

SAVONIA

ammattikorkeakoulu

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

VESIVOIMALAITOKSEN AUTOMAATION MODERNISOINTI

Opinnäytetyö

TEKIJÄ: Kalle Kinnunen

| | |
|--|----------------------------|
| Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala | |
| Tutkinto-ohjelma Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma | |
| Työn tekijä(t) Kalle Kinnunen | |
| Työn nimi Vesivoimalaitoksen automaation modernisointi | |
| Päiväys 27.4.2022 | Sivumäärä/Liitteet 35/3 |
| Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Muurikkalan Sähkölaitos | |
| Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella Muurikkalan Sähkölaitokselle uusi ohjausautomaatiojärjestelmä. Uusi järjestelmä tulee korvaamaan nykyisen relepohjaisen automaatiojärjestelmän. Uuden ohjausautomaatiojärjestelmän yhteydessä lisätään automaatiojärjestelmään etäkäyttö mahdollisuus.</p> <p>Työ toteutettiin Muurikkalan Sähkölaitoksen omistajan Maria Tainan toimeksiantona. Työ jaettiin kolmeen osaan: määrittely, suunnittelu ja testaus. Määrittely vaiheessa tehtyjen tuloksien perusteella suunniteltiin automaatiojärjestelmä käyttäen Siemensin TIA-portal ohjelmistoa. Testaus toteutettiin TIA-portal ohjelmiston virtuaalisella simulointi ohjelmalla yhteistyössä Maria Tainan kanssa.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksena saatiin aikaiseksi toimiva ohjelma uudelle logiikkapohjaiselle automaatiojärjestelmälle ja alustava käyttöliittymä automaatiojärjestelmälle. Opinnäytetyön tuloksien perusteella toteutetaan automaatiojärjestelmä 2023.</p> | |
| Avainsanat automaatiojärjestelmä, TIA-portal, vesivoimalaitos | |

| | |
|---|--------------------------|
| Field of Study Technology, Communication and Transport | |
| Degree Programme Degree Programme in Electrical and Automation Engineering | |
| Author(s) Kalle Kinnunen | |
| Title of Thesis Modernization of Hydroelectric Power Plant Automation | |
| Date 27 April 2022 | Pages/Appendices 35/3 |
| Client Organisation /Partners Muurikkalan Sähkölaitos | |
| Abstract <p>The aim of this thesis was to design a new control automation system for the Muurikkalan Sähkölaitos. The new system will replace the current relay-based automation system. In conjunction with the new control automation system, remote control will be added to the automation system. The thesis was commissioned by Maria Taina, the owner of Muurikkalan Sähkölaitos.</p> <p>The work was divided into three parts: specification, design, and testing. Based on the results made in the specification phase, an automation system was designed using the Siemens TIA portal software. Testing was carried out using a virtual simulation program of the TIA portal software in collaboration with Maria Taina.</p> <p>The thesis resulted in a working program for a new logic-based automation system and a preliminary interface for the automation system.</p> | |
| Keywords Automation system, TIA-portal, hydro-electric power plant | |

SISÄLTÖ

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | JOHDANTO | 6 |
| 2 | MUURIKKALAN SÄHKÖLAITOS..... | 7 |
| 2.1 | Muurikkalan sähkölaitoksen nykytilanne | 7 |
| 2.2 | Muurikkalan sähkölaitoksen rakenteet | 7 |
| 2.2.1 | Pato ja sen rakenteet..... | 8 |
| 2.2.2 | Välvät..... | 10 |
| 2.3 | Turbiinit | 10 |
| 2.4 | Generaattorit | 13 |
| 2.5 | Francis-turbiini..... | 15 |
| 3 | AUTOMAATIOJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELUPROSESSI | 15 |
| 3.1 | Suunnitteluprosessin eri vaiheet..... | 15 |
| 3.2 | Projektimalli..... | 15 |
| 3.3 | Automaatiosuunnittelun elinkaarimalli | 16 |
| 3.4 | Opinnäytetyön vaiheet | 17 |
| 4 | AUTOMAATIOJÄRJESTELMÄ | 17 |
| 4.1 | Nykyinen automaatiojärjestelmä | 17 |
| 4.2 | Uuden automaatiojärjestelmän määrittely..... | 22 |
| 4.2.1 | Komponenttien valinta | 22 |
| 4.2.2 | S7-1500 ohjelmitava logiikka | 23 |
| 4.2.3 | Valitut komponentit ohjelmointivaiheessa | 23 |
| 4.3 | Automaatiojärjestelmän suunnittelu | 24 |
| 4.3.1 | TIA-portal ohjelmisto | 24 |
| 4.3.2 | Turvapiirien ohjelmointi..... | 25 |
| 4.3.3 | Automaattikäytön ohjelmointi | 25 |
| 4.3.4 | Käsi­käytön ohjelmointi | 28 |
| 4.4 | Käyttöliittymän suunnittelu | 29 |
| 4.4.1 | Operointinäyttö | 30 |
| 4.4.2 | Tilatietönäyttö | 31 |
| 4.4.3 | Käyttöliittymä yhteenveto..... | 32 |
| 4.5 | Ohjelmiston kylmätestaus..... | 32 |
| 4.5.1 | Turvapiirien testaus | 33 |

| | | |
|-------|---|----|
| 4.5.2 | Automaattikäytön testaus..... | 33 |
| 4.5.3 | Käsi­käytön testaus..... | 33 |
| 4.5.4 | Ohjelmiston kylmätestauksen yhteenveto..... | 34 |
| 5 | YHTEENVETO..... | 34 |
| | LÄHDELUETTELO..... | 36 |
| | LIITE 1: MÄÄRITETYT I/O PISTEET..... | 37 |
| | LIITE 2: SIEMENSIN EDUSTAJAN KANSSA MÄÄRITETYT KOMPONENTIT..... | 38 |
| | LIITE 3: OHJELMOINTIVAIHEESSA MÄÄRITETYT I/O MODUULIT | 39 |

KUVALUETTELO

| | | |
|----------|---|----|
| Kuva 1. | Vesivoimalaitoksen peruseriaate. (Ampuja)..... | 8 |
| Kuva 2. | Muurikkalan sähkölaitos sekä neulapato | 9 |
| Kuva 3. | G1 Johtosiipien säädin..... | 11 |
| Kuva 4. | G1 johtosiipien säädin ja sen ohjaus..... | 12 |
| Kuva 5. | Johtosiipien säätö käsin ja G1 generaattori. | 13 |
| Kuva 6. | G1 generaattorin kilpi..... | 14 |
| Kuva 7. | G2 turbiinin väkipyörä ja hihna. | 14 |
| Kuva 8. | Projektimalli..... | 15 |
| Kuva 9. | Automaatiojärjestelmän elinkaaren vaiheet..... | 16 |
| Kuva 10. | Nykyinen automaatiojärjestelmä releohjaukset (G1) | 18 |
| Kuva 11. | Käytössä oleva 24V akkujärjestelmä. | 19 |
| Kuva 12. | Tilatiedot ja G1 ohjaukset. | 21 |
| Kuva 13. | Ohjelmoinnissa käytetyt komponentit. | 24 |
| Kuva 14. | Tia portal ohjelmiston näyttö. | 25 |
| Kuva 15. | G1 generaattorin ohjaus automaattikäytöllä. | 26 |
| Kuva 16. | G2 generaattorin ohjaus automaattikäytöllä. | 26 |
| Kuva 17. | G1 turbiinin johdinsiivekkeiden ohjaus automaattikäytöllä G2 erotettuna. | 27 |
| Kuva 18. | G1 turbiinin johdinsiivekkeiden ohjaus automaattikäytöllä G2 kytkettynä. | 28 |
| Kuva 19. | Generaattoreiden ohjaus käsi­käytöllä. | 29 |
| Kuva 20. | Turbiinien johdinsiivekkeiden auki ohjaus käsi­käytöllä. | 29 |
| Kuva 21. | Turbiinien johdinsiivekkeiden kiinni ohjaus käsi­käytöllä..... | 29 |
| Kuva 22. | TIA-portaalissa luotu operointinäyttö..... | 30 |
| Kuva 23. | TIA-portaalissa luotu tilatietonäyttö..... | 31 |

1 JOHDANTO

Opinnäytetyössä käsitellään Muurikkalan Sähkölaitoksen automaatiojärjestelmää. Opinnäytetyössä kerrotaan Muurikkalan Sähkölaitoksen automaation nykytilanteesta ja suunnitellaan uusi automaatiojärjestelmä käyttäen logiikka pohjaista ratkaisua. Työssä käsitellään myös yleisesti vesivoimalaitoksen rakenteita ja miten automaatiojärjestelmä hallitsee laitoksen tuotantoa.

Vanhan relepohjaisen automaatiojärjestelmän tilalle suunnitellaan uusi logiikka pohjainen järjestelmä. Lisäksi uudelle järjestelmälle luodaan etäyhteydellä toimiva käyttöliittymä. Uusi järjestelmä tullaan toteuttamaan Muurikkalan Sähkölaitokselle 2023.

Käsitteet

| | |
|-------------------------------|--|
| DC (direct current) | Tasavirta |
| AC (alternating current) | Vaihtovirta |
| CPU (Central processing unit) | Suoritin |
| I/O (input/output) | Tulo/Lähtö |
| G1 | Voimalaitoksessa käytetyn alemman turbiinin ja generaattorin sekä ohjauskomponenttien muodostama kokonaisuus |
| G2 | Voimalaitoksessa käytetyn ylemmän turbiinin ja siihen kytketyn generaattorin sekä ohjauskomponenttien muodostama kokonaisuus |
| Mikrovesivoimala | Vesivoimala, jonka kokonaisteho on alle 0,1 megawattia |

2 MUURIKKALAN SÄHKÖLAITOS

Muurikkalan sähkölaitos on vuonna 1959 rakennettu mikrovesivoimalaitos. Sähkölaitos sijaitsee Muurikkalan Urpalojoessa. Käyttöpaikan historia ulottuu 1700-luvulle saakka, jolloin käyttöpaikassa harjoitettiin myllytoimintaa perimätiedon mukaan. Ennen nykyistä käyttötarkoitusta sähkölaitoksen rinnalla on toiminut myös mylly ja saha. Sähköntuotanto on aloitettu kyseisellä paikalla vuonna 1924.

Mylly- ja sahatoiminta on lopetettu vuonna 1958, koska mylly- ja saharakennukset paloivat uudenvuodenyönä ja palossa oleva vanha rakennus tuhoutui kokonaan. Samalle paikalle rakennettiin uusi voimalaitos, mutta mylly- ja sahatoimintaa ei enää harjoitettu vaan paikalla keskityttiin pelkästään sähköntuotantoon. 1990-luvulla on Muurikkalan sähkölaitokseen rakennettu automaatiojärjestelmä, joka tullaan tämän opinnäytetyön pohjalta päivittämään. (Taina, 2018)

2.1 Muurikkalan sähkölaitoksen nykytilanne

Muurikkalan sähkölaitoksella on käytössä tällä hetkellä kaksi Francis-turbiinia. Kahdella turbiinilla tuotettu maksimiteho on laskennallisesti noin 60 kVA. Sähköntuotanto voimalaitoksessa on toteutettu kahden generaattorin avulla, jotka ovat molemmat nimellisteholtaan 30 kW generaattoreita.

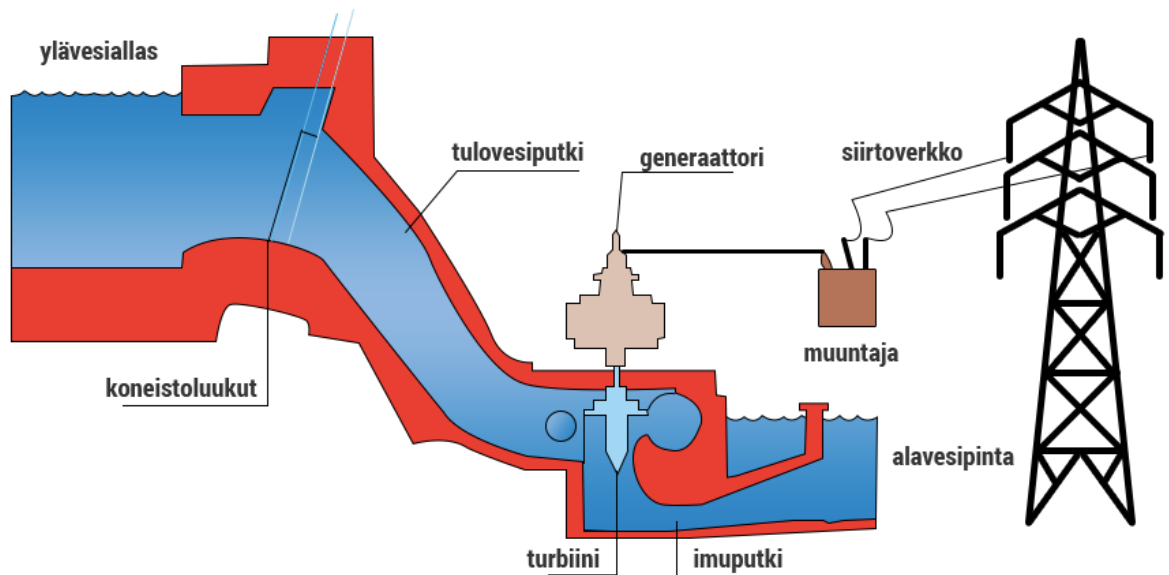
Generaattoreiden samasta koosta huolimatta Francis-turbiinit ovat eri kokoisia. Francis-turbiineista pienempi on nimetty G1:seksi ja isompi G2:seksi. Suurimasta osasta aikaa G1 turbiini tuottaa sähköä koko ajan, kun taas G2 turbiini tuottaa sähköä ainoastaan, kun vettä on runsaasti.

Nykyisen automaatiojärjestelmän takia on voimalaitos miehittämätön suurimman osan ajasta. Kohteessa on tällä hetkellä videovalvonta, jolla pystytään tarkkailemaan voimalaitoksen ympäristöä, sekä sähköntuotantoon ja voimalaitoksen toimintaan liittyviä tietoja. (Taina, 2018)

2.2 Muurikkalan sähkölaitoksen rakenteet

Vesivoimalaitoksessa otetaan virtaavan veden liike-energia talteen turbiinin avulla ja turbiinin pyörimisliike muunnetaan sähköenergiaksi generaattorin avulla, jonka jälkeen muuntajan avulla voidaan sähkö siirtää sähköverkkoon. Vesivoimalaitoksen toiminta pohjautuu voimalan ylä- ja ala altaan väliseen korkeuseroon. Voimalaitoksessa käytetty vesiputous voi olla, joko luonnollinen tai patojen ja vesiteiden avulla luotu. (Motiva Oy, 2020)

Vesivoimalaitoksen toiminnan peruseriaate on esitetty kuvassa 1. Kyseisessä kuvassa turbiinina on käytetty Kaplan-potkuturbiinia. Muurikkalan Sähkölaitoksessa on käytössä Francis-turbiinit, mutta kuvassa esitetyt rakenteet ovat peruseriaatteeltaan samat. Kuvassa havaittavien rakenteiden lisäksi on Muurikkalan Sähkölaitoksella huoltotasot ja välipät. Huoltotasoina toimivat padon yhteyteen rakennetut sillat. Muurikkalan Sähkölaitoksella ei ole varsinaista ylavesiallasta vaan se käyttää ylavesialtaan padottua luonnonuomaa. (Taina, 2018)



Kuva 1. Vesivoimalaitoksen peruseriaate. (Ampuja)

2.2.1 Pato ja sen rakenteet

Muurikkalan Sähkölaitoksen pato on toteutettu neulapatonä. Pato koostuu neljästä betonipilarista ja niiden välissä sijaitsevista neulapadon laudoista. Vedenkorkeus voidaan arvioida katsomalla pilareiden vedenpinnan yläpuolelle jäävästä osuudesta. Muurikkalan Sähkölaitoksen neulapato on esitetty kuvassa 2. Kuvassa näkyy silta, joka on veden ohjuoksaus aluetta. Lisäksi sillan edessä on pilarit, joiden väliin vedenvirtausta rajoittavat laudat asetetaan. Vasemmassa laidassa kuvaa näkyy voimalaitosrakennus. Voimalaitos rakennuksen alapuolella sijaitsevat turbiinit ja välipät.



Kuva 2. Muurikkalan sähkölaitos sekä neulapato

Veden määrän ylittäessä tarpeen avataan patoa poistamalla lautoja pilareiden välistä. Kuvassa on poistettu lähes kaikki laudat runsaan veden määrän takia. Vesimäärän vähennyttyä laitetaan lautoja takaisin patoon. Lautojen poistamista kutsutaan veden ohi juoksuttamiseksi ja tätä tapahtuu, kun vesimäärä on suurempi, kuin sähköntuotantokoneiden maksimi kapasiteetti. Ohijuoksetusta vedestä ei kerätä energiaa.

Ohijuoksetuksessa ei kuitenkaan poisteta kaikkia lautoja koko pilariväliltä lautojen takaisin laittamisen helpottamisen vuoksi. Muurikkalan sähkölaitoksella on kaksi huoltoluukkuja. Niiden tarkoitus on estää veden pääsy yläkanavasta turbiineille. Huoltoluukkuja käytetään turbiinien huoltotoimenpiteiden yhteydessä.

2.2.2 Välppät

Välppällä tarkoitetaan vesivoimalaitoksen yhteydessä karkeaa suodatinta. Muurikkalan sähkölaitoksessa on kaksi välppää. Etuvälppä on karkeampi suodatin, joka estää suurempien kappaleiden menemisen yläkanavaan. Syksyllä etuvälppä kerää eteensä lehtilauttoja ja täten sitä pitää toisinaan puhdistaa. Toisena välppänä toimii tiheämpi raudasta rakennettu välppä. Toinen välppä sijaitsee ennen turbiinikammaria. Toisen välppän tehtävänä on suodattaa pienemmät kappaleet virtauksesta, jotta ne eivät pääsisi tukkimaan turbiineita.

Syksyllä välppien ja lehtimäärän tarkkailu on tärkeämpää puista tippuvien lehtien takia ja täten myös huoltotoimenpiteitä täytyy tehdä useammin. Liiallinen lehtimäärä hidastaa huomattavasti veden virtausta turbiineille. Lehdet voivat myös tarttua turbiinien pintaan, joka johtaa turbiinin hyötysuhteen laskuun.

2.3 Turbiinit

Muurikkalan sähkölaitoksessa on käytössä kaksi Francis-turbiinia. Francis-turbiineilta saatu liike-energia välitetään voimalaitosrakennukseen pysty akselin avulla, josta se kytkeytyy hihnan avulla generaattoriin. G1 turbiinin kierrosnopeus on noin 210 kierrosta minuutissa ja G2 turbiinin kierrosnopeus on noin 115 kierrosta minuutissa.

Francis-turbiinin tehonsäätö pohjautuu johtosiipien asentoon. Francis-turbiinissa sijaitsevat johtosiivet ovat käännettävissä. Johtosiipiä käännettäessä kiinni asentoon päin pääsee juoksupyörälle vähemmän vettä, kun taas johtosiipiä käännetään auki asentoon päin, pääsee juoksupyörälle enemmän vettä.

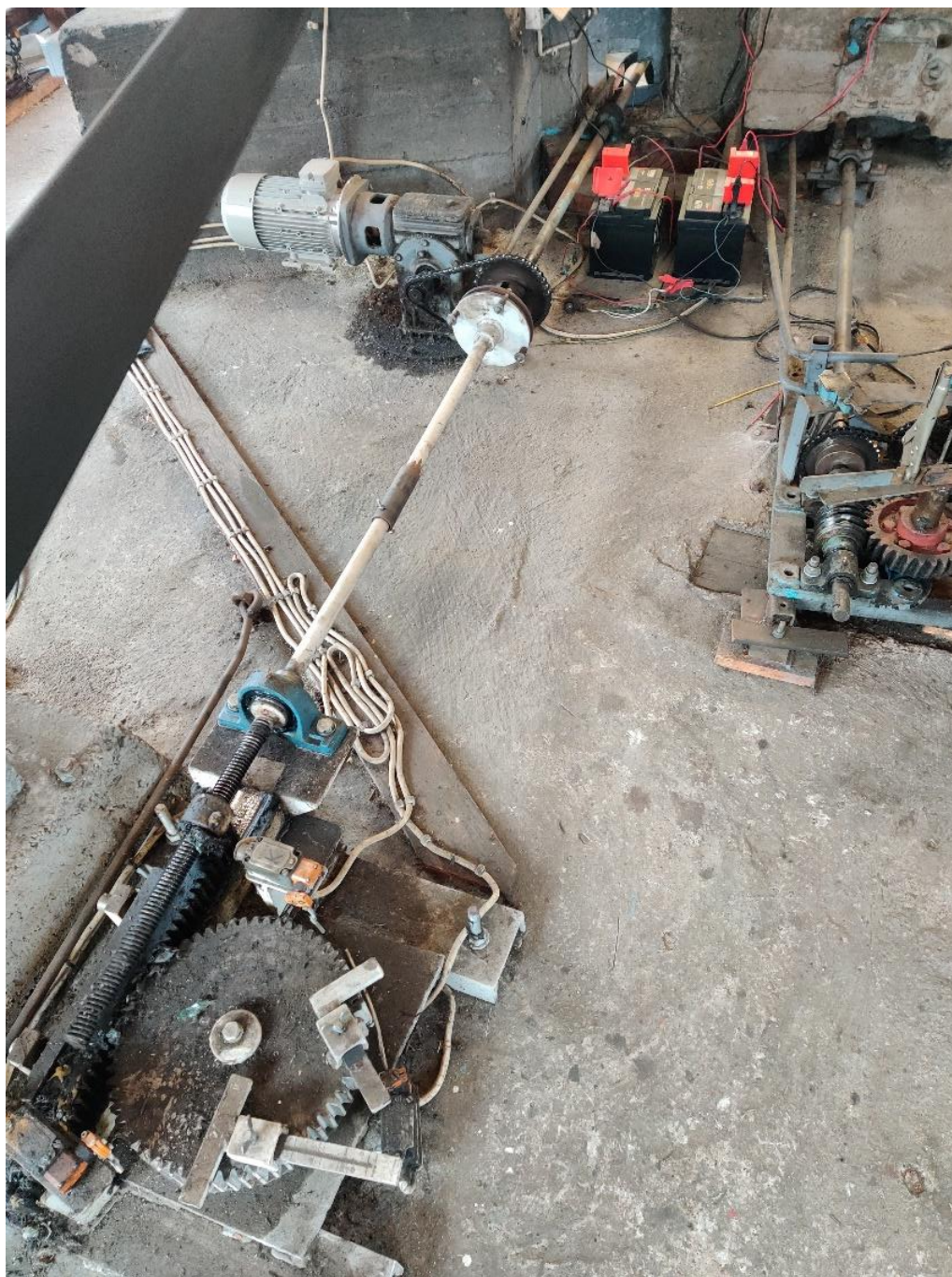
Johtosiipiä voidaan säätää, joko sähkömoottoria käyttämällä tai käsin. Johtosiipien säätöväli määritetään johtosiipien säätimen avulla. Säätimeen on asennettu kiinni ja auki rajakytkimet, jotka pysäyttävät johtosiipien säätömoottorin lauettessaan. Rajakytkimien laukeamissijaintia voidaan säätää säätimessä olevien T-kappaleiden avulla. Johtosiipien säätö on toteutettu molemmilla turbiineilla samalla periaatteella.

Johtosiipien säätimen rakenne on esitetty kuvassa 3. T-kappaleet ovat rattaaseen kytketyt T-muotoiset kappaleet, rajakytkimet sijaitsevat rattaan molemmin puolin oikealla kiinni raja ja vasemmalla auki raja itse ratas kytkeytyy keskeltä ohjaustankoon, joka on kytketty johtosiipien säätömekanismiin turbiinissa, ja rattaan hampaat ovat liitettynä ohjaustankoon, josta säädetään johtosiipien säädintä.



Kuva 3. G1 Johtosiipien säädin.

G1 johtosiipien säätö ja sen ohjaus on esitetty kuvassa 4. Säätimen ohjaustanko on kytkettynä sähkömoottoriin, jota ohjaa automaatiojärjestelmä ja ohjaustangon pää on kytkettynä käsikäyttöiseen ohjauspyörään. Johtosiipien säätö käsin on esitetty kuvassa 5.



Kuva 4. G1 johtosipien säädin ja sen ohjaus



Kuva 5. Johtosiipien säätö käsin ja G1 generaattori.

2.4 Generaattorit

Muurikkalan sähkölaitoksella on käytössä kaksi generaattoria. Molemmat generaattorit ovat nimellisesti teholtaan 30 kW:n epätahtigeneraattoreita. Generaattorit ottavat magnetoinnin sähköverkosta. Generaattorien pyörät yhdistyvät hihnoin, joita turbiinin liikuttavat. G1 generaattori sekä hihna on esitetty kuvassa 7. Hihnan välityksellä on generaattorin pyörä kytkeytynyt turbiinin väkipyörään, joka taas on kytkeytynyt pystytangolla turbiinin napaan.



Kuva 6. G1 generaattorin kilpi.

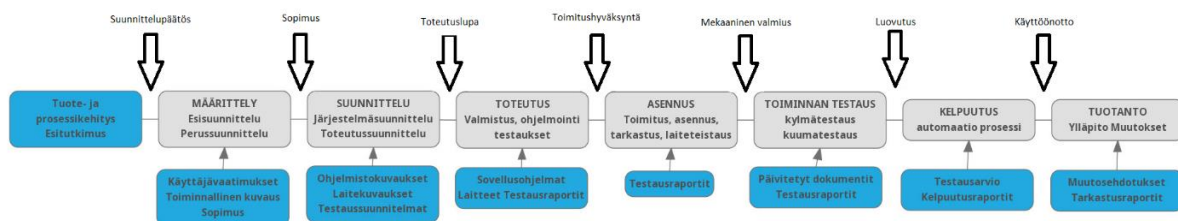


Kuva 7. G2 turbiinin väkipyörä ja hihna.

Projektimallissa on projektin eri työvaiheet jaettu peräkkäisiin elinkaarivaiheisiin. Tämä myös selkeyttää tilaajan käsitystä projektin edistymisestä. Elinkaarivaiheiden välillä on yleensä jokin etappi esimerkiksi sopimus projektin toteutuksesta ja tämä selkeyttää esimerkiksi sitä, milloin projektissa on edetty suunnitteluvaiheeseen. Vaikka tietyille elinkaarivaiheille on merkitty tiettyjä tehtäviä ei se tarkoita, etteikö nämä tehtävät voisi jatkua seuraavalla elinkaarivaiheella, tämä johtuu siitä, että yleensä projektissa määrittelyvaiheessa tehtyihin toimintoihin joudutaan tekemään muutoksia, kun niissä havaitaan virheitä tai puutteellisuuksia suunnitteluvaiheessa. (Suomen Automaatioseura ry, 2007)

3.3 Automaatiosuunnittelun elinkaarimalli

Automaatiojärjestelmän elinkaarta yleensä kuvaillaan peräkkäisinä vaiheina. Vaihejaon lisäksi on syytä kuvata elinkaarimallissa käsiteltäviä ja tuotettavia tietoja, tukiprosesseja, käytettäviä suunnitteluresursseja ja muita olennaisia tietoja. Eri alan mukaan esitellään automaatiojärjestelmän elinkaari eri tavoin. Myös projekteissa on syytä käyttää projekti kohtaisesti suunniteltua elinkaarimallia. Yleensä pystytään kuitenkin projektissa hyödyntämään yleistä elinkaarimallia. Elinkaarimalli on esitetty kuvassa 9.



Kuva 9. Automaatiojärjestelmän elinkaaren vaiheet.

Yleisen automaatiojärjestelmän elinkaaren vaiheet voidaan määritellä lyhyesti seuraavalla tavalla:

- **Määrittelyvaihe:** automaatiojärjestelmälle määritellään vaatimukset ja toiminnot toimittajan suunnittelua ja toteutusta varten. Määrittelyvaiheeseen kuuluvat esisuunnittelu ja perussuunnittelu.
 - Esisuunnittelussa asiakas määrittelee järjestelmälle käyttäjävaatimukset ja laatii alustavan kelpuutus suunnitelman. Lisäksi esisuunnittelussa yleensä arvioidaan järjestelmän hyödyt sekä kustannukset.
 - Perussuunnittelussa asiakas ja toimittaja yhdessä määrittelevät automaatiojärjestelmän karkeat toiminnot tulevaa tarkempaa suunnittelua sekä toteutusta varten.
- **Suunnitteluvaihe:** Toimittaja täsmentää perussuunnittelussa määritetyt aineistot järjestelmän toteutusta varten. Suunnitteluvaiheen tärkeimpinä tehtävinä toimivat järjestelmäsuunnittelu ja toteutuslupasuunnittelu sekä testaussuunnitelman tekeminen. Suunnitteluvaiheen välitavoitteena toimii toteutuslupa järjestelmällä tai sen osalle.

- **Toteutusvaihe:** Automaatiojärjestelmän toimittaja valmistaa, kokoaa ja testaa järjestelmän. Toteutusvaihe päättyy tehdastiestien tultua hyväksytyiksi välitavoitteeseen nimeltä toimituslupa, jossa toimittaja ja asiakas määrittävät järjestelmän olevan valmiina siirrettäväksi asennuskohteelle.
- **Asennusvaihe:** Automaatiojärjestelmä kokonaisuudessaan ohjelmistoinen toimitetaan asennuskohteeseen ja asennetaan. Laitteistotestauksella testataan laitteiden toimivuus esimerkiksi kuljetusvaurioiden kannalta, sekä sitä että järjestelmä toimii suunnitelmien mukaan. Kun asennusvaihe on saatu päätökseen, voidaan järjestelmälle suorittaa toiminnallinen testaus.
- **Toiminnallinen testausvaihe:** Toimittaja todistaa kylmä- ja kuumetestausten avulla, että asiakkaalle asennettu järjestelmä vastaa toiminnallista kuvausta ja sopimuksia. Jos testaukset hyväksytään, voidaan järjestelmä luovuttaa asiakkaalle.
- **Kelpuutusvaihe:** Koostuu automaation teknisestä loppukelpuutuksesta ja prosessikelpuutuksesta. Tämä vaihe on erityisesti tärkeä, jos kyseessä on vaativa sovellus turvallisuuden kannalta esimerkiksi lääketeollisuudessa. Tämä vaihe voidaan erottaa muissa kohteissa esimerkiksi takuuajana järjestettäväksi suorituskykykokeiksi.
- **Tuotantovaihe:** Tuotantovaiheella tarkoitetaan järjestelmän käyttövaihetta, jossa järjestelmää käytetään tuotteiden valmistukseen. Tuotantovaiheessa voidaan tehdä pieniä muutoksia järjestelmään.
- **Purkuvaihe.**
(Suomen Automaatioseura ry, 2007)

3.4 Opinnäytetyön vaiheet

Tässä opinnäytetyössä käytetään supistettua elinkaarimallia. Tämän opinnäytetyön tarkoituksen on keskittyä automaatiojärjestelmän suunnitteluvaiheeseen, joka tarkoittaa, sitä että asennusvaihe ja sen jälkeiset elinkaarivaiheet eivät sisälly tähän opinnäytetyöhön. Asennusvaihe on supistettu opinnäytetyöstä, koska sen toteutus on aikaisintaan mahdollista kesällä 2022 ja opinnäytetyön olisi tarkoitus valmistua toukokuun 2022 loppuun mennessä.

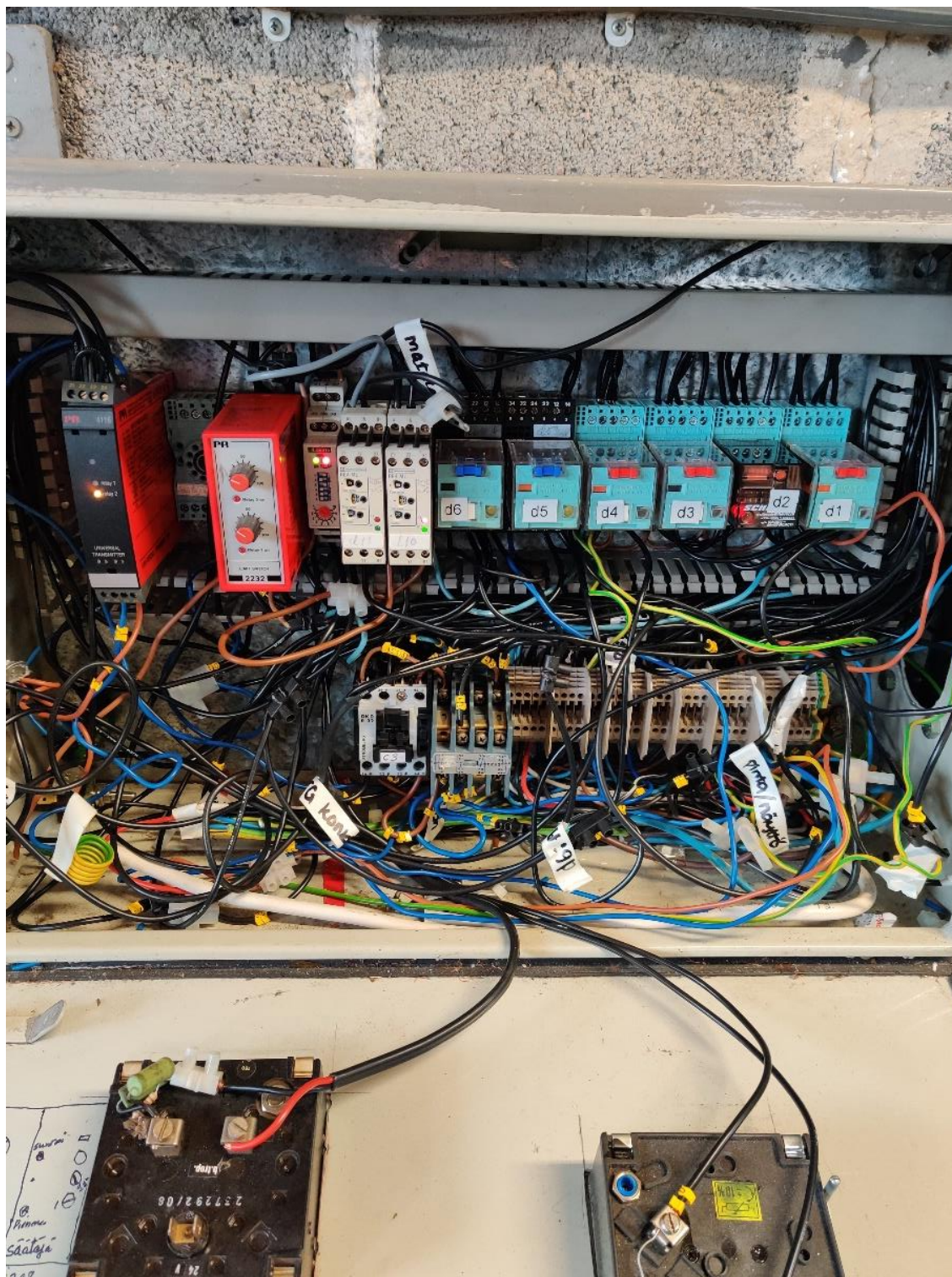
4 AUTOMAATIOJÄRJESTELMÄ

Tässä osiossa käsitellään Muurikkalan sähkölaitoksen automaatiojärjestelmän tämänhetkistä tilannetta sekä määritellään, suunnitellaan, toteutetaan ja testataan uusi ohjelmisto uudelle automaatiojärjestelmälle. Lisäksi myös määritellään uuden automaatiojärjestelmän käyttämät komponentit.

4.1 Nykyinen automaatiojärjestelmä

Muurikkalan sähkölaitoksella käytössä oleva automaatiojärjestelmä on rakennettu vuonna 1994. Ennen tällä hetkellä käytössä olevaa järjestelmää toimi voimalaitos käsikäytöllä. 1994 rakennettu järjestelmä on edelleen toiminnassa, mutta alkuperäiseen 1994 rakennettuun järjestelmään on tehty muutoksia. Automaatiojärjestelmän komponentit sijaitsevat voimalaitosrakennuksessa.

Automaatiojärjestelmä on toteutettu releohjauksilla. Relejärjestelmällä ohjataan turbiinien johtosiv-
vekkeiden toimintaa ja generaattoreiden verkkoon ohjausta. Tarvittavien ohjauksien määrittäviä te-
kijöitä ovat sähköverkonjännite, vedenpinnan korkeus, turbiinin pyörimisnopeus ja generaattorin
jännite. Molemmilla generaattoreilla on erilliset ohjausautomaatiojärjestelmät vaikkakin, joitakin sa-
moja tilatietoja käytetään molemmissa ohjausjärjestelmissä.



Kuva 10. Nykyinen automaatiojärjestelmä releohjaukset (G1)

Nykyisen automaatiojärjestelmän jännitetasona toimii 24 VDC. Jännitetasoa on perusteltu vikatilanteissa tapahtuvan toiminnan luotettavuudella. Automaatiojärjestelmä on liitetty akkujärjestelmään sähkökatkoja varten.

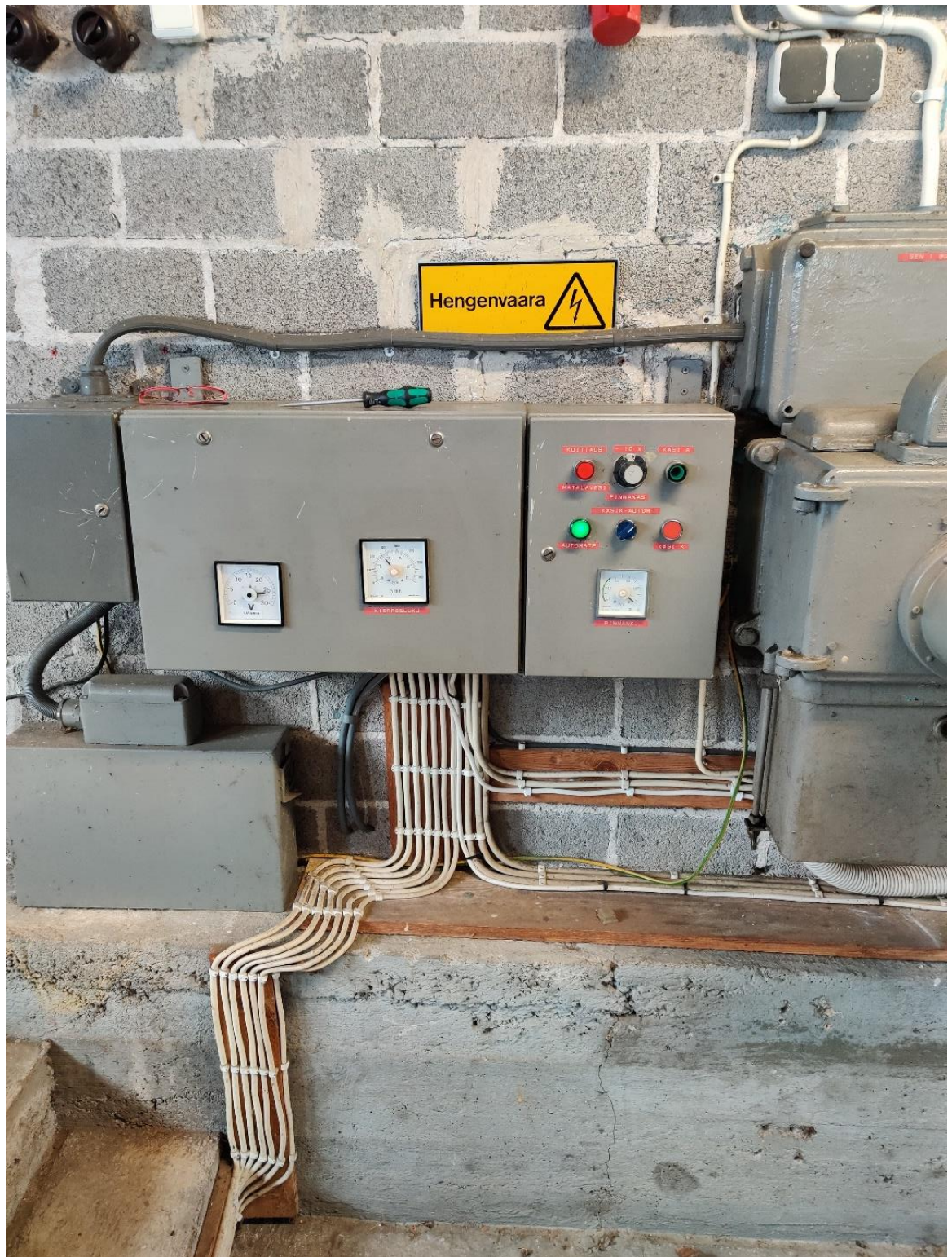


Kuva 11. Käytössä oleva 24V akkujärjestelmä.

Nykyinen automaatiojärjestelmä perustuu vedenpinnan korkeuteen. Vedenpinnan korkeuden mukaan automaatiojärjestelmä kytkee sähköverkkoon joko molemmat generaattorit tai vain toisen generaattorin (G1) tai ei kumpaakaan generaattoria. G1 generaattori kytkeytyy verkkoon, kun vedenpinnan taso on noin 70 % ja kun vedenpinta nousee 99 % pinta-anturin ylätasosta kytkeytyy G2 verkkoon. Vedenpinnan laskettua alle 90 % erottaa automaatiojärjestelmä G2 generaattorin pois

sähköverkosta ja jos vedenpinta laskee alle 70 % erotetaan myös G1 generaattori pois verkosta. Kaikissa automaatiojärjestelmän ohjaamissa toiminoissa on asetettu pitkät viiveet, joten järjestelmä ei reagoi nopeisiin muutoksiin.

G1 generaattorin ja turbiinin ohjauskotelot on esitetty kuvassa 12. Ohjauskoteloiden ohjauksessa on kannessa G1 generaattorin jännite (vasemmanpuoleinen analoginen viisariosoitin), G1 generaattorin kierrosnopeus (keskimäinen analoginen viisariosoitin), vedenpinnan korkeuden viisari-indikaattori (oikeanpuoleinen viisariosoitin). Lisäksi oikeanpuoleisessa kytkentäkotelossa on G1 koneen ohjaukset: matalan veden kuittauspainike, käsikäytön/automaattisen ohjauksen valintakytkin, käsikäyttöinen aukiajo ja käsikäyttöinen kiinniajo. Lisäksi kotelossa on myös merkkivalo, joka indikoi automaation käytössä olemisen.



Kuva 12. Tilatiedot ja G1 ohjaukset.

Tämänhetkisellä ohjauksjärjestelmällä voidaan säätää johtosiipiä kolmella eri tavalla: automaattisesti eli releohjauksen säätämänä, käsin painonappeja ja sähkömoottoria käyttäen tai täysin mekaanisesti. Sähkökatkon tapahtuessa automaatiojärjestelmää syötetään akuilta. Muurikkalan sähkölaitos ei syötä verkkoon sähköä sähkökatkon aikana. Tämä on varmistettu sillä, että epätahtigeneraattoreiden magnetointi on otettu sähköverkosta.

Magnetoinnin ansiosta sähkökatkon tapahtuessa eivät generaattorit pysty syöttämään sähköverkkoon päin. Magnetointi on toteutettu kyseisellä tavalla kahdesta syystä: helpompi tahdistus verkkoon ja sähkönjakeluverkon huoltotoimenpiteiden sähkötyöturvallisuus. Lisäksi sähkökatkon tapahtuessa on automaatiojärjestelmä toteutettu niin, että se avaa molempien turbiinien johdinsiivekkeet täysin auki laite rikkoontumisien varalta.

4.2 Uuden automaatiojärjestelmän määrittely

Uuden automaatiojärjestelmän määrittely aloitettiin heti opinnäytetyön alussa. Ensiksi määritettiin kokonaisuus, jota uusi järjestelmä tulisi ohjaamaan. Kokonaisuudeksi todettiin molempien G1 ja G2 ohjausjärjestelmät. Uusi järjestelmä tulitaisiin toteuttamaan ohjelmoitavalla logiikalla (PLC), hyödyntämällä entisen järjestelmän päävirtapiirien komponentteja.

Järjestelmän määrittely aloitettiin tilaajan kanssa suunnitteleamalla tulevan automaatiojärjestelmän toimintoja. Toiminnot olisivat pääpiirteittäin samat, kuin vanhassa järjestelmässä, mutta pieniä muutoksia ja laajennusmahdollisuuksia tulitaisiin uuteen järjestelmään lisäämään. Lisäksi tilaaja määritteli, mitä käyttäjä kohtaisia vaatimuksia tulisi järjestelmällä olemaan.

Kun järjestelmälle oli määritetty karkeat toiminnot, joita uusi järjestelmä pitäisi sisällään, määriteltiin alustavat I/O-pisteet. Lisäksi I/O-pisteille määritettiin toiminnot, sekä signaalimuodot (digitaalinen/analoginen) ja I/O pisteen tyyppi (tulo/lähtö). I/O pisteiden lukumäärä ja signaalimuoto vaikuttaa toteutuksessa olevan ohjelmoitavan logiikan valintaan. I/O-pisteiden määrittelyn tärkeimpänä tekijänä oli aikaisemmin muodostetut karkeat toiminnot.

I/O pisteissä kuitenkin havaittiin ohjelmointi vaiheessa virhe, jonka takia muutamien I/O pisteiden tyyppi jouduttiin muuttamaan analogisesta digitaaliseksi. Ohjelmoinnin yhteydessä määritetyt I/O-pisteet ovat liitteessä 1.

4.2.1 Komponenttien valinta

Kun I/O-pisteet olivat määritelty, siirryttiin suunnittelemaan järjestelmälle toteutustapa eli ohjelmoitava logiikka. Laitetoimittajista kaikille opinnäytetyön osapuolille Siemens oli tunnetuin ja tämä vaikutti myös kriittisesti ohjelmoitavan logiikan toimittajan valintaan. Kun toimittaja oli valittu (Siemens) määritettiin tilaajan kanssa tehtyjen palaverien pohjalta kaksi mahdollista toteutusvaihtoehtoa. Vaihtoehtoiksi karsiutuivat Siemensin S7 sarjan 1200 ja 1500 logiikat.

Valintaperusteina toimivat logiikoiden hyvä käyttöhistoria muissa toteutusympäristöissä sekä toimintojen monipuolisuus, ohjelmoitavuus ja hinta. Toteutusvaihtoehtoista keskusteltiin laitetoimittajan (Siemens) ja tilaajan kanssa ja tultiin päätökseen toteuttaa kyseinen järjestelmä Siemensin toimittamalla S7-1500 logiikalla. Ratkaisevana valinta perusteena 1500 sarjan logiikalle oli sen etäkäyttö ominaisuudet, jotka olivat tilaajan suunnitteleman käyttöliittymän kannalta oleelliset. Ohjelmoitavan logiikan valinta vaikutti järjestelmän suunnittelussa käytettävän ohjelman valintaan. Siemensin tilaajan kanssa määritetyt komponentit löytyvät liitteestä 2.

4.2.2 S7-1500 ohjelmitava logiikka

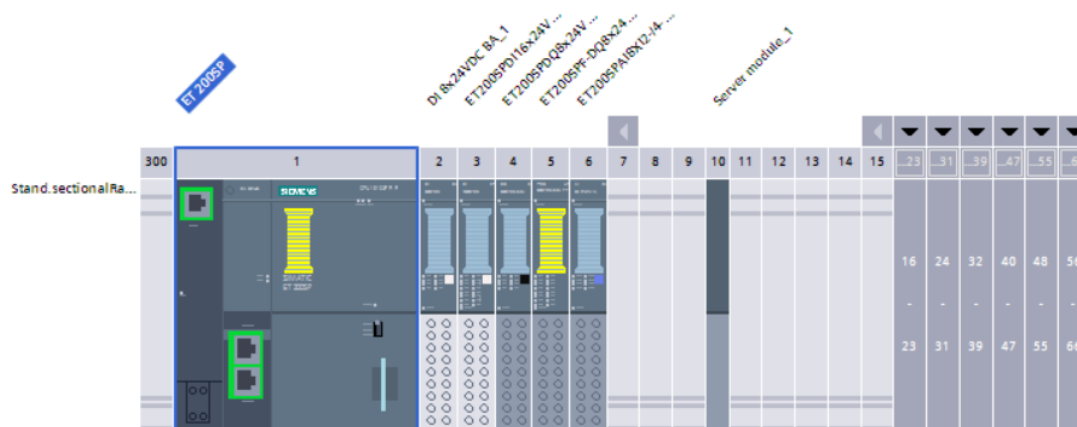
S7-1500 on Siemensin valmistava modulaarinen ohjelmitava logiikka. S7-1500 logiikassa on integroitu turvajärjestelmä, jonka avulla pystyy helposti rakentamaan tarvittavat turvapiirit. 1500 sarjan logiikoissa on lisäksi käytössä turvallisuuteen liittyviä ominaisuuksia, kuten ohjelmistojen salasana suojaus, sekä eri käyttöoikeuksien hallinta työkalut. S7-1500 sarjan logiikoissa perustana toimii logiikan CPU, jonka rinnalle lisätään I/O sekä kommunikaatio moduuleita, täten logiikka ei ole sidonnainen tiettyyn I/O pistemäärään vaan on laajennettavissa helposti. S7-1500 logiikan monikäyttöisyys takaa sen toimivuuden eritoiminta ympäristöissä. Logiikkaa ohjelmoidaan käyttäen Siemensin TIA-portaalin Step 7 ohjelmistoa. (Siemens, 2022)

4.2.3 Valitut komponentit ohjelmointivaiheessa

Ohjelmointi vaiheen alussa huomattiin, että aikaisemmin määritetyissä I/O pisteissä oli tapahtunut virhe ja I/O pisteiden tyyppejä tuli muuttaa analogisesta digitaalisiksi. Tämä tarkoitti komponenttien valinnan osalta sitä, että analogisia I/O moduuleita ei tarvittu niin paljoa vaan nämä tarpeettomat moduulit korvattiin digitaalisilla I/O moduuleilla. Tilaajalle ei haittaa tästä toimenpiteestä tullut, koska komponentteja ei oltu vielä tilattu.

Ohjelmoinnissa käytetyt komponentit TIA-portal ohjelmistossa on esitetty kuvassa 13. Ensimmäisenä vasemmalta katsottuna on ET 200SP eli S7-1500 sarjan CPU tämä yksikkö on järjestelmän niin sanottu "aivot" eli CPU:n avulla toteutetaan kaikki toiminnot. CPU:n kommunikoinnin eri laitteiden ja komponenttien välillä mahdollistaa eri moduulit, jotka sijaitsevat kuvassa 12 CPU:n oikealla puolella paikoissa 2–6 ja 10.

Toisessa paikassa on digitaalinen I/O moduuli, joka sisältää 8 liitäntäpaikkaa. Kolmannella paikalla sijaitsee digitaalinen I/O moduuli, joka sisältää 16 liitäntäpaikkaa. Neljännessä paikassa sijaitsee digitaalinen I/O moduuli, joka sisältää 8 liitäntäpaikkaa. Viidennessä paikassa on digitaalinen I/O moduuli, joka sisältää 8 liitäntäpaikkaa. Kuudennessa paikassa on analoginen I/O moduuli, joka sisältää 8 liitäntäpaikkaa. Paikkaan numero 10 on merkitty kommunikaatio moduuli, joka tulee toimimaan tulevaisuudessa ja sen tarkoituksena on lähettää hälytys viesti puhelinverkon avulla. Määritetyt laitteet löytyvät lisäksi listauksena liitteestä 3.



Kuva 13. Ohjelmoinnissa käytetyt komponentit.

4.3 Automaatiojärjestelmän suunnittelu

Automaatiojärjestelmän suunnittelu vaihe aloitettiin tarkentamalla aikaisemmin määritettyjä toimintoja. Toimintojen tarkennus toteutettiin yhteistyössä tilaajan kanssa. Siemensin ohjelmoitavia logiikoita ohjelmoidaan TiaPortal-ohjelmistolla. Tarkennettujen toimintojen pohjalta aloitettiin automaatiojärjestelmän ohjainohjelmiston luominen TIA-portal ohjelmistossa. Ohjelmisto toteutettiin FBD kieltä käyttäen (Function block diagram). Ennen varsinaista ohjelmointia lisättiin kaikki aikaisemmin määritellyt I/O pisteet ohjelmaan, jonka avulla toimintojen määrittelystä tehtiin helpompaa. Ohjelmointi jaettiin kolmeen osioon: turvapiirit, automaattikäyttö ja käsikäyttö.

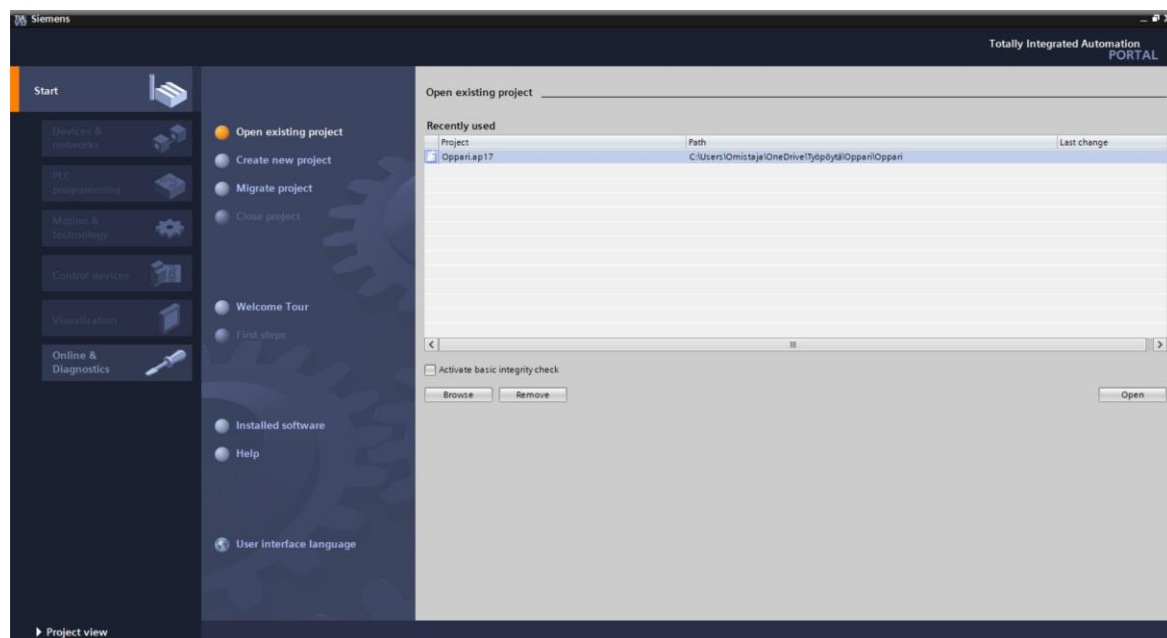
4.3.1 TIA-portal ohjelmisto

TIA-portal tulee sanoista Totally Integrated Automation eli täysin integroitu automaatio portaali. TIA-portal on Siemensin käyttämä automaation suunnitteluohjelmisto. TIA-portal toimii ohjelmistoympäristönä ja yhdistää eri automaatiosovelluksiin tarvittavat toiminnot yhteen. TIA-portal ympäristössä käytettäviä sovelluksia ovat esimerkiksi SIMATIC STEP 7, jossa voidaan ohjelmoida Siemensin S7 logiikoita ja Visualization SIMATIC WinCC, jossa voidaan luoda etäyhteydellä käytettäviä käyttöliittymiä automaatiojärjestelmiin. Lisäksi TIA-portaaliin voidaan liittää sovelluksia, joilla voi muokata esimerkiksi taajuusmuuttajien parametrejä ja tehdä erilaisia automaatio ohjauksia sähkönjakeluun liittyen.

Tia portaalille on olemassa neljää eri pää lisenssiversiota: Professional, Basic, Safety advanced sekä Safety Basic. Lisensseistä saa paremman käsityksen, jos niitä vertaa keskenään. Professional ja Basic lisenssit sisältävät kaikki päätoiminnot, mutta niissä ei ole turvapiireihin liittyviä toimintoja. Professional lisenssin ja Basic lisenssin erona on päivitys mahdollisuudet Basic lisenssiä ei voida päivittää uudempaan versioon, kun taas Professional lisenssiä voidaan. Safety advanced lisenssi takaa kaikki saatavilla olevat toiminnot käyttöösi, mutta vaatii Professional version lisenssin. Safety Basic lisenssi voidaan ostaa lisäosana joko Basic tai Professional lisenssiin. Safety Basic ja Safety advanced lisenssien suurimpana erona on niiden päivitettävyys. Vain Safety advanced lisenssi mahdollistaa

ohjelmiston päivityksen uudempaan versioon. Lisenssien määrä vaikuttaa yhtäaikaisten käyttäjien määrään. (Siemens, ei pvm)

Tässä opinnäytetyössä pääsovelluksina toimivat STEP 7 sovellus PLC ohjelmointia varten, Visualiza-tion käyttöliittymän tekemistä varten ja PLCSIM luodun STEP 7 automaatio ohjauksen simuloimista varten. Opinnäytetyössä käytettiin Professional sekä Safety advanced lisenssejä. Tia portal ohjelmis-ton näyttö on esitetty kuvassa 14.



Kuva 14. Tia portal ohjelmiston näyttö.

4.3.2 Turvapiirien ohjelmointi

Turvapiireillä tarkoitetaan tässä tapauksessa järjestelmälle tehtyjä hätäseis toimintoja nämä toiminnot aktivoituvat kahdesta syystä, joko järjestelmä havaitsee, että verkkojännite on liian alhainen tai hätäseispainike on painettuna. Hätäseis toiminnoksi määritettiin molemmissa tilanteissa seuraava toimintaketju: Kun hätäseispainike laukaistaan tai sähköverkon jännite putoaa liian alhaiseksi käyttää järjestelmä akustojärjestelmän tuottamaa energiaa ja erottaa molemmat generaattorit G1 ja G2 sähköverkosta. Samaan aikaan automaatiojärjestelmä aukaisee molempien turbiinien johdinsiivekkeitä, kunnes auki rajakytkimet laukeavat.

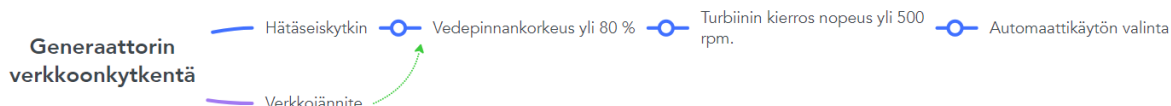
Johdinsiivekkeiden aukaisu on olennainen toiminto laiterikkoutumisien vuoksi. S-1500 sarjan logiikassa on sisään rakennettu turvaominaisuus eli F-malli. Lisäksi S-1500 sarjan logiikkaan pystytään lisäämään turva I/O moduuleita, joilla pystytään korvaamaan aikaisemmin käytössä olleet turvareleet. Logiikkaan liitetyt turvatoiminnot vähentävät kaapelointia ja ohjelmoinnin monipuolisuus on releitä huomattavasti laajempaa.

4.3.3 Automaattikäytön ohjelmointi

Automaattikäytön tarkoitus on ohjata vesivoimalaitoksen tuotantoa normaali olosuhteissa. Automaattikäytön toiminnot voitiin jakaa neljään eri päätoimintoon: G1 generaattorin verkkoon kytkentä,

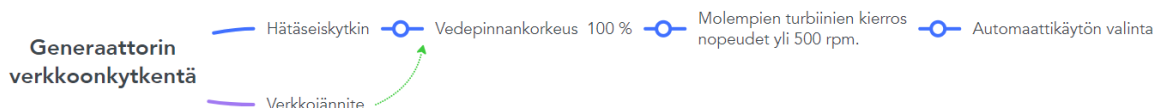
G2 generaattorin verkkoon kytkentä, G1 turbiinin johdinsiivekkeiden ohjaus, kun vain G1 generaattori on kytketty verkkoon ja G1 turbiinin johdinsiivekkeiden ohjaus, kun G1 ja G2 generaattorit ovat kytkettynä verkkoon.

G1 generaattorin verkkoon kytkentä toteutettiin, jos seuraavat ehdot täyttyivät: hätäseis painiketta ei ole painettu, sähköverkon jännite on riittävä, vedenpinnan korkeus on riittävä G1 turbiinin kierrosnopeus on riittävä ja G1:sen automaattikäyttö on valittuna. Näiden ehtojen perusteella toteutettiin ohjelmistoon G1 generaattorin verkkoon kytkemisen automaatti ohjauspiiri. G1 generaattorin ohjaukseen liittyvät toiminnot on esitetty kuvassa 15.



Kuva 15. G1 generaattorin ohjaus automaattikäytöllä.

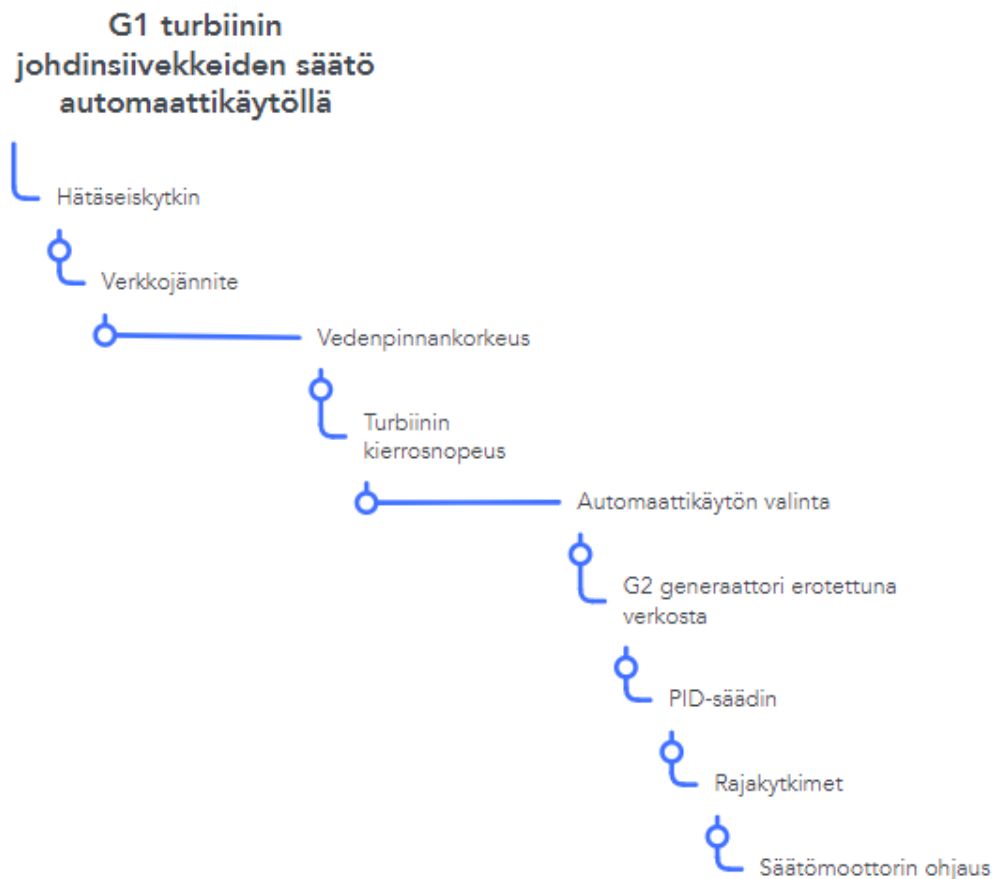
G2 generaattorin verkkoon kytkemisen periaate oli sama, kuin G1 generaattorilla, mutta vedenpinnan korkeuden tuli olla korkeammalla ja G2 turbiinin kierrosnopeus riittävä. G2 generaattorin ohjaukseen liittyvät toiminnot on esitetty kuvassa 16.



Kuva 16. G2 generaattorin ohjaus automaattikäytöllä.

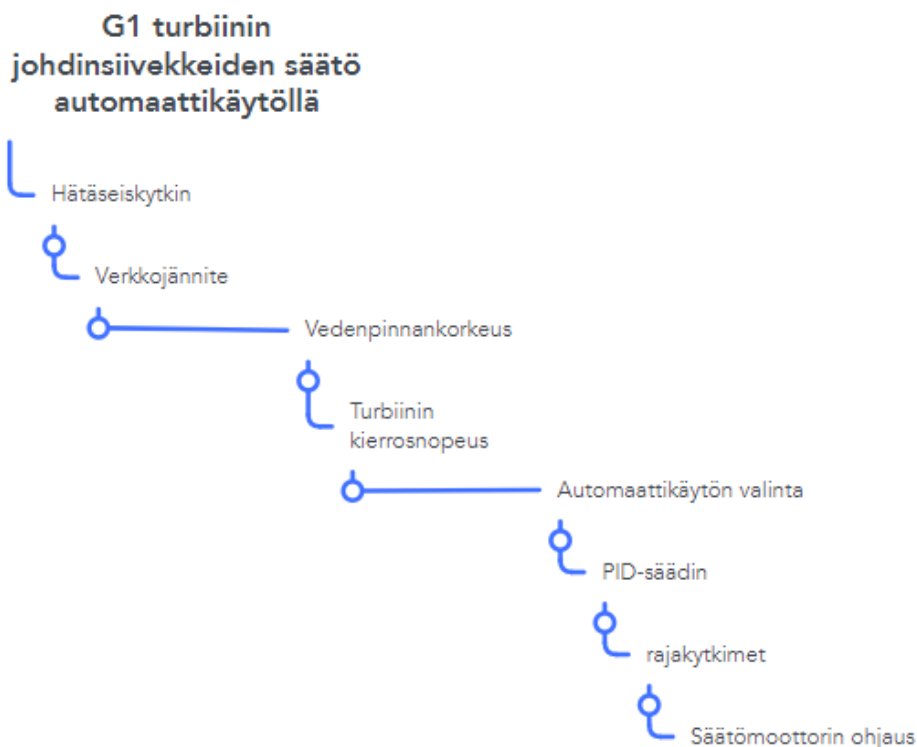
G1 johdinsiivekkeiden ohjaus toteutettiin molemmissa tapauksissa PID-säädin piirillä. PID-säätimen aktivoitumisehtoina olivat: riittävä verkkajännite, hätäseis ei saa olla laukaistuna, vedenpinnan korkeudelle määritetyt parametrit pitää olla täytetty, G1 turbiinin kierrosnopeus tulee olla riittävä sekä G1 automaattikäyttö tulee olla valittuna.

Kun tuotantolaitoksessa käytetään yhtä generaattoria sähköverkkoon kytkettynä, toimii lisätoiminta-ehtona PID-säätimelle se, että G2 generaattori on erotettuna verkosta. Jos nämä ehdot täyttyvät aktivoituu PID-säädin, joka kontrolloi vedenpinnan korkeutta G1 turbiinin johdinsiivekkeiden asentoa muuttamalla säätömoottorin avustuksella asetetun asetusarvon mukaisesti. G1 turbiinin johdinsiivekkeiden ohjaus automaattikäytöllä, kun G2 on erotettu sähköverkosta, on esitettyä kaaviona kuvassa 17.



Kuva 17. G1 turbiinin johdinsiivekkeiden ohjaus automaattikäytöllä G2 erotettuna.

Kun taas molemmat generaattorit ovat kytkettyinä sähköverkkoon käytetään eri PID-säätöpiiriä, jossa ensimmäiseen säätöpiiriin verrattuna vedenpinnan korkeuden tulee olla korkeampi, G1 ja G2 turbiinien kierrosnopeudet tulevat olla riittäviä sekä molempien G1 ja G2 automaattikäytöt tulee olla valittuina. Jos vedenpinnan korkeus nousee tarpeeksi ja edellä mainitut ehdot täytyvät aktivoituu toinen PID-säätöpiiri ja ensimmäinen säätöpiiri deaktivoituu. Toinen PID-säätöpiiri säätää samalla tavalla G1 turbiinin johdinsiivekkeiden asentoa, kuin ensimmäinen piiri, mutta asetusarvo voi olla eri. G1 turbiinin johdinsiivekkeiden ohjaus automaattikäytöllä G2 generaattori kytkettynä on esitetty kuvassa 18.

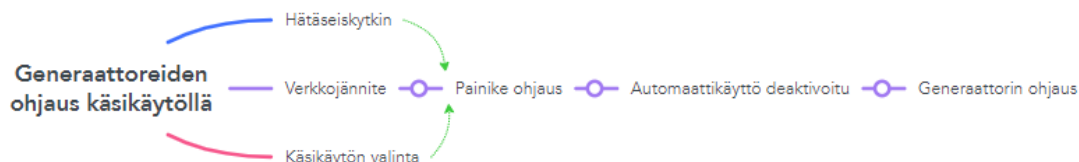


Kuva 18. G1 turbiinin johdinsiivekkeiden ohjaus automaattikäytöllä G2 kytkettyinä.

4.3.4 Käsikäytön ohjelmointi

Automaattikäytön lisäksi järjestelmään ohjelmointiin käsikäytölle omat toiminnot. Käsikäyttöä käytetään, kun olosuhteet poikkeavat normaalista tilanteesta ja esimerkiksi generaattoreita pitää erottaa sähköverkosta. Käsikäytön ohjelmointi koostuu kolmesta osiosta: generaattoreiden G1 ja G2 sähköverkkoon kytkeminen/erottaminen, G1/G2 turbiinin johdinsiivekkeiden ohjaus auki käsin sekä G1/G2 turbiinin johdinsiivekkeiden ohjaus kiinni käsin.

Generaattoreiden verkkoon kytkentä/erotus toteutettiin seuraavien ehtojen mukaisesti: G1/G2:sen hätäseispainike ei saa olla painettuna, G1/G2 käsikäyttö tulee olla valittuna ja G1/G2 automaattikäyttö ei saa olla valittuna. Generaattorit kytketään automaattisesti verkkoon, kun käsikäyttö valitaan. Generaattori voidaan erottaa verkosta, kun painetaan generaattorin erotus verkosta painiketta ja kytkeä takaisin verkkoon, kun painetaan verkkoon kytkentä painiketta. Generaattoreiden ohjaus käsikäytöllä on esitetty kaaviona kuvassa 19.



Kuva 19. Generaattoreiden ohjaus käsikäytöllä.

Turbiinin johdinsiivekkeiden aukaisu manuaalisesti toteutettiin seuraavia ehtoja noudattaen: Hätäseis painike ei saa olla painettuna, G1/G2 käsikäyttö tulee olla valittuna, G1/G2 turbiinin johdinsiivekkeiden kiinniajo painike ei saa olla painettuna, turbiinin johdinsiivekkeitä ei ajeta kiinni ja auki rajakytkin on normaaliasennossa. Jos edeltävät ehdot toteutuvat voidaan turbiinin johdinsiivekkeitä ohjata auki painamalla aukaisu painiketta. Turbiinien johdinsiivekkeiden aukiohjaus käsikäytöllä on esitetty kaaviona kuvassa 20.



Kuva 20. Turbiinien johdinsiivekkeiden auki ohjaus käsikäytöllä.

Turbiinin johdinsiivekkeiden kiinniajo manuaalisesti toteutettiin samoja periaatteita toteuttaen, kuin niiden manuaalinen aukaisu, mutta eroavina ehtoina kiinniajolle toimivat: G1/G2 johdinsiivekkeiden aukaisu painike ei saa olla painettuna, G1/G2 turbiinin johdinsiivekkeitä ei ajeta auki ja kiinni rajakytkin on normaaliasennossa. Jos nämä ehdot toteutuvat voidaan turbiinin johdinsiivekkeitä ohjata kiinni painamalla kiinniajo painiketta. Turbiinien johdinsiivekkeiden kiinni ohjaus käsikäytöllä on esitetty kaaviona kuvassa 21.



Kuva 21. Turbiinien johdinsiivekkeiden kiinni ohjaus käsikäytöllä.

4.4 Käyttöliittymän suunnittelu

PLC-ohjelman valmistuttua siirryttiin suunnittelemaan tulevaa käyttöliittymää järjestelmälle. Käyttöliittymällä tarkoitetaan tässä tapauksessa etäyhteydellä operoitavia internet-selain pohjaisia näyttöjä. Käyttöliittymän suurimpana kriteerinä oli, että järjestelmää pystyttäisiin monitoroimaan ja operoimaan etäyhteyden välityksellä. Näyttöjen ohjelmointi tapahtui TIA-portal ohjelmiston View of Things

sovelluksessa, jonka avulla oli helppo linkittää PLC-ohjelmistossa tehdyt I/O-pisteet näyttöjen objekteihin. Tässä tapauksessa näyttöjä on kaksi operointi näyttö ja tilatieto näyttö.

4.4.1 Operointinäyttö

Operointinäytön tarkoituksena on suorittaa kaikki fyysisiä painikkeita vastaavat toiminnot. Tämän näytön avulla voidaan operoida automaatiojärjestelmän toimintoja etänä. Alustava operointi näyttö on esitetty kuvassa 22. Operointinäytöstä nähdään tilatietona vedenkorkeus, joka indikoidaan vasemmanpuoleisella objektilla kuvassa, josta voidaan lukea vedenkorkeus prosentteina. Mittarin alapuolella sijaitseva valintaruutu ilmoittaa hätäseispainikkeen tilan.



Kuva 22. TIA-portaalissa luotu operointinäyttö

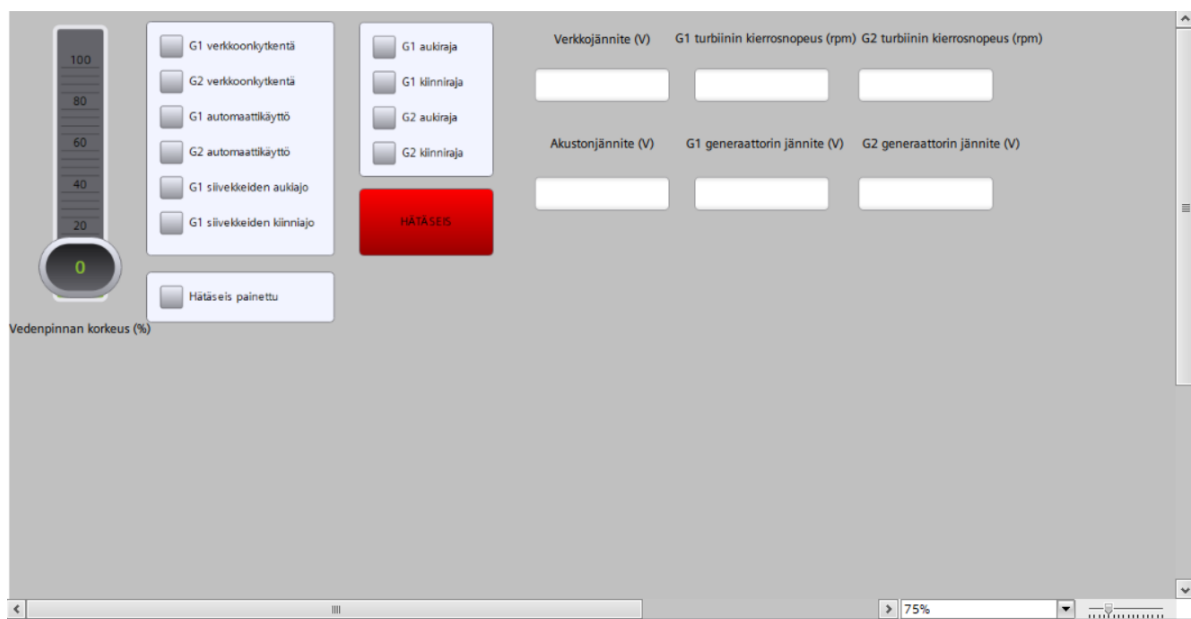
Vedenkorkeus mittarin oikealla puolella sijaitsevat verkkojännitteen ja akustojännitteen mittarit, jotka ilmoittavat sen hetkiset jännitteet voltteina. Akustojännitteen alapuolella sijaitsee etäkäytettävä hätäseispainike. Hätäseispainike aktivoituu hiiren vasemmalla painikkeella ja deaktivoituu hiiren oikealla painikkeella. Hätäseispainikkeen alapuolella sijaitsevat generaattoreiden tilatieto indikaattorit punainen väri tarkoittaa, että kyseinen generaattori on erotettuna verkosta ja vihreä tarkoittaa, että generaattori on kytketty sähköverkkoon.

Verkojännite mittarin oikealla puolella sijaitsee G1 turbiinin kierrosnopeuden mittaustieto, joka kertoo, kuinka monta kertaa turbiini pyörii minuutissa, sillä hetkellä (rpm). G1 turbiinin kierrosnopeuden mittaustiedon oikealla puolella sijaitsee G2 turbiinin kierrosnopeuden mittaustieto. Kierrosnopeus mittaustietojen alapuolella sijaitsevat Käsiikäyttö/automaattikäyttö valintakytkimet. Näiden valintakytkimien avulla pystytään vaihtamaan operointi tapaa, joko automaattiseksi tai manuaalisesti käytettäväksi. Valinta kytkin vaihtaa asentoa sitä hiirellä klikkaamalla. Valintakytkimien alapuolella ovat käsikäytön toiminnot. Ensimmäisillä neljällä painikkeella ohjataan generaattoreiden sähköverkkoonkytkentää ja lopuilla neljällä painikkeella ohjataan turbiinin johdinsiivekkeiden asentoja. Ensimmäisinä ovat vihreät painikkeet, joilla kytketään valittu generaattori sähköverkkoon. Toisina käsikäyttötoimintoina ovat punaiset painikkeet, joilla pystytään erottamaan valittu generaattori verkosta. Kolmansina ovat siniset painikkeet, joilla ohjataan kyseisen turbiinin johdinsiivekkeitä auki. Viimeisimpänä

ovat keltaiset painikkeet, joilla ohjataan kyseisen turbiinin johdinsiivekkeitä kiinni. Nämä kahdeksan painiketta ovat vain käytössä, jos valintakytkimestä on valittu käsikäyttö, muuten järjestelmä toimii automaattisesti. Operointinäytössä käytetyt värit ovat vain havainnollistamista varten.

4.4.2 Tilatietonäyttö

Tilatietonäytön tarkoituksena on näyttää, mitä voimalaitoksessa tapahtuu sillä hetkellä. Tilatieto näyttö on esitetty kuvassa 23. Tilatietonäytössä ensimmäisenä vasemmalta katsottuna sijaitsee vedenkorkeuden tieto, tämä mittari osoittaa vedenkorkeusanturilta saadun tiedon prosentteina. Vedenkorkeuden oikealla puolella sijaitsee valintaruutu, jossa indikoidaan G1 ja G2 generaattoreiden tila. Jos valinta ruudussa on valinta tarkoittaa se sitä, että generaattori on tällä hetkellä kytkettynä sähköverkkoon. Kun valintaruutu on tyhjä, kuten kuvassa on kyseinen generaattori erotettu sähköverkosta. Generaattoreiden tilojen alapuolella valinta ruudussa sijaitsee G1 ja G2 automaattikäytön valintaruudut, jotka indikoivat ovatko ne käsikäytöllä vai automaattikäytöllä. Jos valintaruudussa on valinta tarkoittaa, että kyseinen automaattikäyttö on valittuna ja jos valintaruutu on tyhjä, kuten kuvassa on valittuna käsikäyttö.



Kuva 23. TIA-portaalissa luotu tilatietonäyttö.

Automaattikäyttöjen valintaruutujen alapuolella sijaitsevat G1 johdinsiivekkeiden ohjaus valintaruudut, nämä ruudut ilmaisevat sen, että säädetäänkö säätömoottorilla tällä hetkellä johdinsiivekkeitä auki asentoon tai kiinni asentoon. Vain toinen valintaruuduista voi olla valittuna, sillä siivekkeitä ei voi ajaa molempiin suuntiin yhtä aikaa. Jos valintaruudut ovat tyhjiä, kuten kuvassa tarkoittaa tämä sitä, että säätömoottori ei ole tällä hetkellä aktiivinen. Ison valinta ruudun alapuolella sijaitsee valintaruutu, joka indikoi hätäseispainikkeen tilan, kun valintaruudussa on valinta tarkoittaa se, että hätäseis painike painettuna. Jos valinta ruutu on tyhjä, kuten kuvassa on hätäseis painike normaali tilassa.

Ison valintaruudun oikealla puolella on keskikokoisin valintaruutu. Tässä valintaruudussa indikoidaan rajakytkimien tilatiedot. Ensimmäiset kaksi valinta ruutua ovat G1:sen auki raja ja kiinni raja. Kaksi

alempaa valintaruutua indikoivat G2 auki rajan ja kiinni rajan tilatietoja. Kun valinta ruudussa on valinta tarkoittaa se, sitä että ovat turbiinin johdinsiivekkeet ääriasennossa, joko auki tai kiinni. Kuvassa yhdessäkään valintaruudussa ei ole valinta, joka tarkoittaa, että rajakytkimet ovat normaalitilassa. Rajakytkimien tilatietojen alapuolella sijaitsee hätäseispainike. Hätäseispainike aktivoituu, kun siitä klikataan hiiren vasemmalla painikkeella ja deaktivoituu, kun sitä klikataan hiiren oikealla painikkeella.

Rajakytkimien tilatietojen oikealla puolella sijaitsee verkkojännitteen mittaustieto. Mittaustieto antaa sen hetkisen verkkojännitteen voltteina. Verkkojännitteen mittaustiedon alapuolella sijaitsee akustonjännitteen mittaustieto, joka kertoo akuston jännitteen sillä hetkellä. Verkkojännitteen mittaustiedon oikealla puolella sijaitsee tilatieto G1 turbiinin kierrosnopeudesta, joka kertoo turbiinin sen hetkisen nopeuden kierroksina minuutissa (rpm). G1 turbiinin kierrosnopeuden mittaustiedon oikealla puolella sijaitsee G2 turbiinin kierrosnopeuden mittaustieto. Kierrosnopeus mittaustietojen alapuolella sijaitsevat generaattori kohtaiset jännitteet, jotka kertovat kyseisen generaattorin sen hetkisen jännitteen voltteina.

4.4.3 Käyttöliittymä yhteenveto

Käyttöliittymän tarkoituksena tässä opinnäytetyössä on olla mahdollisimman laaja toimintainen, että automaatiojärjestelmää pystyttäisiin käyttämään mahdollisimman paljon etäyhteyden avulla. Tämä auttaa tilaajaa päivittäisessä toiminnassa voimalaitoksen yhteydessä ja säästää huomattavasti työtunteja, jotka liittyvät voimalaitoksen automaatiojärjestelmän säätöihin. Lisäksi käyttöliittymän avulla pystytään määrittämään huolto toimenpiteitä ja tilatietojen avulla pystytään havaitsemaan vika aikaisempaa helpommin. Käyttöliittymän kehitys on tässä opinnäytetyössä vasta alkuvaiheessa ja visuaalista puolta tullaan kehittämään huomattavasti, mutta lopullisen käyttöliittymän peruseriaatteet tulevat olemaan samat. Käyttöliittymälle ei valitettavasti voitu tehdä niin sanottua kylmätestausta, koska testaus vaatii laitteiston.

4.5 Ohjelmiston kylmätestaus

Ohjelmiston kylmätestauksella tarkoitetaan ohjelmiston kaikkien toimintojen testausta ilman fyysisiä komponentteja. Tässä tapauksessa luotu automaatiojärjestelmän ohjelma testattiin TIA-portaalin S7-PLCSIM sovellusta käyttäen. PLCSIM sovelluksella on mahdollista simuloida ohjelmaan syötettyjä komponentteja virtuaalisesti. Sovelluksella voidaan myös simuloida I/O pisteiden arvoja ja muuttaa niitä. Kylmätestauksen tarkoituksena on todentaa luodun ohjelman toimivuus kaikissa mahdollisissa tilanteissa, kun kylmätestaus on suoritettu hyväksytysti, voidaan testata ohjelmisto fyysisillä komponenteilla. Komponenteilla tehtyä testausta nimitetään kuumaksi testaukseksi. Tässä opinnäytetyössä ei kuumatestausta suoritettu komponenttien toimitus ajan pituuden takia. Kylmätestaus tehtiin ohjelmalle S7-PLCSIM sovellusta käyttäen kolmessa eri vaiheessa: turvapiirien testaus, automaattikäytön testaus ja käsikäytön testaus. Testaukset suoritettiin liitteenä olevan Excel taulukon mukaisesti.

Excel taulukossa on kuvattu kaikki testaukseen tarvittavat I/O pisteet, jotka vaikuttavat olennaisesti järjestelmän tilaan, tämän takia esimerkiksi akuston jännite on jätetty pois testauksesta. Testaus on toteutettu niin, että testauspohjaan on merkattu ne I/O tulot (input), joiden avulla kyseinen toiminto

testataan ja testauksen yhteydessä syötetään nämä kyseiset I/O tulot Excel taulukon mukaisilla arvoilla ja todennetaan Excel taulukkoon merkatut I/O lähdöt (output), joiden avulla voidaan vahvistaa toiminnan oikeellisuus. Testaus suoritettiin etäyhteyden välityksellä yhdessä tilaajan kanssa.

4.5.1 Turvapiirien testaus

Turvapiirien testauksella tässä tapauksessa tarkoitetaan järjestelmän toimivuutta, kun hätäseispainiketta painetaan tai verkkojännite putoaa liian alhaiseksi. Testaus aloitettiin tilanteesta, jossa kaikki tulot olivat normaali tilassa, tämä tarkoittaa, että hätäseispainiketta ei ole painettu ja verkkojännite on 0V. Tämän jälkeen siirryttiin testaamaan hätäseispainikkeen vaikutusta nolatilanteessa. Hätäseispainikkeen testauksen jälkeen siirryttiin testaamaan rajakytkimien toiminta hätäseistilanteessa. Rajakytkimien testauksen jälkeen nostettiin verkkojännite normaalitasolle ja testattiin hätäseiskytkimen toimivuutta automaattikäytöllä sekä manuaalikäytöllä. Tämän jälkeen testattiin järjestelmän toimintoja tilanteessa, jossa verkkojännite putoaa liian alhaiseksi ja lopuksi vielä hätäseiskytkimen vaikutusta. Turvapiirien testauksessa ei esiintynyt virheitä ja järjestelmä toimi suunnitellusti.

4.5.2 Automaattikäytön testaus

Automaattikäytön testauksen tarkoituksena oli testata järjestelmän toimivuutta automaattikäytöllä. Automaattikäytön testauksessa lähtöjen lisäksi tarkkailtiin PID-säätimien käyttäytymistä eri tilanteissa. Automaattikäytön testaus aloitettiin nolla tilanteesta, jonka jälkeen automaattikäytön vaatimia tuloja säädettiin niin, että G1 generaattori kytkeytyi verkkoon. Tässä kohtaa testausta huomasimme, että PID-säädin ei jostain syystä aktivoitunut ja muutamien säätöjen jälkeen päätimme ohittaa ensimmäisen PID-säätimen testauksen (PID1) ja jatkaa eteenpäin toisen PID säätimen testaamiseen. PID säätimen käyttäytymistä testattiin vaihtelemalla vedenpinnan korkeutta, sekä sammuttamalla sen aktivoitumiseen rippuvia tuloja, jos jonkin aktivoitumiseen riippuvan tulon arvo muuttui sille asetettujen arvojen ulkopuolelle deaktivoitui PID-säädin. Lisäksi järjestelmää testattiin myös alhaisen verkkojännitteen tilanteessa, sekä silloin kun hätäseispainiketta oli painettu. Nämä toiminnot testattiin toiseen kertaan varmistaaksemme niiden toimivuuden automaattikäytöllä.

Ensimmäisen PID säätimen epäonnistuttua korjattiin sen säätöparametrejä ja testattiin PID säädin uudestaan. Uudelleen testauksessa havaittiin, että PID säädin toimi oikein. Virhe todennäköisesti johtui jostain ohjelman sisäisestä viasta.

Automaattikäytön testaus toteutettiin PID ongelmaa lukuun ottamatta hyväksytysti. Valitettavasti PID säätimien parametrien hienosäätöä ei ole mahdollista toteuttaa tässä vaiheessa, koska järjestelmän käyttäytymistä on melko mahdoton ennustaa ennen sen kytkemistä oikeisiin tilatietoihin.

4.5.3 Käsikäytön testaus

Käsikäytön testauksessa oli tarkoituksena testata painonapeilla ohjattuja toimintoja, kuten esimerkiksi G1 generaattorin verkkoon kytkentää ja erotusta. Käsikäytön testaus aloitettiin nolatilanteesta, jonka jälkeen muutettiin tulojen arvoja yksitellen, siten että G1 generaattori pystyttäisiin kytkemään verkkoon käsin. Tämän jälkeen todennettiin G1 generaattorin manuaalinen verkosta erotus. Tämän jälkeen toistettiin sama testi G2 generaattorin manuaaliseen ohjaukseen, jonka jälkeen siirryttiin tes-

taamaan mitä tapahtuu, kun vaihdetaan järjestelmä automaattikäytölle. Sen jälkeen siirryttiin testaamaan hätäseispainike ja alhaisen verkkojännitteen tilanne käsikäytöllä. Kun generaattorien verkko-ohjaukset olivat testattu, siirryttiin testaamaan turbiinin johdinsiivekkeiden asennon muutosta manuaalisesti.

Johdinsiivekkeiden asennon muutosta testattiin turbiini kohtaisesti. Ensimmäisenä testattiin johdinsiivekkeiden aukaisua. Aukaisu painiketta painaessa testattiin, mitä tapahtuu, jos käsikäytöstä vaihtaa automaattikäytölle. Tämän jälkeen testattiin auki rajakytkimien toiminta johdinsiivekkeiden aukaisu tilanteessa. Auki rajakytkimien jälkeen testattiin auki- ja kiinniajo painikkeiden yhden aikaista toimintaa. Tämän jälkeen siirryttiin testaamaan johdinsiivekkeiden kiinniajoa manuaalisesti. Kiinniajon normaalitilanteessa toteuduttua testattiin käsikäytön vaihtoa automaattikäytölle. Tämän jälkeen testattiin kiinni rajakytkimien toiminta. Kun kiinnirajakytkimien toiminta oli testattu, testattiin hätäseis kytkimen toiminta johdinsiivekkeiden manuaaliohjauksen ollessa käytössä, sekä verkkojännitteen ollessa liian alhainen. G1 ja G2 turbiinien johdinsiivekkeiden manuaalisien ohjauksien testaukset toteutettiin identtisellä tavalla.

Käsikäytön testaus sujui ilman suurempia ongelmia. Käsikäyttö ohjauksessa ei havaittu merkittäviä korjauksen tai muutoksentarpeita, joten ohjelma tullaan todennäköisesti toteuttamaan hyvin lähelle samalla tavalla, kuin tässä opinnäytetyössä.

4.5.4 Ohjelmiston kylmätestauksen yhteenveto

Kylmätestauksen tavoitteena oli selvittää ohjelmiston toimivuus eri tilanteissa. Tämän lisäksi tilaajalla on testauksen ansiosta parempi käsitys siitä, mitä toimintoja tuleva järjestelmä tulee pitämään sisällään. Ohjelmisto toimi pääpiirteittäin hyvin, mutta testauksen aikana havaittiin pieniä virheitä, joista suurin osa pystyttiin korjaamaan jo testin aikana. Testin vahvuutena toimivat se, että osasin testin tekijänä luoda ohjelmistolle räätälöidyn testauspohjan, jonka avulla oli helppo edetä. Heikkouksina toimivat tilaajan puutteellinen tieto ohjelmiston sisällöstä sekä testauksen varsinaisesta toteutustavasta. Testaus antoi mahdollisuuden korjata ohjelmistossa esiintyneet pienet virheet ja parantaa ohjelmistoa tilaajan toiveiden mukaan. Uhkana testille olisi ollut, jos testiä ei olisi voinut suorittaa kokonaan tai testissä olisi havaittu jokin vakava virhe, joka johtaisi ohjelmiston uudelleen luontiin. Testin päätyttyä olivat kuitenkin molemmat opinnäytetyön osapuolet hyvin tyytyväisiä lopputulokseen.

5 YHTEENVETO

Tämä opinnäytetyö toteutettiin 2022 keväällä Muurikkalan Sähkölaitoksen toimeen antamana. Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella Muurikkalan sähkölaitokselle uusi automaatiojärjestelmä vanhan tilalle. Työssä esiteltiin vesivoimalaitoksen toimintaan liittyvät peruseräpäätökset sekä vesivoimalaitoksen rakenteet ja automaatiojärjestelmän rakentamiseen liittyvät työvaiheet. Lisäksi työssä esiteltiin Siemensin toimittamia automaatiojärjestelmän komponentteja sekä niiden ohjainohjelmistoa.

Tämän tyyppinen automaatiojärjestelmä voidaan toteuttaa monella eri tavalla. Automaatiojärjestelmien sisältö vaihtelee hyvin paljon eri automaatio toimittajien välillä. Tässä tapauksessa automaatio-

tiojärjestelmän toimittaja valittiin yhteistyössä tilaajan kanssa. Kyseinen automaatiojärjestelmä voidaan luokitella jo keskisuureksi automaatiojärjestelmäksi sen sisältämien ominaisuuksien ja komponenttien vuoksi.

Automaatiojärjestelmän modernisoinnin keskeisimpänä tavoitteena oli tilaajan kannalta vesivoimalaitoksen täysin automaattinen toiminta sekä etäkäyttö mahdollisuus. Uuden automaatiojärjestelmän takia tilaajan tavoitteisiin on mahdollista päästä 2023, kun automaatiojärjestelmän komponentit asennetaan vesivoimalaitokselle. Uudessa automaatiojärjestelmässä on lisäksi hyvät laajentamismahdollisuudet, joka takaa järjestelmän päivitettävyyden tulevaisuuden kannalta.

Opinnäytetyössä suunniteltu automaatiojärjestelmä onnistui suunnitelmien mukaisesti. Opinnäytetyön määrittelyvaihe sekä suunnitteluvaihe etenivät aikataulujen mukaisesti, mutta testauksen viivästyksen vuoksi opinnäytetyön viimeistely ei pysynyt suunnitellussa aikataulussa. Opinnäytetyössä suunniteltu käyttöliittymä valitettavasti jäi keskeneräiseksi ja käyttöliittymää tullaan kehittämään käyttäjäystävällisemmäksi yhteistyössä tilaajan kanssa. Opinnäytetyölle asetetut tavoitteet kuitenkin saavutettiin ja opinnäytetyön pohjalta pystytään kehittämään uutta järjestelmää ennen sen asennusta. Lopputulokset vastasivat opinnäytetyön osapuolien odotuksia.

LÄHDELUETTELO

- Ampuja, A. (ei pvm). *Muut Energiantuotantoprosessit/Vesivoima*. Suomi. Haettu 2. 3. 2022 osoitteesta http://ydinasiaa.fi/energian-tuotanto/muut-energiantuotantoprosessit/#ert_pane1-3
- Motiva Oy. (7. 8. 2020). *Vesivoimateknologia*. Haettu 2. 3. 2022 osoitteesta [motiva.fi: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/vesivoima/vesivoimateknologia](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/vesivoima/vesivoimateknologia)
- Perttula, J. (2000). *Energiateknikka* (1. p.). (T. Wacklin, Toim.) Helsinki, Suomi: WSOY.
- Siemens. (1. 4. 2022). *S7-1500*. (Siemens) Haettu 10. 4. 2022 osoitteesta Siemens: <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Products/10204162>
- Siemens. (ei pvm). *PLC Programming with SIMATIC STEP 7*. (Siemens) Haettu 13. 5. 2022 osoitteesta Siemens: <https://new.siemens.com/global/en/products/automation/industry-software/automation-software/tia-portal/software/step7-tia-portal.html#SIMATICSTEP7TIAPortal>
- Suomen Automaatioseura ry. (2007). *Automaatiosuunnittelun Prosessimalli*. (35. painos). Helsinki, Uusimaa, Suomi. Noudettu osoitteesta www.automaatioseura.fi
- Taina, M. (2018). *Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu*. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu.

LIITE 1: MÄÄRITETYT I/O PISTEET

| Name | Path | Data Type | Logical Address | Comment | Hmi Visible | Hmi Accessible | Hmi Writeable | Typeobject ID | Version ID |
|---|-------------------|-----------|-----------------|---------|-------------|----------------|---------------|---------------|------------|
| Veden pinnankorkeus anturi | Default tag table | Int | %IW8 | | True | True | True | | |
| G1 Turbiinin kierrosnopeus | Default tag table | Int | %IW10 | | True | True | True | | |
| Verkojännite | Default tag table | Int | %IW12 | | True | True | True | | |
| G1 generaattorin jännite | Default tag table | Int | %IW14 | | True | True | True | | |
| Akustojännite | Default tag table | Int | %IW16 | | True | True | True | | |
| G2 Turbiinin kierrosnopeus | Default tag table | Int | %IW18 | | True | True | True | | |
| G2 generaattorin jännite | Default tag table | Int | %IW20 | | True | True | True | | |
| G1 kiinni raja | Default tag table | Bool | %I1.5 | | True | True | True | | |
| G1 auki raja | Default tag table | Bool | %I1.6 | | True | True | True | | |
| G2 Kiinni raja | Default tag table | Bool | %I1.7 | | True | True | True | | |
| G2 Auki raja | Default tag table | Bool | %I24.0 | | True | True | True | | |
| Hätäseis | Default tag table | Bool | %I0.0 | | True | True | True | | |
| G1 automaattikäytön valinta | Default tag table | Bool | %I0.1 | | True | True | True | | |
| G1 käsikäytön valinta | Default tag table | Bool | %I0.2 | | True | True | True | | |
| G1 siivikkeiden kiinnajo manuaalisesti | Default tag table | Bool | %I0.3 | | True | True | True | | |
| G1 siivikkeiden aukiajo manuaalisesti | Default tag table | Bool | %I0.4 | | True | True | True | | |
| G1 generaattorin kytkentäverkkoon | Default tag table | Bool | %I0.5 | | True | True | True | | |
| G1 generaattorin erotus verkosta | Default tag table | Bool | %I0.6 | | True | True | True | | |
| G2 automaattikäytön valinta | Default tag table | Bool | %I0.7 | | True | True | True | | |
| G2 käsikäytön valinta | Default tag table | Bool | %I1.0 | | True | True | True | | |
| G2 siivikkeiden kiinnajo manuaalisesti | Default tag table | Bool | %I1.1 | | True | True | True | | |
| G2 siivikkeiden aukiajo manuaalisesti | Default tag table | Bool | %I1.2 | | True | True | True | | |
| G2 generaattorin kytkentä verkkoon | Default tag table | Bool | %I1.3 | | True | True | True | | |
| G2 generaattorin erotus verkosta | Default tag table | Bool | %I1.4 | | True | True | True | | |
| G1 Turbiinin siivikkeiden aukiajo | Default tag table | Bool | %Q0.5 | | True | True | True | | |
| G1 Turbiinin siivikkeiden kiinnajo | Default tag table | Bool | %Q1.1 | | True | True | True | | |
| G1 generaattorin verkkoon kytkentä | Default tag table | Bool | %Q1.2 | | True | True | True | | |
| G2 Turbiinin siivikkeiden aukiajo | Default tag table | Bool | %Q0.6 | | True | True | True | | |
| G2 Turbiinin siivikkeiden kiinnajo | Default tag table | Bool | %Q0.7 | | True | True | True | | |
| G2 generaattorin verkkoon kytkentä | Default tag table | Bool | %Q1.0 | | True | True | True | | |
| Matalavesi | Default tag table | Bool | %Q0.0 | | True | True | True | | |
| Verkojännite matala | Default tag table | Bool | %Q0.1 | | True | True | True | | |
| G1 generaattorinjännitematala | Default tag table | Bool | %Q0.2 | | True | True | True | | |
| G2 generaattorinjännitematala | Default tag table | Bool | %Q0.3 | | True | True | True | | |
| G1 siivikkeiden aukiajo hätä | Default tag table | Bool | %M0.0 | | True | True | True | | |
| G1 generaattorin verkkoonkytkentä SR-kiikku automaattiohjaus | Default tag table | Bool | %M1.0 | | True | True | True | | |
| G2 generaattorin verkkoonkytkentä SR-kiikku automaattiohjaus | Default tag table | Bool | %M2.0 | | True | True | True | | |
| G1 turbiinin siivikkeiden ohjaus SR-kiikku automaattiohjaus 1 | Default tag table | Bool | %M3.0 | | True | True | True | | |
| G1 generaattorin verkkoonkytkentä manuaalisesti SR-kiikku 1 | Default tag table | Bool | %M4.0 | | True | True | True | | |
| G1 generaattorin verkkoonkytkentä manuaalisesti SR-kiikku 2 | Default tag table | Bool | %M4.1 | | True | True | True | | |
| G2 generaattorin verkkoonkytkentä manuaalisesti SR-kiikku 2 | Default tag table | Bool | %M4.3 | | True | True | True | | |
| G2 generaattorin verkkoonkytkentä manuaalisesti SR-kiikku 1 | Default tag table | Bool | %M4.4 | | True | True | True | | |
| G1 turbiinin siivikkeiden kiinnajo muisti | Default tag table | Bool | %M5.0 | | True | True | True | | |
| G1 turbiinin siivikkeiden aukiajo muisti | Default tag table | Bool | %M5.1 | | True | True | True | | |
| G1 turbiinin siivikkeiden automaattiohjaus SR-kiikku 2 | Default tag table | Bool | %M3.1 | | True | True | True | | |
| Veden pinnankorkeus prosentti(1) | Default tag table | Int | %IW22 | | True | True | True | | |

LIITE 2: SIEMENSIN EDUSTAJAN KANSSA MÄÄRITETYT KOMPONENTIT

| Level 0 | Name | Article number | Single parts | Order units | Order quantity |
|----------|---|--------------------|--------------|-------------|----------------|
| ET 200SP | Stand.sectional Rail 35mm, Length 483mm | 6ES710-8MA11 | 1 | Pieces | 1 |
| ET 200SP | CPU1510SP F-1 PN, 150KB Prog. /750KB Data | 6ES7510-1SJ01-0AB0 | 1 | Unit | 1 |
| ET 200SP | ET 200SP, EI-Mod., F-DI 8x24VDC HF | 6ES7136-6BA01-0CA0 | 1 | Pieces | 1 |
| ET 200SP | ET 200SP, DI 16x 24V DC ST, PU 1 | 6ES7131-6BH01-0BA0 | 1 | Pieces | 1 |
| ET 200SP | ET 200SP, DQ 8x 24V DC/0,5A ST, PU 1 | 6ES7132-6BF01-0BA0 | 1 | Pieces | 1 |
| ET 200SP | ET 200SP, F-DQ 8x 24VDC/0.5A PP | 6ES7136-6DC00-0CA0 | 1 | Pieces | 1 |
| ET 200SP | ET 200SP, AI 8XI 2-/4-Wire Basic | 6ES7134-6GF00-0AA1 | 1 | Pieces | 1 |
| ET 200SP | ET 200SP, AI 4XI 2-/4-Wire ST, PU 1 | 6ES7134-6GD01-0BA1 | 1 | Pieces | 1 |
| ET 200SP | ET 200SP, AQ 4xU/I ST | 6ES7135-6HD00-0BA1 | 2 | Pieces | 2 |
| ET 200SP | ET 200SP, Busadapter BA 2xRJ45 | 6ES7193-6AR00-0AA0 | 1 | Pieces | 1 |
| ET 200SP | SIMATIC S7 Memory Card, 24 MB | 6ES7954-8LF03-0AA0 | 1 | Pieces | 1 |
| ET 200SP | BaseUnit Type A0, BU15-P16+A0+2D | 6ES7193-6BP00-0DA0 | 4 | Pieces | 4 |
| ET 200SP | BaseUnit Type A0, BU15-P16+A0+2B | 6ES7193-6BP00-0BA0 | 4 | Pieces | 4 |

| Level 0 | Name | Article number | Single parts | Order units | Order quantity |
|--------------------------------|----------------------|--------------------|--------------|-------------|----------------|
| Industrial Security Appliances | SCALANCE M876-4 (EU) | 6GK5876-4AA00-2BA2 | 1 | Pieces | 1 |
| Industrial Security Appliances | KEY-PLUG SINEMA RC | 6GK5908-0PB00 | 1 | Pieces | 1 |

| Level 0 | Name | Article number | Single parts | Order units | Order quantity |
|---------------|---|--------------------|--------------|-------------|----------------|
| STEP7V17 | SIMATIC STEP 7 Professional V17 (Download) | 6ES7822-1AE07-0YA5 | 1 | Pieces | 1 |
| STEP7V17 | SIMATIC STEP 7 Safety Advanced V17 (Download) | 6ES7833-1FA17-0YH5 | 1 | Pieces | 1 |
| WinCC Unified | WinCC Unified Comfort ES V17 (Download) | 6AV2151-0XB01-7LA5 | 1 | Pieces | 1 |

LIITE 3: OHJELMOINTIVAIHEESSA MÄÄRITETYT I/O MODUULIT

| Type | Addr. from | Addr. to | Module | PIP | Device name | Device number | Size | Master / IO system | Rack | Slot |
|------|------------|----------|---|--------|---------------------------------------|---------------|----------|--------------------|------|------|
| I | 0 | 1 | ET200SPDI 16x24VDC STPU1_3 | OB1-PI | ET 200SP [CPU 1510SP F-1 PN] | - | 2 Bytes | - | 0 | 3 |
| O | 0 | 0 | ET200SPD Q8x24VDC /05AST- PU1_4 | OB1-PI | ET 200SP [CPU 1510SP F-1 PN] | - | 1 Bytes | - | 0 | 4 |
| I | 2 | 7 | ET200SPF- DQ8x24VD C/ 0.5APP_5 | --- | ET 200SP [CPU 1510SP F-1 PN] | - | 6 Bytes | - | 0 | 5 |
| O | 2 | 7 | ET200SPF- DQ8x24VD C/ 0.5APP_5 | --- | ET 200SP [CPU 1510SP F-1 PN] | - | 6 Bytes | - | 0 | 5 |
| I | 8 | 23 | ET200SPAI 8X12-/4- WireBa- sic_6 | OB1-PI | ET 200SP [CPU 1510SP F-1 PN] | - | 16 Bytes | - | 0 | 6 |
| I | 24 | 24 | DI 8x24VDC BA_1 | OB1-PI | ET 200SP [CPU 1510SP F-1 PN] | - | 1 Bytes | - | 0 | 2 |