

Saattolämmitysjärjestelmän modernisointi

The Modernisation of the Heat-Tracing System

Eetu Perkko

OPINNÄYTETYÖ
Huhtikuu 2026

Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma
Automaatiotekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma
Automaatiotekniikka

PERKKO, EETU:
Saattolämmitysjärjestelmän modernisointi

Opinnäytetyö 34 sivua
Huhtikuu 2026

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli luoda UTU Automationille modernisoitu ohjaus saattolämmitysjärjestelmään. Järjestelmästä oli tavoitteena saada mahdollisimman toimintavarma ja helppokäyttöinen. Modernisointi suoritettiin, koska vanhassa järjestelmässä käytettyjen logiikkaohjaimien tuotanto on lopetettu.

Saattolämmitysjärjestelmän tarkoituksena on lämmittää eri prosessien putkistoja, jotta niissä olevan nesteen viskositeetti pysyy prosessille sopivana ja estää putkien jäätyminen. Tässä työssä tarkasteltiin lyhyesti, mihin eri tarkoituksiin saattolämmitysjärjestelmiä käytetään. Järjestelmässä käytettiin Solcon Igelin valmistamaa tyristorisäädintä. Tyristorisäätimen toiminta perustuu tyristorien johtavuuden ohjaamiseen.

Työssä tarkasteltiin vanhan järjestelmän ohjauksen rakennetta ja toimintaa, ja tämän perusteella mietittiin, mitä vanhasta järjestelmästä halutaan säilyttää ja mitä uutta halutaan tuoda järjestelmään. Koska järjestelmä haluttiin toteuttaa uusilla laitteilla, tarkasteltiin järjestelmän komponenttivalintoja prosessin vaatimusten, suorituskyvyn, saatavuuden ja elinkaaren näkökulmista. Komponentit, joiden valintoja tarkasteltiin, olivat logiikkaohjaimet sekä operointipaneeli. Lisäksi työssä tarkasteltiin, miten PT100-anturin anturitieto saadaan mahdollisimman varmasti ja kustannustehokkaasti logiikalle.

Tämän työn aikana luotiin uuteen järjestelmään logiikkaohjelmat, käyttöliittymä, käyttöohje sekä dokumentoitiin uuden järjestelmän rakenne ja kytkennät. Lopputuloksena vanhasta järjestelmästä saatiin pidettyä tärkein toiminnallisuus ja lisättyä uuteen järjestelmään haluttuja toimintoja. Suurin visuaalinen ja käyttöön vaikuttava päivitys oli uusi käyttöliittymä. Käyttöliittymä mahdollistaa koko järjestelmän operoinnin yhdeltä laitteelta. Lopulta työn alussa asetettuihin tavoitteisiin päästiin ja järjestelmästä saatiin helppokäyttöinen ja toimintavarma.

Asiasanat: saattolämmitys, tyristorisäädin, modernisointi, logiikkaohjaus, käyttöliittymä

ABSTRACT

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

PERKKO, EETU:
The Modernisation of the Heat-Tracing System

Bachelor's thesis 34 pages
Month 2024

The purpose of this thesis was to modernize UTU Automation's heat-tracing system. The reason for conducting this thesis was that the old programmable logic controller has reached an end of life status. The main focus was on the control of the system and on the user interface. The system was designed with a focus on usability, ease of use and reliability.

This thesis focused on the control of the heat-tracing system. The control of the new system was implemented using Mitsubishi FX5U programmable logic controllers. Electrical current was regulated by Solcon Igel thyristor power system which was controlled by the FX5U controller. The user interface was developed for Beijer Electronics X3 pro 7 panel. The panel displays all the information that the thyristor power system provides. The system was controlled via the user interface.

User requirements were taken into account during the design process to ensure the ease of use. The modernisation was critical due to the end-of-life status of the previous Alpha series programmable logic controllers. The modernization of the system improved the reliability and user experience. Overall, the project successfully replaced the outdated control system and met the requirements for the modernisation.

Key words: heat-tracing, thyristor control, modernization, logic control, user interface

TEKOÄLYN KÄYTTÖ OPINNÄYTTEESSÄ

Opinnäytteessäni on käytetty tekoälysovelluksia:

- Ei
- Kyllä

Ilmoitukseni mukaan olen käyttänyt opinnäytteessäni opinnäytetyöprosessin aikana seuraavia tekoälysovelluksia: ChatGPT ja Copilot.

Tekoälysovellusten nimet ja versiot: ChatGPT GPT-5.3 ja Copilot GPT-5

Käyttötarkoitus: Tekoälyä on käytetty lähteiden etsimiseen ja hakusanojen ideointiin.

Osiot, joissa tekoälyä on käytetty: Lähdeluettelo

Olen tietoinen siitä, että olen täysin vastuussa koko opinnäytteeni sisällöstä, mukaan lukien osat, joissa on hyödynnetty tekoälyä, ja hyväksyn vastuun mahdollisista eettisten ohjeiden rikkomuksista.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	TYRISTORISÄÄTIMEN TEORIA	7
	2.1 Miten tyristori toimii	7
	2.2 Mikä on tyristorisäädin ja miten se toimii	8
	2.2.1 Phase control eli vaihekulmaohjaus	9
	2.2.2 Zero crossing eli nollakulmaohjaus.....	10
3	SAATTOLÄMMITYSJÄRJESTELMÄN TEORIA	11
	3.1 Mikä on saattolämmitysjärjestelmä	11
	3.2 Miten saattolämmitysjärjestelmä toimii.....	12
	3.3 Saattolämmitysjärjestelmän suunnittelu	13
4	TYÖN SUUNNITTELUVAIHE	14
	4.1 Mitä vanhassa järjestelmässä on?	14
	4.2 Työn kriteerit	16
	4.3 Logiikkaohjaimen valinta	17
	4.4 PT100-anturin signaalin saaminen logiikalle	19
	4.5 Operointipaneelin valinta.....	20
5	LOGIIKKAOHJELMAN JA KÄYTTÖLIITTYMÄN TOTEUTUS	23
	5.1 Logiikkaohjelman toteuttaminen.....	23
	5.2 Käyttöliittymän suunnittelu ja toteutus	25
6	KÄYTTÖOHJEEN LAATIMINEN JA DOKUMENTOINTI	29
	6.1 Sähkökuvien päivittäminen uuden järjestelmän tasalle	29
	6.2 Käyttöohjeen laatiminen.....	29
7	POHDINTA	31
	LÄHTEET.....	33

1 JOHDANTO

Teollisuuden automaatiojärjestelmät kehittyvät jatkuvasti. Tämä näkyy uusina ja paranneltuina laitteina ja vanhojen laitteiden tuotannon loppumisena. Yksi esimerkki tällaisista järjestelmistä on saattolämmitysjärjestelmä. Saattolämmitysjärjestelmiä käytetään laajasti putkien lämmittämiseen ja lämpötilan ylläpitämiseen. Niiden luotettava toiminta on kriittistä prosessien kannalta.

Tässä työssä suunnitellaan ja toteutetaan vanhentuneen saattolämmityksen ohjausjärjestelmän modernisointi uusille laitteille, joiden valintaa myös tarkastellaan. Työn tavoitteena on luoda modernisoitu versio saattolämmitysjärjestelmästä UTU Automation Oy:lle. Työssä on tarkoituksena löytää taloudellisesti ja teknisesti järkevin ratkaisu. Modernisoidusta järjestelmästä tulee myyntituote, jota voidaan tarjota kaikille, jotka kaipaavat suurehkoa saattolämmitysjärjestelmää. Tästä seuraa kysymys: miten saattolämmitysjärjestelmän ohjaus voidaan modernisoida, jotta saadaan mahdollisimman toimintavarma laitteisto? Lisäksi tarkastellaan, miten järjestelmän käyttäjävälisyyttä saadaan parannettua.

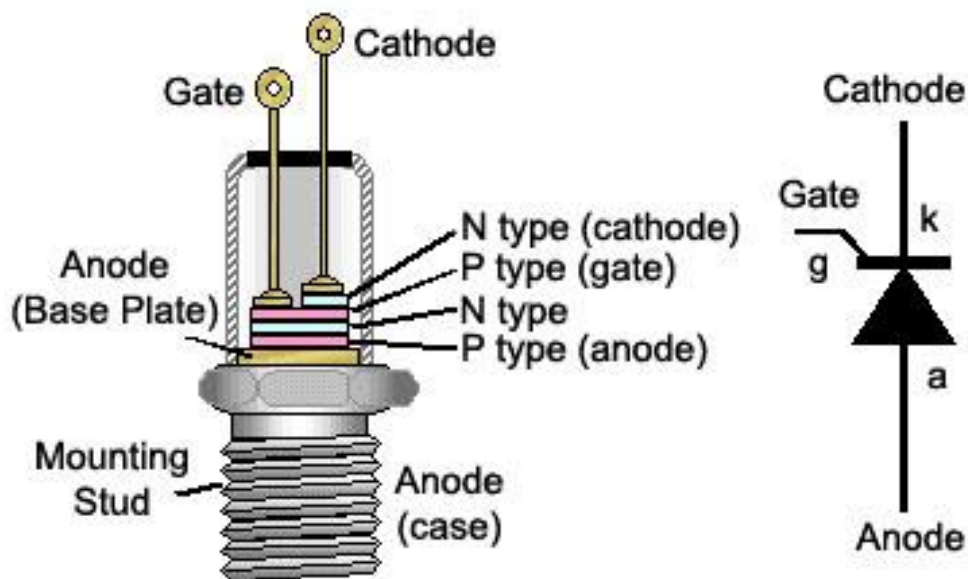
Järjestelmä modernisoidaan, koska siinä tähän asti käytetyt ohjelmoitavat mikrologiikat ovat poistuneet tuotannosta. Työssä suunnitellaan ja toteutetaan ohjelma moderneille logiikkaohjaimille sekä luodaan helppokäyttöinen käyttöliittymä. Suunnitteluun kuuluu myös logiikoiden ja operointipaneelien vertailua. Lisäksi vanhat sähkökaaviot päivitetään vastaamaan uutta järjestelmää.

2 TYRISTORISÄÄTIMEN TEORIA

2.1 Miten tyristori toimii

Tyristori on puolijohde-elementti kuten transistori ja diodi. Tyristoreita on erilaisia, mutta tässä työssä keskitytään SCR (Silicon Controlled Rectifier) eli piirityristoreihin (Albu, ei pvm., s. 1).

SCR-tyristori on kytkinkomponentti, mikä tarkoittaa sitä, että sen johtavuutta voidaan ohjata sähköisesti. Nämä SCR-tyristorit koostuvat neljästä kerroksesta silikonin P-N-P-N-rakenteella (Learn About Electronics, ei pvm.). Kuvassa 1 on esitetty läpileikkaus tyypillisestä SCR-tyristorista.



Kuva 1. SCR-tyristorin rakenne (Learn About electronics, ei pvm.)

Kuvassa 1 on esitetty myös tyristorin kolme terminaalia; katodi (Cathode), anodi (Anode) ja hila (Gate). Hila on erittäin tärkeä osa tyristoria. Se ohjaa virran syöttöä katodiin. Koska SCR-tyristorit ovat virtaohjattuja komponentteja, hilavirralla voidaan ohjata anodin ja katodin välistä virranjohtavuutta. Hilavirralla ohjaaminen tapahtuu syöttämällä hilaan virtaa, jolloin tyristori alkaa johtamaan virtaa anodilta katodille (Transfer Multisort Elektronik, 30.7.2025). Tyristori pysyy johtavassa ti-

lassa, vaikka hilalta katkaistaan virta. Tyristorin virranjohtavuus päättyy, kun anodilta katkaistaan virta. Tämä tapahtuu vaihtovirtakäytössä aina virran nollakohdassa.

Tyristorit ovat monikäyttöisiä sekä kustannustehokkaita komponentteja, minkä takia niitä käytetään laajasti suuritehoisissa sähköjärjestelmissä (Xu, M, 2023).

2.2 Mikä on tyristorisäädin ja miten se toimii

Tässä työssä käytetään Solcon-Igelin TPS 310 -tyristorisäädintä. TPS on lyhenne sanoista Thyristor Power System. Solcon-Igelin tyristorisäätimiä voidaan käyttää kaikille resistiivisille ja induktiivisille kuormille. Tässä työssä säädintä käytetään resistiiviseen saattolämmitykseen. Kuvassa 2 on esitetty Solcon-Igelin tyristorisäädin.



Kuva 2. Solcon-Igel TPS -tyristorisäädin (UTU Automation)

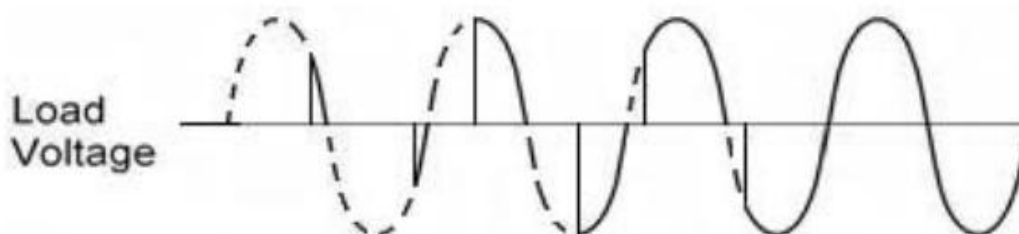
Solcon-Igel valmistaa monia eri malleja TPS-säätimestä. Pienimmät säätimet ovat 8 A ja 230 V, suurimpien ollessa 1500 A ja 230 V. Solcon-Igel valmistaa TPS-säätimiä myös 1000V versioina. Kaikkiin säätimiin on saatavilla monia lisävaihtoehtoja. (Solcon Igel, 2025)

Solcon-Igelin tyristorisäätimiä voidaan ohjata monella eri tavalla. Jokaisessa TPS-säätimessä on analogiaportti. Tämä portti tukee yleisesti käytössä olevia analogiaviestejä. Sen voi asettaa hyppyjohdoilla ja parametrien muutoksilla vastaanottamaan 0–20 mA, 4–20 mA tai 0–10 V viestejä.

TPS-säätimessä on valittavana kaksi eri toimintatapaa sekä näiden yhdistelmä. Nämä toimintatavat ovat zero crossing eli nollakulmaohjaus ja phase control eli vaihekulmaohjaus.

2.2.1 Phase control eli vaihekulmaohjaus

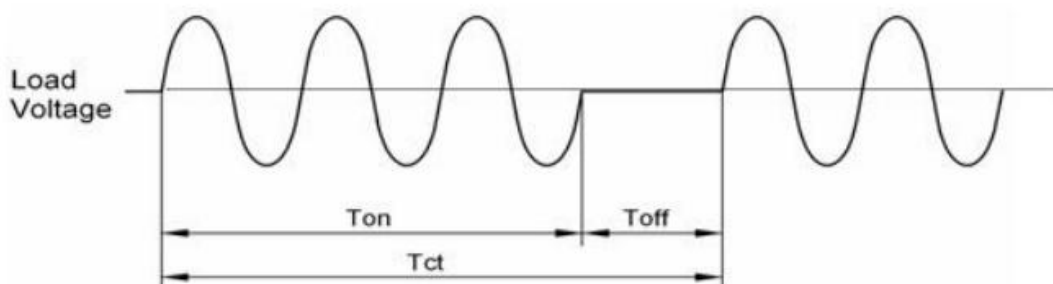
Vaihekulmaohjaus on yleinen tapa ohjata tyristorisäädintä. Siinä tyristoreita ohjataan johtamaan sähköä jokaisessa puolijaksossa analogiohjauksen mukaan. Jos analogiatulo on 100 % niin koko siniaalto johdetaan läpi. Mikäli ohjaus on 50 %, johdetaan läpi vain puolet siniaallosta. Tämän ohjaustavan hyvä puoli on pehmeäkäynnistysmahdollisuus. Huonona puolena tässä on suuri EMC-häiriö. (Solcon-Igel, 2025.) Kuvassa 3 havainnollistetaan vaihekulmaohjauksen toimintatapaa.



Kuva 3. Vaihekulmaohjauksen havainnollistamiskäyrä (Solcon-Igel, 2025)

2.2.2 Zero crossing eli nollakulmaohjaus

Nollakulmaohjauksessa on hyviä ja huonoja puolia verrattuna vaihekulmaohjaukseen. Tässä ohjaustavassa syötetään kokonaisia siniaaltoja koko ajan säätimen läpi. Ohjaus tapahtuu sykleissä. Yhtä sykliä merkitään T_{ct} -merkinnällä. Tämä koostuu T_{on} ja T_{off} -ajoista. T_{on} -aika on aika, jolloin syötetään siniaaltoa säätimen läpi ja T_{off} -aika on aika, jolloin siniaaltoa ei syötetä. Jos ohjausarvo on 100 %, tällöin syötetään koko ajan täyttä siniaaltoa säätimen läpi. Jos ohjausarvo on pienempi, syötetään kuormalle T_{ct} -jakson aikana vastaava määrä aaltopaketteja suhteessa ohjausarvoon. Tämän ohjaustavan vahvuutena on vähäinen EMC-häiriö. Suurimpana heikkoutena nollakulmaohjauksessa on pehmeäkäynnistyksen puuttuminen. Kuitenkin tässä työssä käytetään nollakulmaohjausta ja rakennetaan pehmeäkäynnistys logiikkaohjaimen. (Solcon Igel, 2025.) Kuvassa 4 havainnollistetaan nollakulmaohjauksen toimintaperiaatetta.



KUVA 4. Nollakulmaohjauksen havainnekuva (Solcon Igel, 2025)

3 SAATTOLÄMMITYSJÄRJESTELMÄN TEORIA

3.1 Mikä on saattolämmitysjärjestelmä

Saattolämmitysjärjestelmät voidaan jakaa kuuteen eri luokkaan. Nämä ovat jähmettymisenesto, viskositeetin hallinta, prosessilämmitys, kondensaation estäminen, jähmettyneiden nesteiden uudelleen sulattaminen ja rakennelämmitys. (IEEE, 2017)

Jähmettymisenestäminen on kylmissä olosuhteissa tärkeä osa prosessia. Se on erityisen tärkeää, mikäli virtaava neste on helposti jäätyvää kuten vettä. Jähmettymisenestämisessä saattolämmityksen tarkoituksena on pitää nesteen lämpötila jähmettymispisteen yläpuolella. (IEEE, 2017)

Viskositeetin hallinnassa järjestelmän tarkoituksena on pitää nesteen viskositeetti prosessille sopivana. Tätä käytetään yleensä raskaiden polttoaineiden ja raakaöljyn putkistoissa. (IEEE, 2017)

Prosessilämmityksessä tarkoituksena on pitää nesteen lämpötila prosessin vaatimana. Prosessilämmityksiä voidaan käyttää myös prosessinesteiden lämpötilan nostamiseen, mutta se vaatii suuremman lämmöntuottokapasiteetin. (IEEE, 2017)

Joissain prosesseissa voidaan tarvita myös kaasuja. Kondensoitumisen estäminen on näissä tapauksissa tärkeää. Jotkut kaasut kondensoituvat matalissa lämpötiloissa, joten kondensoituminen estetään lämmittämällä putkia, joissa kaasu kulkee. (IEEE, 2017)

Jotkut järjestelmät eivät tarvitse pumppaamiseen lämmitystä, mutta neste saattaa päästä jähmettymään putkistossa tai altaassa. Mikäli neste pääsee jähmettymään, niin täytyy se sulattaa ennen käyttöä. Tällöin voidaan käyttää saattolämmitystä sulattamaan jähmettynyt aine takaisin nesteeksi. (IEEE, 2017)

Saattolämmitystä voidaan käyttää myös rakennuksissa. Tällöin lämmityskaapelit ovat betoniperustusten sisälle ja niiden tarkoituksena on estää roudan nouseminen rakenteisiin. Näitä voidaan käyttää myös pintojen sulattamiseen tai lumen sulattamiseen. (IEEE, 2017)

3.2 Miten saattolämmitysjärjestelmä toimii

Saattolämmitysjärjestelmät ovat tärkeä osa prosesseja. Ensimmäiset saattolämmitysjärjestelmät tulivat käyttöön 1900-luvun alkupuolella (Electrical Review, 2020). Tällöin käytettiin höyryä lämmittämään putkia sen korkean ominaislämpökapasiteetin takia. Vielä tänäkin päivänä höyryä käytetään saattolämmityksissä sen lämmönjohtavuusominaisuuksien takia.

Tässä työssä keskitytään sähköiseen saattolämmitykseen. Sen kehittäminen alkoi 1930-luvulla (Electrical Review, 2020). Sähköisen saattolämmitysjärjestelmän toiminta perustuu yleensä lämmityselementin resistiivisiin ominaisuuksiin (Bhatia, n.d). Saattolämmitysjärjestelmä toteutetaan liittämällä lämmitysjohtimia putkeen. Tällä tavoin saadaan lämmityselementeistä johdettua putkeen lämpöä ja sisällä oleva virtaava neste saadaan pidettyä notkeampana.

Saattolämmityksiä on sekä yksivaiheisia että kolmivaiheisia. Kolmivaiheisessa järjestelmässä kaapelit ovat tähtikytkettynä, ja lämpö syntyy johtimien resistiivisistä häviöistä tai putken seinämiin indusoituneista virroista (Nysveen, 2007). Kun johtimia käytetään lämpöelementteinä, tulee kaapeleiden ja putken seinämän välinen etäisyys olla mahdollisimman pieni, mieluiten olisivat toisissaan kiinni. Tämä mahdollistaa parhaan mahdollisen lämmön johtumisen putkeen ja sen sisältöön samalla minimoiden lämpöhäviöt.

Yksivaiheinen lämmitysjärjestelmä toimii hieman eri tavalla kuin kolmivaiheinen. Yksivaiheiset lämmitykset ovat yleensä direct electrical heating -järjestelmiä tai lyhennettynä DEH. Siinä vaihtosähkö kulkee putken seinämässä ja putken ulkopinnalla kulkevasta kaapelista, jota pitkin virta palaa takaisin. (Nysveen, 2007.)

3.3 Saattolämmitysjärjestelmän suunnittelu

Saattolämmitysjärjestelmän suunnittelu vaatii monen asian huomioon ottamista. Ensimmäisenä täytyy tietää, millaiseen järjestelmään lämmitys ollaan asentamassa. Näitä lämmityksiä voidaan asentaa pitkiin putkilinjoihin tai astioihin (IEEE, 2017). Näissä kummassakin on mahdollista tarvita sulanapitoa, viskositeetin hallintaa tai prosessilämmitystä.

Pitkissä putkilinjoissa lämmityskaapelit ovat yleensä asennettu putkien suuntaisesti. Tämä mahdollistaa pitkienkin matkojen lämmittämisen. Jos kyseessä on erittäin suuret putket tai putkissa oleva neste tarvitsee paljon lämmitystä, putkeen voidaan asentaa useampi lämmityskaapeli (IEEE, 2017).

Altaiden lämmitys voidaan asentaa joko altaan sisään tai altaan reunoihin. Tasaiset pinnat voidaan lämmittää usealla rinnakkaisella lämmityskaapelilla, jotka ovat yhdistetyt joko U-käännöksillä tai jakorasioilla kummassakin päässä. (IEEE, 2017.)

Kun on selvitetty, millaiseen prosessiin lämmitys tulee, mietitään muita kriteereitä lämmitykselle. Ensimmäisenä täytyy tietää, mitä putkissa tai altaassa on. Tämä määrittää vaadittavan tarkkuuden lämmitykselle. Lisäksi täytyy tietää, rakennetaanko järjestelmä maan alle vai päälle. Järjestelmät maan alla ovat pitkälle samanlaisia kuin maan päälläkin, mutta putkien lämpöeristys täytyy tehdä maan alle sopivaksi, jotta se kestää maanalaisen kosteuden (IEEE, 2017).

Lämpöeristyksen ensisijainen tehtävä on minimoida putkesta tapahtuvat lämpöhäviöt. Tämän lämpöhäviön minimointi voi vähentää käyttökuluja ja parantaa prosessin suorituskykyä (IEEE, 2004).

Myös putkien materiaali täytyy tietää. Saattolämmitystä voidaan käyttää sekä metallisissa että muista materiaalista tehdyistä putkista. Kuitenkin tämä täytyy ottaa huomioon näitä järjestelmiä suunnitellessa ja asentaessa. (IEEE, 2017.)

4 TYÖN SUUNNITTELUVAIHE

4.1 Mitä vanhassa järjestelmässä on?

Vanhan järjestelmän komponenttien tiedot ja järjestelmän kuvaus löytyy yrityksen sisäisestä käyttöohjeesta. Olemassa oleva järjestelmä on noin kaksikymmentä vuotta vanha. Vanhan järjestelmän ohjaus koostuu kahdesta Alpha-mikrologiikasta, joita kutsutaan A1- ja A2-logiikoiksi, niiden lisäksi EEPROM-muistista, A1-logiikan analogialähtömoduulista, kahdesta PT100-lisämoduulista, virtalähteestä ja Alpha-logiikan asennuskehikoista. Alphas ohjaavat samanlaista Solcon-lgel TPS 310 -tyristorisäädintä kuin mitä uudessa järjestelmässä käytetään. Kuvassa 5 on Mitsubishiin Alpha-mikrologiikka.



Kuva 5. Mitsubishi Electric Alpha-mikrologiikka (UTU Automation)

Vanhassa järjestelmässä A1-logiikka ohjaa tyristorisäädintä analogiaviestillä, jonka arvo saadaan ennalta määritetyltä säätösuoralta. Säätösuora on yksinkertainen säätömenetelmä, jossa säätö suoritetaan tässä tapauksessa PT100-anturin antaman signaalin perusteella. Kun säätösuora piirretään koordinaatistoon, niin X-akselilla on PT100-anturin antama lämpötila ja Y-akselilla ohjauksen arvo. Tämä suora luodaan kahden pisteen välille, jotka tässä tapauksessa ovat T_MAX ja T_MIN. Suora asetetaan näiden kahden pisteen välille niin, että T_MAX arvossa ohjaus on 0 % ja T_MIN-arvossa ohjaus on 100 %.

Vanhimmissa toimitetuissa ohjausjärjestelmissä ohjauksen analogiaviesti on ollut 4–20 mA, mutta uudemmissa on siirrytty käyttämään 0–10 V viestiä. Tälle vaihdolle ei ole dokumentoitu syytä. Mitsubishiin AL2-2DA-lähtömoduuli tukee sekä jännite- että virtaviestiä (Mitsubishi Electric, 2023). Syyksi epäillään sitä, että lähtösignaalin resoluutio on suurempi jänniteviestissä verrattuna virtaviestiin. Tämä tarkempi resoluutio mahdollistaa tarkemman viestin tyristorisäätimelle.

Vanhan järjestelmän vaatimuksissa oli A1-logiikan toimintaa valvova A2-logiikka. A2-logiikan tehtävänä on varmistaa A1-logiikan oikeanlainen säätö sekä tyristorisäätimen oikeanlainen toiminta. Pääasiassa A2-logiikka vertaa omaa lämpötilanmittaustaan tyristorisäätimen ohjaukseen, joka saadaan logiikkaan asetetulta säätösuoralta, joka on sama kuin A1-logiikassa. Tässä kahdennuksessa yhtenä tärkeimmistä toiminnallisuuksista on lämpötilan mittauksen toiminnan varmistaminen. Mikäli lämpötila-anturi hajoaa toisesta logiikasta, säädin pysähtyy. A2-logiikka vaaditaan myös uuteen järjestelmään vahtimaan toimintaa.

Vanhan keskuksen ovesa on A1- ja A2-logiikat sekä tyristorisäätimen etäkäyttöpaneeli. Näiden lisäksi säätimen päälle/pois -ohjaukseen, säätimen pakko-ohjaukseen, logiikan kuittaukseen ja hälytysten kuittaukseen on omat kytkimet. Vanhassa järjestelmässä nämä toiminnot ovat fyysisiä painikkeita ja kytkimiä. Näistä säätimen pakko-ohjaus ja logiikan kuittaus täytyy jättää fyysisiksi painikkeiksi ja kytkimeksi niiden toiminnallisuuden varmistamiseksi. Säätimen pakko-ohjaus ohittaa logiikan toimintoja, joten tämä säilytetään fyysisenä kytkimenä toimintavarmuuden parantamiseksi. Logiikan kuittaus painike päätettiin pitää fyysisenä kytkimenä, koska se katkaisee koko 24 VDC syötön, joten sitä ei kannata ohjata logiikkaohjaimella, joka on kytkettynä kyseiseen syöttöön.

Uudessa järjestelmässä on samat vaatimukset kuin vanhassa. Vanhasta järjestelmästä haluamme säilyttää perustoiminnallisuuden, eli A1-logiikka ohjaa analogialähdöllä tyristorisäädintä ja A2-logiikka valvoo tätä toimintaa. Uutena asiana järjestelmään halutaan tuoda helppokäyttöinen käyttöliittymä sekä yksinkertaistaa keskuksen ovea ja järjestelmän käyttöä. Lisäksi modernisoinnilla on tarkoituksena saada järjestelmään toiminta- ja huoltovarmuutta useiksi vuosiksi.

4.2 Työn kriteerit

Ensimmäisenä, kun modernisointiprosessia aloitetaan, on tärkeää aloittaa suunnittelusta. Kysymyksinä mitä ja miksi prosessi täytyy modernisoida sekä millä laitteilla modernisointi tehdään.

Tässä työssä modernisoidaan prosessin ohjaus. Vanha ohjauslaitteisto on saavuttanut end of life -statuksen, joten modernisointi on suoritettava ennen kuin alpha-mikrologiikoiden varasto loppuu. Uusissa logiikoissa tarvitsee olla samat ominaisuudet kuin vanhoissa Alfoissa. Uudemmissa Mitsubishiin logiikoissa ei ole sisäänrakennettua näyttöä, joten tarvitaan myös operointipaneeli, jotta järjestelmää pystyy käyttämään.

UTU Automation on Mitsubishiin maahantuoja, joten työssä käytetään Mitsubishiin logiikkaa. Mitsubishi tuottaa sekä suuria järjestelmälogiikoita että pienempiä kompaktilogiikoita. Tässä tapauksessa kompaktilogiikka toimii hyvin. Tavoitteena on saada yhteen keskukseen mahtumaan kaksi logiikkaohjainta, jolloin suuremmissa järjestelmälogiikoissa alkaa tulemaan fyysinen koko vastaan. Lisäksi tämä projekti ei tarvitse paljoa I/O-portteja tai antureita toimiakseen, jolloin kompaktilogiikoiden sisäiset portit sekä niihin lisäkorteilla saatavat analogiatulot riittävät hyvin. Nämä kriteerit ajavat käyttämään FX5-sarjan logiikkaohjaimia. Tässä työssä tarvitaan molemmille logiikoille PT100-antureille laajennuskortti, analogialähtö A1-logiikalle sekä digitaalilähtöjä kumpaankin logiikkaan.

Järjestelmän käyttämiseen tarvitaan käyttöliittymää. Järjestelmästä haluttiin oma erillinen kokonaisuus, joka ei ole verkkoon yhteydessä. Tämä vaatimus tuli tietoturvan takia. Eri yrityksillä on erilaiset tietoturva-vaatimukset, joten tässä järjestelmä päätettiin olla yhdistämättä yritysten verkkoon. Tämä sulkee etäkäyttömahdollisuuden ja hälytysten etäkuittaamisen pois. Järjestelmästä kuitenkin on saatava hälytystieto päävalvomoon, jotta saadaan tieto, että kyseisessä keskuksessa täytyy käydä. Tämä on vanhassa järjestelmässä toteutettu digitaalilähdöllä.

UTU Automation tuo maahan sekä Mitsubishin että Beijer Electronicsin käyttöliittymäpaneeleita, tämän takia käytämme niistä jompaakumpaa. Käyttöliittymäpaneelin kriteereistä tärkein on sujuva kommunikointi Mitsubishin logiikoiden kanssa. Tämä onnistuu kummaltakin edustetulta merkiltä hyvin.

4.3 Logiikkaohjaimen valinta

Yksi suurimpia kysymysmerkkejä pitkään oli mikä logiikka laitetaan vanhan Alpha-logiikan tilalle. Tästä käytiin pitkästi keskusteluita UTU Automationin sisällä. Keskustelua käytiin suurelta osin hinnan osalta. FX5S-logiikka on halvempi kuin FX5U-logiikka. Siitä kuitenkin puuttuu monia ominaisuuksia, joita FX5U-logiikassa on. Nämä kuitenkin pystytään saamaan myös FX5S-logiikkaan lisäkorteilla. Näistä lisäkorteista kuitenkin tulee lisää hintaa logiikoille.

Tässä projektissa tarvitaan useita eri ominaisuuksia. FX5U on monipuolisempi ja siinä on enemmän prosessointitehoa. Siihen on myös mahdollista luoda suurempia ohjelmia, mutta se ei ole oleellista tämän prosessin kannalta päätöstä tehdessä.

FX5U-logiikoita saa myös suuremmalla määrällä digitaalituloja ja -lähtöjä. Tämä myöskään ei vaikuta tähän prosessiin. Kummankin logiikan digitaaliportit riittävät hyvin tähän projektiin, vaikka valitaankin pienimmät versiot kummastakin. Kuitenkin FX5U-logiikassa on kaksi ominaisuutta, joita ei FX5S-logiikassa ole. Nämä ominaisuudet ovat sisäänrakennetut kaksi analogiatuloa ja yksi analogialähtö sekä 485-sarjaliikenneportti. Nämä voitaisiin saada FX5S-logiikkaan lisäkorteilla, mutta tällöin hinta tulisi jo samoihin kuin mitä FX5U-logiikan hinta on. Tässä kohdalla sillä ei varsinaisesti olisi väliä, kumpaa logiikkaa käytettäisiin.

Päätökseen vaikuttaa edellisten lisäksi myös saatavuus. Siinä tulee myös FX5U-logiikalle selkeä voitto. Mitsubishi ilmoittaa jokaiselle tuotteelleen ”Logistic Class” -luokituksen. Tässä tapauksessa FX5U-logiikka kuuluu luokkaan A, joka tarkoittaa hyvää ja nopeaa saatavuutta (Mitsubishi Electric, ei pvm. b). FX5S-logiikka puolestaan kuuluu luokkaan B, joka tarkoittaa rajoitettua saatavuutta varastossa (Mitsubishi Electric, ei pvm. a).

Välillä mietittiin, että tehdään logiikka A1 FX5U-logiikalla ja A2 FX5S-logiikalla. Tätä mietittiin, koska A2-logiikka ei tarvitse niin paljoa ominaisuuksia kuin A1-logiikka. Lopulta päädyttiin hinnan ja saatavuuden sekä suorituskyvyn takia siihen, että toteutetaan prosessi kahdella FX5U-logiikalla. Kuvassa 6 on esitettyä ohjelman testaamiseen käytetty FX5U-32MT/DSS-logiikkaohjain, johon on liitetty FX5-4AD-PT-ADP-lisäkortti. Tämä logiikka toimi järjestelmän testaamiseen toimistossa sekä asennettiin demokeskukseen, jota voidaan käydä esittelemässä potentiaalisille asiakkaille.



Kuva 6. A2 logiikkaohjelman testaamiseen käytetty FX5U-logiikkaohjain

FX5U-logiikkaohjaimesta on olemassa neljää eri versiota ja jokaisesta näistä on eri kokoisia logiikoita. Näiden neljän version erot ovat virran syöttö sekä lähtöjen tyypit. Logiikkoja on transistorilähdöillä ja relelähdeillä, ja näistä kummastakin löytyy sekä 24 VDC ja 230 VAC versiot. Transistorilähtöinen MT-nimityksellä oleva logiikka ei pysty ohjaamaan 230 VAC digitaalitietoja, vaan se on rajoitettu 24 VDC jännitteelle. Relelähdeinen MR-nimityksellä oleva logiikka taas pystyy ohjaamaan myös 230 VAC jännitteisiä digitaalitietoja. Tämä on merkittävä tekijä logiikkaohjainta valittaessa. Tässä projektissa tyristorisäätimen ohjausyksikkö vaatii 230

VAC jännitteen ohjaukseen, joten tähän valitaan relelähtöinen versio FX5U-logiikasta. Prosessissa käytettävien logiikoiden tarkka malli on FX5U-32MR/DS, eli relelähtöinen logiikka, joka toimii 24 VDC jännitteellä.

4.4 PT100-anturin signaalin saaminen logiikalle

Lämpötilan mittaaminen haluttiin toteuttaa PT100-anturilla. Tämä anturi ei kuitenkaan pysty tuottamaan itse 0–10 V jänniteviestiä ilman lämpötilälahetintä tai erillistä FX5-4AD-PT-ADP-lisäkorttia.

Lämpötilälahetin on yleinen tapa saada tietoa anturilta ohjaimelle. Tällainen lämpötilälahetin muuttaa lämpötila-anturilta tulevan tiedon joko milliampeeri- tai jänniteviestiksi riippuen lähettimen mallista. Lämpötilälähettimet tarvitsevat oman virtalähteensä toimiakseen. Tämä ei aiheuttaisi suuria ongelmia tässä projektissa, sillä logiikkaohjaimet tulevat olemaan kiinni 24 VDC virtalähteessä. Koska tässä projektissa käytetään FX5U-logiikkaa ja sen sisäisiä analogiatuloja ja lähtöjä, tulisi lämpötilälähettimen tuoda 0–10 V jänniteviestiä ja lahetin pitäisi valita sen mukaan.

FX5-4AD-PT-ADP-lisäkortti on Mitsubishin tuottama lisäkortti FX5-sarjan logiikkaohjaimille. Se kytketään suoraan FX5-logiikan vasempaan kylkeen. Kuvassa 6 logiikkaohjaimessa on kiinni kyseinen lisäkortti logiikan vasemmassa kyljessä ja sen kanavaan 1 on kytkettynä PT100-anturi. 4AD kortin nimessä tarkoittaa sitä, että siinä on neljä kanavaa, eli siihen voisi yhdistää neljä lämpötila-anturia.

Suurimpana erona perinteisen lämpötilälähettimen ja FX5-4AD-PT-ADP-lisäkortilla on liittäminen logiikkaan. Perinteinen lämpötilälahetin täytyy liittää FX5-logiikan analogiatuloon ja lisäkortti tulee suoraan kylkeen. Sekä sisäänrakennettu analogiatulo että lisäkortti tulee konfiguroida GX Works3 -sovelluksessa, jos niitä haluaa käyttää. Tämä konfigurointi on hyvin samankaltainen kummassakin tapauksessa. Suurin ero tulee siinä, että millainen tieto tulee muuttujaan. Jos käytetään logiikan sisäänrakennettuja analogiatuloja ja lämpötilälahetintä, tieto tulee 0–4000 arvona, josta täytyy laskea lämpötila. Lämpötila halutaan lukuna, jotta se saadaan esitettyä operointipaneelilla. Jos taas käytetään FX5-4AD-PT-ADP-lisäkorttia, lämpötila saadaan suoraan lukuna, joka täytyy jakaa kymmenellä, jotta

saadaan lämpötila yhden desimaalin tarkkuudella. Lämpötila halutaan luvuksi, jotta se saadaan näkymään ymmärrettävässä muodossa operointipaneelille.

Kumpikin vaihtoehto on riittävän tarkka tähän projektiin. Myös hinta on samaa luokkaa kummassakin vaihtoehdossa, riippuen lämpötilalähtetimen tarkasta mallista. Työssä kuitenkin päätettiin käyttää FX5-4AD-PT-ADP-lisäkorttia. Suurin syy siihen oli se, että se on UTU Automationin maahantuoma tuote sekä se on tarkoitettu käytettäväksi FX5-logiikoiden kanssa.

4.5 Operointipaneelin valinta

Toinen suuri kysymys oli, että mikä käyttöliittymäpaneeli valitaan tähän sovellukseen. Vaihtoehdoista vahvimpina olivat Beijer Electronicsin operointipaneelit. Toisena vaihtoehtona olisi Mitsubishin oma GOT2000-sarjan paneeli. Kuitenkin siinä on monia huonoja puolia verrattuna Beijerin paneeleihin. Mitsubishin suurena huonona puolena on se, ettei se pysty kommunikoimaan samaan aikaan modbussilla ja logiikoiden kanssa. Tämä tulee tässä sovelluksessa ongelmaksi, sillä käyttöpaneelille halutaan saada paljon tietoa Solcon-Igelin säätimeltä. Kaiken lisäksi Mitsubishin GOT-paneeli maksaa noin kaksi kertaa niin paljon kuin Beijerin kalliimpi X3 pro -paneeli. Joten vaihtoehdoiksi jäivät vanhemman X2-sarjan base-paneeli tai uudemman X3-sarjan pro-paneeli, koska X3-sarjassa ei ole base-paneelia.

X2-sarja on tullut markkinoille jo elokuussa 2016 (Beijer Electronics, ei pvm. d). Tämä tarkoittaa sitä, että se on ollut markkinoilla lähes kahdeksan vuotta. Tämä oli Beijerin siihen asti kunnianhimoisin laitejulkaisu. X2-sarjan julkaisu toi Beijerin erittäin kilpailukykyiseksi vaihtoehdoksi HMI-markkinoille. X3-sarja puolestaan julkaistiin 2025 syksyllä, täten ollen huomattavasti modernimpi.

Mitä eroa base ja pro paneeleilla on? Base-paneeli on nimensä mukaisesti peruspaneeli, ollen täten huomattavasti halvempi. Lisäksi X2 base -paneelisarjasta on olemassa viisi tuumainen versio. Koko ei kuitenkaan ole ainoa ero. Myös rakennusmateriaaleissa on eroa. X2 base on tehty muovista, X3 pron ollessa alumiinia. (Beijer Electronics, ei pvm. c ja e.)

Rakenteellisten erojen lisäksi paneelit poikkeavat toisistaan myös kommunikointiporttien osalta. X2 base -paneelista löytyy yksi ethernet-portti, yksi yhdeksänpinninen sarjaliikenneportti, yksi kolmepinninen RS485-portti sekä USB-portti. X3 pro -paneelista puolestaan löytyy kaksi ethernet-porttia, yksi yhdeksänpinninen sarjaliikenneportti sekä USB-portti. Edellä mainittujen lisäksi X3 pro -paneelista löytyy SD-kortille paikka esimerkiksi Audit Trailin tallentamiseen. Kumpikin paneeli toimii 24 VDC jännitteellä. Myös suorituskyvyssä on selkeä ero. X3 on selkeästi edellä. Kyseisessä paneelissa on tehokkaampi suoritin sekä enemmän muistia.

Vaikka X3-paneeli on huomattavasti uudempi, X2-paneeli tukee useampaa kommunikointiprotokollaa. Beijer kertoo, että tekevät työtä koko ajan, jotta saataisiin lisää tuettuja protokollia iX Developer 3.x sovellukseen. X3-paneelit tukevat jo yleisimpiä protokollia. Tässä työssä liikenne paneelin ja logiikoiden välillä toteutetaan Mitsubishiin MC protokollalla. Kumpikin paneeli tukee tätä kyseistä kommunikointiprotokollaa.

Lopulta HMI-paneelin valintaan vaikutti oleellisesti laitteiden elinkaari. Kumpikin paneelityyppi on vielä aktiivisessa tuotannossa (Beijer Electronics, ei pvm. c ja e). Kuitenkin nyt haetaan pitkäaikaista ratkaisua. Tulevaisuudessa X2-sarja tulee loppumaan ja tällöin tullaan viimeistään päivittämään laitteet X3-sarjalle. Näiden syiden takia päätettiin lähteä työstämään käyttöliittymää suoraan X3-sarjalle, vaikka se onkin kalliimpi. Kuvassa 7 on esitetty Beijer X3 pro -paneeli.



Kuva 7. Bejer Electronics X3 Pro (Bejer Electronics markkinointiesitys)

5 LOGIIKKAOHJELMAN JA KÄYTTÖLIITTYMÄN TOTEUTUS

5.1 Logiikkaohjelman toteuttaminen

Logiikkaohjelman suunnittelu aloitti projektin toteuttamisen. Ensimmäisenä käytiin läpi järjestelmän toiminnallisuus. Ohjauslaitteiston tulee säätää Solcon-Igelin tyristorisäädintä ulkolämpötilan mukaan. Tämä ohjaus päätettiin toteuttaa FX5U-logiikan sisäänrakennetulla 0–10 V analogialähdöllä. Analogiohjauksen lisäksi logiikan piti ohjata tyristorisäädintä päälle ja pois. Tämä päätettiin toteuttaa logiikan digitaalilähdöllä ja operointipaneeliin tehdyllä painikkeella.

Vanhan järjestelmän logiikkakoodit on tehty Mitsubishi Alpha Programming -sovelluksessa, jossa koko ohjelmakoodi tehdään yhteen näkymään FBD-ohjelmointikielellä. Tämän takia vanhan järjestelmän logiikkakoodit olivat erittäin vaikeasti ymmärrettäviä. Aluksi yritettiin saada selkoa vanhoista koodeista, mutta nopeasti päätettiin, että on järkevämpää luoda kokonaan uudella ajatuksella uusi ohjelma käyttöohjeessa olleen toimintakuvauksen perusteella.

Analogiaviestiksi valittiin 0–10 V, koska FX5U-logiikan sisäänrakennettu analogialähtö tukee ainoastaan tätä viestiä. Mittaus toteutettiin PT100-anturilla. Tästä mittauksesta saadaan ulkolämpötila, jonka perusteella saadaan tarvittava ohjausprosentti. Ohjausprosentin perusteella lähtö skaalataan muotoon, jotta saadaan analogialähtöön oikea viesti. Tässä tapauksessa analogialähdön minimi arvo on nolla ja maksimiarvo on 4000. Analogialähdön maksimiresoluutio on 2,5 mV. (Mitsubishi Electric, 2024, s.545.)

Automaattisella ohjauksella prosessi säätää lähtöä ulkolämpötilan mukaan, mutta prosessiin haluttiin myös manuaalinen ohjaus. Tämä ohjaustapa ohittaa PT100-anturit ja antaa suoran mahdollisuuden ohjata analogialähtöä. Manuaaliohjaus toteutettiin lisäämällä ohjelmaan mahdollisuus antaa suoraan ohjausprosentti, joka lähetetään analogiaviestillä tyristorisäätimelle.

Järjestelmään haluttiin sisällyttää myös hidastustoiminto. Tämä hidastustoiminto tarkoittaa, että jos lämpötila kohoaa liian nopeasti esimerkiksi auringon osuessa

PT100-anturiin, lämmitysteho pidetään siinä arvossa, jossa se oli hidastuksen alkaessa. Hidastuksen tarpeellisuutta tarkastellaan logiikkakoodissa omassa ohjelmaosiossa. Kyseisessä ohjelmaosuudessa tallennetaan ulkolämpötila halutuin aikavälein logiikan muistiin. Tätä tallennettua lämpötilaa vertaillaan PT100-anturin antamaan lämpötilaan. Hidastustoiminnon toiminta-ajan saa aseteltua operointipaneelilta 1–48 tunniksi. Lisäksi operointipaneelilta saa aseteltua lämpötilan muutos ja aika, jossa muutos tapahtuu, jotta hidastustoiminto aktivoituu. Jos hidastus pääsee aktivoitumaan, se pysyy päällä, kunnes hidastusaika on kulunut, lämpötila laskee hidastusta ennen muistissa olleen lämpötilan alle tai laite laiteaan pois päältä operointipaneelista.

Modernisoidussa järjestelmässä haluttiin saada enemmän tietoa tyristorisäätimeltä logiikkaohjaimelle. Solcon-Igelin säätimeltä saadaan tietoa logiikalle modbus RTU -kommunikoinnilla. Tämä kommunikointi vaatii logiikkaohjelmaan sen määrittämisen RS-485-sarjaliikenneporttiin. Tärkeimmät parametrit sieltä ovat kommunikointinopeus, stopbitti ja pariteettibitti. Tässä tapauksessa asetettiin kommunikointinopeus 19200 bps, stopbitti 1 bit ja pariteettibitti parilliseksi. Modbus kommunikoinnilla luettiin inputrekistereitä alkaen nollarekisteristä ja luettiin yhteensä 58 rekisteriä. Nämä rekisterit tallennettiin logiikan paristovarmennettuihin rekistereihin rekisteristä D300 alkaen.

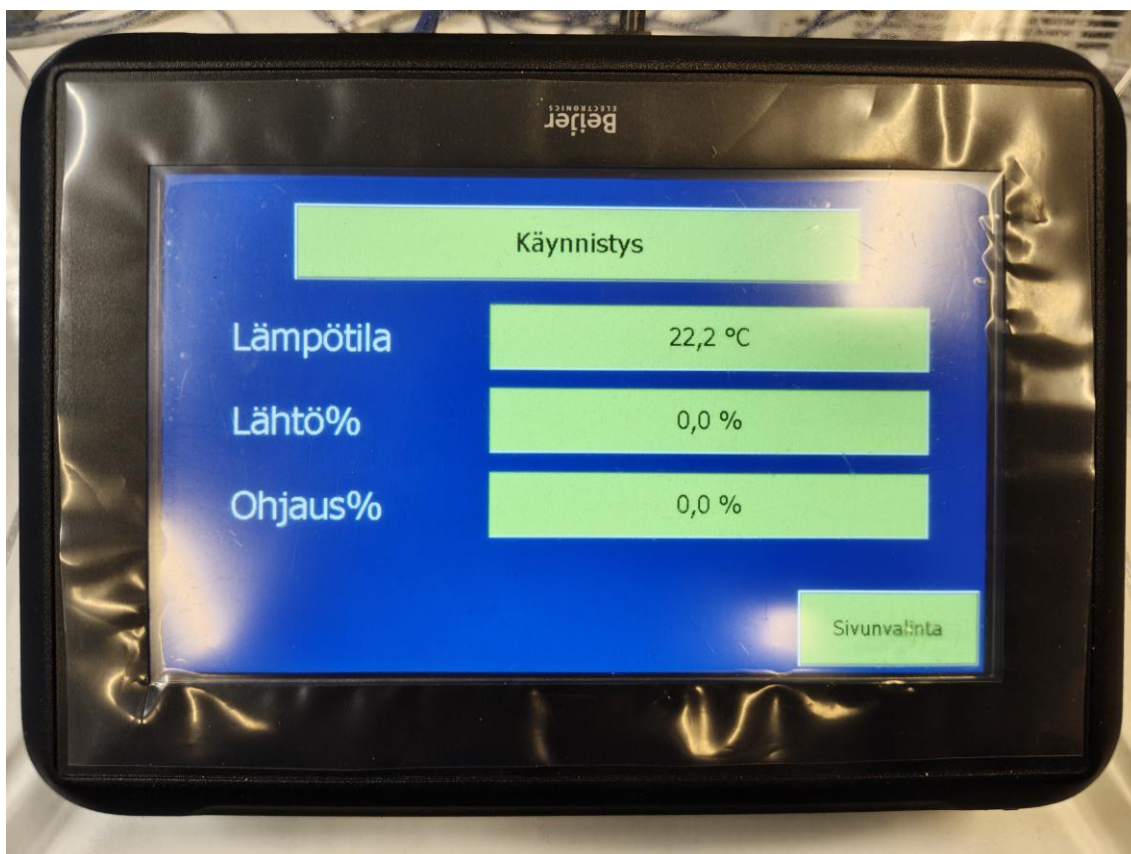
A2-logiikan tehtävänä on seurata ja valvoa A1-logiikan sekä tyristorisäätimen toimintaa. A2-logiikkaan lisättiin samanlainen FX5-4AD-PT-ADP-lisäkortti PT100-anturin käyttöä varten. Tästä tehtiin samaan tapaan skaalaus lähtöprosentteiksi. A2-logiikassa tätä ei lähetetä mihinkään vaan prosenttiarvoa vertaillaan tyristorisäätimeltä saatuun tehoprocenttiin. Käyttöpaneelilta voidaan asettaa haluttu toleranssi tehonvalvontaan, joka on oletuksena 30 prosenttia. Mikäli säätimeltä saatu tieto eroaa yli toleranssin arvon A2-logiikan itse laskemasta säätöarvosta, lähetetään A1-logiikalle tehohälytys tieto ja samalla A2-logiikan Y1-lähtö saa sulkeutuvan kosketintiedon. Tämä hälytys pysäyttää säätimen toiminnan ja se täytyy käydä manuaalisesti kuittaamassa operointipaneelilta ja käynnistää säädin uudelleen. Tyristorisäädin ei ole yhdistettynä suoraan A2-logiikkaan, vaan säätimeltä saadut tiedot tulevat A1-logiikkaan, josta ne luetaan Simple CPU Communicationilla A2-logiikalle.

Sekä A1- että A2-logiikoilta voi tulla hälytyksiä, jotka kootaan yhteen Alarm Viewer -objektiin operointipaneeliin. Osa hälytyksistä pysäyttää ohjauksen. Hälytykset, jotka pysäyttävät ohjauksen, antavat myös logiikan digitaalilähdöstä viestin, joka lähettää yhteishälytyksen laitoksen valvomoon.

5.2 Käyttöliittymän suunnittelu ja toteutus

Kun oli päätetty, että käyttöliittymä tehdään Beijer Electronicsin X3 pro 7 -käyttöliittymäpaneelilla, aloitettiin määrittelemään, mitä kaikkea käyttöliittymään halutaan ja mitä siitä täytyy pystyä ohjaamaan. Työssä lähdettiin tutkimaan vanhan järjestelmän käyttöohjekirjaa. Järjestelmästä haluttiin saada samat tiedot kuin aikaisemmin. Tämä tarkoitti sitä, että tyristorisäätimeltä viedään tiedot modbus-kommunikoinnilla myös paneelille, sillä vanhan keskuksen kannessa ollut tyristorisäätimen etäkäyttöpaneeli haluttiin poistaa ja näyttää kaikki yhdessä näytössä. Lisäksi haluttiin vähentää fyysisiä painikkeita keskuksen ovesa. Näiden lisäksi logiikoita haluttiin ohjata operointipaneelin kautta.

Suunnittelu aloitettiin etusivun suunnittelulla. Etusivulle haluttiin tärkeimmät tiedot ja käynnistysnappi. Tärkeimpinä tietoina tässä sovelluksessa oli ulkolämpötila, ohjausprosentti, käyntitieto ja käyttötila, eli onko sovellus automaatti- vai manuaaliohjauksella ja onko hidastustoiminto päällä. IX Developer -ohjelmassa on mahdollisuus saada tekstejä näkyviin ja piilotettua riippuen muuttujan tilasta. Tätä käytettiin hyväksi, kun luotiin etusivua. Etusivulta piilotetaan RUN-teksti sekä AUTO/MANUAALI-tekstit, jos säädin on pois päältä. Lisäksi käynnistysnapissa vaihtuu teksti riippuen siitä, onko säädin käynnissä vai ei. Kuvassa 8 on esitetty X3 Pro 7 -paneeliin tehty käyttöliittymän etusivu järjestelmän säädön ollessa pois päältä.



Kuva 8. Käyttöliittymän etusivu ladattuna X3 Pro 7 -paneelille

Järjestelmän ohjauksen oleellisille ohjaustoiminnoille luotiin oma sivu. Tälle sivulle lisättiin säädön ylä- ja alarajan säätäminen sekä manuaaliohjaus. Ylä- ja alarajojen säätäminen tapahtuu asettamalla halutut rajat syöttökenttiin. Nämä rajat ovat tasalukuja, joiden yksikkö on astetta celsiusta. Näistä luodaan logiikkaohjelman säätösuora, jonka mukaan tyristorisäädintä säädetään. Ohjaussivulta voidaan asettaa käsiajo päälle ja pois yhdestä napista ja sille annetaan prosentiarvo, joka lähetetään säätimelle. Tältä samalta sivulta nähdään myös tyristorisäätimen käyntitunnit.

A2-logiikalle luotiin myös oma sivu. Tämä oli toinen sivuista, joilta tapahtuu järjestelmän ohjausta sekä valvontaa. A2-logiikan käyttöliittymäsivulle lisättiin mahdollisuus muuttaa tehonvalvonnan toleranssia, jonka tehdasasetus on 30 %. Lisäksi sivulle lisättiin A2-logiikkaan liitetyn PT100-anturin antama lämpötila sekä tehonvalvonnan erotus, joka tulee tyristorisäätimen antaman tehoprocentin ja A2-logiikan laskeman tehoprocentin erotuksesta. Mikäli hidastustoiminto on päällä, tulee A2-sivun alakulmaan vilkkumaan teksti "A2 OHITUS". Tämä tarkoittaa sitä,

että A2-logiikka ei valvo hidastustoiminnon aikana tyristorisäätimen tehoa. Toinen mahdollinen tapaus, jossa A2-logiikka ei vahdi tyristorisäätimen tehoa, on silloin, kun säädintä ohjataan manuaalisesti. Tällöin A2-sivulle tulee teksti "TEHONVALVONTA OHITETTU". Normaalissa automaattiohjauksessa nämä tekstit ovat piilotettu.

Kun saatiin etusivulle, ohjaussivulle ja A2-logiikan sivulle tulevat tiedot määritellyä, alettiin miettimään, mitä muita tietoja halutaan esittää operointipaneelissa. Haluttuja tietoja on paljon. Jo pelkästään tyristorisäätimeltä luettavia tietoja on 38 rekisteriä. Nämä eivät millään mahdu yhdelle tai kahdelle paneelin sivulle, joten nämä rekisterit täytyi jakaa järkevästi usealle sivulle niin, että yhteen kuuluvat rekisterit, esimerkiksi vaihekohtaiset virrat, saataisiin samalle sivulle.

Modernisoinnin yhteydessä haluttiin myös tapa seurata järjestelmän käyttöä ja käyttäjiä. Tällaiseen seurantaan Beijer Electronicsin X3-paneeleissa on Audit trail -ominaisuus. Audit trailiin pystytään lisäämään tageja sekä toimintoja, jotka tallennetaan paneelin muistiin. Tallennus voidaan suorittaa joko paneelin sisäiseen muistiin tai SD-kortille. Audit trailista nähdään mitä on tehty, eli esimerkiksi tagin arvo ennen ja jälkeen muutoksen, milloin on tehty ja kuka on tehnyt kyseisen muutoksen. Jotta käyttäjien seuraaminen olisi mahdollista, täytyi paneelille luoda jokaiselle käyttäjälle oma tunnus ja salasana. Jokaiselle käyttäjälle on mahdollista laittaa rooli ja sen perusteella saa käyttöoikeuksia prosessin ohjaukseen. Tällä saadaan myös estettyä luvattomien ihmisten sekaantuminen ohjaukseen.

Järjestelmää halutaan käyttää täysin operointipaneelista ilman erillistä tietokoneyhteyttä. Tämän takia operointipaneeliin lisättiin hälytysten kuittaustoiminto. Jokainen hälytys käynnistää oman bittinsä logiikassa ja nämä täytyy pystyä kuittaamaan, joten jokaiselle erilaiselle hälytykselle tehtiin oma hälytysikkuna, josta pystyy kuittaamaan kyseisen hälytyksen. Kyseiset ikkunat avautuvat hälytyksen ollessa aktiivinen. Käyttöliittymään täytyi myös tehdä mahdolliseksi hälytysten kuittaaminen, vaikka kyseisen hälytyksen popup-ikkuna olisikin suljettu. Tälle hälytysten kuittaamiselle luotiin oma sivu, jolla on hälytysten kuittauspainikkeet sekä hälytysten tila. Edellisten lisäksi nämä hälytykset ovat lähettäneet hälytyksen valvomolle. Tämä tapahtuu valvontareleen tilan vaihduttua ja tämä rele pitäisi kuitata. Tämäkin toiminto tehtiin operointipaneelin hälytyskuittaus-välilehdelle, josta

saadaan ohjattua A1-logiikan Y3-digitaalilähtöä, joka on kytketty kuittaamaan valvontarele.

Tyristorisäätimeltä saadaan trip-tietoja käyttöliittymään. Nämä tiedot ovat tärkeitä järjestelmän monitoroinnin kannalta. Trip-tiedot ovat tietoja, jotka tyristorisäädin antaa järjestelmässä tapahtuvan virheen aikana. Näitä tietoja on yhteensä 15, ja ne tulevat säätimeltä numeroarvona. Nämä numerot tarkoittavat jokainen erilaista trippiä. Jokaisen numeron selkokielineen selitys löytyy sekä käyttöohjeesta että operointipaneelin erilliseltä sivulta.

6 KÄYTTÖOHJEEN LAATIMINEN JA DOKUMENTOINTI

6.1 Sähkökuvien päivittäminen uuden järjestelmän tasalle

Vanhat sähkökaaviot oli tehty vuonna 2008. Nämä kuvat löytyivät .drw-tiedostona, joten näitä päätettiin käyttää uusien kaavioiden pohjana. Sähkökaavioiden päivittäminen tapahtui CADMATIC-sovelluksella.

Koska perustoiminnallisuus pysyi samana, niin pysyivät myös sähkökaaviot samankaltaisina. Suurimpina muutoksina vanhoihin sähkökaavioihin tuli komponenttien muutokset. Komponenteista logiikat olivat suurimmat ja näkyvimät muutokset. Myös uusi operointipaneeli lisättiin järjestelmän kuviin. Lisäksi logiikoiden tulot ja lähdöt hieman muuttuivat. Nyt logiikoiden välinen kommunikointi hoituu ethernet-kaapelia pitkin ja kommunikointi tyristorisäätimen kanssa tapahtuu Modbus RTU -sarjaliikennekommunikoinnilla. Sähkökaavioiden kannalta tämä tarkoittaa uusien ethernet-linjojen kuvaamista sekä Modbus-kaapelin kytkentöjen lisäämistä kaavioihin.

Joitain vanhan kaapin ovessa olevia kytkimiä ja valoja poistettiin ja niiden toiminnallisuudet tehtiin operointipaneeliin. Tällaisia kytkimiä oli esimerkiksi säätimen käynnistyskytkin ja hälytysten kuittauspainike.

6.2 Käyttöohjeen laatiminen

Käyttöohjeen laatiminen aloitettiin vanhaan käyttöohjeeseen perehtymällä. Siitä mietittiin mikä on hyvää ja mikä huonoa sekä mitä halutaan säästää ja mitä poistaa.

Rakenne lopulta päätettiin pitää saman kaltaisena kuin vanhassa ohjeessa. Käyttöohje alkaa järjestelmän kuvaamisella ja siinä kerrotaan järjestelmän rakenne. Tässä tapauksessa kerrotaan, että Solcon-Igelin tyristorisäädintä ohjaa FX5U-logiikkaohjain ja toinen logiikka valvoo, että säätö toimii oikein. Fyysisten laitteiden lisäksi käyttöohjeessa tarkastellaan pintapuolisesti logiikkaohjelmien toiminta sekä normaalissa käytössä että hidastustoiminnon ollessa aktiivinen.

Järjestelmän kuvaamisen jälkeen päästään itse järjestelmän operoinnin ohjeistamiseen. Järjestelmän operoinnin selostaminen tehtiin käyttöohjeeseen askel askeleelta, jotta jokainen operoija pystyy käyttämään järjestelmää omatoimisesti. Käyttöohjeessa käydään kaikki sisään kirjautumisesta ja säädön käynnistämisestä aina jokaisen eri hälytyksen kuittaamiseen. Lisäksi käyttöohjeessa käydään läpi mitä logiikan lähtöjä on päällä ja mitä jokainen niistä tarkoittaa.

Käyttöohjeen loppuun lisättiin luettelon kaltainen luku, jossa käydään läpi jokainen sivu yksitellen. Tässä luvussa kerrotaan mitä sivulla on ja mitä sillä sivulla voi operoida. Tämä luku luotiin sen takia, että käyttöohjeesta voidaan tarkistaa jokaisen sivun toiminnot yhdestä paikasta.

7 POHDINTA

Tässä työssä suoritettiin saattolämmitysjärjestelmän ohjauksen täysi modernisointi. Lähtökohtana työlle oli vanhan järjestelmän logiikkakoodit ja käyttöohje. Vanhoista logiikkakoodista ei lopulta ollut juurikaan hyötyä niiden sekalaisuuden takia.

Modernisoinnin yhtenä tavoitteena oli saada järjestelmästä helppokäyttöisempi moderneilla laitteilla. Helppokäyttöisyyttä lähdettiin edistämään modernilla käyttöliittymällä. Käyttöliittymä tehtiin Beijer Electronics X3 pro 7 -paneelille, joka on erittäin suuri parannus Alpha-logiikoiden pienistä näytöistä. Uudesta käyttöliittymästä saadaan muokattua kummankin logiikan asetettuja arvoja samaan aikaan sellaisissa tapauksissa, kun molempiin logiikoihin tarvitsee asettaa samat arvot. Tällaisista arvoista esimerkkinä toimivat T_MIN ja T_MAX, joiden tulee olla kummassakin logiikassa samat, jotta tehonvalvonta toimii halutulla tavalla. Uusi käyttöliittymä myös yksinkertaistaa keskuksen käyttöä, kun sekä A1- ja A2-logiikoiden sekä tyristorisäätimen tiedot löytyvät kaikki samalta näytöltä.

Järjestelmän toiminta- ja huoltovarmuutta saatiin parannettua modernisoinnilla huomattavasti. Vanhat Alpha-logiikat eivät ole enää tuotannossa, joten niiden varaosien saatavuus on huomattavasti heikentynyt. Tämä tarkoittaa sitä, jos Alpha-logiikka menee rikki, uutta ei välttämättä ole saatavilla ja täten koko keskus tulisi uusiksi. Uusien FX5-sarjan logiikkaohjaimien myötä saadaan keskusten huoltovarmuutta parannettua huomattavasti. Tämän mahdollistaa hyvä varaosien saaminen sekä kokonaan korvaavan logiikan helppo saaminen. Varaosien helppo saaminen pidentää keskuksien elinkaarta huomattavasti. Työn tekohetkellä FX5-logiikkasarja on aktiivisessa tuotannossa.

Työn lopputulokseen oltiin erittäin tyytyväisiä. Tämän järjestelmän modernisointia on viivästetty jo jonkin aikaa, mutta nyt oli täydellinen aika suorittaa modernisointi. Tähän järjestelmään saatiin nyt käytettyä Beijerin uutta X3-paneelia, joka tuo järjestelmän käyttökokemuksen täysin uudelle tasolle yksinkertaisella, helppokäyttöisellä ja siistillä käyttöliittymällä.

Tulevaisuudessa järjestelmää voidaan modernisoida ja kehittää vielä lisää. Nykyisiä FX5-sarjan logiikkaohjaimia tuotetaan toistaiseksi, joten niillä pärjätään pitkälle tulevaisuuteen. Kuitenkin näiden logiikoiden siirtyessä end of life -statukselle, tarvitaan uusi logiikkasarja, jolla voidaan suorittaa sama tehtävä. Nyt uusi logiikkaohjelma on luotu huomattavasti selkeämmäksi kuin vanha Alphalle tehty ohjelma, joten se tulee olemaan helpommin konvertoitavissa uusille laitteille. Lisäkehityskohteina tähän järjestelmään voitaisiin tehdä ohjaus täysin Modbus-kommunikoinnilla. Tulevaisuudessa järjestelmä voitaisiin yhdistää laitoksen päävalvomoon, jos asiakkaat niin haluaisivat.

LÄHTEET

Albu. M. (ei pvm.). *Thyristors and triac control gate trigger circuits*. Technical University of Iasi. https://euedia.tuiasi.ro/lab_ep/ep_files/Lab_no_3_c1.pdf

Beijer Electronics. (ei pvm. a). *Driver list X2*. Beijer Electronics. <https://www.beijerelectronics.com/docs/driver-list/en/index-en.html>

Beijer Electronics. (ei pvm. b). *iX Developer 3 driver list*. Beijer Electronics. <https://www.beijerelectronics.com/docs/drivers/driver-list/en/index-en.html>

Beijer Electronics. (ei pvm. c). *X2 base HMI panels*. Beijer Electronics. <https://www.beijerelectronics.com/en/Products/Operator%20panels/X2%20series/X2%20base>

Beijer Electronics. (ei pvm. d). *X2 series – The next generation HMI*. Beijer Electronics. https://www.beijerelectronics.com/en/industries--applications/White_papers/X2_series_-_The_next_generation_HMI?utm

Beijer Electronics. (ei pvm.e). *X3 pro*. Beijer Electronics. <https://www.beijerelectronics.com/en/Products/Operator%20panels/X3%20series/X3%20pro>

Bhatia., A. (ei pvm.). *Heat tracing systems*. CEDEngineering.com. <https://www.cedengineering.com/userfiles/E04-019%20-%20Heat%20Tracing%20Systems%20-%20US.pdf>

Coates, E. (2020). *Thyristors (SCRs)*. LearnAboutElectronics. https://learnabout-electronics.org/Semiconductors/thyristors_60.php

Electrical Review. (2020, March 5). *Heating up history*. <https://electricalreview.co.uk/2020/03/05/heating-up-history/>

IEEE Standards Association. (2004). *IEEE standard for the testing, design, installation, and maintenance of electrical resistance heat tracing for industrial applications*. IEEE. <https://ieeexplore-ieee-org.libproxy.tuni.fi/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=1301213>

IEEE Std 844.2-2017/CSA C293.2-17 (2017).: *IEEE/CSA Standard for Skin Effect Trace Heating of Pipelines, Vessels, Equipment, and Structures--Application Guide for Design, Installation, Testing, Commissioning, and Maintenance*. IEEE. <https://ieeexplore-ieee-org.libproxy.tuni.fi/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8207822>

Littelfuse. (2013). *Phase control using thyristors*. Littelfuse Application Note AN1003. https://learnabout-electronics.org/Downloads/Littelfuse_App_Note_AN1003.pdf

Mitsubishi Electric. (2023). *AL2-2DA installation manual*. Mitsubishi Electric. <https://eu-assets.contentstack.com/v3/assets/blt5412ff9af9aef77f/blt1dc230ff146c6d10/64ccc3f0e55b1b4455e5cb5a/JY997D09301-J.pdf>

Mitsubishi Electric. (ei pvm. a). *FX5S-30MR/DS*. Mitsubishi Electric. https://se.mitsubishielectric.com/fa/se_en/products/cnt/plc/plcf/cpu-module/fx5u-32mr-ds.html

Mitsubishi Electric. (ei pvm. b). *FX5U-32MR/DS*. Mitsubishi Electric. https://se.mitsubishielectric.com/fa/se_en/products/cnt/plc/plcf/cpu-module/fx5s-30mr-ds.html

Mitsubishi Electric. (2024). *MELSEC iQ-F FX5 user's manual (Application)*. Mitsubishi Electric. <https://dl.mitsubishielectric.com/dl/fa/document/manual/plcf/jy997d55401/jy997d55401ad.pdf>

Nysveen, A., Kulbotten, H., Lervik, J. K., Bornes, A. H., Hoyer-Hansen, M., & Bremnes, J. J. (2007). Direct electrical heating of subsea pipelines—Technology development and operating experience. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 43(1), 118–129. <https://doi.org/10.1109/TIA.2006.886425>

Solcon Igel (2024). *TPS heat control system instruction manual (Ver. 0524)*. Solcon Industries.

Transfer Multisort Elektronik. (30.7.2025). *Tyristorit, diacit ja triacit – rakenne, toimintaperiaatteet ja soveltaminen elektroniikassa*. <https://www.tme.eu/fi/news/library-articles/page/70736/tyristorit-diakit-ja-triakit-rakenne-toimintaperiaatteet-ja-sovellukset-elektroniikassa/>

UTU Automation. (ei pvm.) *Alpha 2 mikrobiologiikka*. <https://www.utugroup.com/automation/tuotekategoria/ohjausjarjestelmat/kompaktilogiikat/alpha-2-mikrobiologiikka/>

Xu, M., Tong, W., Li, H., Song, Z., Xu, Q., Zhang, X., & Fu, P. (2023). Research on dynamic voltage balancing of series connected thyristors in auxiliary oscillation zero-crossing circuit. *IEEE Transactions on Plasma Science*, 51(1), 1–8. <https://doi.org/10.1109/TPS.2022.3231596>