäyttävät venttiilin liikkeen.

4.4.4 Lukitustoiminnot

Lukitustoiminnot pysäyttävät laitteen ja estävät sen käytön, kun lukitukseen asetettu ehto toteutuu. Yleisimmät lukitukset toimivat OR-ehdolla, eli kun yksikin ehdoista toteutuu, niin laite sammuu. Alkuperäiseen toimintakuvaukseen kirjattiin lukuisia ehtoja, joista lopulta karsittiin suurin osa pois ja jätettiin ainoastaan turvallisuuden kannalta tärkeimmät jäljelle. Tärkeimpänä jäivät reduktioaseman hydrauliiikkapumppujen lukitukset, jotka ovat: öljyn korkea paine, öljyn painelähtetimen mittausvika, öljyn pinnan alarajahälytys, öljyn yli- sekä alilämpötila ja öljyn lämpötilalähtetimen mittausvika. Lukitukset näkyvät kuvassa 8.

K2SF10D001 Hydrauliiikkapumppu 1

Lukitukset Kommentit Toimintakuvaukset

Tila: **Päällä**

Pakko Seis

- [K2SF10P001XQ01](#) Öljyn Paine >XH05 (178.14 < 190)
- [K2SF10L002XG01](#) Öljyn Pinta Alarajahälytys
- [K2SF10T001XQ01](#) Öljyn lämpö mittausvika
- [K2SF10T001XQ01](#) Öljyn lämpötila > max >XH05 (32.77 < 80)
- [K2SF10T001XQ01](#) Öljyn lämpötila < min >XH56 (32.77 < 0)
- [K2SF10P001XQ01](#) Öljyn paine mittausvika

Kuva 8. Reduktioaseman hydrauliikkapumpun lukituskaavio. (Valmet 2018.)

4.4.5 Suojamuutos

Ennen reduktioasemaa linjassa on pikasulkuventtiili K2SF10S303, jonka suojaomintoja valvotaan HIMA- järjestelmästä. HIMA- järjestelmä toimii Valmetin automaatiojärjestelmän rinnalla ja tarkkailee kriittisimpiä turvatoimintoja voimalaitoksella. Kentältä tuleva tieto kul-

keutuu ensimmäisenä HIMA:n kautta ja sen jälkeen vasta Valmetin järjestelmään. Tämä estää Valmetin automaatiojärjestelmästä tilan muutoksien tekemisen, niin sanotun buggeroinnin, jolla prosessi voitaisiin tilapäisesti muuttaa hyvään tilaan.

Pikasulkuventtiilin kiinniajoehdot näkyvät kuvassa 9 ja ovat: höyryn korkea lämpötila reduktion jälkeen, korkea paine linjassa, paine-ero höyry- ja kaukolämpöpuolen välillä, KL3:n lauhdepuolen liian matala tai korkea pinta sekä hätäseis -painikkeet. Reduktio- ja ruiskuventtiileihin asetettiin samat ehdot kuin pikasulkuventtiiliin. Molempien reduktio- ja ruiskuventtiilien lukitukset poistettiin, koska turvallisuus saatiin taattua linjassa olevalla pikasulkuventtiilin sulkeutumisehdoilla.

R1 Suojaukset

- HÖYRYN LT <MAX (220 °C)
- HÖYRYN PAINE <MAX (7.0 bar)
- HÖYRYN / KL PAINE-ERO >MIN (1.0bar)
- KL3 PINTA <MAX (830mm)
- KL3 PINTA >MIN (130mm)
- R1 SUOJAUS OK
- ⚠️ RUISKUVEDEN PAINE >MIN 0.0 bar > 20.0 bar
- ⚠️ KL-VEDEN VIRTAUS >MIN 0 kg/s > 180 kg/s

Kuva 9. Venttiilien suojatoiminnot. (Valmet 2018.)

5 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli parantaa Kymijärven II:n voimalaitoksen reduktioaseman reduktio- ja ruiskuventtiilien sekä hydraulikkayksikön käytettävyyttä ja turvallisuutta. Opinnäytetyöni käytännön osuus oli tarkoitus tehdä laitoksen revision aikana. Projektin alkupalaverissa käyttöpäällikön, käyttöinsinöörin ja automaatiomestarin kanssa sovittiin työn sisällöstä, vastuualueista ja aikataulusta. Suunnittelu tuli toteuttaa ennen syksyn revisiota, muutokset syksyn revisiossa ja testaus käyttöönotossa.

Lahti Energian automaatiomestari Kaj Westman avusti opinnäytetyön aloituksessa ja iso kiitos kuuluu myös automaatioasentaja Mika Piekkarille ja sähkösuunnittelija Jukka Häliselle, jotka ovat olleet työssä mukana, ja ilman heidän ammattitaitoaan opinnäytetyön tekeminen olisi vaikeutunut huomattavasti.

Revision aikana laitoksella tehdään yhtä aikaa kuitenkin myös monia muita toimenpiteitä, joten keskittyminen pelkästään opinnäytetyöhön ei ollut mahdollista. Muutostyö saatiin toteutettua ja testattua kuitenkin revisioaikataulun mukaisesti. Toteutusvaiheessa ei ilmennyt suurempia ongelmia.

Alkupalaverissa asetetut tavoitteet täyttyivät paitsi reduktioventtiilejä ohjaavien proportionaaliventtiilien ohjauskorttien vaihdon osalta. Proportionaaliventtiilien ohjauskortti vastaanottaa Valmetin järjestelmästä tulevan ohjaustiedon, vertaa sitä venttiilin sen hetkiseen asentotietoon ja liikuttaa venttiiliä tarvittaessa. Proportionaaliventtiili vastaanottaa 4 - 20 mA:n ohjausviestin ja liikkuu oikein tällä alueella, mutta reduktioventtiili liikkuu ainoastaan 12 – 20 mA:n alueella. Päädyimme jättämään ohjauskortit paikalleen, koska proportionaaliventtiilin liikuttaminen suoraan Valmetin kautta 4 – 20 mA:n ohjausviestillä oli ongelmallista. Jatkossa voi harkita proportionaaliventtiilien ohjauskorttien korvaamista jollakin muulla vaihtoehdolla, jos korteissa alkaa ilmetä ongelmia.

Lineaarianturien kiinnityksiä jouduttiin vahvistamaan jälkikäteen alueen tärinän ja korkean lämpötilan takia.

LÄHTEET

Lahti Energia 2016. Kymijärvi II vuosiraportti 2016 [Sisäinen dokumentti]. [viitattu 26.3.2019].

Lahti Energia 2018. Reduktioiden R1 ja R2 ohjauksien siirto Valmetiin [Sisäinen dokumentti]. [viitattu 26.3.2019].

Lahti Energia 2019a. Historia [viitattu 2.6.2019]. Lahti Energia. Saatavissa: <https://www.lahtienergia.fi/fi/lahti-energia/historia>

Lahti Energia 2019b. Yritysesittely [viitattu 26.3.2019]. Lahti Energia. Saatavissa: <https://www.lahtienergia.fi/fi/lahti-energia/yritysesittely>

Lahti Energia 2019c. Avaintiedot [viitattu 2.6.2019]. Lahti Energia. Saatavissa: <https://www.lahtienergia.fi/fi/lahti-energia/avaintiedot>

Lahti Energia 2019d. Energian tuotanto [viitattu 26.3.2019]. Lahti Energia. Saatavissa: <https://www.lahtienergia.fi/fi/lahti-energia/energian-tuotanto>

Lahti Energia 2019e. Myydyn sähkön alkuperä [viitattu 2.6.2019]. Lahti Energia. Saatavissa: <https://www.lahtienergia.fi/fi/sahko/tietoa-sahkon-ostajalle/sahkon-tuoteseloste>

Lahti Energia 2019f. Kymijärvi I [viitattu 26.3.2019]. Lahti Energia. Saatavissa: <https://www.lahtienergia.fi/fi/lahti-energia/energian-tuotanto/kymijarvi-i>

Lahti Energia 2019g. Kymijärvi II [viitattu 26.3.2019]. Lahti Energia. Saatavissa: <https://www.lahtienergia.fi/fi/lahti-energia/energian-tuotanto/kymijarvi-ii>

Lahti Energia 2019h. Kymijärvi III [viitattu 26.3.2019]. Lahti Energia. Saatavissa: <https://www.lahtienergia.fi/fi/lahti-energia/energian-tuotanto/kymijarvi-iii>

Solartron Metrology. 2019a. LVDT Transducer Theory.

Solartron Metrology 2019b. Solartron OD2 User Manual.

LIITTEET