

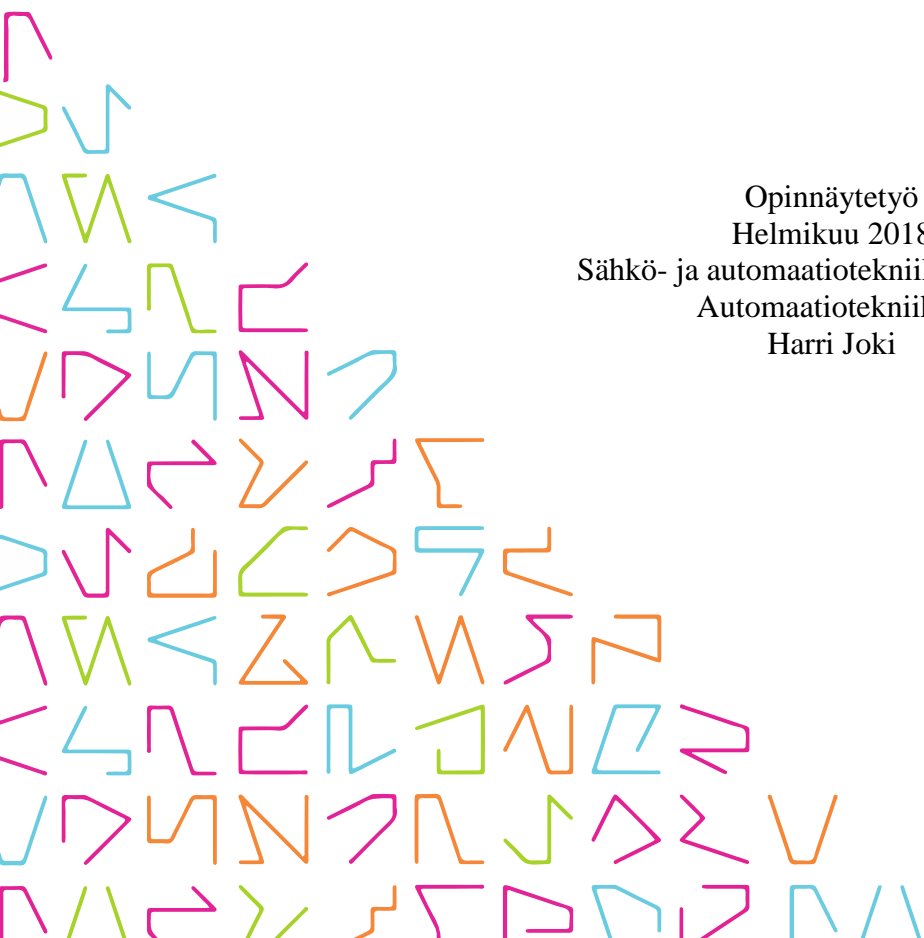


TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

Voimalaitoksen automaatiojärjestelmän käyttöönotto

Aleksi Partanen 14I230

Opinnäytetyö
Helmikuu 2018
Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutus
Automaatiotekniikka
Harri Joki



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Automaatiotekniikan suuntautumisvaihtoehto

PARTANEN, ALEKSI

Voimalaitoksen automaatiojärjestelmän käyttöönotto

Opinnäytetyö 45 sivua, joista liitteitä 2 sivua
Helmikuu 2018

Opinnäytetyön aiheena oli Argentiinassa sijaitsevan polttomoottorivoimalaitoksen automaatiojärjestelmän käyttöönotto. Voimalaitoksella oli neljä polttomoottoria, joiden yhteensä tuottama teho oli 68.4 MW. Käyttöönoton lisäksi luotiin käyttöönotto-opas, joka pitää sisällään listan automaatiojärjestelmän käyttöönoton eri vaiheista sekä tärkeimmistä toimenpiteistä. Käyttöönotto-opas kirjoitettiin englanniksi ja se tulee yrityksen käyttöön, mutta jää opinnäytetyön arvioinnin ulkopuolelle. Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutustua automaatiojärjestelmän käyttöönoton eri vaiheisiin ja kirjoittaa opas näiden vaiheiden suorittamiseksi.

Automaatiojärjestelmän käyttöönotto piti sisällään keskitetyn valvomon pystytyksen, tehdasverkon luomisen, kentälaitteiden käyttöönoton, I/O-testauksen sekä voimalaitoksen PLC-ohjelmiston ja käyttöliittymän käyttöönoton. Voimalaitoksen käyttöliittymä toteutettiin Wonderware InTouch-valvomo-ohjelmistolla ja voimalaitoksen logiikkalaitteistona käytettiin Siemensin S7-1500-sarjan logiikkaa. Logiikkaohjelman käyttöönotto tehtiin Siemens TIA-Portal V14-ohjelmalla. Voimalaitoksen käyttöönotto piti sisällään myös lukuisia testiajoja, joiden avulla varmistettiin voimalaitoksen turvallinen toiminta myös vikatilanteissa.

Lopputuloksena käyttöönotto suoritettiin onnistuneesti ja voimalaitos luovutettiin asiakkaalle projektiaikataulun mukaisesti. Voimalaitoksen tehdasverkko ja automaatiojärjestelmä suojattiin ulkopuolisilta yhteyksiltä palomuurin sekä salasanojen avulla. Voimalaitos on tällä hetkellä käytössä tuottaen sähköä Argentiinan sähköverkkoon. Käyttöönoton jälkeen kirjoittajan valmiudet työskennellä vastaavan automaatiojärjestelmän kanssa ovat huomattavasti kehittyneet ja omatoiminen automaatiojärjestelmän käyttöönotto on mahdollista.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Electrical Engineering
Automation Technology

PARTANEN, ALEKSI:
Commissioning a Power Plant Automation System

Bachelor's thesis 45 pages, appendices 2 pages
February 2018

The purpose of this thesis was to commission a power plant's automation system and write a commissioning guide. This thesis is primarily about commissioning of an automation system and the commissioning guide is a side-product of what was learned in the process. The commissioning process included I/O-testing, field device configuration, PLC-program commissioning and power plant HMI configuration, which were done in co-operation with electricians. Data was collected during the commissioning period by taking notes which were used in the commissioning guide. The commissioning guide was written in English and will be used by Seilo Consulting in future projects. Commissioning guide will be left outside of the thesis grading.

The automation system was based on Siemens S7-1500 logic and it was implemented by using Siemens TIA-Portal V14-software. Powerplant HMI was based on Wonderware Intouch-software. The commissioning of the powerplant included several test runs including safety and reliability tests to make sure the powerplant is safe to operate even in error situations.

As a result, the commissioning of the powerplant was successful and the power plant was handed over to the customer within project schedule. In addition to this, a throughout guide about the commissioning process was written and it will be used in future projects. After the commissioning process, the author's ability to work with the corresponding automation systems has considerably advanced and independent commissioning is possible.

Key words: commissioning, powerplant, siemens, intouch

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	POLTTOMOOTTORIVOIMALAITOS	7
2.1	Automaation tehtävä polttomoottorivoimalaitoksessa.....	8
2.2	Erilaiset polttomoottorivoimalaitokset	9
2.3	Generaattori	10
2.4	Polttomoottori	11
2.5	Polttomoottorin apujärjestelmät.....	13
2.5.1	Paineilmajärjestelmä	14
2.5.2	Jäähdytysjärjestelmä	14
2.5.3	Voiteluöljyjärjestelmä	15
2.5.4	Pakokaasujärjestelmä	15
2.5.5	Polttoainejärjestelmä.....	16
3	KOHTEENA OLLUT VOIMALAITOS	18
3.1	Tärkeimmät mittaukset, säädöt ja ohjaukset.....	18
3.2	Automaatio-ohjelmistot	19
3.2.1	TIA-Portal	19
3.2.2	Wonderware InTouch.....	20
4	KÄYTTÖÖNOTTO	22
4.1	Keskitetyn valvomon pystytys.....	23
4.2	Tehdasverkon luominen.....	25
4.3	Yhteyksien luominen kentälle ja kentälaitteiden konfigurointi.....	27
4.3.1	Taajuusmuuttajat	27
4.3.2	Suojareleet & tehonmittausyksiköt	30
4.3.3	Virtausmittarit	33
4.4	I/O testaaminen	34
4.5	Moottoreiden käyttöönotto	35
4.6	Generaattoreiden käyttöönotto.....	35
4.7	Voimalaitoksen testit	37
4.8	Ohjelmiston varmuuskopioiminen.....	38
5	KÄYTTÖÖNOTTO-OPAS.....	39
6	POHDINTA.....	40
	LÄHTEET.....	42
	LIITTEET	44
	Liite 1. Käyttöönotto-oppaan sisällysluettelo.....	44
	Liite 2. Ote käyttöönotto-oppaasta	45

LYHENTEET JA TERMIT

AVR	Automatic Voltage Regulator
CPU	Central Processor Unit
FAT	Factory Acceptance Test
HFO	Heavy Fuel Oil
I/O	Input/Output
IP	Internet Protocol
kW	kilowatti
LFO	Light Fuel Oil
MW	megawatti
PLC	Programmable Logic Controller
PMU	Power Monitoring Unit
SAT	Site Acceptance Test
TIA	Totally Integrated Automation
UPS	Uninterruptible Power Source

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön toimeksiantona oli käyttöönottaa Argentiinassa, Cañada de Gómez:n kaupungissa sijaitseva polttomoottorivoimalaitos ja kirjoittaa käyttöönoton vaiheista opas tulevaisuuden projekteja varten. Työn tavoitteena oli käyttöönottaa voimalaitos projektiaikataulun mukaisesti ja luoda selkeä opas automaatiojärjestelmän käyttöönotosta. Automaatiojärjestelmän erilaisten vaiheiden esittelemisen lisäksi, tässä opinnäytetyössä selvitetään polttomoottorivoimalaitoksen toimintaperiaate ja esitellään käyttöönoton kohteena ollut voimalaitos.

Automaatiojärjestelmän käyttöönotto pitää sisällään monia erilaista työvaiheita, joissa täytyy hallita erilaisia automaatiotekniikan osa-alueita. Opinnäytetyön tavoitteiksi asetettiin oppia erilaisten väylien ominaisuuksista automaatiojärjestelmässä, erilaisten väylälaitteiden konfigurointia, Siemensin S7-sarjan logiikoiden ohjelmointi TIA-Portal-ohjelmalla, InTouch-valvomo-ohjelmiston käyttöä sekä oikeaoppinen tapa suorittaa I/O-testausta. Käyttöönoton yhteydessä tehtyjen muistiinpanojen pohjalta pyrittiin luomaan mahdollisimman kattava ja selkeä käyttöönotto-opas. Käyttöönotto-oppaan luomisessa auttoivat myös projektissa kokeneemmilta automaatio-insinööreiltä kysytyt neuvot.

Käyttöön otettua voimalaitosta tullaan käyttämään peruskuormavoimalaitoksena Argentiinan sähköverkossa ja käyttöönotto-opas tulee käyttöön tulevissa automaatiojärjestelmien käyttöönotoissa.

2 POLTTOMOOTTORIVOIMALAITOS

Polttomoottorivoimalaitoksella tarkoitetaan voimalaitosta, joka tuottaa sähköä yhdellä tai useammalla polttomoottorilla. Polttomoottorivoimalaitos koostuu yhdestä tai useammasta moottori-generaattori yhdistelmästä, joiden avulla polttoaineen energia muutetaan sähköenergiaksi (Wärtsilä 2018).

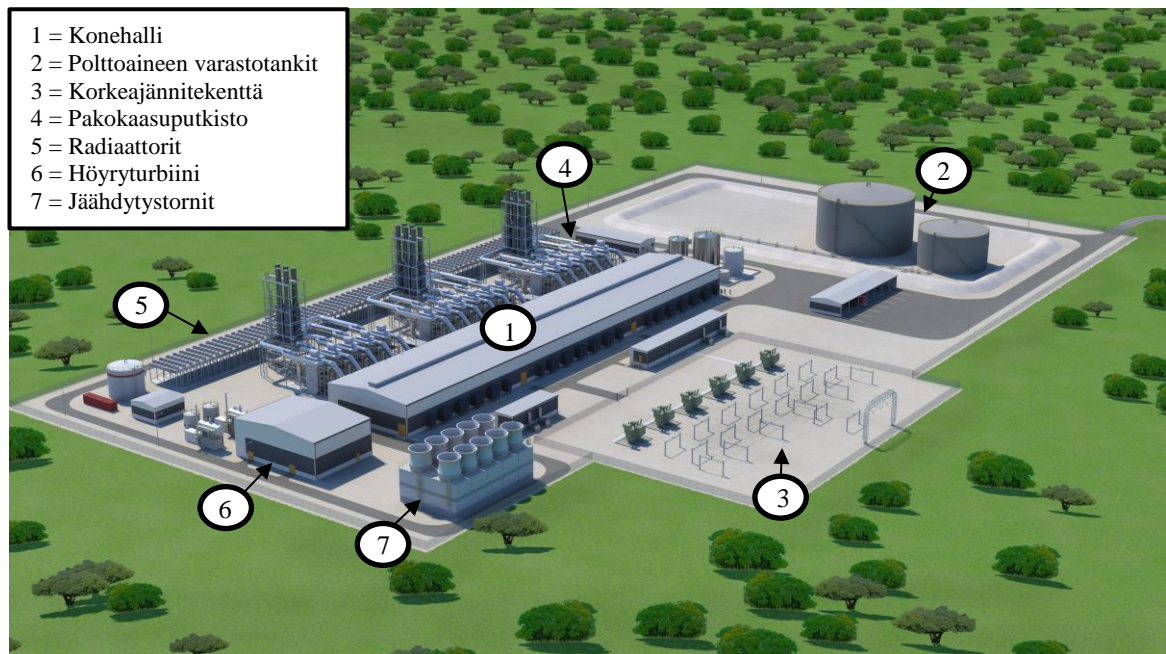
Polttomoottorivoimalaitoksen tarkoitus on tuottaa sähköenergiaa sähköverkkoon ja ne toimivat joko peruskuormavoimalaitoksina tai varavoimalaitoksina. Normaalitytilanteessa polttomoottorivoimalaitoksen moottorit ovat aina käynnissä ja ne pysäytetään ainoastaan huoltoa tai vianmääritystä varten. Voimalaitoskäyttöön tarkoitetun polttomoottorin huoltoaika on yleensä vähintään 1500-2000 tuntia, joten polttomoottorien on oltava luotettavia, jotta ne kestäisivät pitkiäkin ajanjaksoja käynnissä ilman ongelmia (Eerola O. 1976. s 579).

Polttomoottorivoimalaitoksen sähköntuotantoa voidaan säädellä kysynnän mukaan joko kasvattamalla tai laskemalla moottorin tuottamaa tehoa, tai pysäyttämällä osa moottoreista, jos kysyntää ei ole tarpeeksi. Voimalaitoksen tuottaman tehon säätäminen on tärkeää, koska tuotettua sähköä ei voida varastoida ja tuotetun sähkön määrän on vastattava sähkön kulutusta (Sähköverkot 2017).

Polttomoottorivoimalaitoksen hyötysuhde riippuu hyvin vahvasti voimalaitoksen tyypistä. Jos voimalaitos on tehty puhtaasti sähkön tuottamiseen, eikä polttomoottorista saatavaa lämpöenergiaa hyödynnetä ollenkaan, ei käytetystä polttoaineesta saada hyödynnettyä kaikkea energiaa. Mikäli polttomoottorin lämpöenergia hyödynnetään esimerkiksi höyryn tuottamiseen, kasvaa voimalaitoksen hyötysuhde huomattavasti. Moottorista saadaan lämpöenergiaa sen pakokaasuista, jäähdytysvedestä, ahtoilmaista sekä voiteluöljystä (Eerola O. 1976. s 579).

Kuvassa 1 on esitetty tyypillinen polttomoottorivoimalaitos. Kuvassa näkyy konehalli, jossa sijaitsee voimalaitoksen moottorit sekä generaattorit, polttoaineen varastointitankit, korkeajännitekenttä, pakokaasuputkisto sekä radiaattorit jäähdytysveden viilentämiseen. Kuvassa 1 radiaattorit ovat sijoitettuna konehallin taakse omaksi yksikökseen, mutta ne voivat sijaita myös konehallin katolla. Voimalaitoksen tyypistä riippuen, on

voimalaitoksen alueella joko suuret varastotankit dieselin ja raskaan polttoöljyn varastointiin tai maakaasuputki, jos polttomoottorit toimivat kaasulla. Kuvassa 1 näkyy myös korkeajännitekenttä, josta tuotettu sähkö johdetaan muuntajien kautta sähköverkkoon.

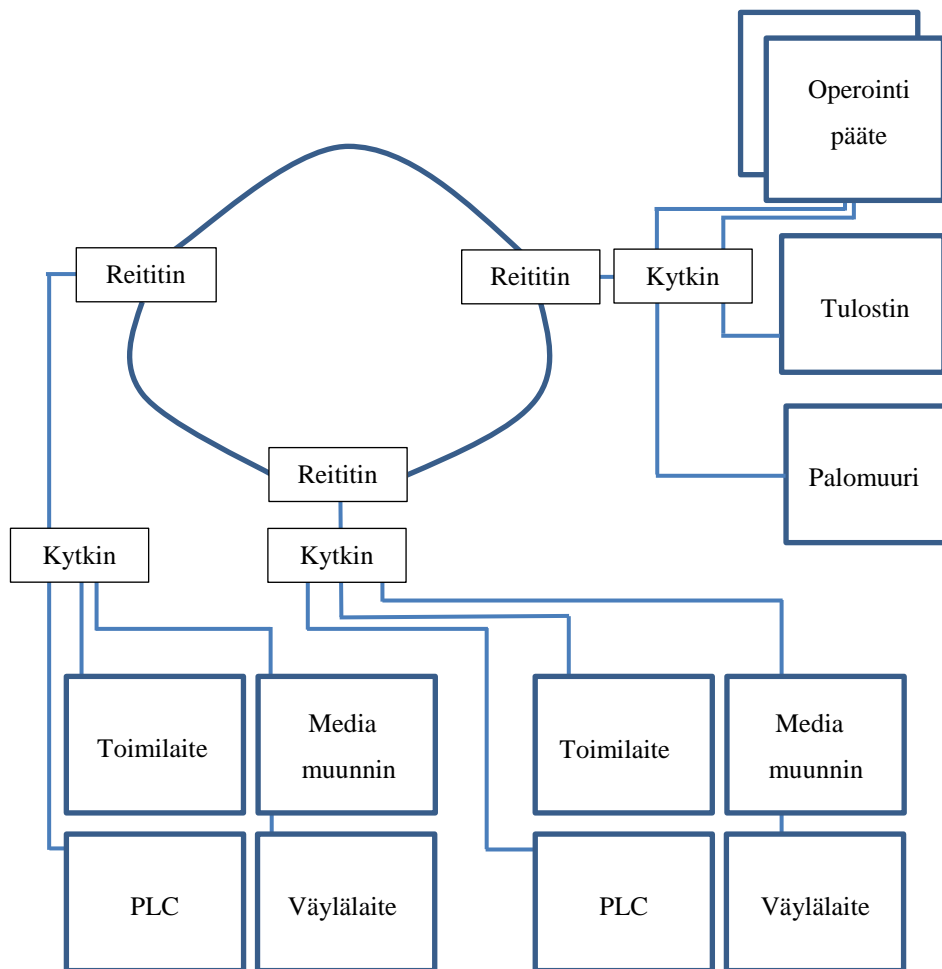


KUVA 1. Polttomoottorivoimalaitos (Wärtsilä 2016)

2.1 Automaation tehtävä polttomoottorivoimalaitoksessa

Polttomoottorivoimalaitoksissa automaatiota käytetään erilaisten järjestelmien ohjaamiseen. Automaation avulla voimalaitoksen operoimisesta on pyritty tekemään mahdollisimman yksinkertaista ja tehokasta. Automaation tehtävänä on muun muassa ylläpitää ihanteellisia prosessiolosuhteita, kuten lämpötiloja, paineita sekä polttoaineen viskositeettia. Automaatio pitää myös huolen prosessisuureiden pysymisestä asetusrvoissaan ohjaamalla suureeseen vaikuttavia toimilaitteita (Automaatio 2004).

Kuvassa 2 on esitetty voimalaitoksen automaatiojärjestelmän esimerkkirakenne. Järjestelmässä on operointipäätteet, reitittimet ja kytkimet datan siirtoa varten, logiikkaohjaimet sekä järjestelmäkohtaiset muut laitteet (Automaatiojärjestelmä N.d). Yleinen tapa siirtää dataa automaatiojärjestelmissä on Ethernet, mutta Ethernet on mahdollista korvata valokuidulla, jolloin saadaan siirrettyä enemmän dataa nopeammin ja häiriöttömämmin (Valokuitu 2018).



KUVA 2. Automaatiojärjestelmä

2.2 Erilaiset polttomoottorivoimalaitokset

Polttomoottorivoimalaitokset ovat toiminnaltaan aina samankaltaisia, ne kaikki muuttavat moottorin mekaanisen energian sähköksi generaattorien avulla. Eroja polttomoottorivoimalaitoksissa voi ilmetä mm. erilaisista moottoreista ja polttoaineista johtuen. Polttomoottorivoimalaitoksien pääasialliset polttoaineet ovat diesel (LFO), raskas polttoöljy (HFO) sekä maakaasu. Voimalaitoksella voi polttomoottorien lisäksi olla turbogeneraattoreita tai höyryturbiineja, jotka tuottavat sähköä polttomoottorien pakokaasuista (Sebra K. 2007. 6-1).

2.3 Generaattori

Polttomoottorivoimalaitoksien polttomoottoreita käytetään generaattorien pyörittämiseen, joiden avulla polttomoottorin tuottama mekaaninen liike-energia muutetaan sähköksi. Polttomoottorivoimalaitoksissa generaattorit ovat aina kolmivaiheisia tahtigeneraattoreita (Aura & Tonteri 1986. s 240).

Generaattori tarvitsee toimiakseen magnetointivirran, jonka avulla säädetään generaattorin tuottaman sähkönn jännitettä. Magnetointi voidaan suorittaa monella erilaisella tavalla, generaattorin tyypistä riippuen. Harjattomien tahtigeneraattoreiden tapauksessa magnetointi tehdään ulkoisen vaihtosähkögeneraattorin avulla (AVR), jonka tuottama vaihtojännite tasasuunnataan diodien avulla tasajännitteeksi. Tämä tasajännite syötetään generaattorin magnetointikäämiin, joka magnetoi generaattorin (Aura & Tonteri 1986. s 247).

Koska generaattorit lämpenevät käytössä, on huolehdittava generaattorin asianmukaisesta jäähdytyksestä, ettei generaattori vahingoitu. Kuvassa 3 on esitetty generaattori sekä jäähdytystuuletin, jossa jäähdytin imee viileää ilmaa sisäänsä ja puhaltaa poistuvan lämpimän ilman ulos (Generaattorin jäähdytys 2015).

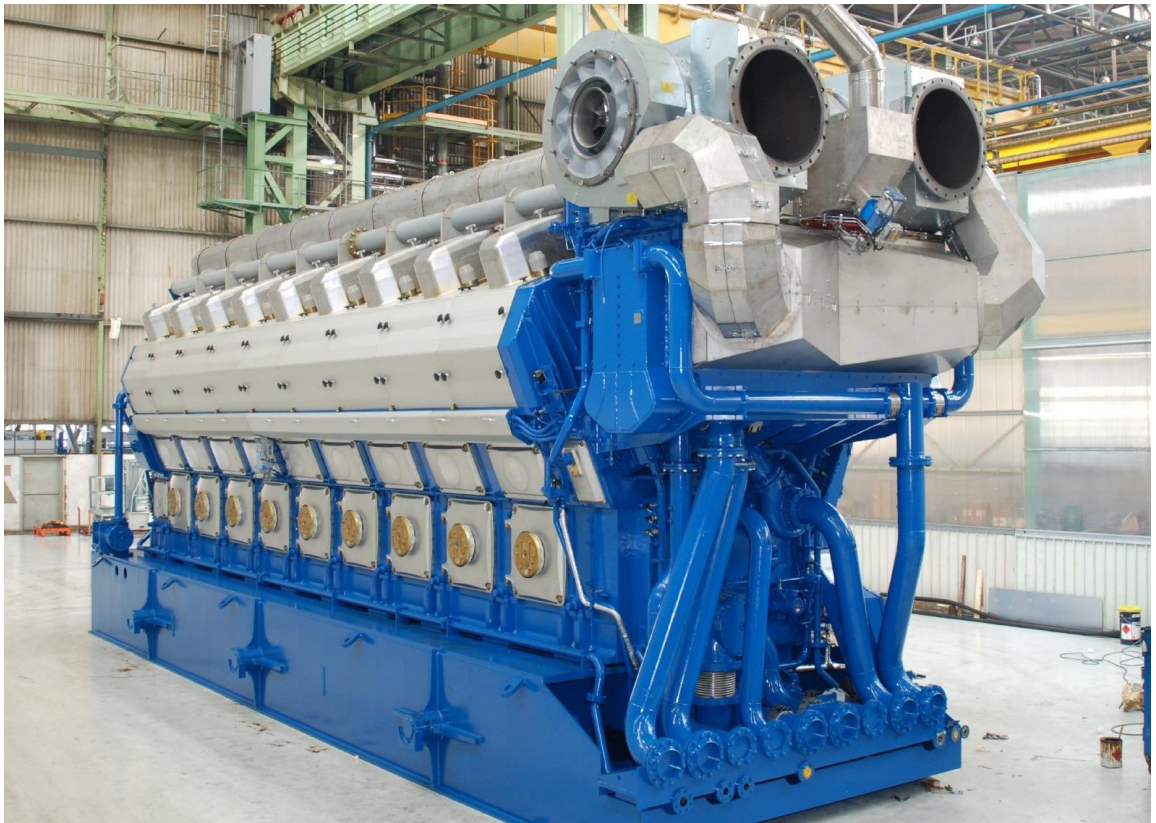


KUVA 3. Generaattori (ABB 2015)

Voimalaitoksella on yleensä polttomoottorien sekä generaattorien lisäksi pienempi varavoimayksikkö, jonka avulla voidaan tuottaa voimalaitoksen päämoottoreiden käynnistämiseen vaadittava sähkö. Tämä generaattoriyksikkö on olemassa siltä varalta, että voimalaitos täytyy käynnistää kaikkien moottoreiden ollessa pysähtyneinä ja voimalaitokseen ei ole saatavilla ulkoista sähköenergiaa. Tällainen generaattoriyksikkö on nimeltään ”Black start” ja se sisältää pienen dieselmoottorin ja tarvittavat apujärjestelmät voiteluöljyn, jäähdytyksen sekä polttoaineen hallintaan (Black start N.d).

2.4 Polttomoottori

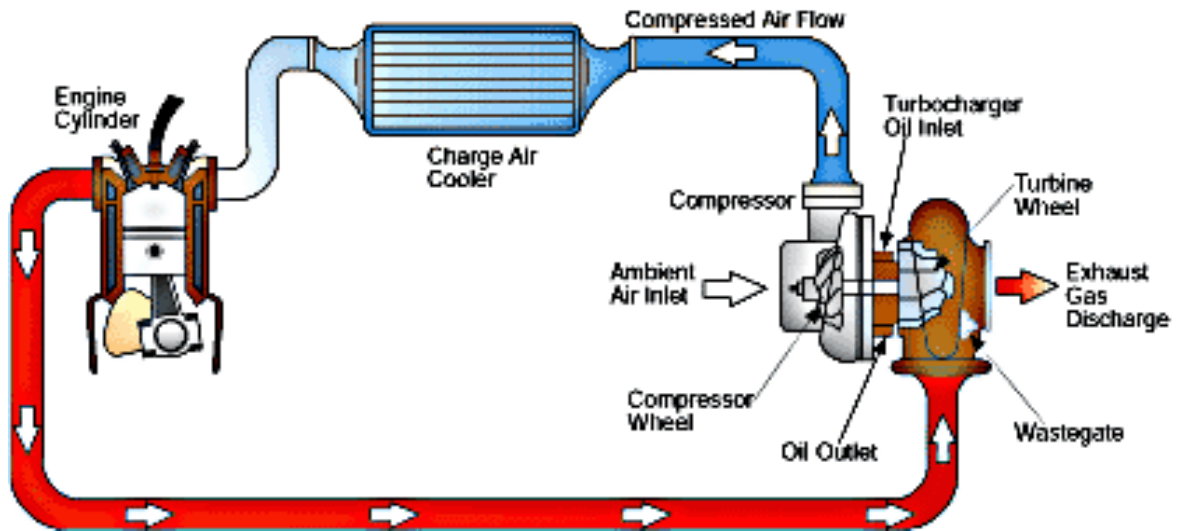
Polttomoottorivoimalaitoksissa käytettävät polttomoottorit (kuva 4) ovat yleensä nelitahtimoottoreita, jotka toimivat joko dieselillä, kaasulla, palmuöljyllä, raakaöljyllä tai raskaalla polttoöljyllä. Nelitahtimoottoreiden lisäksi käytetään myös kaksitahtimoottoreita, mutta niiden osuus nelitahtimoottoreihin nähden on hyvin pieni. Tahtimoottorilla tarkoitetaan moottoria, jonka pyörimisnopeus määräytyy täysin verkon taajuuden sekä moottorin napaluvun perusteella. Polttomoottorin tehtävä voimalaitoksella on muuttaa polttoaineen polttamisesta saatu energia moottorin mekaaniseksi liikkeeksi (Wärtsilä 2018).



KUVA 4. Tyypillinen polttomoottorivoimalaitoksen polttomoottori (Wärtsilä 2018)

Polttomoottorin toimintaa ja hyötysuhdetta voidaan parantaa moottoriin liitetyn turboahtimen sekä välijäähdyttimen avulla. Turboahdin koostuu turbiinista, jota pyöritetään moottorista poistuvan pakokaasun avulla, sekä kompressorista, joka ahtaa lisää ilmaa moottoriin. Ahtamalla moottoriin normaalia enemmän ilmaa, saadaan palamisreaktio puhtaammaksi ja täten kasvatettua moottorin hyötysuhdetta ja tehoa (Turboahdin 2014).

Turboahtimen lisäksi moottorin hyötysuhdetta voidaan kasvattaa välijäähdyttimen avulla, jonka tehtävänä on laskea turboahtimen ahtaman ilman lämpötilaa kuljettamalla sisään virtaava ilma jäähdyttimen läpi. Välijäähdyttimen avulla on mahdollista ahtaa moottoriin enemmän ilmaa ja polttoainetta, joten samalla moottorin tehokin kasvaa. Välijäähdyttimen toiminta perustuu ilman tiheyteen ja lämpötilaan, viileä ilma on tiheämpää kuin lämmin ilma, joten viileää ilmaa mahtuu samaan tilavuuteen enemmän kuin lämmintä ilmaa (Välijäähdytin N.d). Kuvassa 5 on esitetty turboahtimen sekä välijäähdyttimen toiminta.

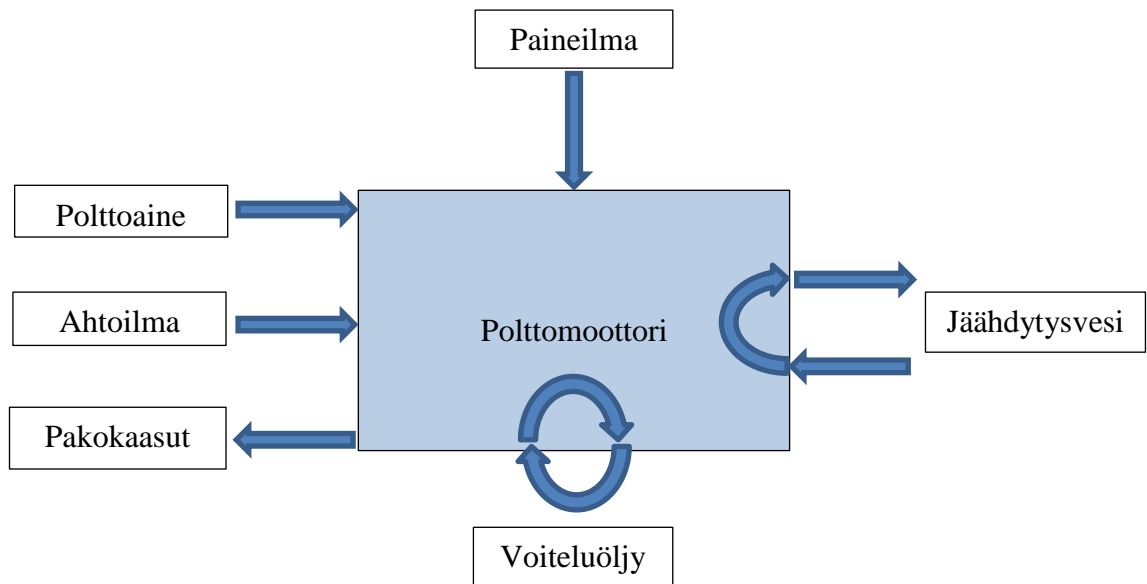


KUVA 5. Polttomoottoriin liitetty turboahdin sekä välijäähdytin (Turboahdin 2014)

Kuvasta 5 nähdään, kuinka moottorista poistuva kuuma pakokaasu pyörittää turboahdinten turbiinia poistuessaan pakoputkistosta. Turbiinin pyöriminen aiheuttaa imun, joka kuljettaa ilmaa suodattimen ja välijäähdyttimen kautta moottorille.

2.5 Polttomoottorin apujärjestelmät

Moottorin apujärjestelmät ovat välttämättömiä moottorin toiminnan kannalta ja niiden on oltava täydessä toimintavalmiudessa moottorin käydessä. Joitain apujärjestelmiä, kuten moottorin esilämmitystä tarvitaan myös moottorin ollessa pysähdyksissä. Apujärjestelmien avulla moottori saa tarvitsemansa polttoaineen, voiteluöljyn, paineilman, jäähdytyksen ja ahtoilman. Polttomoottoreilla on oma moottorikohtainen apujärjestelmänsä sekä tämän lisäksi voimalaitoksella on kaikkien polttomoottorien yhteisiä, jaettuja järjestelmiä. Kuvassa 6 on esitetty polttomoottorin sekä sen apujärjestelmien suhteet toisiinsa



KUVA 6. Polttomoottorin apujärjestelmät

2.5.1 Paineilmajärjestelmä

Paineilmaa käytetään moottorien käynnistämiseen sekä pneumaattisten järjestelmien operointiin. Polttomoottori tarvitsee toimiakseen kaksi erilaista paineilmajärjestelmää, jotka jaetaan moottorin käynnistämiseen tarvittavaan korkeapaineisyksikköön sekä pneumaattisten toimilaitteiden tarvitsemaan paineilma-yksikköön.

Moottorille tarvitaan korkeapaineista ilmaa sen käynnistämiseen, koska suuren kokonsa takia ei ole käytännöllistä käyttää sähköistä käynnistysmoottoria. Paineilman avulla moottori laitetaan liikkeelle syöttämällä korkeapaineilmaa suoraan moottorin sylintereihin, joka saa moottorin pyörimään. Kun moottori on alkanut pyörimään, moottorille aloitetaan syöttämään polttoainetta, jonka jälkeen paineilman syöttö katkaistaan hetken kuluttua (Korkeapaineilma 2005).

2.5.2 Jäähdytysjärjestelmä

Polttomoottorin jäähdytyksen tehtävänä on jäähdyttää voiteluöljyä, polttoainetta sekä moottorin ahtoilmaa. Jäähdytysveden lämpötilaa säädetään kierrättämällä sitä radiaattoreiden kautta, jolloin veden lämpöenergia siirtyy ilmaan. Radiaattoreiden toiminta perustuu lämmönsiirtoon sekä jäähdytysuulettimiin. Lämmön siirto tapahtuu

jäähdytyslementtien avulla, jotka on yleensä valmistettu kuparista tai alumiinista, koska näiden metallien lämmönjohtavuus on hyvä (Lämmönvaihtimet 2018). Jäähdytystuulettimia ohjataan yleensä taajuusmuuntajien avulla energian säästämiseksi, jotta radiaattoreita ei tarvitse pyörittää täydellä teholla jäähdytystarpeen ollessa pieni. Kuvassa 7 on esitetty ulkona sijaitseva radiaattori-yksikkö.



KUVA 7. Radiaattori-yksikkö

2.5.3 Voiteluöljyjärjestelmä

Voiteluöljyjärjestelmän tehtävänä on syöttää moottorille puhdasta voiteluöljyä oikeassa paineessa ja lämpötilassa. Voiteluöljyn tehtävänä on jäähdyttää moottoria sekä voidella moottoria poistaen kitkaa ja epäpuhtauksia. Kierrätetty moottoriöljy kulkee suodattimien ja jäähdyttimien kautta ja palaa takaisin öljykiertoon (Voiteluöljy N.d).

2.5.4 Pakokaasujärjestelmä

Pakokaasujärjestelmän tehtävänä on ohjata moottorin pakokaasut ulos pakoputkistoa pitkin. Pakokaasut kulkevat ensin turboahtimeen ja äänenvaimentimeen, jonka kautta ne poistuvat pakoputkea pitkin. Pakokaasuputkiston tuulettamisen tehtävänä on poistaa putkistosta kaikki räjähdysherkät kaasut moottorin pysäyttämisen jälkeen. Tuuletus ei ole

tarpeellinen dieselillä tai raskaalla polttoöljyllä ajamisen jälkeen, mutta kaasulla ajamisen jälkeen putkistoon voi jäädä palamatonta kaasua, joka luo räjähdysvaaran. Tämän takia aina kun moottori pysäytetään kaasulla ajamisen jälkeen, on pakokaasuputkisto tuuletettava. Räjähdysvaaran vuoksi pakokaasumoduulissa on yleensä levyjä (kuva 8), jotka rikkoutuvat räjähdysten aiheuttaman suuren paineen johdosta. Nämä levyt ovat olemassa putkisto- sekä moottorivaurion estämiseksi, koska kaasuräjähdyksen tapahtuessa levy rikkoutuu ja paine purkautuu levyn kautta ulos ja putkistoon aiheutuu vain minimaalista vahinkoa (Ylipaineen purku 2018).



KUVA 8. Ylipaineen purkamiseen käytetty levy (Ylipaineen purku 2018)

2.5.5 Polttoainejärjestelmä

Polttoainajärjestelmän tehtävänä on taata luotettava ja jatkuva polttoaineen syöttö moottorille. Polttoainejärjestelmän koostumus on täysin riippuvainen polttomoottorin tyypistä. Kaasulla toimivalla moottorilla automaatiojärjestelmä tarkkailee kaasun lämpötilaa sekä painetta, kun taas nestemäisellä polttoaineella tarkkaillaan polttoaineen lämpötilaa, painetta sekä viskositeettia. Kaasulla toimivan polttomoottorin painetta ja lämpötilaa tarkkaillaan, koska liian alhainen lämpötila voi aiheuttaa vahinkoa moottoriin ja liian alhainen paine estää tehon nostamisen (Seilo 2018).

Nestemäisellä polttoaineella toimivan polttomoottorin polttoainejärjestelmä on monimutkaisempi, koska tällöin täytyy tarkkailla ja säätää myös polttoaineen viskositeettia. Dieseliä käyttäessä polttoainetta ei saa lämmittää, koska polttoaineen lämmitessä sen viskositeetti pienenee ja diesel menettää voitelevan ominaisuutensa. Raskasta polttoöljyä taas täytyy lämmittää, koska muuten polttoaineen viskositeetti on liian suuri ja polttoaineen ruiskutus ei onnistu. Polttoaineen viskositeetin säätämällä pyritään saada viskositeetti optimaaliseksi polttoaineen ruiskutuksen kannalta (Seilo 2018).

3 KOHTEENA OLLUT VOIMALAITOS

Käyttöön otettavan voimalaitos on peruskuormavoimalaitos ja sen polttomoottoreita pystyttiin operoida dieselillä, raskaalla polttoöljyllä sekä kaasulla. Voimalaitoksella oli neljä polttomoottoria, joiden yhteensä tuottama teho oli 68,4 MW. Voimalaitos sijaitsi kaukana suurista kaupungeista, joten nestemäinen polttoaine kuljetettiin voimalaitokselle rekkojen avulla. Voimalaitoksella oli käytössä lämmön talteenottojärjestelmä, jonka avulla kahden moottorin pakokaasujen lämpöenergia käytettiin höyryn tuottamiseen höyrykattiloiden avulla. Tuotettua höyryä käytettiin voimalaitoksen omiin tarpeisiin, kuten esimerkiksi moottoreiden esilämmitykseen. Kokonaisuudessaan voimalaitoksella oli noin 1200 perinteistä I/O-signaalia.

3.1 Tärkeimmät mittaukset, säädöt ja ohjaukset

Polttomoottorivoimalaitoksella on paljon erilaisia mittauksia, säätöjä sekä ohjauksia. Osa näistä prosesseista on kriittisiä polttomoottorin toiminnan kannalta, eikä moottoria voida käynnistää ennen niiden testausta. Tärkeimmät prosessit ovat moottorin käynnistyssekvenssi, polttoainejärjestelmä, voiteluöljyjärjestelmä, paineilmajärjestelmä sekä moottorin jäähdytysjärjestelmä.

Moottorin käynnistyssekvenssi on voimalaitoskohtainen ja se koostuu ehdoista ja askelista, joiden mukaan moottorin käynnistäminen tapahtuu. Jos ehto ei täyty ohjelmoidun ajan puitteissa, epäonnistuu käynnistys ja käynnistyssekvenssi pysäytetään. Polttoaineen sekä voiteluöljyn syöttö moottorille ovat tärkeitä prosesseja, joiden lämpötiloja sekä painetta valvotaan. Jos paine tai lämpötila kasvavat liian suuriksi tai laskevat liian pieniksi, pysäytetään moottori turvallisuussyistä. Samat mittaukset tehdään myös jäähdytysjärjestelmän osalta. Myös painejärjestelmä on moottorin käynnistämisen ja operoinnin kannalta kriittinen, koska moottorin käynnistämiseen sekä pneumaattisiin toimilaitteisiin tarvitaan paineilmaa. Moottorin käynnistämisen ja operoinnin lisäksi myös generaattorin tahdistaminen verkkoon sisältää tärkeitä toimenpiteitä. Generaattorin tahdistamiseksi verkkoon täytyy verkolla ja generaattorilla olla sama jännite, taajuus sekä vaihekulma.

Tärkeät mittaukset ovat osaltaan myös voimalaitoskohtaisia, koska voimalaitoksen logiikka-ohjelmassa määritellään ehdot moottorin pysäyttämiseksi. Näitä ehtoja voivat olla esimerkiksi alhainen ilmanpaine, kadonnut tilatieto tai hätäseis-painikkeen painaminen.

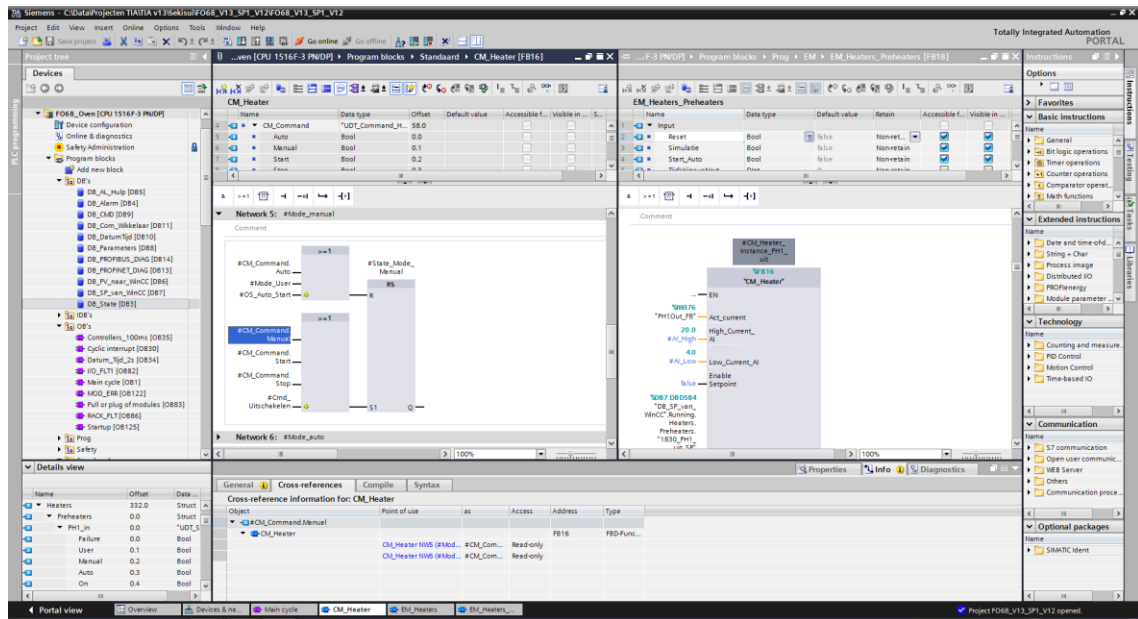
Moottorin ja generaattorin turvallisuuden vuoksi generaattorin lämpötilaa sekä moottorin laakereiden lämpötiloja valvotaan ja rajojen ylittyessä moottori pysäytetään. Jos lämpötiloja ei mitattaisi, voisi vikatilanteen sattuessa moottori tai generaattori vaurioitua tai pahimmassa tapauksessa aiheuttaa henkilövahinkoja.

3.2 Automaatio-ohjelmistot

Voimalaitoksen automaatioprosessin ohjaaminen toteutettiin Siemensin S7-1500-sarjan logiikalla ja sen käyttöönotto ja ohjelmoiminen tehtiin Siemensin TIA-Portal ohjelmalla, joka on esitelty kappaleessa 3.2.1 Voimalaitoksen käyttöliittymä ja operoiminen toteutettiin Wonderware InTouch-valvomo-ohjelmistolla, joka on esitelty kappaleessa 3.2.2. Salassa pidettävän materiaalin vuoksi kuvankaappauksia automaatio-ohjelmista ei voida esittää ja niiden tilalla on esitetty esimerkkikuvia.

3.2.1 TIA-Portal

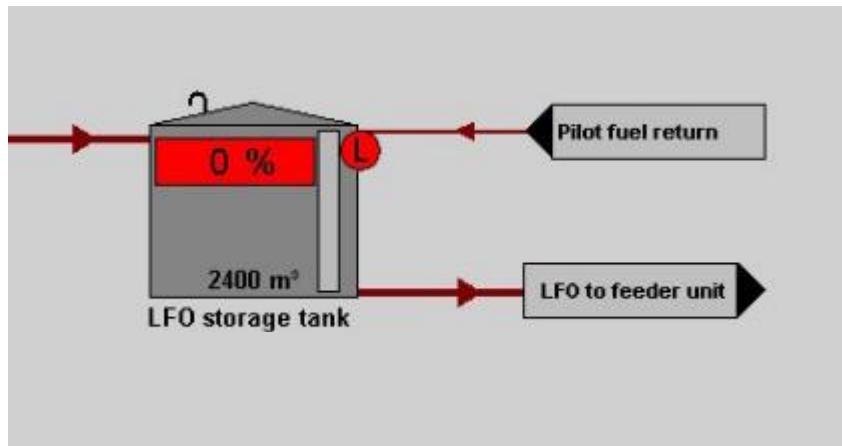
Siemensin TIA-Portal on logiikkaohjelman ohjelmointityökalu, jonka avulla voidaan suorittaa Siemens logiikoiden ohjelmointi sekä käyttöliittymän luominen (TIA-Portal N.d). Tässä voimalaitoksessa käyttöliittymä oli kuitenkin toteutettu Wonderware InTouch-ohjelmistolla, joten TIA-Portal-ohjelmistoa käytettiin ainoastaan logiikkaohjelmointiin. Ohjelma soveltui automaatiojärjestelmän käyttöönottoon erittäin hyvin, koska koko järjestelmä pystyttiin käyttöönottamaan valvomosta. Ohjelman käyttöä helpotti koulussa hankittu kokemus Siemensin logiikoiden ohjelmoinnista ja ohjelman käyttöliittymä oli samanlainen kuin ohjelmiston aikeisemmissakin versioissa. TIA-Portal ohjelmiston käyttöliittymä on esitelty kuvassa 9.



KUVA 9. Siemens TIA-Portal (TIA-Portal N.d)

3.2.2 Wonderware InTouch

Wonderware InTouch on ohjelma graafisen käyttöliittymän luomiseen. Ohjelman avulla järjestelmään tuotuun signaaliin voidaan lisätä graafinen esitys, kuten esimerkiksi animoitu pumppu kuvaamaan pumpun käyntitilaa. Tämän lisäksi signaalit voidaan jakaa erilaisen kategorioihin, kuten esimerkiksi informatiivisiin viesteihin ja hälytyksiin (InTouch 2016). Ohjelma soveltui voimalaitokseen hyvin, koska voimalaitos sisälsi paljon erilaisia signaaleja, jotka tulivat järjestelmään erilaisten digitalisten ja analogisten I/O-korttien kautta, Ethernetiä pitkin, kenttäväylyistä sekä ulkoisista järjestelmistä. InTouch-valvomo-ohjelmiston avulla kaikki signaalit saatiin yhdistettyä käyttöliittymään helposti ja nopeasti. Kuvassa 10 on esitetty kuvankaappaus järjestelmästä, josta ilmenee digitalinen hälytys sekä analoginen mittaus.

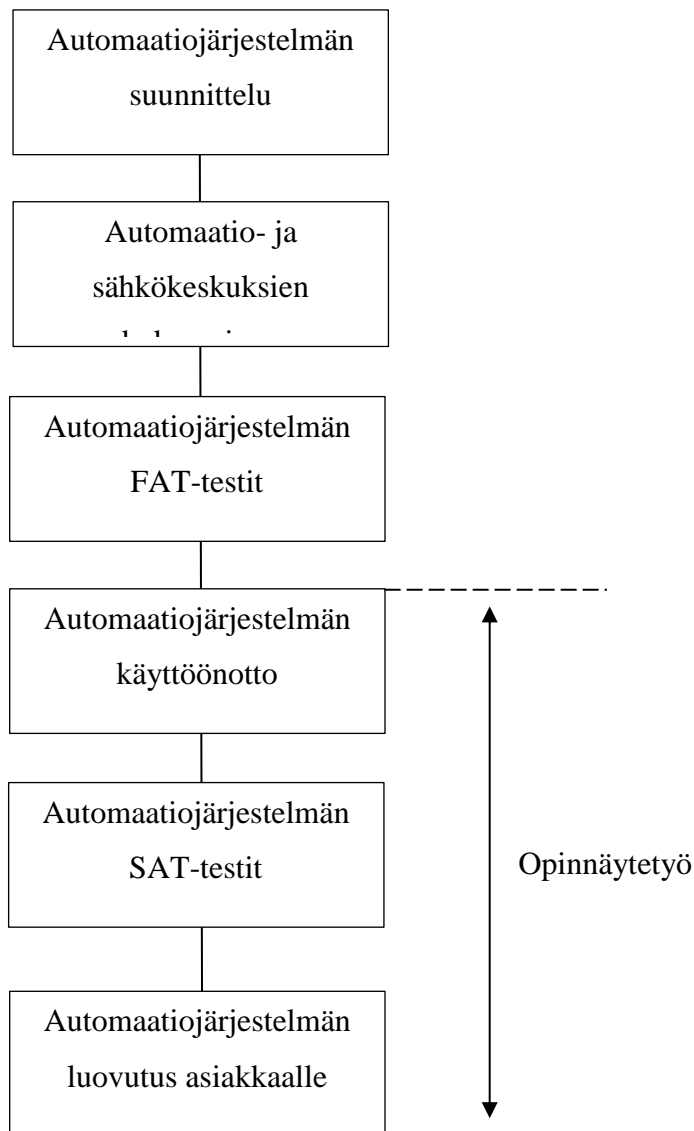


KUVA 10. InTouch valvomo-ohjelmisto

Kuvassa analoginen mittaus sekä pinnankorkeuden anturi eivät ole kytkettyinä, joten ne ilmoittavat anturiviasta punaisella taustaväriyksellä. Anturin ja mittauksen ollessa toiminnassa, poistuu punainen vikatilaa kuvaava väri.

4 KÄYTTÖÖNOTTO

Automaatiojärjestelmän käyttöönotto alkoi keskitetyn valvomon pystytyksestä ja loppui varmuuskopioiden ottamiseen. Seuraavissa kappaleissa on esitelty käyttöönotto vaihe vaiheelta ja jokaisen vaiheen tärkeimpiä toimenpiteitä. Kuvassa 11 on esitetty vaiheet automaatiojärjestelmän suunnittelusta valmiin järjestelmän luovutukseen. Tässä opinnäytetyössä ei osallistuttu automaatiojärjestelmän suunnitteluun tai FAT-testeihin.



KUVA 11. Lohkokaavio automaatiojärjestelmän suunnittelusta ja käyttöönottamisesta

4.1 Keskitetyn valvomon pystytys

Voimalaitoksen käyttöönotto alkoi keskitetyn valvomon pystyttämisestä, jossa sijaitsevat voimalaitoksen operoimiseen käytetyt tietokoneet ja muut tärkeät laitteet, kuten esimerkiksi moottoreiden ja generaattoreiden suojaamiseen tarkoitetut suojareleet. Valvomossa sijaitsevat myös suuri osa voimalaitoksen logiikoista, jotka ovat kuvassa 12 näkyvissä automaatiokeskuksissa. Kuvassa 12 nähdään myös moottoreiden paikalliset ohjauspaneelit sekä yleiskuva voimalaitoksen matala-, keski- ja korkeajänniteverkosta.



KUVA 12. Valvomon automaatiokeskukset

Suurin osa käyttöönottoon käytetystä ajasta vietettiin voimalaitoksen valvomossa valvomotietokoneilla sekä kannettavalla tietokoneella. Valvomotietokonetta käytetään voimalaitoksen käyttöliittymän muokkaamiseen sekä laitoksen operoimiseen, kun taas kannettavalla tietokoneella tehdään tehdasverkkoon liitettyjen laitteiden konfigurointi sekä logiikka-ohjelman muutokset. Kuvassa 13 on esitetty voimalaitoksen valvomo ja operointipäättöt.



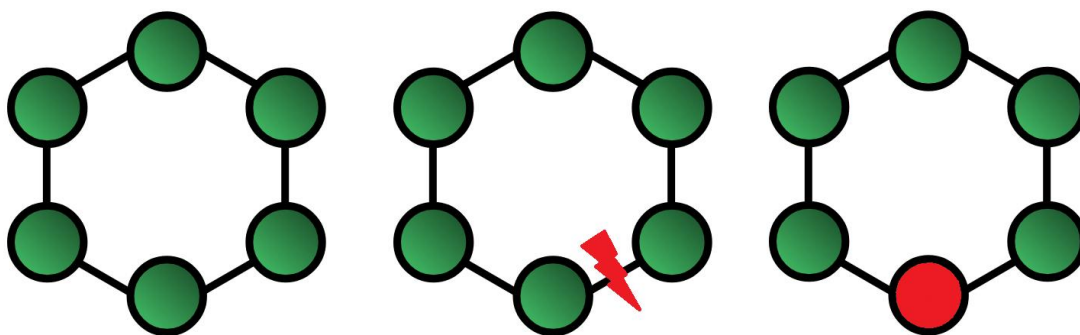
KUVA 13. Voimalaitoksen valvomo

Valvomon pystyttäminen sisälsi vain valvomossa sijaitsevien laitteiden kytkemisen, sillä valvomossa sijaitsevien sähkö- ja automaatiokeskuksien sisäiset kytkennät oli tehty ennalta valmiiksi ja viimeistelevät kytkennät suoritti sähköasentaja. Valvomossa sijaitsevat laitteet oli tärkeää kytkeä UPS-pistorasioihin, jotta laitteet eivät rikkoutuisi sähköverkon jännitteen muuttuessa tai sähkökatkoksen aikana. UPS-pistorasiat on kytkettyinä akustovarmennettuun järjestelmään, joka ylläpitää jännitteen pistorasioissa sähkökatkoksen aikana ja estää jännitepiikkien pääsyn laitteille (UPS N.d).

Valvomotietokoneiden kytkemisen jälkeen niihin päivitettiin uusimmat ohjelmistot, joihin oli tullut päivityksiä FAT-testien jälkeen. Ohjelmistot päivitettiin saatujen ohjeiden mukaisesti, jonka jälkeen tietokoneet olivat valmiina järjestelmän käyttöönottoon. Ennen ohjelmitavien logiikoiden käynnistystä asennettiin niiden muistikorit paikoilleen ja ensimmäisen käynnistytksen jälkeen niihin ladattiin ennalta saatu logiikkaohjelma.

4.2 Tehdasverkon luominen

Voimalaitoksen verkko toteutettiin rengasverkko-topologiaa käyttäen. Rengasverkon etuina on sen luotettavuus laiterikkojen varalta, koska yhden reitittimen rikkoutuminen tai yhteyden katkeaminen ei aiheuta ongelmia koko verkkoon. Kuvassa 14 on esitetty tilanteet, jotka havainnollistavat rengasverkon toimintaa. Yhteyksien luomisessa oli tärkeää noudattaa automaatiolayout-kuvia, joissa oli määritetty reitittimen portti, johon laite kytkettäisiin.



KUVA 14. Rengasverkko

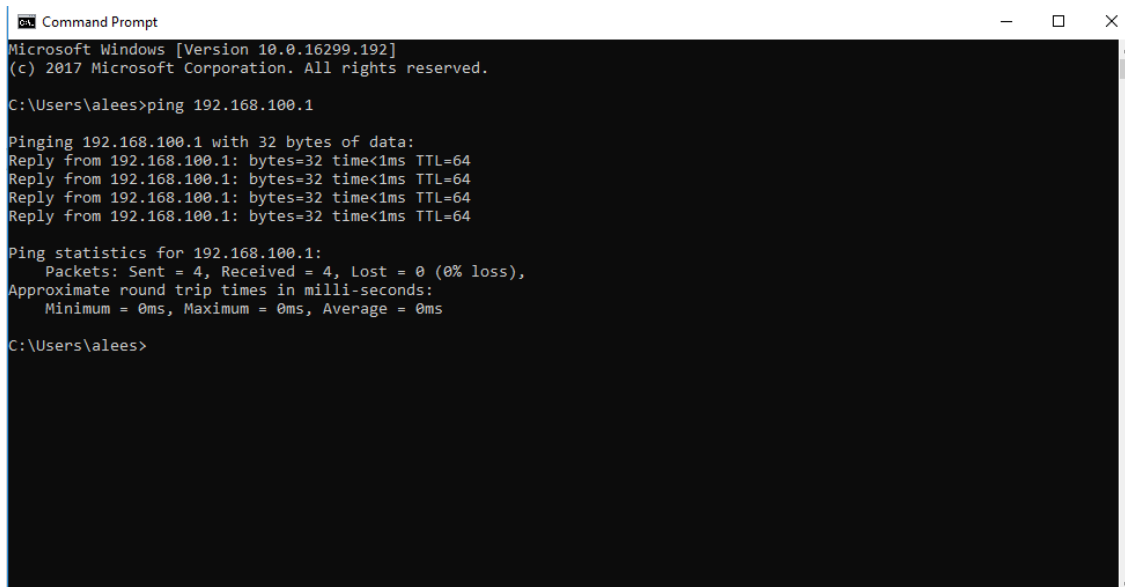
Kuvasta 14 nähdään rengasverkkoon liitettyjen reitittimien toiminta erilaisissa tilanteissa. Vasemmalla kuvataan tilannetta, jossa kaikki toimii ja jokainen reititin on yhdistettynä verkkoon. Keskimmäisessä kuvassa kahden reitittimen välille on syntynyt kaapelirikko, mutta kaikki reitittimet ovat edelleen yhteydessä toisiinsa. Oikealla kuvataan tilannetta, jossa yksi reititin on rikkoutunut ja yhteys kyseisen reitittimen kautta kytkettyihin laitteisiin on menetetty.

Reitittimet olivat ennalta konfiguroituja FAT-testien jälkeen, joten niihin tehtiin muutoksi vasta käyttöönoton loppupuolella, uusien kenttälaitteiden lisäämisen yhteydessä. Tehdasverkon yhteydet kulkevat reitittimien kautta, joten uuden verkkolaitteen IP-osoite on lisättävä reitittimien sallittujen yhteyksien listalle. Kuvassa 15 on esitetty Cisco RV-130 reitittimen yhteysasetukset.

KUVA 15. Reitittimen konfiguroiminen (Cisco 2018)

Uutta yhteyttä lisättäessä valitaan yhteyden tyyppi, toiminto yhteydelle, lähdeosoite sekä kohdeosoite. Tässä tapauksessa valittiin lähdeosoitteeksi lisätty toimilaite, yhteystyyppiä LAN, kohdeosoitteeksi laitteeseen kytketty reititin ja toiminnoksi ”salli yhteys”.

Reitittimien yhteen kytkemisen jälkeen luotiin Ethernet-yhteydet valvomossa sijaitseviin logiikoihin. Luotu yhteys tarkastettiin liittymällä tehdasverkkoon valvomotietokoneella, jolla käytettiin komentoikkunan ”ping”-komentoa. Kuvassa 16 on esitetty käytetty komento, jolla nähdään vastaanottavan laitteen IP-osoite ja tiedot datapaketin lähetyksestä. Tämän lisäksi yhteyden toiminta tarkastettiin käyttöliittymän automaatioikkunasta, jossa näkyvät automaatiojärjestelmän yhteydet. Viallisesta yhteydestä luodaan hälytys ja uuden yhteyden muodostuttua täytyisi kommunikaatiohälytyksen poistua hälytyslistasta.

A screenshot of a Windows Command Prompt window. The title bar reads "Command Prompt". The window content shows the following text:

```
Microsoft Windows [Version 10.0.16299.192]
(c) 2017 Microsoft Corporation. All rights reserved.

C:\Users\alees>ping 192.168.100.1

Pinging 192.168.100.1 with 32 bytes of data:
Reply from 192.168.100.1: bytes=32 time<1ms TTL=64
Reply from 192.168.100.1: bytes=32 time<1ms TTL=64
Reply from 192.168.100.1: bytes=32 time<1ms TTL=64
Reply from 192.168.100.1: bytes=32 time<1ms TTL=64

Ping statistics for 192.168.100.1:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 0ms, Maximum = 0ms, Average = 0ms

C:\Users\alees>
```

KUVA 16. Ping-komento

Tässä esimerkissä 32 bitin suuruinen datapaketti lähetettiin IP-osoitteeseen 192.168.100.1 neljä kertaa, joista 100 % paketeista saatiin vastaus. Tämän lisäksi datan lähetyksestä nähdään datan kulkemiseen kulunut aika, joka oli < 1 ms.

4.3 Yhteyksien luominen kentälle ja kentälaitteiden konfigurointi

Reitittimien ja logiikoiden kommunikoidessa toistensa kanssa aloitettiin yhteyksien luominen kentälle. Yhteyksiä luotiin, kun toimilaitteille tai I/O-laitteistoille saatiin tehtyä sähköistys ja väyläkaapelointi. Jokaisen yhteyden luominen noudatti samoja periaatteita ja yleensä kommunikoinnin muodostamiseksi riitti laitteen IP-asetusten konfiguroiminen. Joissakin tapauksissa täytyi kommunikointiasetusten lisäksi konfiguroida laitteen parametreja, kuten esimerkiksi taajuusmuuttajien tapauksessa ohjatun moottorin tiedot.

4.3.1 Taajuusmuuttajat

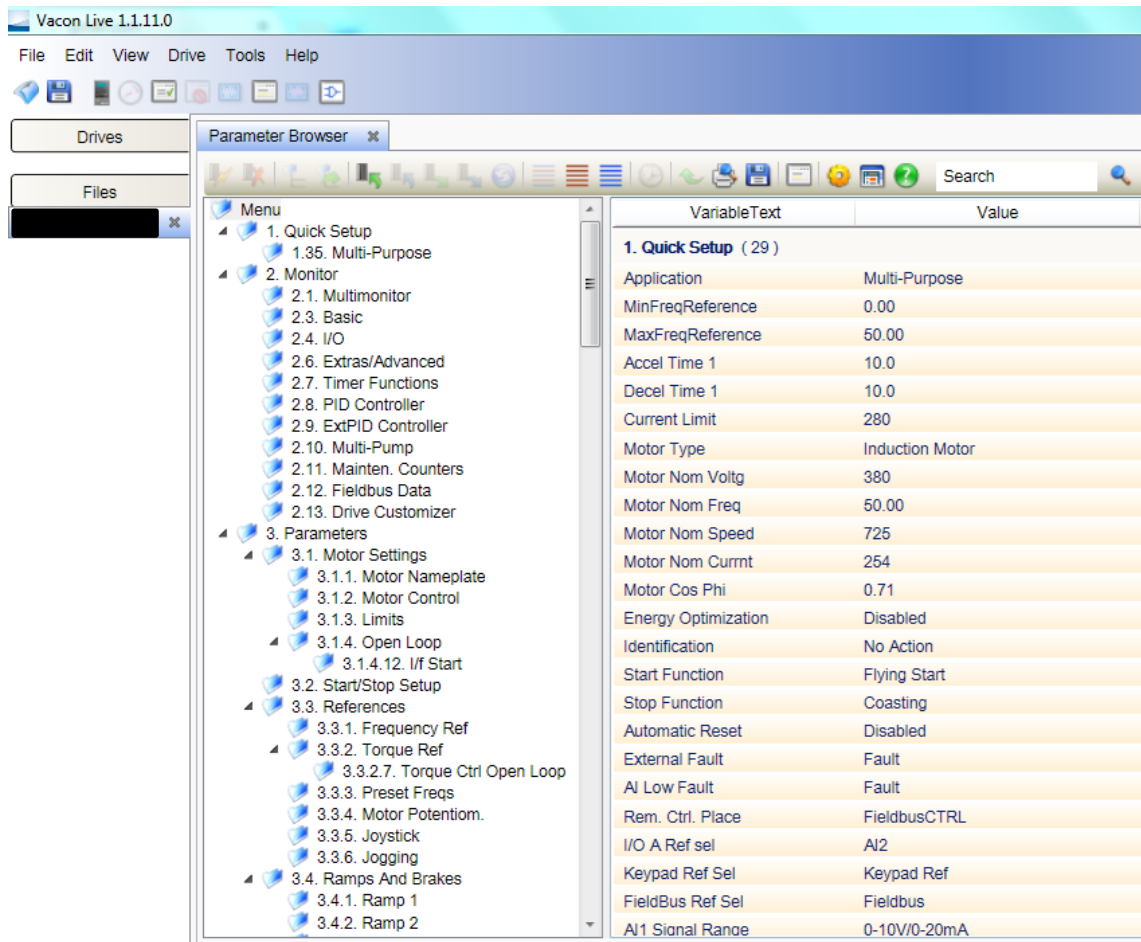
Voimalaitoksella käytettiin paljon taajuusmuuttajia, joista suurin osa oli yhdistetty tehdasverkkoon Ethernet-yhteyksillä. Taajuusmuuttajien avulla laitoksen moottoreiden sekä pumppujen pyörimisnopeuksia voitiin ohjata prosessin vaatimalla nopeudella, joka mahdollisti huomattavasti energiatehokkaamman ja joustavamman ohjauksen kuin pelkkä ON/OFF ohjaus.

Taajuusmuuttajiin luotiin Ethernet-yhteydet ja ne liitettiin tehdasverkkoon kytkimien ja reitittimien kautta. Ethernet-kaapelin päätteiden tekemisen jälkeen taajuusmuuttajalle konfiguroitiin kommunikointi-asetukset. Tämän jälkeen yhteys testattiin samalla tavalla kuin reitittimetkin käyttäen komentorivin ”ping”-komentoa sekä käyttöliittymän automaatio-ikkunaa. Kuvassa 17 on esitetty radiaattoreiden ohjaamiseen käytetty taajuusmuuttaja.



KUVA 17. Radiaattoreita ohjaava taajuusmuuttaja

Yhteyden muodostamisen jälkeen taajuusmuuttajille täytyi konfiguroida ohjattavien moottoreiden kilpitiedot sekä ennalta määritellyt parametrit. Parametrointi suoritettiin käyttäen Vacon-live ohjelmistoa, joka on Vacon-taajuusmuuttajien konfigurointityökalu. Kuva Vacon-liven pääikkunasta on esitetty kuvassa 18.



KUVA 18. Vacon-live ohjelmiston päävalikko

Kuvassa 18 nähdään osa taajuusmuuttajan parametreista, joita voidaan muuttaa. Kaiken kaikkiaan parametreja on olemassa paljon, mutta tärkeimmät ovat moottorin kilpitiedot sekä taajuusmuuttajalta saatavan mittaustiedon ”data map”. Data mapin avulla määritetään, mitä mittausdataa PLC voi lukea taajuusmuuttajalta. Kuvassa 19 on esitetty taajuusmuuttajan data map-parametrit ja kuvassa 20 ote taajuusmuuttajan käyttöoppaasta, joka havainnollistaa data mapin toimintaa.

VariableText	Value	Min	Max	Unit	Default	ID
3.6. Fieldbus DataMap (8)						
FB DataOut 1 Sel	1	N/A	N/A	1		852
FB DataOut 2 Sel	2	N/A	N/A	2		853
FB DataOut 3 Sel	3	N/A	N/A	45		854
FB DataOut 4 Sel	5	N/A	N/A	8		855
FB DataOut 5 Sel	37	N/A	N/A	5		856
FB DataOut 6 Sel	61	N/A	N/A	6		857
FB DataOut 7 Sel	59	N/A	N/A	7		858
FB DataOut 8 Sel	60	N/A	N/A	37		859

KUVA 19. Taajuusmuuttajan datamap

Tarkastelemalla kuvia 19 ja 20, havaitaan että taajuusmuuttajalta luetaan ohjatun moottorin taajuutta (ID 1), moottorin pyörimisnopeutta (ID 2), moottorin virtaa (ID 3) sekä moottorin akselin vääntömomenttia (ID 5). Jokaiselle mittaukselle on määritetty oma ID, jotka selviävät taajuusmuuttajan käyttöoppaasta.

Monitoring value	Unit	Scale	ID	Description
Output frequency	Hz	0.01	1	The output frequency to motor
Frequency reference	Hz	0.01	25	The frequency reference to motor control
Motor speed	rpm	1	2	The actual speed of the motor in rpm
Motor current	A	Varies	3	
Motor torque	%	0.1	4	The calculated shaft torque
Motor shaft power	%	0.1	5	The calculated motor shaft power in percentage
Motor shaft power	kW/hp	Varies	73	The calculated motor shaft power in kW or hp. The unit is set in the unit selection parameter.
Motor voltage	V	0.1	6	The output voltage to motor
DC link voltage	V	1	7	The measured voltage in the DC-link of the drive
Unit temperature	°C	0.1	8	The heatsink temperature in Celsius or Fahrenheit
Motor temperature	%	0.1	9	The calculated motor temperature in percentage of the nominal working temperature
Motor Preheat		1	1228	The status of the Motor preheat function 0 = OFF 1 = Heating (feeding DC-current)
Torque reference	%	0.1	18	The final torque reference to motor control

KUVA 20. Ote datamap ID-listasta (Vacon 100 2014)

4.3.2 Suojareleet & tehonmittausyksiköt

Generaattoreiden sähköinen suojaus toteutettiin suojareleillä. Suojareleet mittaavat generaattorin virtaa, jännitettä sekä taajuutta ja suojareleeseen ohjelmoitujen ehtojen täytyessä avataan generaattorin ja sähköverkon välinen katkaisija ja tarvittaessa pysäytetään moottori. Tehonmittausyksikköjen avulla mitattiin yksittäisten generaattoreiden sekä koko voimalaitoksen tuottamaa virtaa, jännitettä, taajuutta sekä pätö- ja loistehoa.

Suojareleet sekä tehonmittausyksiköt liitettiin tehdasverkkoon Ethernet-yhteyksillä reitittimien kautta. Kaapeloinnin valmistuttua täytyi laitteiden kommunikointiasetukset asettaa manuaalisesti näytön painikkeiden avulla. Kuvassa 21 on vasemmalla esitetty tyypillinen suojarele sekä oikealla tehonmittausyksikkö.



KUVA 21. Suojarele sekä tehonmittausyksikkö (Schneider-Electric)

Kommunikoinnin luomiseksi täytyi suojareleille asettaa kommunikointitavaksi Modbus-TCP sekä asettaa laitteen IP-asetukset. Kommunikointiasetusten konfiguroimisen jälkeen yhteys testattiin komentorivin ping-komennolla sekä tarkastamalla voimalaitoksen käyttöliittymästä kommunikaatiohälytyksen tila. Kommunikaation toimiessa, voitiin suojareleisiin ottaa yhteys Vampset-ohjelmalla, joka on Schneider-Electric:n kehittämä suojareleiden sekä tehonmittausyksiköiden ohjelmointityökalu. Kuvassa 22 näkyy Vampset-ohjelman pääikkuna laitteeseen yhdistämisen jälkeen. Vampset-ohjelman avulla voidaan asettaa samat parametrit kuin laitteen näytöstäkin, mutta tietokoneella muutosten tekeminen on huomattavasti helpompaa ja nopeampaa.

The screenshot shows the Vampset software interface. The title bar reads "Untitled - Vampset". The menu bar includes "File", "Edit", "View", "Settings", "Communication", "Device Library", "Disturbance Record", and "Help". The toolbar contains various icons for file operations and device configuration. The main window title is "OVERCURRENT & EARTHFAULT RELAY Vamp 50". Below the title, it indicates "Protected target", "Bay", and "Substation".

The left-hand pane is titled "DEVICE INFO" and lists various configuration options with checkboxes and numerical values:

- MEASUREMENTS
- CURRENT HARMONICS
- PHASOR DIAGRAM
- RMS MEASURING
- MONTH MAX
- CURRENT MINIMUMS and MAXIMUMS
- + DEMAND VALUES...
- + DIGITAL INPUTS...
- + VIRTUAL INPUTS...
- + RELAYS...
- + VIRTUAL OUTPUTS...
- LED NAMES
- FUNCTION BUTTONS
- EVENT BUFFER
- DISTURBANCE R E C O R D E R
- RUNNING HOUR COUNTER
- TIMERS
- VALID PROTECTION STAGES
- + PRO...
- COLD LOAD/INRUSH
- + OVERCURRENT STAGE... 46
- UNBALANCE STAGE I2>
- THERMAL OVERLOAD STAGE T> 49
- + EARTH-FAULT STAGE...
- + PROGRAMMABLE STAGE...
- CB FAILURE PROTECTION 50BF
- MAGNETISING INRUSH If2> 68F2
- OVER EXCITATION If5> 68F5
- O B J E C T S
- AUTO RECLOSING 79
- AR Shot settings 79
- AR COUNTER TEXTS

The right-hand pane is titled "DEVICE INFO" and displays the following configuration details:

Main location	Substation
Sublocation	Bay
Name for this device	Protected target
Device name	OVERCURRENT_EARTHFAULT RELAY
Device type	Vamp 50
Application mode	Feeder
Language	English
Enable language for PC	<input type="checkbox"/>
Serial number	21153
Order code	-3AAA1AKA
Program version	V10.175
FLASH memory size	4 MB
Minimum setting tool version	2.2.171
Current setting tool version	2.2.185
Date	2017-05-26
Time of day	16:24:26

KUVA 22. Vampset-ohjelma

Suojareleet ja tehonmittausyksiköt olivat voimalaitokselle saapuessaan ennalta konfiguroituja FAT-testien jälkeen, joten niiden konfigurointiin ei juurikaan tarvinnut tehdä muutoksia. Ainoat muutokset yksikköjen konfigurointiin tehtiin käyttöönoton loppuvaiheessa, jolloin huomattiin, että koko voimalaitoksen tuottamaa tehoa mittaavan yksikön skaalaa täytyy muuttaa. Mittausdata tuotetusta tehosta tuotiin järjestelmään käyttäen yhtä INT-muuttujaa, joten muuttujan sisältö voi saada korkeintaan arvot väliltä ± 32768 . Tämä osoittautui ongelmaksi, koska voimalaitoksen tuottama teho ylitti 32 768 kW. Tällöin mittaus tuotetusta tehosta ylitti skaalan, joten mittauksen skaalaa täytyi muuttaa. Skaalaus muutettiin pienentämällä mittauksen skaala 10-kertaa pienemmäksi ja lisäämällä logiikkaohjelmaan luetun mittausdatan skaalaus 10-kertaa suuremmaksi. Täten mittauksen todellinen skaala saatiin muutettua ± 327680 kW, joka oli tarpeeksi suuri kattamaan voimalaitoksen täyden tehon.

4.3.3 Virtausmittarit

Voimalaitoksella käytettiin virtausmittareita polttoaineen kulutuksen mittaamiseen. Kuvassa 23 on esitetty polttomoottorin kaasuramppi, jonka tehtävänä on varmistaa, että moottorille syötetään puhdasta kaasua oikealla paineella. Virtausmittarit käyttivät Modbus-väylää, joten mediamuuntimia tarvittiin muuttamaan RS485-yhteys Modbus TCP:ksi automaatiojärjestelmää varten. Virtausmittarin liittämiseksi tehdasverkkoon täytyi sille konfiguroida Modbus-osoite, joka asetettiin samaksi kuin voimalaitoksen PLC-ohjelmaan oli konfiguroitu. Mediamuuntimia ei tarvinnut konfiguroida, koska se oli tehty FAT-testeissä jo ennen voimalaitokselle toimittamista.



KUVA 23. Kaasuramppi sekä virtausmittari

4.4 I/O testaaminen

Kun reitittimet ja PLC:t saatiin liitettyä tehdasverkkoon, aloitettiin I/O testaaminen niistä kohteista, jotka olivat kytkettyinä ja valmiina testaukseen. Monen kohteen ollessa valmiina samanaikaisesti, aloitettiin testaaminen tärkeimmästä kohteesta.

I/O-testaamisen tarkoituksena on testata voimalaitoksen jokainen tulo- ja lähtösignaali, varmistuen että johdotukset ovat kunnossa, skaalaukset oikein ja signaaliin ohjelmoidut toiminnot toteutuvat. I/O-testauksen yhteydessä testataan myös mahdolliset hälytykset, käyttöliittymän grafiikan toimivuus sekä paikallisten merkkivalojen toimivuus.

I/O-testaamiseen tarvitaan vähintään kaksi henkilöä ja radiopuhelinyhteys, koska yhden henkilön on tarkkailtava voimalaitoksen käyttöliittymää valvomosta ja toisen on tehtävä muutos signaalin tilaan kentällä. I/O-testauksessa pyritään aina tekemään mahdollisimman todenmukainen muutos signaaliin, kuten esimerkiksi pinnankorkeusmittarin tilan muutos suoraan mittarista tai todellista pintaa muuttamalla. Tämä tehdään, koska jos signaali simuloitaisiin mittarin sijaan digitaliselta tulokortilta, jäisi mittarin ja digitalisen tulokortin välinen osuus testaamatta kokonaan. Olosuhteiden takia ei jokaista signaalia voida testata toimilaitteelta asti, joten silloin testaus pyritään suorittamaan niin läheltä signaalin lähdettä kuin mahdollista.

Jos jokin testattavista signaaleista ei toimi, syy toimimattomuuteen tulee selvittää. Yleisimpiä syitä signaalin toimimattomuuteen ovat väärin kytketyt kaapeloinnit, rikkiäinen I/O-kortti sekä väärin invertoitu signaali PLC-ohjelmassa. I/O-testauksessa täytyy olla järjestelmällinen ja pitää huoli, että jokainen testattu signaali dokumentoidaan testatuksi. Jos testejä tehdessä ei dokumentoida, voi jotain signaaleja jäädä testaamatta tai sama signaali joudutaan testaamaan useaan kertaan. Testauksen dokumentit ovat tärkeä osa voimalaitoksen laatudokumentointia

Digitaalisia signaaleja testattaessa on tarkastettava, että signaali muuttaa tilaansa oikeassa kortissa ja tulossa, signaaliin liitetyt hälytykset toimivat sekä käyttöliittymään liitetyt grafiikat toimivat. Analogisten signaalien testaamisessa tehdään samat testit kuin digitalisilla signaaleilla, mutta tämän lisäksi on tarkastettava mahdolliset anturivikoihin liitetyt hälytykset, mittauksen skaalaus sekä mittauksen hälytysrajat.

4.5 Moottoreiden käyttöönotto

Kun tärkeimmät signaalit ja toiminnallisuudet oltiin testattu ja todettu toimiviksi, voitiin polttomoottorit käynnistää ensimmäisen kerran. Ennen ensimmäistä käynnistystä on tärkeä tarkastaa kaikki turvallisuuteen liittyvät signaalit. Tämä on tärkeää, koska jonkin mennessä pieleen on voitava olla varmoja, että vaaratilanteita ei pääse syntymään. Polttomoottoreiden ensimmäisen käynnistyksen yhteydessä on varmistuttava, että valvomosta on radioyhteys konehalliin sekä että ulkopuolisia henkilöitä ei ole vaara-alueilla.

Moottoreiden ensimmäisellä käynnistyksellä niiden generaattoreita ei yhdistetä vielä sähköverkkoon, koska ennen sitä generaattorit sekä verkkoon tahdistuksen piirit on testattava. Tästä syystä aluksi testataan vain moottorin tyhjäkäynti, joka kestää muutamia minuutteja. Moottorin käynnistyksen ja tyhjäkäynnin lisäksi on tärkeää tarkkailla prosessisuureita, kuten lämpötiloja sekä paineita ja dokumentoida ylös kaikki poikkeavuudet. On syytä myös tarkkailla hälytyslistaa ja olla valmiina pysäyttämään moottori, jos esimerkiksi moottorille syötetyn polttoaineen paine kasvaa vaarallisen suureksi.

Ensimmäisen käynnistyksen ja lyhyen tyhjäkäynnin jälkeen testattiin kaikki moottorin pysäytykseen liittyvät signaalit. Moottori käynnistettiin ja sen saavutettua nimellisuopeutensa, pysäytettiin se kaikilla signaaleilla, joiden tulee pysäyttää moottori. Kaikki moottorin pysäytykseen liittyvät signaalit on testattava heti käyttöönoton alussa, koska vikatilanteen tapahtuessa voi moottorille aiheutua vahinkoa, jos se ei pysähdy pysähdyskäskyn aktivoituessa. Kun moottoreiden pysäytys-signaalit on kaikki testattu, voitiin siirtyä generaattoreiden käyttöönottoon.

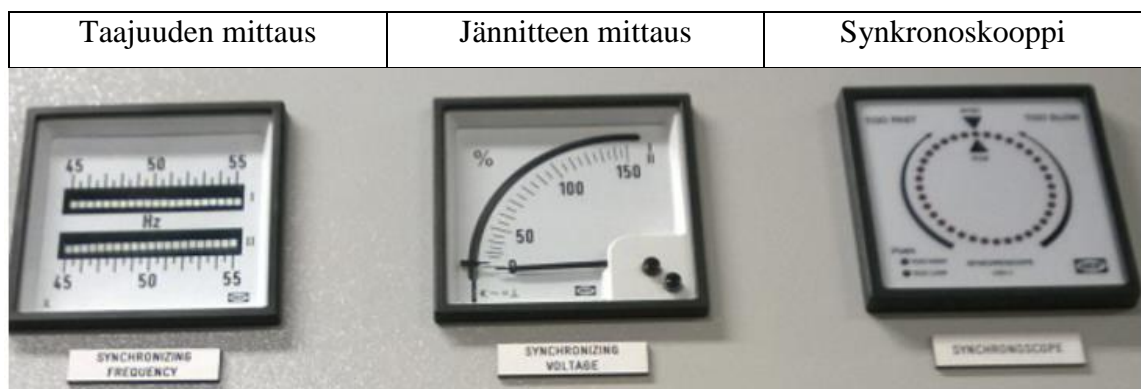
4.6 Generaattoreiden käyttöönotto

Generaattoreiden käyttöönotto alkaa PLC-ohjelman tarkastelulla, jossa tarkastetaan, että generaattorin magnetointikäsky aktivoituu oikeista ehdoista. Magnetointiehtojen tarkastamisen jälkeen on testattava magnetoimiseen liittyvät signaalit ja varmistuttava, että generaattori on valmis magnetointia varten. Kun generaattori magnetoidaan

ensimmäistä kertaa, on tarkkailtava generaattorin AVR-yksikköä ja tarkastettava, että mittarin lukemat näyttävät generaattorin saavuttaneen nimellisjännitteen.

Generaattorin magnetoimisen jälkeen tarkastettiin tahdistuspiirin toiminta ja siihen liittyvät signaalit. Tahdistuspiiri tarkastetaan kokonaisuudessaan ja sen toiminnallisuudet tarkastetaan logiikkaohjelmasta. Generaattorin ensimmäisen verkkoon tahdistuksen aikana tarkkaillaan generaattorin tehoa ja varmistetaan että se nousee normaalisti asetusarvoonsa, eikä esimerkiksi näytä negatiivista. Jos generaattorin tahdistuksessa ilmenee ongelmia, on generaattorin ja verkon välinen katkaisija avattava välittömästi, ettei generaattorille tai moottorille aiheudu vahinkoa.

Generaattori voidaan tahdistaa verkkoon joko automaattisesti tai manuaalisesti. Automaattisessa tahdistuksessa automatiikka sulkee katkaisijan generaattorin ja verkon välillä tahdistusehtojen täytyessä. Manuaalisessa tahdistuksessa operaattori voi itse säätää generaattorin taajuutta sekä jännitettä ja tarkkailla synkronoskooppia. Synkronoskooppi sekä tahdistukseen tarvittavat mittalaitteet on esitetty kuvassa 24.



KUVA 24. Tahdistukseen tarvittavat mittaukset

Kuvan 24 mittareissa on osoittimet generaattorin sekä sähköverkon jännitteelle ja taajuudelle. Synkronoskooppi on esitetty kuvassa oikealla ja sen ledit kuvaavat verkon ja generaattorin välistä vaihekulmaa. Kun kellon ylin LED-valo palaa, ovat vaihekulmat samat ja synkronoskooppi antaa pulssin, jonka ajan voidaan sulkea generaattorin ja verkon välinen katkaisija.

4.7 Voimalaitoksen testit

Generaattorin verkkoon tahdistamisen jälkeen aloitetaan voimalaitoksen testaaminen sähkötuotannossa. Testit riippuvat asiakkaan kanssa tehdystä sopimuksesta ja paikallisista määräyksistä. Tyypillisessä voimalaitoksessa suoritetaan ainakin polttomoottoreiden operoiminen täydellä kuormalla sekä polttomoottorin tyypistä riippuen myös testit polttoaineelta toiselle vaihtamiseen moottorin käydessä. Tämän lisäksi voimalaitoksen hyötysuhde ja päästöt mitataan ja niiden tason varmistetaan olevan sopimuksen mukainen.

Testit aloitettiin käynnistämällä moottoreita yksi kerrallaan ja nostamalla niiden kuormaa askelittain. Kun jokaista moottoria oltiin operoitu täydellä kuormalla yksitellen, aloitettiin operoimaan useampaa moottoria samanaikaisesti. Testit aloitettiin käyttäen polttoaineena dieseliä, koska se on helpompikäyttöisempi polttoaine kuin raskas polttoöljy tai kaasu. Kun testit oltiin suoritettu dieselillä, tehtiin samat testit käyttäen raskasta polttoöljyä ja ensimmäinen testi polttoaineen vaihtamisesta moottorin ollessa käynnissä. Polttoaineen vaihtaminen aloitettiin operoimalla moottoria dieselillä ja vaihdos tehtiin ensin raskaalle polttoöljylle, jonka jälkeen vaihdos tehtiin takaisin dieselille. Raskaalla polttoöljyllä operoimisen jälkeen aloitettiin moottoreiden testaaminen kaasulla ja sillä suoritettiin samat testit kuin nestemäisilläkin polttoaineilla. Kaasulla operoidessa ei ollut mahdollisuutta vaihtaa polttoainetta raskaan polttoöljyn ja kaasun välillä, vaan vaihdos täytyi tehdä aina dieselin ja kaasun välillä.

Tämän lisäksi moottorien toimintaa testattiin tilanteessa, jossa sitä operoitiin täydellä kuormalla ja generaattorin sekä sähköverkon välinen katkaisija avattiin. Tämän testin tarkoituksena on varmistua, että äkillinen kuorman katoaminen ei aiheuta moottorin pysäyttämistä liian suuresta pyörimisnopeudesta.

Käyttöön otetun voimalaitoksen tapauksessa oli voimalaitokselle suoritettava vielä paikallisen verkkoyhtiön vaatimat testit, joiden avulla varmistettiin voimalaitoksen täyttävän paikalliset vaatimukset. Ilman näiden testien läpäisyä, ei voimalaitoksella oltaisi voitu tuottaa sähköä, kunnes vaaditut kriteerit täyttyisivät. Viimeinen testi voimalaitokselle ennen asiakkaalle luovutusta on sopimuksessa sovittu luotettavuustesti, jossa kaikkia polttomoottoreita ajetaan yhtäaikaisesti täydellä kuormalla. Testin muut vaatimukset, kuten sen kesto ovat täysin riippuvaisia asiakkaan kanssa tehdystä

sopimuksesta. Luotettavuustestin pituus voi olla mitä tahansa muutamasta tunnista useaan viikkoon. Voimalaitoksen luotettavuustestin pituus oli 12 tuntia, joka aloitettiin operoimalla moottoreita raskaalla polttoöljyllä 4 tunnin ajan. Tämän jälkeen polttoaine vaihdettiin dieselille moottoreita pysäyttämättä ja moottoreita operoitiin dieselillä seuraavat 4 tuntia. Viimeinen polttoaineen vaihdos tehtiin dieseliltä kaasulle ja moottoreita operoitiin vielä 4 tuntia.

4.8 Ohjelmiston varmuuskopioiminen

Käyttöönoton loppuvaiheessa, kun voimalaitoksen testit on suoritettu onnistuneesti, aloitetaan voimalaitoksen automaatio-ohjelmiston varmuuskopiointi. Tämä on tärkeä vaihe käyttöönottoa, koska vanhan laitteiston rikkoutuessa on ohjelmistot oltava saatavilla uusia laitteita varten. Varmuuskopioinnin yhteydessä tallennetaan kaikkien automaatiolaitteiden konfigurointitiedostot sekä voimalaitoksen käyttöliittymän ja logiikka-ohjelmiston tiedostot.

Automaatio-ohjelmiston lisäksi valvomotietokoneiden kovalevyistä otettiin kopiot toiselle kovalevylle, jolloin tietokonerikon sattuessa uusi operointipäätte saataisiin mahdollisimman nopeasti takaisin käyttöön.

5 KÄYTTÖÖNOTTO-OPAS

Käyttöönoton aikana kerätyn tiedon avulla tehtiin käyttöönotto-opas, joka sisältää ohjeita käyttöönoton eri vaiheiden suorittamiseen. Opas sisältää paljon salassa pidettävää materiaalia, jonka takia sitä ei voida julkaista opinnäytetyön yhteydessä. Opasta tullaan käyttämään tulevissa projekteissa ja sitä jatkokehitetään tarpeen vaatiessa.

Käyttöönotto-oppaan kirjoittaminen tapahtui käyttöönoton jälkeen, käyttäen voimalaitoksen dokumentteja sekä muistiinpanoja. Ohjeita selkeään oppaan kirjoittamiseen haettiin erilaisista dokumenteista, joiden avulla selvitettiin oppaalle sopiva rakenne. Tutkimuksen jälkeen oppaan sisältö päädyttiin kirjoittamaan samassa järjestyksessä kuin voimalaitoksen käyttöönotto. Oppaan runko rakennettiin yhtenäiseksi käyttöönoton vaiheiden kanssa, koska täten on helppo seurata käyttöönoton etenemistä ja tarkastaa, mitkä toimenpiteet on suoritettava ennen seuraavaan vaiheeseen etenemistä. Käyttöönotto-opas jaettiin kahteen erilliseen dokumenttiin, joista toinen esittelee lyhyesti käyttöönoton eri vaiheet (liite 1) ja laajempaan tekniseen dokumenttiin, joka kertoo syvällisemmin mm. voimalaitoksen käyttöliittymän ja logiikka-ohjelman muokkaamisesta sekä toimilaitteiden konfiguroimisesta. Opas päätettiin jakaa kahteen erilliseen dokumenttiin, jotta sen rakenne pysyisi yksinkertaisena ja helppolukuisena.

Liitteessä 1 on esitetty käyttöönotto-oppaan sisällysluettelo. Käyttöönotto jaettiin oppaassa 15 vaiheeseen, joissa jokaisessa esitetään mitä kyseisessä vaiheessa tapahtuu ja mitä toimenpiteitä se vaatii. Tämän ohjeistuksen avulla harjoittelijankin on helpompi ymmärtää, mitä käyttöönotossa tapahtuu ja minkä takia kyseiset testit tehdään.

Liitteessä 2 on esitetty ote käyttöönotto-oppaan sivusta, joka käsittelee I/O-testausta. Tässä kappaleessa kerrotaan lyhyesti, mitä I/O-testaus on ja mitä siinä on huomioitava. Tämän lisäksi oppaassa on listattuna kaikki I/O-signaalit ja toiminnalliset kokonaisuudet, jotka on testattava ennen kuin moottoria voidaan käynnistää.

6 POHDINTA

Toimeksiantona oli suorittaa voimalaitoksen käyttöönotto projekti aikataulun mukaisesti yhteistyössä mekaanisen- ja sähköosaston kanssa. Haasteita käyttöönotossa oli paikallisten urakoitsijoiden kanssa työskentely, joka johtui kielimuurista. Eniten aikaa käyttöönotossa kului I/O-testaamiseen sekä logiikkaohjelman ja käyttöliittymän vianmääritykseen. I/O-testaamisessa suurimmat ongelmat olivat virheelliset kytkennät, jotka hidastivat käyttöönoton etenemistä. Logiikkaohjelman vianmäärityksessä suurin haaste oli massiivisen ohjelman lukeminen ja ymmärtäminen, joka täytyi sisäistää ennen kuin vian etsimistä pystyi aloittamaan. Vian etsimisessä huomasi nopeasti, kuinka vaikeaa se on, ellei ymmärrä miten viallisen ohjelma-osuuden on tarkoitus toimia. Käyttöliittymän käyttöönottamisessa ei ilmennyt suuria ongelmia, mutta sen käyttöönottaminen vei paljon aikaa lukuisten muutoksien tekemisen johdosta. Lopputuloksena käyttöönotto onnistui ilman suurempia ongelmia ja voimalaitos luovutettiin asiakkaalle projekti aikataulun mukaisesti.

Kuluneen kesän aikana pääsin tutustumaan automaatiojärjestelmään ja erilaisiin vaiheisiin sen käyttöönotossa. Projektin aikana pääsin ohjelmoimaan voimalaitoksen logiikka-ohjelmaa sekä muokkaamaan laitoksen käyttöliittymää, joka opastuksen jälkeen onnistui myös itsenäisesti. Mielestäni nämä kaksi osa-aluetta olivat kaikkein haastavimmat niiden laajuuden vuoksi. Käyttöönoton aikana pääsin itsenäisesti konfiguroimaan erilaisia väylälaitteita ja luomaan niille yhteyksiä tehdasverkkoon. Tämä vaikutti aluksi hankalalta, mutta asiaan perehtymisen jälkeen se osoittautui yllättävän helpoksi ja kaikki lähestulkoon kaikki tehdasverkkoon liitetyt laitteet noudattivat samoja konfigurointiperiaatteita. Helpoin osuus käyttöönotossa oli I/O-testaus, jonka oppi hyvinkin nopeasti. I/O-testauksen aikana huomasin, että tärkein asia sen aikana on selkeä kommunikointi vastapuolen kanssa. Opinnäytetyölle asetetut tavoitteet saavutettiin ja käyttöönotossa opitun pohjalta onnistuttiin luomaan selkeä käyttöönotto-opas, vaikka vastaavien dokumenttien tekemisestä ei ollut aikaisempaa kokemusta. Oppaaseen onnistuttiin tiivistämään kaikki opittu tieto selkeästi ja yksiselitteisesti. Oppalle saatiin tehtyä rakenne, josta on helppo tarkastaa jokaisen vaiheen tärkeimmät toimenpiteet ennen seuraavaan vaiheeseen siirtymistä. Käyttöönotto-oppaan todellinen testi on kuitenkin vasta tulossa, kun sitä päästään kokeilemaan käytännössä uudella työmaalla.

Oppimisen kannalta projekti oli erittäin hyvä, koska kesän aikana pääsin kokemaan automaatiojärjestelmän käyttöönoton kokonaisuudessaan. Valitsemani aihe opetti myös polttomoottoreista, generaattoreista sekä sähköverkon toiminnasta. Opinnäytetyön tekemisen myötä osaamiseni automaatiojärjestelmien parissa laajeni huomattavasti ja valmiudet työskennellä vastaavien järjestelmien kanssa ovat sillä tasolla, että itsenäinen työskentely käyttöönototehtävissä on mahdollista.

LÄHTEET

- ABB. 2015. Generaattori polttomoottorivoimalaitoksella. Luettu 3.2.2018
<http://www.abb.com/cawp/seitp202/b9e579e1a6cad55cc1257e230030a162.aspx>
- Aura, L. & Tonteri, A. 1986. Sähkämiehen käsikirja. 1. painos. Porvoo: WSOY
- Automaatio. 2004. Automaation tehtävät. Luettu 14.2.2018
<http://cwd.dhemery.com/2004/07/automation/>
- Automaatiojärjestelmä. N.d. Automaatiojärjestelmä sekä kenttäväylät. Luettu 4.2.2018
http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/sahkotekniikka_a2_automaatiojarjestelma.html
- Black start. N.d. Miksi varavoimayksiköitä tarvitaan. Luettu 20.2.2018
<http://www.mtuonsiteenergy.com/solutions/black-start-diesel-generators/>
- Cisco. 2018. Uuden yhteyden lisääminen palomuriin. Luettu 5.2.2018
https://sbkb.cisco.com/CiscoSB/GetArticle.aspx?docid=4d7af92e3a5641d0bda7c4f111851571_Add_and_Configure_Access_Rules_on_RV130_and_RV130W.xml&pid=2&converted=0
- Eerola, O. 1976. Polttomoottorit. 2. painos. Jyväskylä: Gummerus
- Generaattorin jäädytys. 2015. Generaattorin erilaisten jäädytystapojen vertailu. Luettu 12.2.2018
<http://www.kinsley-group.com/blog?article=53>
- Grigsby, L. 2007. Electric power generation, transmission and distribution. 1. Painos. United States: Florida, Boca Raton
- InTouch. 2016. Wonderware InTouch-valvomo-ohjelmisto. Luettu 27.1.2018
<https://www.wonderware.com/hmi-scada/intouch/>
- Korkeapaineilma. 2005. Polttomoottorin käynnistäminen korkeapaineistetulla ilmalla. Luettu 6.2.2018
http://www.marinediesels.info/Basics/air_start_simple.htm
- Lämmönvaihtimet. 2018. Lämmönvaihtimen toimintaperiaate ja käyttötarkoitukset. Luettu 10.2.2018
<http://www.explainthatstuff.com/how-heat-exchangers-work.html>
- Sähköverkot. 2017. Sähkön tuottaminen ja kulutus. Luettu 16.2.2018
<https://www.vantaanenergiasahkoverkot.fi/magazine/energiavirtaa-2-2017/nakymaton-kaveri/>

TIA-Portal. N.d. TIA-Portal – teollisuusautomaation ohjelmistoalusta. Luettu 11.2.2018
http://www.siemens.fi/fi/industry/teollisuuden_tuotteet_ja_ratkaisut/tuotesivut/tia_portal.php

Turbogoahdin. 2014. Kuinka turbogeneraattori toimii. Luettu 12.2.2018
<https://www.quora.com/How-does-turbo-in-a-car-engine-work>

UPS. N.d. UPS toimintaperiaate ja käyttötarkoitukset. Luettu 18.1.2018
<https://www.criticalpowersupplies.co.uk/How-UPS-systems-work>

Seilo, Anssi 2018: Polttoainejärjestelmät

Schneider-electric. N.d. Erilaiset suojarieleet ja niiden käyttötarkoitukset. Luettu 10.1.2018
<https://www.schneider-electric.com/en/work/products/medium-voltage-switchgear-and-energy-automation.jsp>

Vacon 100. 2014. Vacon 100 application manual. Luettu 22.2.2018
http://inu.se/Portals/0/Documents/Datablad/Frekvensomformare/Manualer/VACON-100_Manual.pdf

Valokuitu. 2018. Valokuidun edut Ethernetiin verrattuna. Luettu 23.2.2018
<https://www.versatek.com/blog/cable-war-ethernet-vs-fiber/>

Voiteluöljy. N.d. Moottorin voiteluöljyjärjestelmä. Luettu 30.1.2018
http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/suihkumoottorit/moottorin_voitelujarjestelma.html

Välijäähdytin. N.d. Tehtävät, toimintaperiaate. Luettu 9.2.2018
<http://www.turbosmart.com/technical-articles/how-an-intercooler-works/>

Wärtsilä. 2018. Polttomoottori energiantuotannossa. Luettu 15.2.2018
<https://www.wartsila.com/energy/learning-center/technical-comparisons/combustion-engine-for-power-generation-introduction>

Ylipaineen purkaminen. 2018. Prosessin suojaaminen ylipaineelta. Luettu 15.1.2018
<https://www.rembe.com/products/process-safety/rupture-discs-and-safety-valves/>

LIITTEET

Liite 1. Käyttöönotto-oppaan sisällysluettelo

Aleksi Partanen
Seilo Consulting



Table of contents

1	Before departing to site	6
2	Arrival at site.....	7
3	Control room setup	8
4	Automation system setup.....	9
4.1	PLC battery/memory card checks and first time PLC program download	9
4.2	Frequency converters	9
4.3	Vamp safety relays and PMU:s	10
4.4	Automatic Voltage Regulators (AVR).....	10
4.5	Flowmeters	10
4.6	COM600.....	11
4.7	GPS.....	11
5	I/O testing.....	12
5.1	Important I/O to be tested before the first start	12
5.1.1	Gas power plants	13
5.1.2	LFO/HFO power plants	14
6	Engine 1 st start	15
7	Safety stops	16
8	Generator 1 st magnetization	17
9	1 st synchronization	18
10	Engine running in program	19
11	Engine tests	20
12	Plant hand over	21
13	Punch list.....	22
14	Backups.....	23
15	Reporting.....	24

Liite 2. Ote käyttöönotto-oppaasta

Aleksi Partanen
Seilo Consulting



5 I/O testing

During the commissioning, every digital and analog I/O signal with their alarm and shut-down limits will be tested. Usually, these tests are done with an electrician. I/O testing should be started as soon as possible, because 1st start and all engine tests are easier, if more I/O is tested. However, not all signals need to be tested before starting the engine. After a signal has been tested, mark it on the I/O list as tested. If there have been some oddities with the signal, write down the problem on the comment section.

During I/O testing, do as much WOIS/WISE commissioning as possible. If a problem with either is found, fix it before engine is started if possible.

5.1 Important I/O to be tested before the first start

This part of the checklist will list the minimum signals that must be tested before starting the engines. Keep in mind that there might be some important plant-specific signals not listed here, so always check the I/O list for important signals.