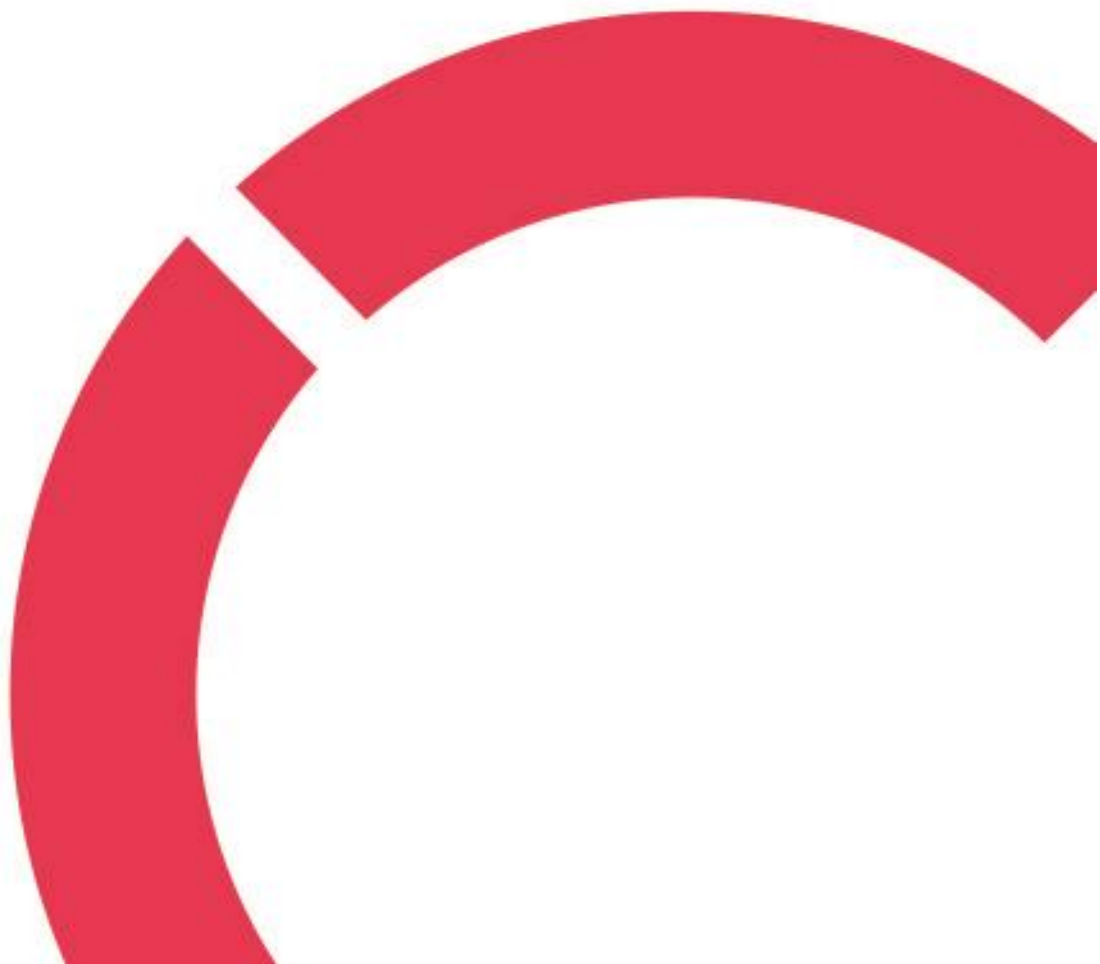


Jani Känsälä

LÄMMÖN KAUSIVARASTOINTIJÄRJESTELMÄN AUTOMATISOINTI JA VÄYLÄTEKNOLOGIAT

Mittaustiedon lukeminen ja toimilaitteiden ohjaus Modbus RTU -väylällä

**Opinnäytetyö
CENTRIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Automaatiotekniikka
Maaliskuu 2023**



TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

Centria-ammattikorkeakoulu	Aika Maaliskuu 2023	Tekijä/tekijät Jani Käsälä
Koulutus Automaatiotekniikka		<input checked="" type="checkbox"/> AMK <input type="checkbox"/> YAMK
Työn nimi LÄMMÖN KAUSIVARASTOINTIJÄRJESTELMÄN AUTOMATISOINTI JA VÄYLÄTEKNOLOGIAT. Mittaustiedon lukeminen ja toimilaitteiden ohjaus Modbus RTU -väylällä.		
Työn ohjaaja Hannu Ala-Pönttiö	Sivumäärä 42	
Työelämäohjaaja Pasi Kiuru		
<p>Tämän opinnäytetyön aiheena oli suunnitella lämmön kausivarastointijärjestelmän automaation ohjaus sekä ohjauksen käyttöliittymä. Automaation ohjaus toteutettiin Siemens S7-1200 PLC:llä ja käyttöliittymä toteutettiin Siemens KTP1200 -kosketusnäyttöpaneelille. Järjestelmässä käytettiin Profinet- ja Modbus RTU RS485 -kenttäväyliä. Osa järjestelmässä olevista IO-yksiköistä, antureista, mittareista ja toimilaitteista kommunikoi Modbus RTU RS-485 -väylän avulla PLC:n kanssa. Pääpaino työssä oli mittaustiedon lukemisessa ja toimilaitteiden ohjauksessa Siemens PLC:llä Modbus RTU RS485 -väylän avulla.</p> <p>Opinnäytetyö on jaettu teorian ja käytännön osuuksiin. Opinnäytetyön alussa teoriaosuudessa käsitellään ensin automaation ohjaamista ja väyläteknologioita yleisellä tasolla. Sen jälkeen perehdytään syvemmin Modbus RTU -väylän käyttöön kenttäväylänä prosessissa tai järjestelmässä. Ensin käydään läpi, mihin kenttäväyliä tarvitaan, mikä on kenttäväylä ja mitä etuja sillä saavutetaan. Teoriaosuudessa lisäksi selitetään Modbus-kommunikaation perusteet ja esitellään standardit, jotka käsittelevät Modbus-laitteiden liittämistä toisiinsa. Sen jälkeen perehdytään tarkemmin Modbus-protokolliin ja tiedonsiirtoon.</p> <p>Käytännön osuuden alussa selitetään kohteena olevan lämmön kausivarastointijärjestelmän rakenne ja käyttötarkoitus. Sen jälkeen käydään läpi projektin kulku ja esitellään kenttälaitteisto, logiikkalaitteet ja tuotetut dokumentit. Osuudessa myös selitetään miten PLC:n koodi ja valmis käyttöliittymä rakennettiin. Lisäksi käsitellään Modbus-kommunikaation rakentamista Siemens TIA Portal työkalulla.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksena saatiin suunniteltua automaation ohjausjärjestelmä lämmön kausivarastointijärjestelmälle. Ohjausjärjestelmän toiminnot testattiin testilaitteistolla, johon liitettiin muutamia kenttälaitteita. Koko järjestelmän käyttöönoton jälkeen aloitetaan järjestelmän todellisen energiatehokkuuden tutkiminen ja mahdollinen parametrien säätäminen. Opinnäytetyö toimii myös oppaana Modbus-väyläteknologian toiminnan ymmärtämisessä.</p>		
Asiasanat Automaatio, Modbus, PLC, Väyläteknologiat		

ABSTRACT

Centria University of Applied Sciences	Date March 2023	Author Jani Käsälä
Degree programme Automation technology		
Name of thesis SEASONAL THERMAL ENERGY STORAGE SYSTEM AUTOMATION CONTROL. Reading measurement data and controlling actuators with the Modbus RTU-bus.		
Centria supervisor Hannu Ala-Pöntiö	Pages 42	
Instructor representing commissioning institution or company Pasi Kiuru		
<p>The purpose of this thesis was to design the automation control of seasonal thermal energy storage system and a user interface of control system. A Siemens S7-1200 series PLC was used to control automation and the user interface was implemented on a Siemens KTP-1200 touch screen panel. Profinet and Modbus RTU RS-485 fieldbuses were used in the system. Some of the system IO unit, sensors, meters and actuators communicate with the PLC by using the Modbus RTU RS-485 bus. The main focus of the thesis was on reading the measurement data and controlling the actuators with a Siemens PLC using the Modbus RTU RS485 bus.</p> <p>The thesis is divided into theoretical part and practical part. At the beginning of the thesis, the theoretical part first explains automation control and bus technologies at a general level and then orient more deeply the use of Modbus RTU bus as a fieldbus in a process or system. In the beginning is explained where fieldbuses are needed, what is the fieldbus and what benefits does it bring. In the theory part is also explained the basics of the Modbus communication and standards which handles of connecting the Modbus devices to each other are presented. After that the part handles the Modbus protocols and data transfer.</p> <p>The structure and purpose of the targeted seasonal thermal energy storage system is explained on the practical part. Then this part goes through the steps of project and introduce field devices, PLC components and produced documents. In this part has also describes how PLC code and user interface was built. Built of Modbus communication in TIA Portal tool was also explained in practical part.</p> <p>As a result of the thesis, an automation control system for the seasonal heat storage system was designed. The control system functions were tested with test equipment, to which a few field devices were connected. After commissioning the entire system, the study of the actual energy efficiency of the system and possible adjustment of the parameters will begin. The thesis also serves as a tutorial in understanding the operation of Modbus technology.</p>		

Key words

Automation, Bus technologies, Modbus, PLC

KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY

CPU

(Central processing unit) on keskusyksikkö. Se prosessoi tulojen ja lähtöjen tietoja digitaalisessa muodossa. Se suorittaa mm. laskutoimituksia, lukujen vertailua, ajastusta, säätöä ja raportointia.

HMI

(Human machine interface) on näyttö, jolle on toteutettu käyttöliittymä ihmisen ja ohjelmoitavan logiikan (PLC) välistä kommunikaatiota varten.

IO lista

IO-listaan on listattu kaikki järjestelmän tulot ja lähdöt. Siitä käy ilmi, mihin laitteeseen ne ovat yhteydessä ja mitä mittaus, asento- tai säätöarvoa kullakin käsitellään.

IO-yksikkö

(Input-output-yksikkö) on tiedonsiirtolaite logiikan kommunikointiin muiden järjestelmien kanssa. IO-yksikkö lähettää ja vastaanottaa tietoa.

Kenttälaite

on kenttäväylään liitetty automaatiojärjestelmän mittalaite tai toimilaite. Älykäs kenttälaite on nimenomaan kenttäväylässä kommunikoiva kenttälaite.

Modbus RTU

Modbus RTU on sarjamuotoinen tiedonsiirtoprotokolla, joka perustuu master/slave-malliin. Protokollan ensisijainen tarkoitus on helpottaa luotettavaa tiedonsiirtoa automaatio- ja kenttälaitteiden välillä.

PI-kaavio

PI-kaavio eli putkitus- ja instrumentointikaavio on piirustus, jossa kuvataan laitteiston toiminnallista rakennetta ja kokonaiskuvaa. PI-kaaviossa jokaiselle laitteelle annetaan oma tunnus.

PLC

(Programmable logic controller) on ohjelmoitava logiikka. Se on yleisnimitys ohjaukseen käytettäville laitteille, jotka hoitavat kommunikoinnin muiden laitteiden kanssa.

TIIVISTELMÄ
ABSTRACT
KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY
SISÄLLYS

1 JOHDANTO	1
2 AUTOMAATIOTEKNIikka	2
3 VÄYLÄTEKNIikka	3
3.1 Ethernet	4
3.1.1 TCP/IP	4
3.1.2 Ethernet verkon kaapelointi	5
3.1.3 Profinet	6
3.1.4 Profinet-kaapelointi ja verkon testaus	6
3.2 Modbus	7
3.2.1 Kommunikaation periaatteet	7
3.2.2 Modbus protokollat	9
3.2.3 Sarjaliikennestandardit ja kaapelointi	10
3.2.4 Tiedonsiirto Modbus-väylässä ja parametrien määrittely	11
3.2.5 Funktiokoodit	12
4 SUUNNITTELU TYÖKALUT	14
4.1 Sähkösuunnittelu Eplan Electric P8 ohjelmistolla	14
4.2 Siemens logiikka ohjelmointi TIA Portal	17
4.2.1 Ohjelmointikielet	17
4.2.2 Ohjelmointi	18
5 APEX AUTOMATION OY	20
6 FINN SPRING OY	21
7 FINN SPRING LÄMMÖN KAUSIVARASTOINTIJÄRJESTELMÄ	22
8 ESISUUNNITTELU	25
9 TOTEUTUSSUUNNITTELU	27
9.1 Sähkösuunnittelu	27
9.2 PLC ohjelmointi	29
9.2.1 Modbus kommunikointi	29
9.2.2 Modbus-väylän slave laitteiden parametointi ja väylän toiminnan testaus	31
9.3 Paneelin käyttöliittymän suunnittelu	32
9.3.1 Prosessi sivut	33
9.3.2 Asetus sivut ja järjestelmän tilan indikointi	36
9.4 Tiedonkeruu	37
9.5 Käyttöönotto	38
10 YHTEENVETO	40
LÄHTEET	41

KUVIOT

KUVIO 1. TCP malli	5
KUVIO 2. Master-slave arkkitehtuuri	8
KUVIO 3. Master-slave kommunikointi	9
KUVIO 4. Eplan projektipuu	16
KUVIO 5. Keskuslayout Eplan.....	16
KUVIO 6. TIA Portal ohjelmointikieliä	19
KUVIO 8. Lämmön kausivarastointijärjestelmän periaatekuva	22
KUVIO 8. Järjestelmän väyläkaavio	28
KUVIO 9. Modbus input ja holding rekisterien käännetty bittijärjestys	31
KUVIO 10. RS-485 D-liittimen kytkentä	32
KUVIO 11. Faceplate	36

KUVAT

KUVA 1. Heat receiver sivu	34
KUVA 2. Heat production sivu.....	35
KUVA 3. Webserver.....	38

TAULUKOT

TAULUKKO 1. Ethernet verkon kaapeleiden tiedonsiirtonopeudet.....	6
TAULUKKO 2. Modbus rekisterit	11
TAULUKKO 3. Modbus RTU viestin rakenne	12
TAULUKKO 4. Modbus funktiokoodeja	13
TAULUKKO 5. Kenttälaitteet.....	24
TAULUKKO 6. Modbus osoitteet IO-listassa.....	26

1 JOHDANTO

Energiatehokkuus ja ympäristöystävälliset lämmitysmuodot ovat nykyään tärkeässä osassa. Lämmön kausivarastointi on hyvin energiatehokas ja ympäristöystävällinen lämmitysmuoto. Automaation avulla ohjataan ja valvotaan näitä prosesseja. Opinnäytetyön käytännön osuudessa toteutettiin lämmön kausivarastointijärjestelmän automaation ohjaus. Lämmön kausivarastointi tarkoittaa, että lämpöä varastoidaan tulevaisuuden käyttöä varten. Lämmön kausivarastointijärjestelmiä on jo rakennettu eri puolilla maailmaa. Suomesta suuren mittakaavan esimerkki löytyy Turun kauppatorin alta. Torin kiveyksen alla on keräysputkisto, jossa on nestettä, jota aurinko lämmittää. Lämpö johdetaan ympäröivään savimaahan noin 40 metrin syvyyteen. (Salomaa 2021.) EVAKOT-hankkeessa tutkittiin lämmön varastoimista maaperään ja varastoidun lämmön hyödyntämistä. Opinnäytetyön tilaajana toimi Apex Automation, jolta työn tilasi Centria-ammattikorkeakoulu, ja järjestelmä toteutettiin Finnspring Oy:n tiloihin Toholammille. EVAKOT-hankkeessa oli kehitetty ja toimitettu täyden mittakaavan lämmön kausivarastoinnin pilottijärjestelmä (Finnspring 2020). Järjestelmässä on lämpöakku, joka koostuu maahan poratuista lämpökaivoista, joihin johdetaan kesällä aurinkopaneelien avulla lämmitettyä vettä. Talvella vesi johdetaan lämmitysjärjestelmään ja sillä lämmitetään tiloja. (Hiltunen 2020b.)

2 AUTOMAATIOTEKNIikka

Automatisointi tarkoittaa jonkin tehtävän siirtämistä ihmiseltä teknisen järjestelmän hoidettavaksi. Automaatiolla voidaan siis hoitaa koneen, laitteen tai prosessin ohjaus, säätö, valvonta ja raportointi (Koskinen 2018, 4). Nykyaikana teollisuuden automaation ohjaus toteutetaan yleensä PLC:llä. PLC on järjestelmän aivot. Se on ohjelmoitava laite tai laitteisto, joka koostuu keskusyksiköstä (CPU), virtalähteestä tai tehonlähteestä ja IO-yksiköistä. Isommissa kokonaisuuksissa tai järjestelmissä keskusyksiköitä on useita, ja ne kommunikoivat myös keskenään. Myös keskusyksikössä itsessään voi olla IO:ta eli tuloja ja lähtöjä, kuten tässä työssä käytetyissä Siemens 1215C CPU:ssa ja 1212C CPU:ssa. Tuloja ja lähtöjä on erilaisia analogisia ja digitaalisia signaaleja varten. Joissakin järjestelmissä tarvitaan myös tuplavarmistettuja turvatuloja ja turvalähtöjä.

IO-yksiköt tai osa niistä voivat myös olla fyysisesti hyvinkin kaukana CPU:sta, ja tällöin niiden välille täytyy rakentaa kommunikointiyhteys. Isommissa kokonaisuuksissa tai järjestelmissä keskusyksiköitä on useita, ja ne kommunikoivat myös keskenään. Automaation ohjaukseen tarvitaan järjestelmän aivojen lisäksi tietenkin myös kenttälaitteita. Kenttälaitteita ovat anturit, rajakytkimet ja mittarit, joiden perusteella CPU:n ohjelmakoodissa annetaan ohjaukset, sekä tietysti toimilaitteet, jotka toteuttavat ohjaustoimenpiteet fyysisesti. Toimilaitteet voivat olla esimerkiksi venttiilejä tai pumppuja. Voisi siis sanoa, että anturit, mittarit ja rajakytkimet toimivat siis tavallaan CPU:n aisteina ja toimilaitteet käsinä. PLC:n kenttälaitteiden välille tarvitaan siis kommunikointiyhteys eli tapa siirtää tietoa. Nykyään automaation ohjausjärjestelmät yleensä myös integroidaan muihin järjestelmiin, joita voivat olla esimerkiksi toiminnanohjaus-, tuotannonohjaus- ja kunnossapitojärjestelmät (Koskinen 2018, 11).

3 VÄYLÄTEKNIikka

Tiedonsiirto on olennainen osa automaatiota. Nykyään teollisuudessa käytetäänkin kasvavassa määrin kenttäväyliä. Kenttäväylä on teollisuusautomaatiossa käytetty tekniikka, jolla saadaan yhdistettyä järjestelmän mittalaitteet, anturit, toimilaitteet, ohjainlaitteet, näytöt ja käyttöliittymät toisiinsa yksinkertaisemmin kuin kaapeloimalla jokainen erikseen. Kenttäväylällä voidaan korvata perinteistä kaapelointia laitteistojen ja automaatiojärjestelmien välillä, joten tarvittavien kaapeleiden määrä siis vähenee merkittävästi kenttäväyliä käytettäessä. (ST-käsikirja 21 Kiinteistöjen tiedonsiirtoväylät 2017, 128–129.) Kenttäväylä on digitaalinen, esimerkiksi sarjaliikenne- tai Ethernet-tyyppinen tietosiirtoprotokolla. Muutosten tekeminen ja järjestelmän laajentaminen on helpompaa kuin perinteisellä kaapelointitekniikalla. Kenttäväylän avulla voidaan siis vähentää kaapelointia sekä tuoda tieto valvomoon helposti käsiteltävässä muodossa.

Kenttäväyliä avulla tuloja ja lähtöjä eli IO:ta voidaan myös hajauttaa lähemmäksi kenttälaitteita (ST-käsikirja 21 Kiinteistöjen tiedonsiirtoväylät 2017, 28–33). Kenttäväylän käyttö mahdollistaa myös älykkäiden kenttälaitteiden käytön, jotka kommunikoivat suoraan kenttäväylän kanssa. Väyliä on useita erilaisia, ja erilaisia väyliä koskevat eri vaatimukset (ST-käsikirja 21 Kiinteistöjen tiedonsiirtoväylät 2017, 28–33). Kenttäväylän valinta riippuu asiakkaan toiveesta, olemassa olevasta käyttöliittymästä sekä käyttökohteesta. Väylää valittaessa tulee huomioida muun muassa vasteajat tiedonsiirrossa, siirtotaajuus, liitettävyyys, tehonsyöttö kaapelia pitkin, sopivuus toimintaympäristöön esim. räjähdysvaaralliset tilat.

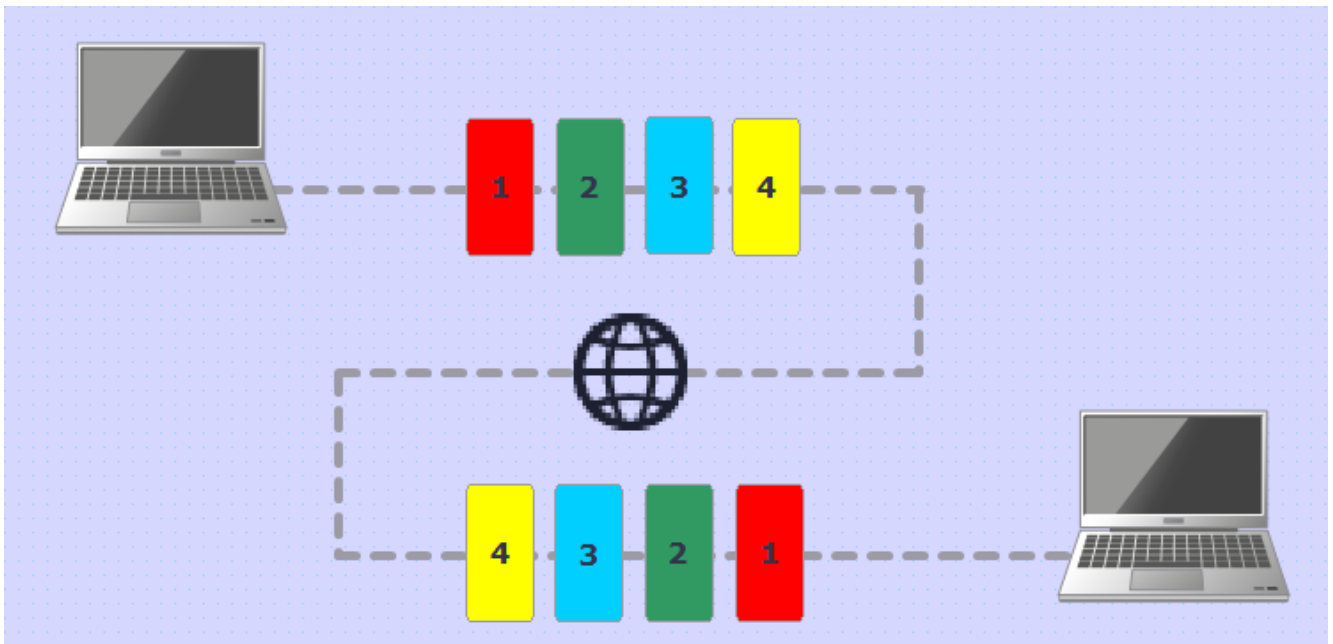
Tavallisesti ohjelmoitavat logiikat (PLC) yhdistetään toisiinsa tai IO-yksiköihin kenttäväyliä avulla. Kenttäväylät voidaan jakaa kolmeen ryhmään niiden käytön mukaan: yleiskäyttöiset kenttäväylät, instrumenttiväylät ja laiteväylät (ST-käsikirja 21 Kiinteistöjen tiedonsiirtoväylät 2017, 28–33). Kenttäväylänä voidaan käyttää esimerkiksi Modbus-protokollan mukaista Modbus RTU RS-485 -väylää tai Modbus TCP/IP -väylää tai Siemensin kehittämää PROFIBUS- tai PROFINET-väylää. Esimerkkinä mainitut väylät ovat kaikki yleiskäyttöisiä väyliä. Saman järjestelmän eri osissa voidaan käyttää myös useampaa eri väylää. Tässä opinnäytetyössä käsitellään tarkemmin kahta käytännön osuudessa käytettyä kenttäväylää, jotka ovat Modbus RTU ja PROFINET.

3.1 Ethernet

Teollisuus-Ethernet on yleisnimitys automaatioissa käytettäville Ethernet-verkkoversioille. Ethernet-verkkoja ovat mm. PROFINET, EtherCAT, Modbus TCP/IP, EtherNet/IP ja Foundation Fieldbus HSE (Paavilainen 2016, 30–34). PROFINET on näistä vakiintunein teollisuus-Ethernet standardi. Monet tuotetoimittajat tukevat PROFINET -tekniikkaa. Tämä varmistaa pitkän aikavälin saatavuuden ja investointisuojan. Teollisuuden Ethernet-verkoissa yleisimmät liitintyypit ovat RJ-45 ja M12. Yleisin kaapelityyppi on suojattu parikaapeli. (Harrico PROFINET ja muut teollisuus-Ethernet tekniikat.) Näille teollisuus-Etherneteille yhteistä on OSI-tason 1 taso. OSI-taso 1 viittaa fyysiseen välineeseen ja tapaan, jolla tietoa ja verkkoja välitetään. OSI-mallin fyysinen kerros (Taso 1) on paikka, jossa suoritetaan muunnokset bittisekvenssiin.

3.1.1 TCP/IP

TCP/IP on maailmanlaajuinen standardi, joka määrittää, kuinka tietokoneet siirtävät tietoja laitteesta toiseen. Tiedot on pidettävä täsmällisinä. Vastaanottajan tulee saada samat tiedot, jotka lähettäjä lähetti alun perin. TCP/IP-malli jakaa tiedot paketeiksi lähtöpäässä ja kokoaa paketit uudelleen täydelliseksi viestiksi toisessa päässä. Näin varmistetaan, että jokainen viestintä saavuttaa aiotun määränpänsä ehjänä. Tietojen pienissä paketeissa lähettäminen helpottaa tarkkuuden ylläpitämistä verrattuna kaikkien tietojen lähettämiseen kerralla. Koska yksittäinen viesti on jaettu paketeiksi, paketit voivat kulkea eri reittejä pitkin, jos yksi reitti on ruuhkautunut. Kun lähetetään jotain Internetin kautta esim. viestin, valokuvan tai tiedoston, TCP/IP-malli jakaa tiedot paketeiksi nelikerroksisen menettelyn mukaisesti. Tiedot kulkevat ensin kerrosten läpi yhdessä järjestyksessä ja sitten päinvastaisessa järjestyksessä, kun tiedot kootaan uudelleen vastaanottopäässä. (Bodnar 2021.) TCP-viitemalli on esitetty kuviossa 1. TCP/IP-malli on toimiva, koska koko prosessi on standardoitu. Ilman standardointia viestintä menisi pieleen ja toiminta hidastuisi. Nopea Internet-palvelu riippuu viestin tehokkuudesta. Maailmanlaajuisena standardina TCP/IP-malli on yksi tehokkaimmista tavoista siirtää tietoja Internetin kautta.



KUVIO 1. TCP-viitemalli (mukaiillen Bodnar 2021)

3.1.2 Ethernet verkon kaapelointi

Verkkokaapeleita on saatavana useita eri tyyppisiä. Pääluokkia ovat mm. Cat 5, Cat 6, Cat 7 ja Cat 8 ja alaluokkia esimerkiksi Cat 6a ja Cat 5e. Helpoin ratkaisu on valita paras ja kallein kaapeli. Paras ratkaisu on kuitenkin valita kaapeli käyttötarkoituksen mukaan. Kaapelin valintaan vaikuttaa oleellisesti tarvittava siirtonopeus eli nopeusvaatimus. Myös valokuitu kaapeleita voidaan käyttää (Paavilainen 2016, 10). Reitittimissä ja verkkokorteissa käytetään nykyään tekniikkaa, joka siirtää tietoa gigabitin sekuntivauhdilla. Tarvittaessa kaapelia vain tietokoneen yhdistämiseen lähiverkkoon ei 10 gigabitin siirtonopeuteen yltävästä kaapelista ole enempää iloa kuin hitaammankaan luokan kaapelista. Eri kaapeliluokkien nopeudet on esitetty taulukossa 1. Suojattu kaapeli on suojaamatonta kalliimpaa. Kuitenkin paikoissa, joissa voi ilmetä häiriöitä, kannattaa käyttää suojattua kaapelia. Suojatulla kaapelilla voidaan saavuttaa pitempiä etäisyyksiä ja vähentää sähkömagneettisia häiriöitä. Kaapelin suojaustapoja ja suojausmerkintöjä on erilaisia. Suojattu kaapeli on usein paksumpaa ja raskaampaa, joten sen vetäminen vaatii enemmän työtä. Myös kytkentä on usein työläämpää (Rasmussen 2018) Ethernet-verkon kaapelin maksimipituus on aina 100 metriä.

TAULUKKO 1. Ethernet-verkon kaapeleiden tiedonsiirtonopeudet

Luokka	Max. Nopeus
CAT5	100 Mbit/s
CAT5e	1 Gbit/s
CAT6	10 Gbit/s
CAT6a	10 Gbit/s
CAT7	10 Gbit/s
CAT8	40 Gbit/s

3.1.3 Profinet

Profibus-käyttäjörganisaation kehittämä Profinet on Industrial Ethernet -standardi automaatiotekniikka varten. Se perustuu Ethernet-TCP/IP:hen. Profinet soveltuu Profibussia paremmin sovelluksiin, joissa tarvitaan nopeaa tiedonsiirtoa Ethernet-verkkojen kautta. Profinet on standardoitu standardien IEC 61158 ja IEC 61784 mukaan. Profinet diagnostiikalla voi saada yleiskuvan koneen tai laitoksen tilasta lyhyessä ajassa (PILZ, PROFINET.) Virheet voidaan paikantaa tarkasti tietojen avulla. Profinetin luokkia ovat Non-Realtime (NRT), Real-Time (RT) ja Isochronous-Realtime (IRT) (PILZ, PROFINET.) RT on verkon reaaliaikainen liikennöintitekniikka, joka toimii normaalisti yhden lähiverkon alueella. Se on normaalia Ethernet-liikennettä. Siinä Profinet-data on suoraan Ethernet-verkon tietokentässä ja sen kehyksissä käytetään 802.1Q -standardin mukaista priorisointia. RT:ssä ei käytetä IP-teknologiaa. Jos halutaan RT-liikennöintiä IP-teknologialla, tulee käyttää RT-over-UDP versiota, jossa reaaliaikainen Profinet-liikenne voidaan ohjata IP-tasolla verkkojen välillä. IRT:ssä liikenne on synkronoitua Ethernet-liikennettä, jossa Ethernet-taso muuttuu. Ethernet-liikenne jaetaan IRT:ssä kahteen kanavaan. Toinen kanava on varattu reaaliaikaiselle liikenteelle ja toinen kanava normaalille IP-liikenteelle. IRT:ssä käytetään ajan synkronointia laitteiden välillä. (Silvola 2006, 40–45.) Synkronoinnin tarkkuus on n. 1 μ s luokkaa (PILZ, PROFINET).

3.1.4 Profinet-kaapelointi ja verkon testaus

Profinet-kaapelointi noudattaa yleiskaapeloinnin standardeja EN50173 ja ISO11801. Tarjolla on kuitenkin Profinet-väylän kaapelointiin tarkoitettuja kaapeleita. Tästä syystä Profinet-verkkojen kaapeloinnit voidaan mitata Ethernet-verkon testereillä eli mitään erillisiä teollisuus-Ethernet -verkon kaape-

litestereitä ei tarvita. RJ45-mittauskaapelien lisäksi saatetaan tarvita M12-liittimin varustettuja mittauskaapeleita ja adaptereita. (Profibus.) Ongelmia Profinet-verkon toiminnassa voi aiheuttaa kaapelin häiriösuojavaipan puutteellinen saattomaadoitus. Saattomaadoitus on kunnossa, jos verkon jokaisen laitteen kaapelin häiriösuojavaipat ovat yhteydessä toisiinsa sekä maadoitukseen. Myös magneettikentät saattavat aiheuttaa häiriöitä Profinet-verkon kommunikoinnissa. Mikäli etäisyydet ovat yli 90-100 m tai ympäristö on erittäin ongelmallinen, sähköisten häiriöiden takia voidaan käyttää valokuitukaapeleita. EMC-työkaluilla paikallistetaan maadoituksen ja potentiaalintasauksen ongelmista johtuvia häiriöitä. Kaapeloinnin testausta voidaan tehdä esimerkiksi Profinet-järjestelmän käyttöönotossa, ylläpidossa ja vianhaussa. (Profibus.)

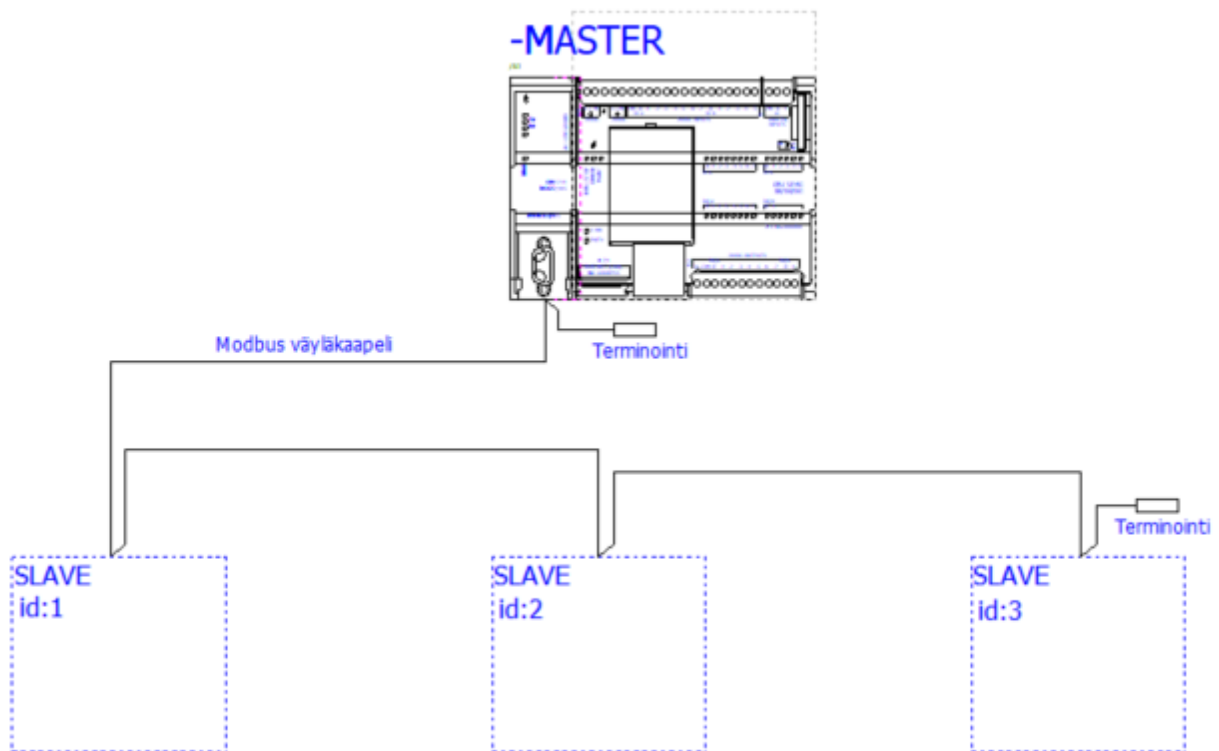
3.2 Modbus

Modbus on Modiconin vuonna 1979 julkaisema kenttäväyläteknologia. Nykyään Modiconin omistaa Schneider Electric (Real time automation 2022). Modbus on nykyään maailman yleisimmin käytetty kommunikointiprotokolla teollisuustuotannossa (Modbus Organization 2019). Modbusin suosio selittyy ainakin osaksi sillä, että se on täysin avoin standardi eli protokollan spesifikaatio on vapaasti kaikkien ladattavissa ja käytettävissä ilman lisensointi- tai rojalitkuluja (Modbus Organization 2019.) Modbus-väylän tarkoituksena on siis siirtää dataa. Dataa voidaan siirtää PLC:n ja kenttälaitteiden, kuten esimerkiksi PLC:n ja taajuusmuuttajan välillä sekä PLC:n ja tietokoneen välillä. Modbus-väylästä on kehitetty useita eri yhteyskäytäntö variaatioita eli protokollia. Protokolla on käytäntö tai standardi jonka avulla voidaan määritellä esimerkiksi väylän laitteiden välinen hierarkia, viestien rakenne, sekä kommunikoinnin toimintamekanismit (ST-käsikirja 21 Kiinteistöjen tiedonsiirtoväylät 2017, 39). Yleisimmin käytetyt protokollat ovat alkuperäinen sarjaliikennepohjaiseen tiedonsiirtoon perustuva Modbus RTU, Modbus ASCII ja Modbus TCP/IP. Tämän opinnäytetyön toiminnallisessa osuudessa käytettiin laitteiden väliseen kommunikointiin Modbus RTU-väylää.

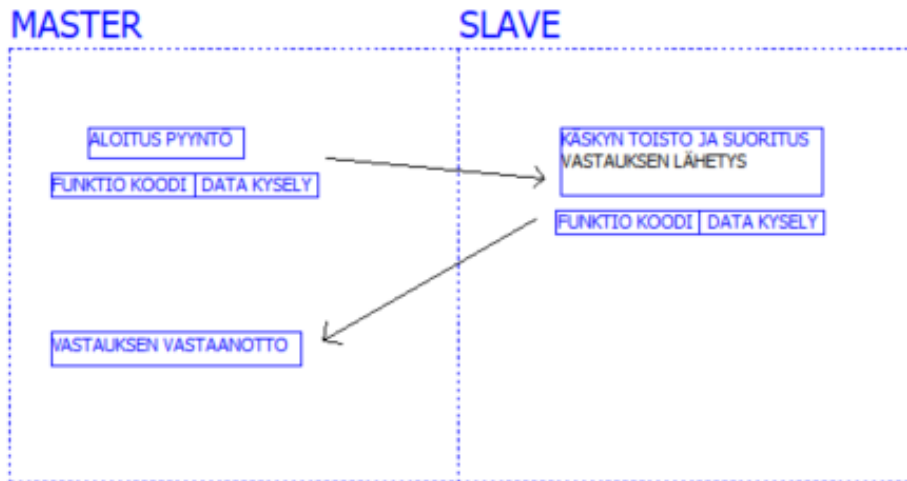
3.2.1 Kommunikoinnin periaatteet

Kommunikointi toimii master (isäntä) slave (orja) periaatteella, jonka mukaan järjestelmässä on ainoastaan yksi isäntä ja vähintään yksi orja. Orjat erotetaan toisistaan slave-id:n eli laiteosoitteen avulla. Yhden slave-id:tä käytettäessä orjalaitteiden maksimimäärä on teoriassa 256. Todellisuudessa

laitteiden väylään aiheuttaman vastuksen vuoksi maksimimäärä on vähemmän. Master-slave arkkitehtuuri on esitetty kuviossa 1. Tässä työssä käytettävässä Modbus RTU-väylässä joka käyttää RS485-standardin mukaista kytkentätapaa maksimimäärä on 32 laitetta (Modbus.org, 2006; 7.) Kommunikointi tapahtuu siten, että isäntä aloittaa yhteyden ja antaa käskyt (KUVIO 2). Vain isäntä voi aloittaa kommunikoinnin. Kommunikointitapoja on kaksi: unicast- ja broadcast-kommunikointi. Unicast-kommunikoinnissa väylän isäntä laite lähettää kyselyn joka on osoitettu vain yhdelle tietylle orjalaitteelle. Sen jälkeen orjalaitte vastaa isäntälaitteelle toistaen annetun komennon ja toimittaa pyydetyn tiedon, tai suorittaa pyydetyn toiminnon. Broadcast-kommunikoinnissa master käyttää slave-id osoitetta 0, jolloin kysely lähetetään kaikille slaveille. Broadcast-kommunikoinnissa voidaan kirjoittaa dataa kaikille väylä slaveille, mutta ne eivät vastaa missään vaiheessa. (Modbus 2006; 7.)



KUVIO 2 Master-slave arkkitehtuuri



KUVIO 3. Master-slave kommunikointi (mukaillen Real time automation 2022)

3.2.2 Modbus protokollat

Modbus RTU on Modbus-väylän ensimmäinen versio. Tiedonsiirto perustuu sarjaliikenne pohjaiseen kommunikointiin, jossa binäärinen data on koodattu heksadesimaali muotoon ja lähetetään heksalukuina. Modbus ASCII käyttää myös sarjaliikenne pohjaista kommunikointia. Se toimii muuten samalla tavalla kuin Modbus RTU, mutta siinä viestit laitteiden välillä esitetään ASCII koodiston mukaisessa kirjain, numero ja merkki muodossa. ASCII protokollaa käytettäessä kukin heksaluku siis hajotetaan kahdeksi ASCII merkiksi (Kiinteistöjen tiedonsiirtoväylät 2017, 141.) ASCII on lyhenne sanoista American Standard Code for Information Interchange. Sarjaliikennepohjaisen tiedon siirtotavan huonona puolena voidaan pitää hitautta. Tiedonsiirto sarjaliikenneprotokollaa käyttäen on hidasta, koska sillä siirretään bitti kerrallaan.

Modbus TCP/IP-protokolla on käytännössä Modbus RTU implementoituna TCP-rajapintaa vasten Ethernet-verkkotekniikalla (Wago). Modbus TCP/IP protokollaa käytettäessä kaapelointi tapahtuu CAT-kaapeleilla joissa liittintyyppi on RJ45. Kommunikointi laitteiden välillä tapahtuu samalla periaatteella kuin Modbus RTU- ja ASCII-protokollilla, mutta väylän laitteita kutsutaan termeillä client(asiakas) ja server(palvelin). Toiminta tavaltaan client vastaa isäntälaitetta (master) ja server orjalaitetta (slave). Modbus TCP/IP-verkossa client-laitteita voi kuitenkin olla useita. Verkon muoto voi myös olla niin kutsuttu tähtiverkko, mikä ei sarjaliikenne protokollilla ole mahdollista (Understanding Modbus Serial and TCP/IP 2014.) Laitteiden liittimenä käytetään yleensä RJ45 liittintä, niin kuin muissakin Ethernet-

tyyppisissä verkoissa ja protokolla tukee kaksisuuntaista tiedonsiirtoa yhtä aikaa eli full-duplex datansiirtoa. Modbus TCP/IP-protokolla viesti ei sisällä CRC virheen tarkistusta, koska TCP-protokolla itsessään sisältää virheen tarkistuksen.

3.2.3 Sarjaliikennestandardit ja kaapelointi

RS232-, RS485- ja RS422-standardit määrittelevät tiedonsiirtomallin ja kytkennät. Modbus RTU ja ASCII-protokollat käyttävät näitä tiedonsiirto- ja kytkentämalleja. Yleisimpiä ovat RS232 ja RS485. RS232 on tarkoitettu kahden laitteen väliseen tiedon siirtoon. RS232 tukee kaksisuuntaista tiedonsiirtoa eli vastaus ja uusi kysely voivat lähteä samaan aikaan. Kaapelina käytetään yleensä kaksi parista parikaapelia eli neljää johdinta. RS-232:lla kaapelin maksimi pituus on noin 15 metriä (Wago.). RS232:n suurin heikkous onkin lyhyet siirto etäisyydet.

RS-485 on suunniteltu pääasiassa teollisuusautomaatiojärjestelmien datansiirtoon. RS-485:lla kaapelin maksimi pituus ilman signaalivahvistimia on 1200 metriä. (wago). Käytettäessä RS485 standardia kaapelin pituus on kääntäen verrannollinen signaalin siirtonopeuteen. Modbus RTU protokollaa ja RS-485 standardin mukaista järjestelmää rakennettaessa tulee suorittaa terminointi väylän molempiin päihin eli sekä väylä ensimmäisellä, että viimeisellä laitteella (Soltero, Zhang, Cockril, Zhang, Kinnaird & Kugelsstadt 2002, 13). Terminointi tarkoittaa vastuksen asentamista väylän päihin (Soltero ym. 2002, 9). Terminoinnin tarkoituksena on vähentää väylän toimintaa ja tiedonsiirtoa häiritseviä induktiivisia ja kapasitiivisiä heijastumia (ST-käsikirja 21 Kiinteistöjen tiedonsiirtoväylät 2017, 56). Standardissa ei määritellä käytettävää kaapelia, mutta yleisesti käytetään yhden parin kierrettyä parikaapelia, jossa on häiriösuojavaippa häiriön vähentämiseksi.

Modbus-väylä tukee useita eri liitäntästandardeja. Liittimenä voidaan käyttää esimerkiksi 9-pinnistä D-liitintä tai johtimet voidaan myös kytkeä suoraan laitteet ruuvi- tai jousiliittimiin. RS-485:lla samaan verkkoon on mahdollista liittää 32:tä laitetta joiden impedanssi on maksimissaan 12 k Ω . (Soltero ym. 2002, 3). Laitteiden määrää voidaan nostaa käyttämällä laitteita joiden impedanssi on pienempi. Kaapelointi voidaan toteuttaa joko kaksi- (half-duplex) tai nelijohtimisella (full-duplex) systeemillä (Weis 2019). Joista Half-duplex on huomattavasti yleisempi. Half-duplex systeemi sallii tiedonsiirron vain yhteen suuntaan kerrallaan ja laitteiden yhtäaikainen kommunikointi täytyy estää. Full-duplex systeemi sallii tietoliikenteen molempiin suuntiin yhtä aikaa. (Weis 2019.) Data esitetään kahden johtimen välisenä jännite-erona. RS-422 on muuten samankaltainen RS485:een verrattuna, mutta laitemäärä on

vielä rajoitetumpi ja sekin on RS232:sen tavoin suunniteltu kahden laitteen väliseen tiedonsiirtoon (ST-käsikirja 21 Kiinteistöjen tiedonsiirtoväylät 2017, 48).

3.2.4 Tiedonsiirto Modbus-väylässä ja parametrien määrittely

Modbus laitteiden oletusarvoinen tehdasasetus baudrate eli tiedonsiirtonopeus on 19200 bittiä sekunnissa. Muitakin nopeuksia voidaan käyttää. Nopeuden valinta täytyy mitoittaa sen mukaan mitä käytetyt laitteet tukevat. Modbus-järjestelmissä ja -laitteissa tiedonsiirtoprotokollasta riippumatta tieto tallennetaan rekistereihin. Rekisterit on esitetty taulukossa 1. Discrete output Coils-rekisteriin voidaan tallettaa esimerkiksi digitaalisia tila- ja ohjaustietoja ja lukea niitä, Discrete input contacts-rekisteristä voidaan lukea digitaalisia tilatietoja, Input rekisteristä voidaan lukea analogiasia mitta-arvoja ja holding rekisteriin voidaan tallettaa analogiasia asetusarvoja sekä lukea niitä. Modbus rekisterin osoite voi siis olla esimerkiksi 40040, jolloin kyseessä on holding rekisteri ja osoite 40. Jokaiseen osoitteeseen mahtuu dataa 16-bittiä (Understanding Modbus Serial and TCP/IP 2014).

TAULUKKO 2. Modbus rekisterit (mukailen Real time automation, 2022)

Registerintyyppi		Koko	Osoite avaruus
Discrete output Coils register	Read-write	1 bit	00001 – 09999
Discrete input contacts register	Read-only	1 bit	10001 – 19999
Input register	Read-only	16 bits	30001 – 39999
Holding register	Read-write	16 bits	40001 – 49999

Modbus järjestelmän viesti on viesti, joka on koodattu heksadesimaalimuotoon. Viesti koostuu aloituksesta (start bit), orjalaitteen osoitetiedosta, funktio koodista, databiteistä, mahdollisesti yhdestä tai useammasta dataosioon sisältyvästä pariteettibitistä ja kuudestatoista CRC tarkistus bitistä sekä lopetusbitistä (stop bit). Aloitus on tauko, jolla erotetaan viestit toisistaan. Sen pituus on vähintään 3,5 tavua eli 28 bittiä. Funktio koodilla annetaan orjalaitteelle toimintakäskyjä ja sen pituus on maksimissaan 1 tavu eli 8 bittiä. Viestin data osuuden pituus on 0-252 tavua. Pariteetti bitin avulla havaitaan virheitä tiedonsiirrossa. Pariteetti tarkistuksessa viestiin lisätään bitti, jonka arvo asetetaan joko ykköseksi tai nol-laksi. Pariteettibitti asetetaan ykköseksi (odd), jos viestissä on pariton määrä ykkösiä ja nol-laksi (even), jos ykkösten määrä on parillinen luku. Modbus järjestelmässä pariteetti tarkastetaan, kun orjalaite toistaa isännälle isännän lähettämän viestin. Jos pariteetin arvo on muuttunut, tiedetään virheen tapahtu-

neen ja viestin vääristyneen. CRC virheen tarkistuksessa viestistä lasketaan tietyllä laskukaavalla kahden bitin pituinen avain lähettäjän ja vastaanottajan päässä, joita verrataan toisiinsa. Jos tulokset ovat eriäviä tiedon siirrossa on tapahtunut virhe. Jos tulokset täsmäävät isäntälaitteen antama käsky suoritetaan (Modicon 1996, 12; ST-käsikirja 21 Kiinteistöjen tiedonsiirtoväylät 2017, 140–141.). Modbus RTU viestin rakenne on esitetty taulukossa 2. Modbus-väylän viesti noudattaa Big endian tavujärjestystä. Big endian tarkoittaa laskevaa tavujärjestystä eli merkitsevin tavu ja sana lähetetään ensin ja sitten seuraavaksi merkitsevin ja niin edelleen. Modbus RTU viestin data osuudessa siis merkitsevin tavu on ensimmäisenä.

TAULUKKO 3. Modbus RTU viestin rakenne (mukaillen ST-käsikirja 21 Kiinteistöjen tiedonsiirtoväylät 2017, 140)

Viestin osa	Aloitus	Orjalaitteen osoite (slave id)	Funktio koodi	Data osio	CRC	Lopetus
Pituus (bittinä)	Vähintään 28	8	8	0-2016	16	Vähintään 28
Selite/tarkoitus	Tauko viestien välissä	Kyselyn osoitus tietylle laitteelle	Toiminto käsky	Varsinaisen datan siirto	Tarkistus summa	Tauko viestien välissä

3.2.5 Funktiokoodit

Funktiokoodit ovat orjalaitteelle annettavia komentoja. Funktiokoodilla voidaan lukea rekistereitä ja kirjoittaa niihin. Funktio koodi siis kertoo luetaanko vai kirjoitetaanko ja mihin rekisteriin toiminto kohdistuu. Myös useampaa rekisteriä on mahdollista lukea tai kirjoittaa samaan aikaan. Taulukossa 3 on esitetty yleisimmin käytettyjä funktiokoodeja.

TAULUKKO 4. Modbus funktiokoodeja (mukaiilen Modicon 1996, 22)

Code	Action
01	Read Coil Status
02	Read Input Status
03	Read Holding Register
04	Read discrete input Register
05	Write Single Coil
06	Write Single Register
15	Write multiple coils
16	Write multiple registers

4 SUUNNITTELUKYÖKALUT

Suunnittelutyökalut helpottavat suunnittelua sekä dokumentaation hallintaa. Suunnittelu työkaluja on nykyään jokaiselle osa-alueelle monta vaihtoehtoa. Automaation suunnittelussa tärkeimpiä työkaluja ovat sähkösuunnittelun-, ohjelmoinnin-, käyttöliittymän graafisen suunnittelun työkalut. Suunnittelutyökalujen valintaan vaikuttaa moni tekijä kuten suunnittelijan tai suunnittelevan yrityksen kokemus työkaluista sekä mahdollisesti asiakkaan vaatimukset. Logiikka komponenttien, sekä käyttöliittymän komponentti valinnat määrittelevät yleensä ohjelmointi- ja käyttöliittymäsuunnittelun työkalut. Myös kokemukset suunnittelu työkaluista vaikuttavat komponenttien valintaan. Tässä opinnäytetyössä esitellään käytännön toteutuksessa valitut ja käytetyt automaatio-suunnittelun työkalut.

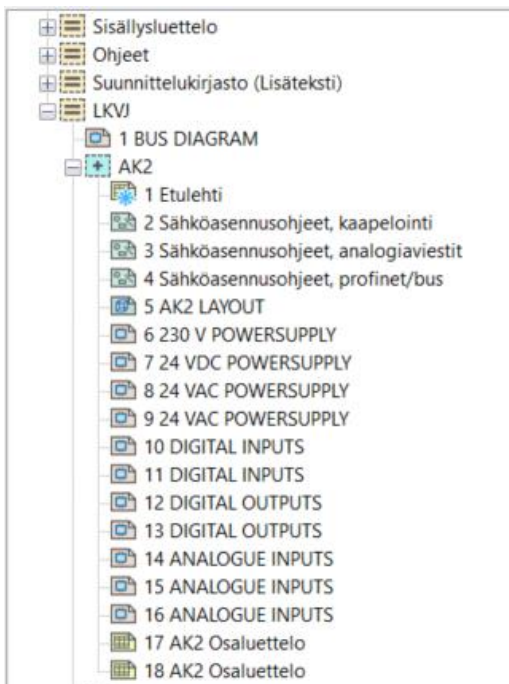
4.1 Sähkösuunnittelu Eplan Electric P8 ohjelmistolla

Laadukkaiden sähköisten ohjausjärjestelmien rakentamiseksi tarvitaan laadukkaita dokumentteja. Koneiden, laitteiden ja prosessien sähköisiä ohjausjärjestelmiä kuvaavia piirustuksia, kaavioita ja muita dokumentteja voidaan tuottaa EPLAN Electric P8 suunnitteluohjelmistolla. Näitä dokumentteja tarvitaan esimerkiksi sähkökomponenttien sijoitteluun sähkökaapeissa ja sähkökaappien kytkentöjen tekemiseen. Lisäksi dokumentit tallennetaan myöhempää käyttöä varten ja niitä tarvitaan, kun tehdään muutoksia ohjausjärjestelmään tai laitetta korjataan. Tämän opinnäytetyön sähkösuunnitteluosuudessa piti mm. suunnitella useita laitekoteloita, määrittää useita kymmeniä komponentteja, suunnitella komponenteille merkinnät ja kytkeä komponentit toisiinsa toimivasti kaapeleilla ja johdoilla. Kaapeleiden ja johtojen poikkipinnat, reitit ja sijoittelut oli määritettävä, päätettävä johdinvärit ja merkinnät. Komponenttien mitoitus ja sijoittelut oli suunniteltava. Dokumentointi vaati kymmeniä sivuja

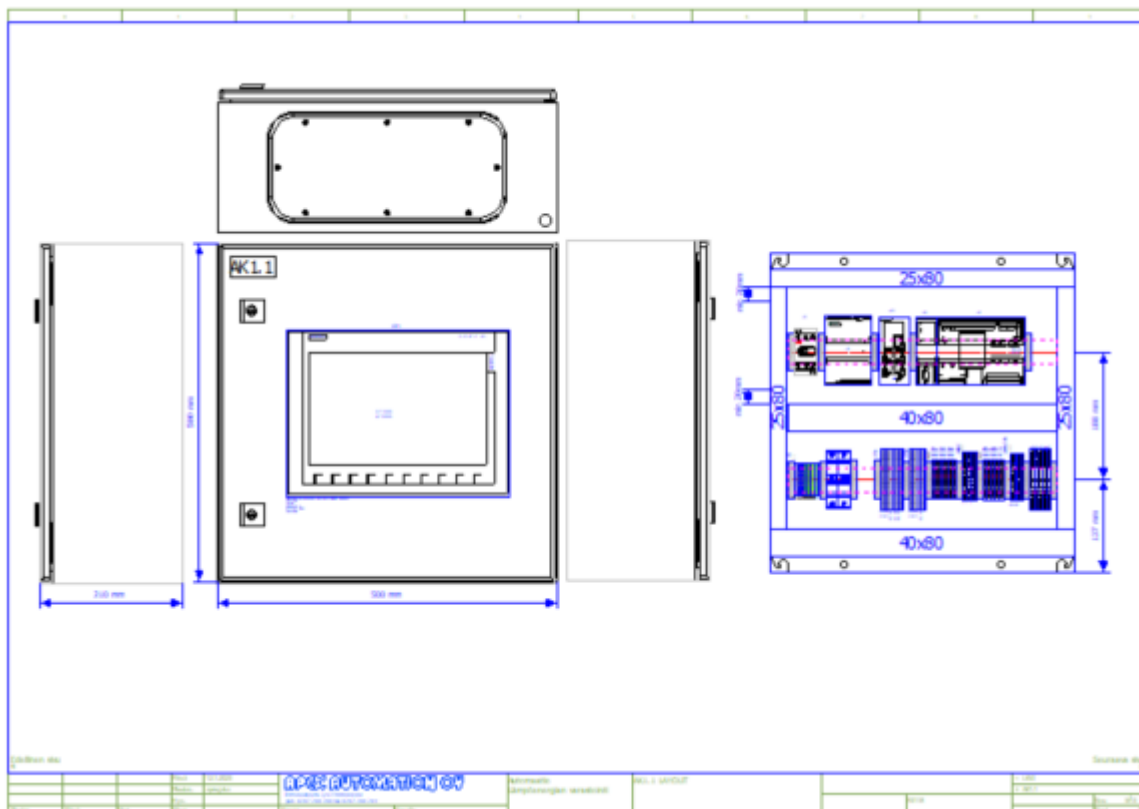
EPLAN Electric P8 on integroitu ja nopea suunnittelujärjestelmä. Sen avulla voi tehdä tehokkaasti esimerkiksi koneiden ja laitteistojen sähkösuunnittelun. Ohjelmistolla voi luoda dokumentteja manuaalisilla ja mallipohjaisilla menetelmillä. Projektitiedot syötetään kaavioon ja tiedot muodostavat perustan laitteistojärjestelmän dokumentaatiolle. Ohjelmistolla voi tuottaa monia muitakin dokumentteja kuin vain sijoittelu-, kytkentä- ja piirikaavioita. Sähkösuunnittelun aikataulutavoitteet ovat projektityypissä toimituksissa usein vaativia ja asiakkaat vaativat yksilöllisiä suunnitelmia. Automaattinen raporttien generointi, joka perustuu piirikaavioihin, on olennainen osa kattavaa suunnittelujärjestelmää. Se tarjoaa projektin myöhemmissä vaiheissa myös tarvittavat tiedot hankintaan, kokoonpanoon, käyttöön-ottoon ja huoltodokumentaatioon. Ohjelmiston käyttö vaatii kuitenkin paljon tietämystä ja harjoittelua,

jotta kaikki tiedot tulee täytettyä ohjelmistoon oikein. (EPLAN.) Eplanissa projektin piirustuskokonaisuudet ja eri sivut voidaan esittää joko projektipuu näkymässä tai listana. Sivuille voidaan myös luoda eri tasoja ja sivut voidaan määritellä eri tasoille, jolloin ne näkyvät projektipuussa oman tasonsa alla. Projektipuu on esitetty kuviossa 4. Myös komponentit voidaan esittää samanlaisessa puunäkymässä ja ne tulevat näkymään automaattisesti, kun ne liitetään kuvaan.

Eplan Electric P8 ohjelmiston etuna ovat laajat standardi symbolikirjastot sekä laajat komponenttikirjastot, jotka sisältävät komponentin mitat, valmistajan, valmistajan tyyppikoodin, tilausnumeron sekä sähköiset arvot. Tämä kaikki data siirtyy komponentin mukana, kun se liitetään suunnitelmiin. Ohjelmistolla pystytään generoimaan automaattisesti osaluettelot, kytkentälistat ja kaapeliluettelot piirikaavioiden ja keskuslayoutkuvien komponenteista. Keskuslayout on kuva, josta on nähtävissä sähkökeskuksen tai ohjauskotelon komponenttien fyysiset sijoitus paikat. Kuviossa 5 on esimerkki Eplan ohjelmistolla piirretystä keskuslayout kuvasta. Toinen etu on se, että kun komponentit liitetään keskuslayoutiin komponentti kirjastosta, ne ovat valmiiksi mittakaavassa. Tästä on se hyöty, että voidaan keilemällä, ilman laskemista testata minkä kokoiseen koteloon tarvittavat komponentit mahtuvat. Eplan electric p8 ohjelmisto on kuitenkin hankinta hinnaltaan kohtuullisen kallis ja vaatii vakiokomponenttien käyttöä, jotta sen kirjastoja voi hyödyntää. Koska ohjelmisto perustuu tietokantoihin ja sen tehokas käyttö vaatii omien kokemusten mukaan myös enemmän harjoittelua, kuin esimerkiksi AutoCad pohjaisten ohjelmistojen.



KUVIO 4. Eplan projektipuu



KUVIO 5. Keskuslayout Eplan

4.2 Siemens logiikka ohjelmointi TIA Portal

TIA Portal on Siemensin julkaisema ohjelmointi ja suunnittelu ympäristö. TIA Portalissa on mahdollista suunnitella ja ohjelmoida Siemensin valmistamat PLC:t, parametroida Siemensin taajuusmuuttajat sekä ohjelmoida ja visuaalisesti konfiguroida Siemensin HMI:t (Human Machine Interface) eli näyttöpaneelit ja valvomo pc:t. TIA Portal korvasi Siemensin aikaisemman sukupolven mainittuja laitteita varten kehitetyt erilliset sovellukset, joiden päivitettyt versiot ovat kaikki integroituna TIA Portal ympäristöön.

4.2.1 Ohjelmointikielät

PLC ohjelmoinnissa eli logiikka ohjelmoinnissa TIA Portal tukee useita ohjelmointikieliä, jotka ovat STL (statement list), LAD (ladder logic), FBD (funktion block diagram), SCL (structured control language) ja GRAPH. Kaikki kielet eivät ole käytössä kaikilla logiikka tuotteilla/sarjoilla. STL on tekstipohjainen ohjelmointikieli, joka koostuu peräkkäisistä omilla riveillään olevista käskyistä (Siemens 2016, 6165). Käskyt koostuvat operaattoreista, jotka taas koostuvat yhdestä tai useammasta operandista. Operaattori kertoo mitä tehdään eli esimerkiksi vaihdetaan jonkun muuttujan tila nollassa ykköseksi tai lisätään sen arvoon yksi. Operandilla kerrotaan mihin muutokset tehdään ja ne ovat muuttujia, tuloja tai lähtöjä. Ohjelman käskyt käsitellään ylhäältä alaspäin järjestyksessä, mutta myös hyppykäskyjä on mahdollista tehdä.

LAD eli tikapuukaavio muistuttaa vanhojen relelogiikoiden kytkentäkaavioita ja onkin sähköalaa opiskelleille siksi helppo ymmärtää ja omaksua. Vasemmalla oleva pystyviiva voidaan ajatella jännitekiskoksi ja oikeassa reunassa on nollassa. Kuvion 3 yläosassa on esitetty tikapuukaaviolla toteutettu yksinkertainen ohjelman osio, sekä tulon Digital input I0.0, että syklisen muuttujan Clock_1kHz tilan täytyy olla ”1”, jotta lähdön Q0.1 tila muuttuisi tilaan ”1”.

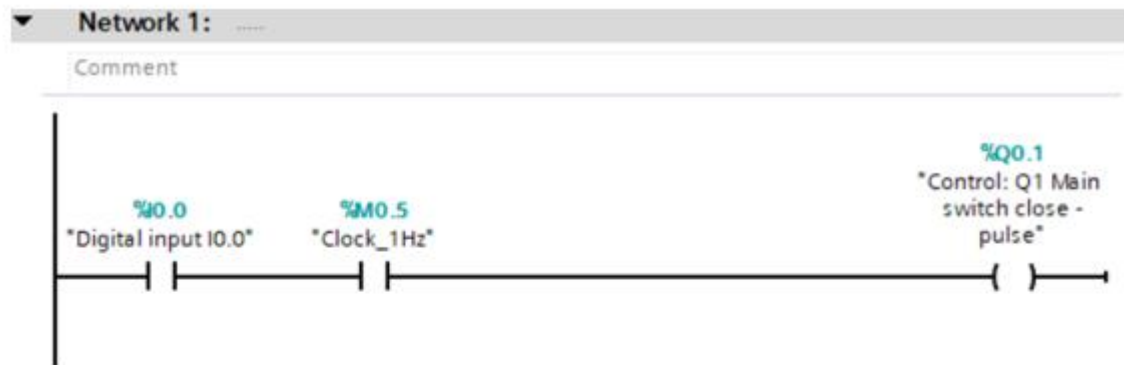
FBD:ssä eli toimilohkokaaviossa ohjelmointi komponentit eli lohkot ovat laatikoita, joita yhdistelmällä luodaan toiminnallinen kokonaisuus ja määritellään ehdot. FBD:n etuna on se, että siinä lohkojen välinen riippuvuus on nähtävissä selvästi ja ehtojen toteutumista on helppo seurata, mikä tekee vian etsinnästä helpompaa. Kuvion 3 keskiosassa on esitetty saman toiminnallisuuden toteutus FBD:llä kuin ylempänä tikapuukaaviolla.

SCL on tekstipohjainen ohjelmointikieli, joka on Siemensin versio ST (Structure Text) kielestä. SCL ja ST kielet muistuttavat perinteisiä ohjelmointikieliä kuten Pascal. Kuvion 3 alaosassa on toteutettu funktioiden kutsuminen SCL kielellä. GRAPH on ohjelmointikieli, joka soveltuu sekvenssien tekemiseen. GRAPH kielellä muotoillaan sekvenssin runko ja toiminnallisuudet ohjelmoidaan jollain aikaisemmin esitellyistä kielistä. Itselleni tuttuja ohjelmointikieliä ovat LAD, FBD, SCL ja GRAPH.

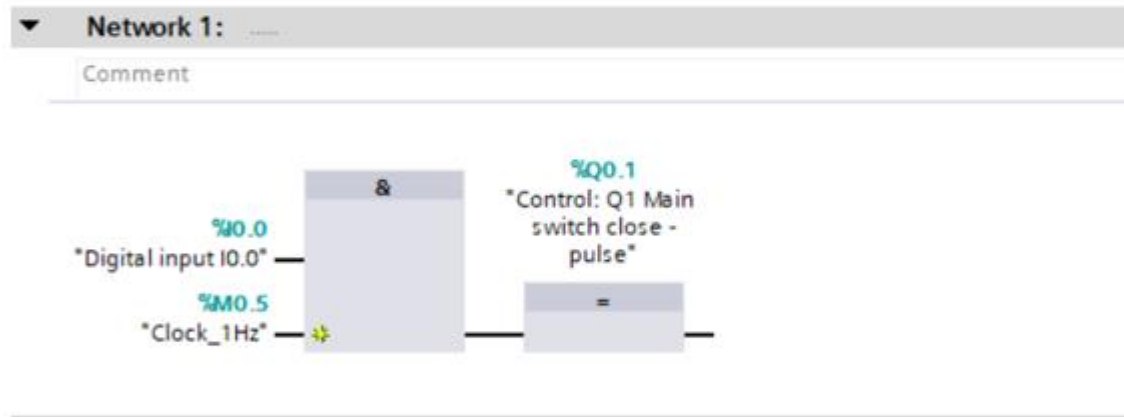
4.2.2 Ohjelmointi

Ohjelma jakautuu erilaisiin organisointi yksiköihin, jotka ovat ohjelmalohkoja. Organisointi yksiköitä on neljää eri tyyppiä. Organisointilohko (OB = Organization Block), Funktio (FC = Function), Datalohko (DB = data block) ja Funktiolohko (FB = Function Block). Organisointilohkot muodostavat rajapinnan ohjelman ja CPU:n käyttöjärjestelmän välille ja niissä hoidetaan funktioiden ja funktiolohkojen kutsuminen. Funktiot ovat lohkoja joihin yleensä rakennetaan yksi usein tarvittava toiminnallisuus tai laskenta. Niillä ei ole omaa muistia, joten niiden käsittelemät muuttujat nollautuvat ohjelmakiertojen välillä jos tietoa ei tallenneta johonkin, kuten esimerkiksi globaaliin datablokkiin. Datalohkoja on kahta eri tyyppiä: instanssi datalohko ja globaali datalohko. Instanssi datalohko liittyy aina johonkin tiettyyn funktiolohkoon ja globaaliin datalohkoon voidaan tallentaa dataa mistä vain osasta ohjelmaa. Funktiolohkoilla on oma muisti, joka on siis instanssi datalohko, joka luodaan automaattisesti funktiolohkon luomisen yhteydessä.

LAD



FBD



SCL



KUVIO 6. TIA Portal ohjelmointikieliä

5 APEX AUTOMATION OY

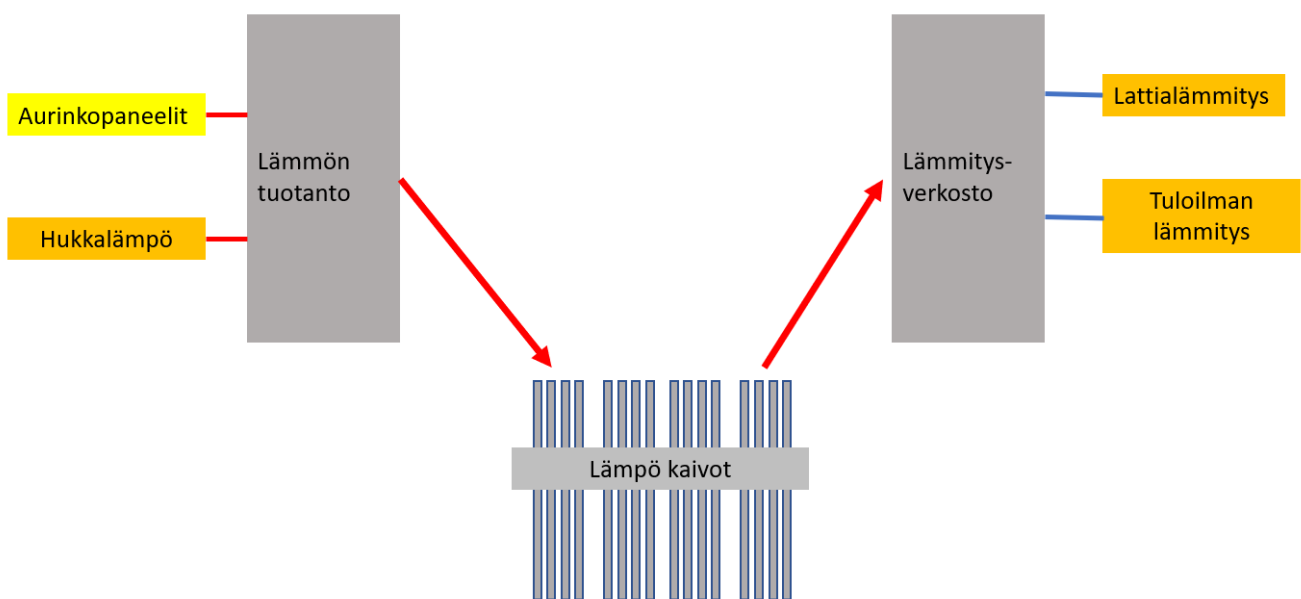
Apex Automation on perustettu vuonna 1993. Yrityksen päätoimipiste sijaitsee Kokkolassa. Lisäksi yrityksellä on pienempi toimipiste Vaasassa. Vuosien kuluessa yritys on kasvanut merkittäväksi toimijaksi alallaan. Vuosien varrella se on ollut mukana monenlaisissa projekteissa. Tätä kirjoitettaessa oli tehty 2 111 projektia. Apex on toiminut 30-vuotta ja töissä on yli 50 ammattilaista. Yritys toimittaa asiakkailleen automaatio- ja sähkösuunnittelupalveluja kokonaisratkaisuuina tai pienempinä kokonais-toimituksina. Lisäksi palveluihin kuuluvat erilaiset koulutus-, konsultointi- ja muut asiantuntijapalvelut. Asiakasryhminä ovat mm. energiatuotanto- ja jakeluyhtiöt sekä alan järjestelmätoimittajat, teollisuuden laite- ja järjestelmätoimittajat, prosessiteollisuus, sähkölaitteiston rakennuttajat ja rakentajat sekä kuntien puhdas- ja jätevesikäsittelyratkaisut. Palveluina ovat mm. automaatio- ja sähkösuunnittelu, sähkö- ja koneturvallisuuden asiantuntijapalvelut ja yhteistyörobotit. Toimialoina ovat mm. lämpölaitokset ja kaukolämpöverkot, vesivoimalaitokset, prosessiteollisuus, elintarviketeollisuus, puunjalostusteollisuus, metalliteollisuus, autoteollisuus, vedenkäsittely sekä sähkö- ja koneturvallisuus. (Apex Automation.)

6 FINN SPRING OY

Finn Springin ovat perustaneet Hannu ja Virpi Ali-Haapala vuonna 1991. Yrityksellä on kaksi lähdevesitehdasta Suomessa. Pääyksikkö on Toholammin Härkänevalla ja toinen tuotantolaitos Lestijärvellä. Vuonna 1994 yritys pullotti 2,5 miljoonaa litraa lähdevettä ja nykyään jo 90 miljoonaa litraa. Nykyään yritys on Suomen suurin lähdevesien pullottaja ja työllistää noin 100 henkilöä. Härkänevan pää-toimipisteen yhteydessä on myös tehtaanmyymälä, kahvilaravintola, kuntosali ja lähdevettä hyödyntävä uimahalli Lyllyn Pisara. Vuonna 2011 yritys kansainvälistyi ja osti ruotsalaisen virvoitusjuomatehtaan Guttsta Källa AB:n. Tytäryhtiö valmistaa luonnon mineraalivesituotteita asiakkaiden omilla merkeillä. Ruotsin tehtaan konekantaan on investoitu merkittävästi. (Finn Spring 2020a.)

7 FINN SPRING LÄMMÖN KAUSIVARASTOINTIJÄRJESTELMÄ

Toholammilla Finn Springin tehtaalla otetaan tuotannon ylijäämälämpö talteen ja varastoidaan maahan (Hiltunen 2020). Varastoitava lämpö syntyy tehtaan paineilmalaitteissa, joiden tuottama hukkalämpö aikaisemmin meni kirjaimellisesti hukkaan. Tehtaan kompressoreilta saatava hukkalämpö ladataan 50 metria syvään ja 30 metriä halkaisijaltaan olevaan 63 kaivon maavarastoon. Myös Finn Springin konttorirakennuksen katosta osa on aurinkokeräinkattoa, joka tuottaa lämpöä maavarasto-kenttään kesän aikana. Finn Springillä katon osuus on tosin pieni, tehtaalta saatavan suuren hukkaenergian takia. Varastoitavasta lämmöstä noin 90 % tulee tuotannon hukkalämmöstä ja 10 % aurinko-keräinkatosta. Maavaraston kaivot oli jaettu neljään ryhmään. (Sander, Viitala & Saviranta.) Lämmön kausivarastointijärjestelmän periaatekuva on esitetty kuviossa 7.



KUVIO 7. Lämmön kausivarastointijärjestelmän periaatekuva

Lämpövarastoon kerätyn lämmön avulla lämmitetään Finn Springin toimistotiloja ja samassa rakennuksessa sijaitsevan uimahallin tiloja. Kun maavarastokenttä on ladattu kesän aikana lämmöllä, alkaa Finn Springin konttori seuraavana talvena käyttää siitä saatavaa lämpöä lämmitykseen. Lämmityskauden aikana alue lämpenee noin kymmenellä asteella kuukaudessa. GTK:n simulaation mukaan varasto lämpenee 65 asteeseen, kun se on täynnä (KS-geoenergi). Simulaation mukaan siitä saadaan jatkuva

100 KW:n teho kuuden kuukauden ajan. Se riittää paremmin kuin hyvin ainakin toimistotilojen lämmittämiseen (KS-geoenergi).

Maavarasto voi jäätyä, kun aurinkokeräimästä tulee viileää propyleeniglykoolia auringon ollessa matalalla. Varaston ydin viilenee, jos siihen johdetaan viileää propyleeniglykoolia. Tämä ongelma on ratkaistu jakamalla maavaraston erikseen ladattaviin osioihin. Kun aurinko on kesäisin korkealla ja lämmittää keräimet kuumiksi, johdetaan lämpö maavaraston ytimeen ja kun aurinko laskee ja ilma viilenee, johdetaan lämpö reunoille. Automaatiolla ohjataan tätä prosessia ja optimoidaan varastoitava energia.

Järjestelmän automaation ohjaus toteutettiin Siemens S7-1200 PLC:llä. Järjestelmän venttiilien asentotiedot luettiin suoraan Siemensin CPU:n digitaalituloilla. Mittaustiedot taas luettiin Asparin valmistamien analogia- ja digitaalitulo moduulien avulla, joissa oli Modbus RTU kommunikointi. Digitaaliset ohjaukset toteutettiin suoraan Siemensin CPU:n lähdöillä. Analogisia säätimiä ohjattiin Modbus RTU väylän avulla. Osa kentälaitteista oli siis älykkäitä kentälaitteita, jotka kommunikoivat suoraan automaatiokenttäväylällä Siemensin CPU:n kanssa. Järjestelmän kentälaitteet on esitelty taulukossa 5. Taulukosta 5 voi myös muodostaa käsityksen järjestelmän koosta, tarkastelemalla määrää saraketta. Järjestelmän operointipaneelina toimi Siemens KTP1200 kosketusnäyttöpaneeli, johon rakennettiin järjestelmän käyttöliittymä. Järjestelmään oli suunniteltu lisättäväksi myös lämpöpumppu, mutta sitä ei vielä asennettu, eikä lisätty ohjelmakoodiin tässä vaiheessa. Opinnäytetyöhön kuului myös sähkösuunnittelu ohjauskoteloiden osalta. Ohjauskotelot sisälsivät Siemens:n CPU:t, tulokortit, Profinet-kytkimen, Modbus kommunikointikortin ja Asparin tulo- ja lähtömoduulit sekä riviliittimet ja muut tarvittavat komponentit.

TAULUKKO 5. Kenttälaitteet

Laite/anturi	Malli/Tyyppi	Määrä	Lisätietoja
Lämpötila-anturi	PT100	25	Kytetään Aspar 6TE moduuleihin
Energiamittari	Axioma Qalcosonic E1	8	Mittaa virtauksen ja meno- ja paluu lämpötilat
Pyrometri	KIPP & ZONEN	1	Kytetään AK2-A2.1 (Aspar 1AI). Data Modbus:n kautta PLC:lle
Paineanturi	Telemecanique XMLP004GD11F	1	Kytetään AK2-A2.1 (Aspar 1AI). Data Modbus:n kautta PLC:lle
Painekytin	Telemecanique XMPA06B2131C	2	Kytetään AK1.2-A2.1 (Aspar 4DI). Data Modbus:n kautta PLC:lle
PID-säädin	Pro dual PDS 2	3	Modbus kommunikointi PLC:n kanssa
Lämpötila-anturi	PT1000	4	Kytetään Pro dual PID-säätimelle
Moottoriventtiili	Belimo R2050-40-S4 Actuator: NR24A-S	3	Ohjaus 0-10 V Pro dual PID-säätimellä
Venttiili	Belimo R2050-40-S4 Actuator: SR24A-S	11	2-asentoa. Ohjaus PLC:n digitaali-lähdöllä ja välireleellä. Tilatieto suoraan PLC:n tuloihin.
Pumppu	Stratos 40-1-16	1	P001. Ohjaus: Modbus module Wilo-IF-Module Stratos RS485
Pumppu	Stratos 25 1-10	1	P002. Ohjaus: Modbus module Wilo-IF-Module Stratos RS486
Pumppu	Stratos MAXO 40/0,5-16 PN 6/10	1	P003. Ohjaus: Modbus module CIF-Module Modbus RTU
Pumppu	Stratos 25 1-10	1	P004. Ohjaus: Modbus module Wilo-IF-Module Stratos RS486
Pumppu	Stratos MAXO 25/0,5-12 PN10	1	P005. Ohjaus: Modbus module CIF-Module Modbus RTU

8 ESISUUNNITTELU

Ensin täytyi muodostaa kokonaiskuva järjestelmän rakenteesta, toiminnasta sekä siitä miten sitä pitäisi säätää ja ohjata. Kokonaiskuva alettiin muodostaa tutustumalla järjestelmän PI-kaavioon ja käymällä paikan päällä tutustumassa prosessiin ja prosessilaitteisiin. Laittevalinnat kenttälaitteiden osalta oli jo tehty ja laitteet hankittu. Järjestelmän kenttälaite valinnat pohjautuivat kiinteistöautomaatio tekniikkaan ja niissä oli Modbus kommunikointi ominaisuudet, joten kenttäväyläksi valittiin Modbus-RTU. Järjestelmässä oli siis komponenttivalinnat määrittelemättä CPU:n sekä digitaali-IO:n osalta. Ohjauskoteloiden sisältö täytyi siis määritellä luukuunottamatta Asparin IO-yksiköitä, jotka oli jo hankittu. Kun kokonaiskuva oli muodostettu, päivitettiin IO-listaa, joka oli myös jo osittain tehty kenttälaitteiden osalta. IO-listaan merkittiin logiikka laitteen tunnus, lähtöjen ja tulojen numerot sekä tieto mikä mittaus kyseiseen tuloon kytketään tai mitä kenttälaitetta kyseinen lähtö ohjaa. Myös Modbus-laitteiden slave-id:t ja Modbus-osoitteet merkittiin IO-listaan. Jokaisesta Modbus:n kautta luettavasta mittauksesta ja asentotiedosta on siis IO-listassa ylhäällä slave id, joka yksilöi miltä laitteelta tieto luetaan ja Modbus-osoite, josta käy myös ilmi mistä rekisteristä tieto luetaan ja mistä kohdasta rekisteriä. Samoin myös Modbus-väylällä kirjoittavien ohjaus muuttujien osalta. Jos kyse oli bitti tiedosta, merkittiin ylös myös bitin numero, jossa kyseinen data on. Taulukossa 6 on esimerkki Modbus-osoite sarakkeen esityksestä IO-listassa. Jo asennuttujen laitteiden slave id tietoja ei ollut heti käytettävissä ja ne lisättiin listaan myöhemmin ja listaa jouduttiin toteutussuunnitteluvaiheessa hiukan päivittämään. Modbus osoitteet ja tarvittavat bitti numerot saatiin tietoon laitteiden manuaaleista.

TAULUKKO 6. Modbus-osoite IO-listassa

Modbus address
slave id: 1 register: 30051 bit: 1
slave id: 1 register: 30051 bit: 2

9 TOTEUTUSSUUNNITTELU

Toteutus suunnitteluun kuuluivat sähkösuunnittelu ja ohjelmointi sekä käyttöliittymän rakentaminen. Ohjelmointiin ja käyttöliittymän rakentamiseen kuului myös paljon ohjelmakoodin, käyttöliittymän sekä kommunikointien testausta. Kommunikoinnissa eniten testattavaa ja selvittämistä oli Modbus kommunikoinnissa. Lopuksi käyttöliittymää varten kirjoitettiin lyhyt käyttöohje. Kaikkien dokumenttien sekä käyttöliittymän kieli oli asiakkaan toivomuksesta englanti. Automaation suunnittelussa suunnittelun eri osa-alueet ovat yhteydessä toisiinsa, joten esimerkiksi ohjelmakoodin täytyy vastata piirikaavioiden ja IO-listan tietoja. Tässä projektissa tilanne oli helpompi, koska tein itse kaikki toteutus suunnittelun osa-alueet ja ohjelma koodi tehtiin sähkökuvien ja IO-listan perusteella. Joidenkin logiikkalaitteiden haastavan saatavuuden takia suunnittelun alussa päädyttiin ratkaisuun käyttää järjestelmän ohjauksessa yhden keskusyksikön ja etä-IO moduulin sijasta kahta Siemens S7-1200 sarjan keskusyksikköä, joista toiseen tehdään varsinainen ohjelmakoodi ja toista käytetään pelkästään IO-laitteena

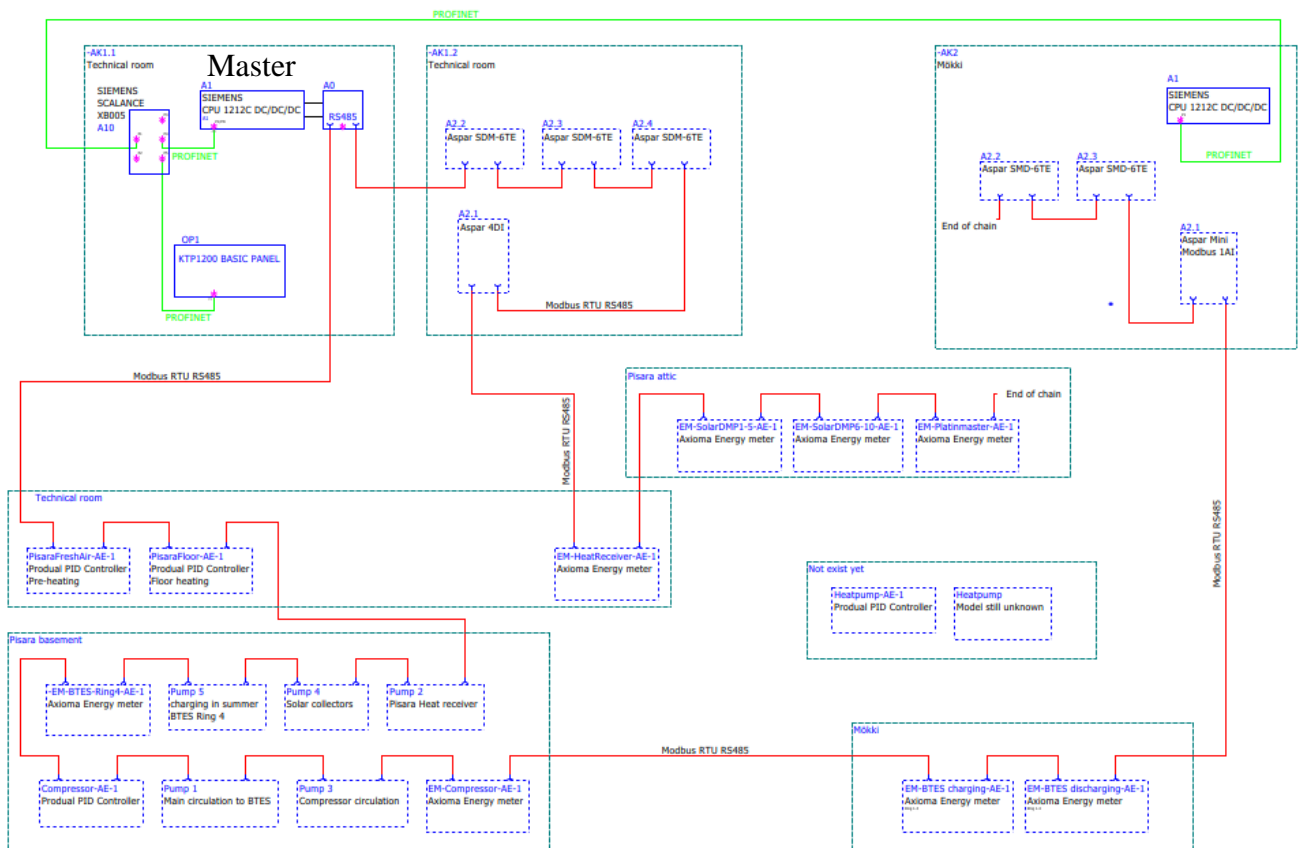
9.1 Sähkösuunnittelu

Automaation ohjauksen toteutussuunnittelussa lähdettiin liikkeelle sähkösuunnittelusta ja komponenttien valinnasta. Tarpeen oli suunnitella automaatiokeskukset logiikkalaitteille, tehonlähteille, muuntajille ja muille tarvittaville komponenteille. Keskuksista tehtiin layoutkuvat sekä piirikaaviot. Komponenttien valintaan vaikuttivat myös niiden saatavuus ja toimitusaika. Joidenkin elektroniikka komponenttien luvatut toimitusajat olivat tämän opinnäytetyön suunnittelun aikaan todella pitkiä. Joidenkin logiikkalaitteiden haastavan saatavuuden takia suunnittelun alussa päädyttiin ratkaisuun käyttää järjestelmän ohjauksessa kahta Siemens S7-1200 sarjan keskusyksikköä, joista toiseen tehdään varsinainen ohjelmakoodi ja toista käytetään pelkästään IO-laitteena. Toisen CPU:n mallia vaihdettiin kaksi kertaa, koska yritettiin ensin pärjätä vähemmän muistia sisältävällä CPU:lla, joita oli helpompi saada. Todettiin kuitenkin, että järjestelmän vaatima ohjelma koodi vaatii sen verran muistia, että valittiin S7-1200 eniten muistia sisältävä versio. Sähkösuunnittelussa työkaluna toimi EPLAN Electric P8 suunnitteluohjelmisto, jota Apex Automation Oy käyttää nykyään lähes kaikessa sähkösuunnittelussa. Suunnittelu aloitettiin keskus layoutin piirtämisellä ja kokeilemalla, miten laitteet ja komponentit sopivat koteloihin. Ensin ajatuksena oli sijoittaa laitteet ja komponentit kahteen eri keskukseseen, jotka sijaitsivat eri rakennuksissa. Suunnitelmia kuitenkin muutettiin, koska keskuskeloita ja osa komponenteista oli

hankittu hankkeeseen jo aikaisemmin ja nähtiin tärkeäksi, että riviliittimiä saadaan mahtumaan tarpeeksi kaikille keskuksiin tuleville kaapeleille. Lopulta päädyttiin kolmeen keskukseseen, joista kaksi sijaitsevat samassa tilassa vierekkäin. Myös laitteiden jäähdytys tila piti ottaa huomioon suunnittelussa.

Kun kotelot oli määritelty ja layoutit oli saatu suunniteltua ja piirrettyä siirryttiin suunnittelemaan piirikaavioita. Piirikaavioissa esitetään laitteiston sähköiset toiminnot ja kytkennät.

Lopuksi piirrettiin väyläkaavio koko järjestelmästä. Modbus väylän rakenne oli suunniteltava huolella mahdollisten ongelmien välttämiseksi. Verkon muoto eli topologia oli väylätopologia. Väylätopologia tarkoittaa, että verkon laitteet ovat ketjussa ja ketjulla on alku- ja loppupää. Alku- ja loppupäät määritettiin 120:en ohmin vastuksilla. Väylä kaapelin häiriösuojavaippa maadoitettiin isäntälaitteet kohdalta.



KUVIO 8. Järjestelmän väyläkaavio

9.2 PLC ohjelmointi

Ennen PLC ohjelmoinnin aloitusta päivitettiin IO-lista uusien suunnitelmien mukaiseksi. Kuten esisuunnittelu kappaleessa kerrottiin osa järjestelmän laitteista, oli jo asennettuna ja niille oli parametroitu Modbus slave id:t. Jo asennuttuihin laitteisiin määritellyistä slave-id osoitteista ei kuitenkaan ollut lisäystä. Jo asennettujen laitteiden modbus slave id osoitteet lisättiin IO-listaan samalla kun kommunikointia rakennettiin ohjelmassa sitä mukaa, kun niiden osoitteita saatiin tietoon. Ohjelmointi tehtiin TIA Portal -suunnittelujärjestelmään kuuluvalla Step 7 ohjelmistolla. Järjestelmän ohjauksessa käytettiin kahta Siemens S7-1200 sarjan keskusyksikköä, joista toiseen tehtiin varsinainen ohjelmakoodi ja toista käytettiin pelkästään IO-laitteena. Järjestelmässä tuli siis Siemens 1215C CPU ja 1212C CPU. Enemmän muistia sisältävä 1215C määriteltiin järjestelmän ohjainlaitteeksi (IO-controller) ja 1212C IO-laitteeksi (IO-device). Kaikki järjestelmän ohjaukseen liittyvä koodi on siis ohjainlaitteen muistissa ja toista CPU:ta käytetään vain hajautettuna IO:na. Koska IO-controller ja IO-device välisessä kommunikoinnissa lähdöt kääntyivät tuloiksi ja tulot lähdöiksi, IO-controller CPU:n ohjelmassa tulot käännettiin takaisin tuloiksi ja lähdöt lähdöiksi.

Työssä käytettiin SCL ja FBD ohjelmointikieliä. FBD:llä ohjelmointiin kaikki toiminnallisuudet ja SCL:llä vain kutsuttiin aliohjelmaa pääohjelmassa eli organisointilohkossa, koska se oli kätevämpi siihen. Järjestelmän automaattista ohjausta varten tehtiin oma funktio, jonka ohjelma koodi tehtiin asiakkaan tekemän totuustaulun mukaan. Ohjelmassa oli omat funktiot myös skaalauksille, mittauksille, hälytyskäsitteilylle, käsiajoille, datankeräykselle, järjestelmän kellon käsittelylle, yleisille pulssimuuttujille ja Modbus kommunikoinnille. Ohjelma koodin testausta varten rakennettiin testilaitteisto, johon asennettiin Siemens CPU:t, Siemens Modbus-kommunikointikortti, järjestelmään tuleva kosketusnäyttöpaneeli sekä kolme Modbus-kommunikointia käyttävää laitetta. Modbus-väylään liitetyt laitteet olivat myös niitä samoja, jotka testien jälkeen asennettiin lämmönkausivarastointijärjestelmään.

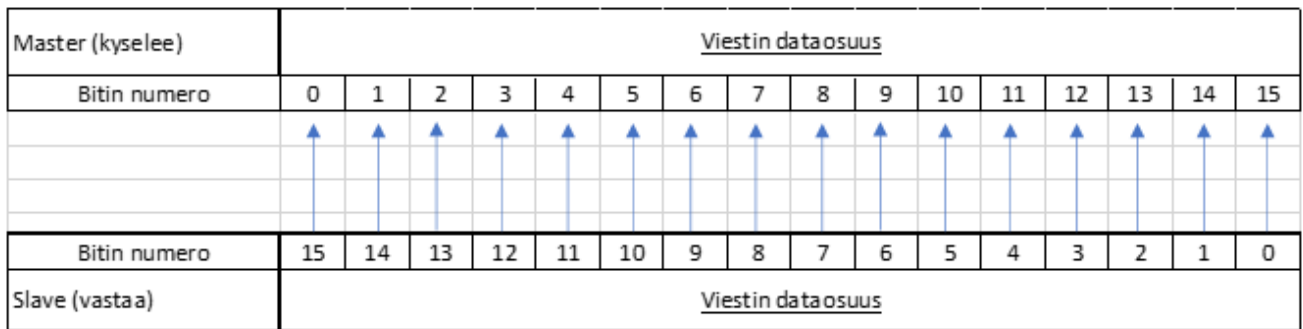
9.2.1 Modbus kommunikointi

TIA-portalissa on Modbus kommunikointia varten valmiit lohkot. ”Modbus_comm_Load” lohko on ikään kuin kommunikoinnin alustus, johon määritellään isäntälaitteen käyttämä tiedonsiirtoportti, tiedonsiirto nopeus sekä käytetäänkö pariteettitarkistusta ja jos käytetään määritellään käytetäänkö parilista (even) vai paritonta (odd) pariteettia. Koska kyseisessä järjestelmässä Siemens CPU toimi isäntälaitteena (master), toinen tarvittava lohko oli ”Modbus_master” lohko. Master lohkon määritellään

”mode” eli luetaanko vai kirjoitetaanko: kohteena olevan orjalaitteen osoite, rekisteri, datan osoite rekisterissä, datan pituus sekä datan tallennus kohde CPU:n ohjelmassa luettaessa dataa orjalaitteelta tai hakukohde kun kirjoitetaan dataa orjalaitteelle. Ohjelmassa molempia mainittuja lohkoja oli yksi kappale. Molemmat lohkot sisältävät myös valmiin häiriökoodin (error message) muodostuksen. Häiriökoodista voidaan luku- tai kirjoituskäskyn suorituksen epäonnistuessa tulkita mistä epäonnistuminen johtuu. Häiriökoodi kuitenkin näkyy vain sen ajan, kun se on aktiivinen ja ohjelmakierto on niin nopea, ettei häiriökoodia ehtisi lukea. Sen vuoksi täytyi luoda muuttuja, johon siepataan ja tallennetaan aina viimeisin häiriökoodi.

Järjestelmän Modbus-väylässä oli 24 orjalaitetta ja tarpeen oli sekä lukea dataa orjalaitteilta, että kirjoittaa osalle niistä. Järjestelmän väylä oli half-duplex tyyppinen eli tiedonsiirto oli mahdollista vain yhteen suuntaan kerrallaan. Edellä mainituista ominaisuuksista johtuen päädyttiin rakentamaan sekvenssi, jossa jokainen luku- tai kirjoituskäsky suoritetaan vuorotellen, jolloin vältettiin päällekkäisen liikenteen mahdollisuus. Tietojen lukeminen laitteelta suoritettiin ensin omassa askeleessaan, jonka jälkeen seuraavassa askeleessa tieto tallennettiin datablokkiin. Kirjoitettaessa dataa orjalaitteen rekisteriin tieto ensin haettiin määritellystä datablokista omassa askeleessa ja seuraavassa askeleessa se kirjoitettiin orjalaitteelle. Orjalaitteen osoitteelle eli slave id:lle, luku vai kirjoitus määrittelylle, datanosoitteelle ja datanpituudelle luotiin omat muuttujat, jotka kytkettiin ”Modbus_Master” lohkon niille tarkoitettuihin nastoihin. Jokaisessa sekvenssin luku- tai kirjoitusaskeleessa näihin muuttujin kirjoitettiin uudet arvot.

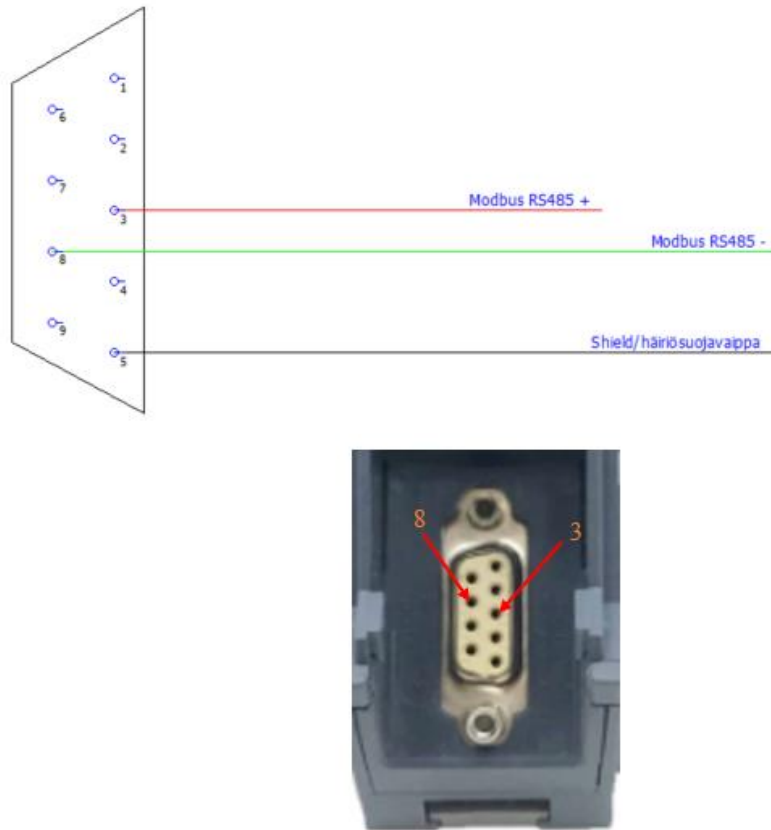
Kuten aikaisemmin teoriaosuudessa kerrottiin Modbus-laitteilla tieto tallennetaan 16-bittisiin rekistereihin eli jokaiseen Modbus-osoitteeseen mahtuu dataa 16-bittiä. Jos tarpeen on käsitellä vain yksitistä bittiä, joudutaan kuitenkin lukemaan tai kirjoittamaan Modbus-orjalaitteelta aina kaikki 16-bittiä. Bittien erottelu eli bit maskaus tehtiin CPU:n ohjelma koodissa erillisillä lohkoilla, jolloin voitiin käsitellä ohjelmakoodissa jokaista bittiä erikseen. Kuten kuviossa 7 on esitetty, täytyi myös huomioida, että Discrete Input ja Discrete Output Coils rekistereihin nähden holding- ja input rekistereissä bitit ovat käännettyssä muodossa eli kun eli master-laitteen ohjelmakoodissa lähetään lukukäsky, joka lukee esimerkiksi Modbus-osoitteen 30040 bittiä 0, luetaankin slave laitteelta oikeastaan bittiä 16 Modbus-osoitteesta 30040. Bittijärjestys on myös mahdollista kääntää TIA Portalissa tehtävässä ohjelmassa swap nimisellä lohkokolla.



KUVIO 9. Modbus input ja holding rekisterien käännetty bittijärjestys

9.2.2 Modbus-väylän slave laitteiden parametointi ja väylän toiminnan testaus

Ennen Modbus väylän käyttöönottoa jokaiselle väylän orjalaitteelle on määriteltävä yksilöllinen osoite ja muut tiedonsiirron asetukset eli pariteetin käyttö ja tyyppi, tiedonsiirtonopeus eli baudrate, databittien määrä, ja pysäytysbittien määrä. Asetusten määrittely laitteelle voidaan tehdä, joko siihen tarkoitettulla ohjelmistolla, dip-kytkimien asentoja muuttamalla tai mahdollisesti laitteen näytöltä parametroidulla. Modbus-kommunikaation testaamiseen käytettiin myös testausta varten rakennettua testilaitteistoa. Testi laitteistoon oli liitetty Modbus-laitteina Aspar 6TE analogia-IO-yksikkö, joka on suunniteltu erityisesti lämpötila-antureita varten, Pro dual PID-säädin ja ASPAR 1AI-yksikkö. Testilaitteiston rakentamisen yhteydessä piti myös tehdä kaapeli, jonka toisessa päässä oli D-liitin joka kytkettiin Siemens 1215C CPU:hun liitettyyn Modbus-kommunikointikorttiin. D-liittimen kytkentä on esitetty kuviossa 9.



KUVIO 10. RS-485 D-liittimen kytkentä

Järjestelmässä oli siis neljän eri valmistajan Modbus-RTU kommunikoinnilla toimivia laitteita. Aspar:n valmistamat IO-yksiöt parametroidiin Aspar:n IO-konfigurator ohjelmalla ja niissä oli USB Mini portti, jolla ne yhdistettiin tietokoneeseen. Pro dual PID-säätimet AXIOMA:n valmistamat energiamittarit, Stratoksen valmistamat pumput parametroidiin suoraan niiden omalta näytöltä laitteen painikkeita käyttäen.

9.3 Paneelin käyttöliittymän suunnittelu

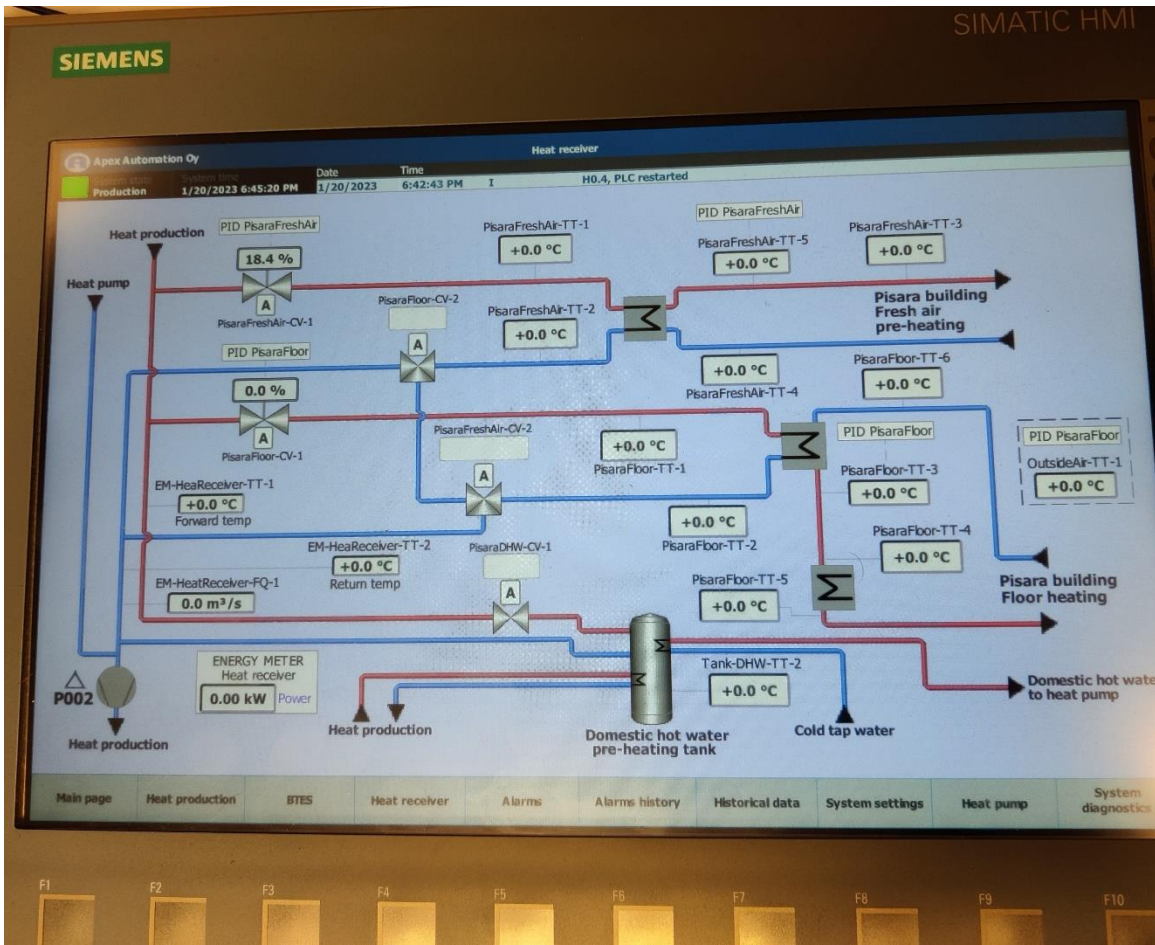
Järjestelmän käyttöliittymä toteutettiin Siemensin valmistamalla SIMATIC KTP1200 Basic -kosketusnäyttöpaneelilla. 12 tuuman värillisellä kosketusnäytöllä käyttäjälle pystyttiin esittämään graafista ja selkeää indikaatiota järjestelmän tilasta. Käyttöliittymän tehtävänä on esittää käyttäjälle tietoa järjestel-

mästä sekä välittää järjestelmälle käyttäjän tekemät ohjaus- ja asetusarvojen muutostoimenpiteet. Paneeli kommunikoi PLC:n kanssa Ethernet kommunikoinnilla. Käyttöliittymän kieli oli asiakkaan toivomuksen mukaan englanti.

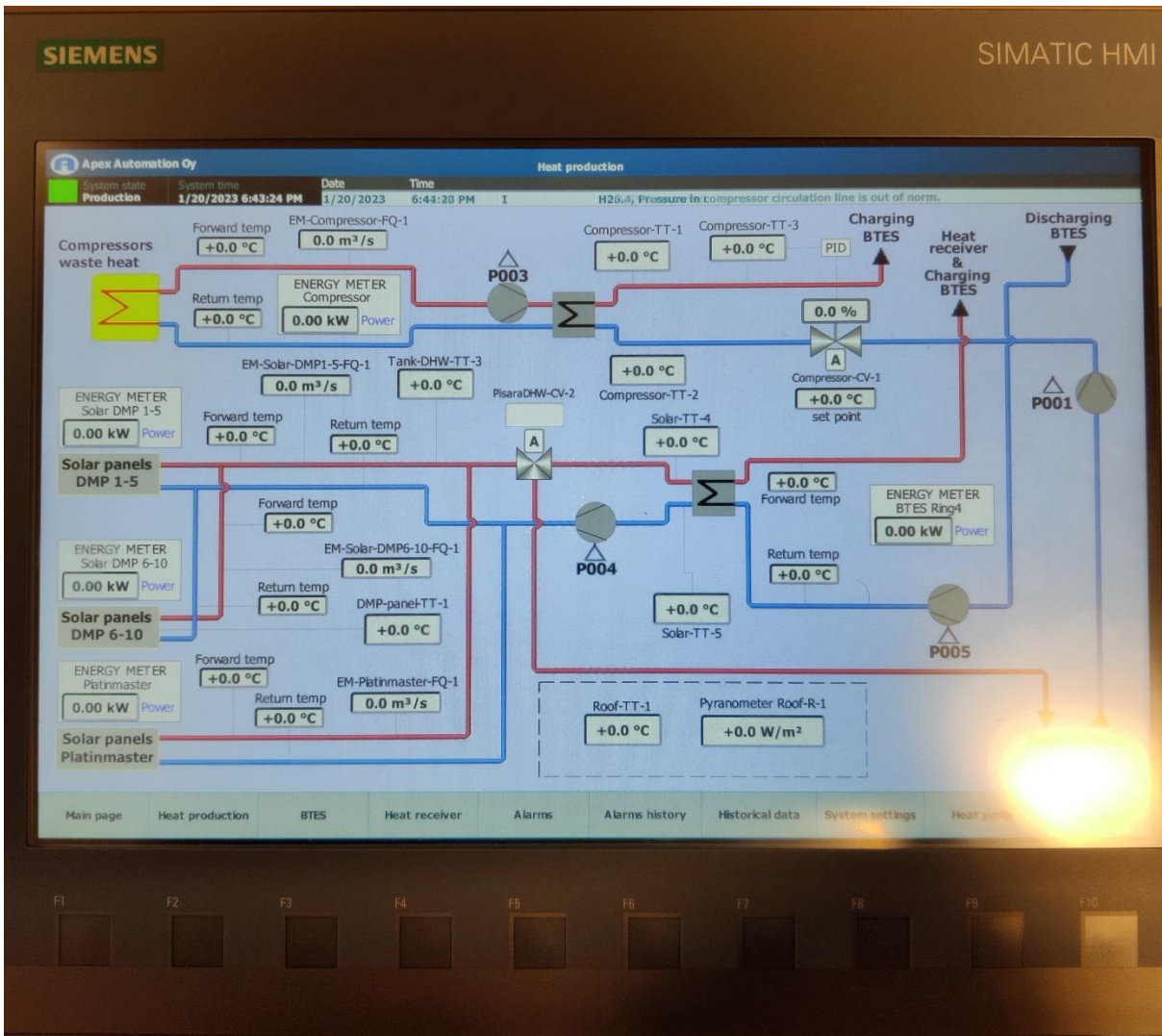
9.3.1 Prosessi sivut

Käyttöliittymässä oli pääsivu, jolla oli yksinkertaistettu esitys lämmön kausivarastointijärjestelmän rakenteesta, sekä valikoituja mittauksia nähtävillä sekä painike, josta pääsi web server sivulle. Järjestelmä jaettiin kolmeen osaan, jotka olivat lämmön vastaanotto (Heat receiver), maalämpövarasto (BTES =Borehole Thermal Energy Storage) ja lämmön tuotanto (Heat production). Järjestelmän eri osista tehtiin myös omat sivut käyttöliittymään, joilla oli kuvattu prosessikaavio, josta järjestelmän osan rakenne kävi tarkemmin ilmi kuin pääsivulta. Järjestelmän osan sivuilla oli nähtävissä kaikki osaan liittyvät mittaukset ja toimilaitteiden tilat. Kuvissa 1 ja 2 on kuvattu Heat receiver ja Heat production sivut. Suunnitelmissa oleva lämpöpumppu ja siihen liittyvä järjestelmän osa, jäi tässä vaiheessa vielä pois käyttöliittymästä siitä syystä, että sitä ei ollut vielä hankittu. Sivujen välillä siirtymisen tapahtui näytön alareunassa olevilla kosketuspainikkeilla tai paneelin fyysisillä painikkeilla.

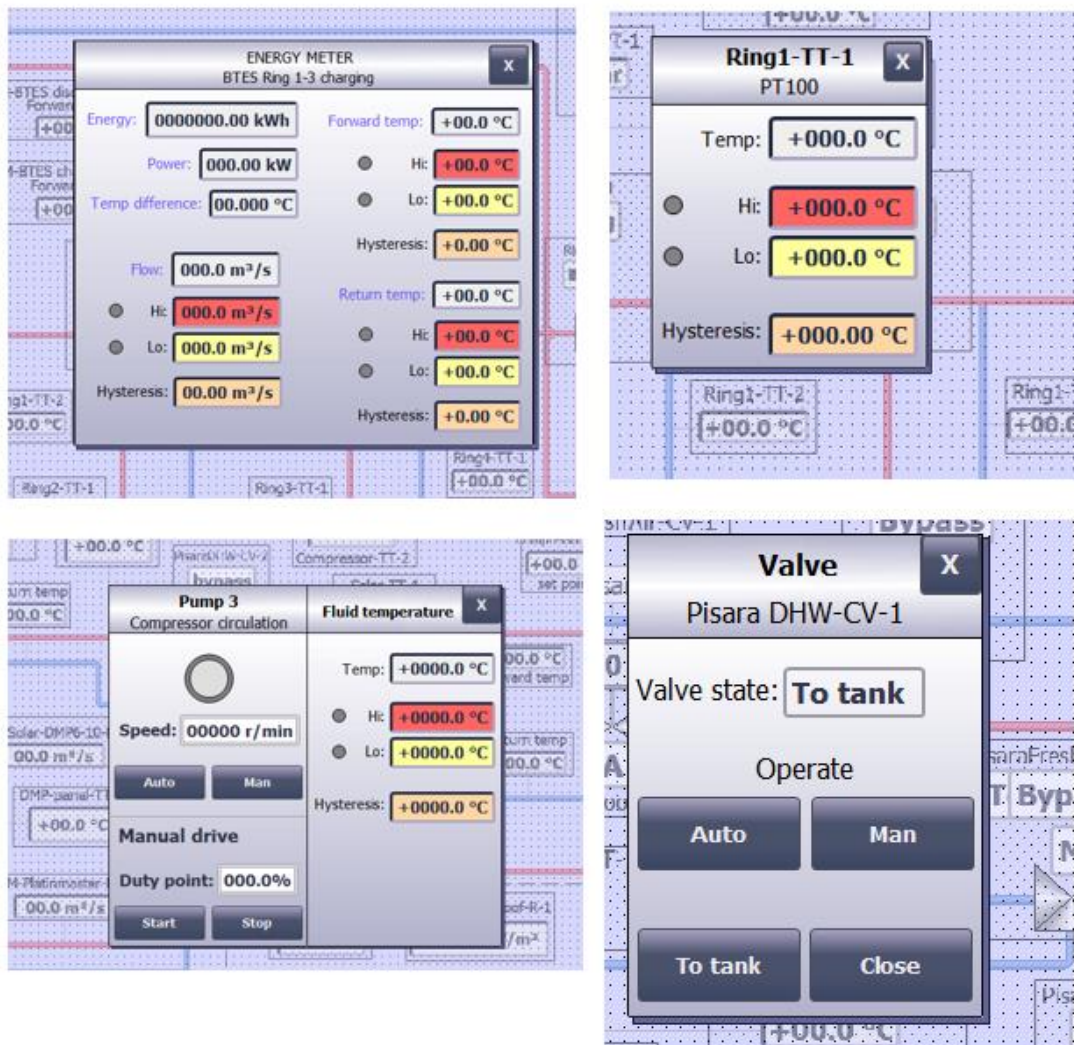
Kosketusnäyttö ominaisuutta hyödynnettiin myös siten, että koskettamalla laitteen kuvaa prosessikaaviossa avautui faceplate (KUVIO 10.) eli ikkuna, josta oli esimerkiksi mahdollista parameroida mittauksen ylä- ja alarajat, joiden ylittyessä tai alittuessa generoituu hälytys, muuttaa toimilaitteen parametrejä tai pakko-ohjata toimilaite tiettyyn tilaan. Hälytykset ovat nähtävissä hälytyssivulla (Alarms) ja jokaisen prosessisivun ylälaidassa on hälytysikkuna, jossa näkyy uusin hälytys. Hälytyshistorian tutkimista varten tehtiin myös oma sivu, jolle pystyy siirtymään suoraan alapalkin painikkeilla. System diagnostics sivulta pystyy analysoimaan järjestelmän. Käyttöliittymässä on myös ”Historical data” sivu, jolla on esitetty nightly reading funktiosta arkistoitu data graafin muodossa ja sivulta oli pääsy ”Webserver” sivulle. ”Webserver” sivu on selitetty tarkemmin kappaleessa tiedon keruu.



KUVA 1. Heat receiver sivu



KUVA 2. Heat production sivu



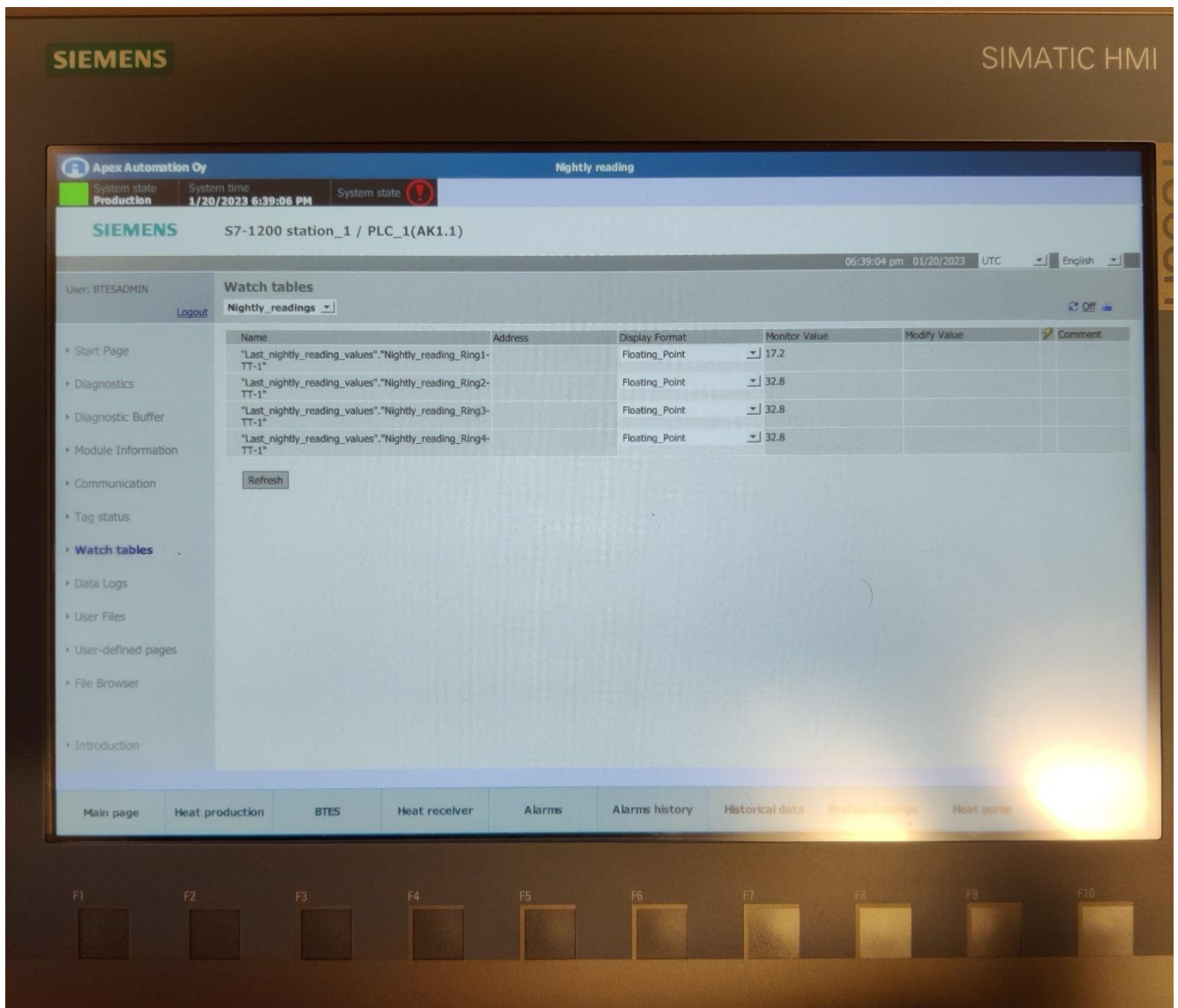
KUVIO 11. Faceplate

9.3.2 Asetus sivut ja järjestelmän tilan indikointi

Käyttöliittymän ”System settings” sivulla voidaan asettaa kellonaika ja muuttaa paneeliin vaikuttavia asetuksia. Samalta sivulta voidaan muuttaa myös koko järjestelmän ohjaukseen vaikuttavia asetuksia. Sivulta pääsee myös sivulle, jolta voi muuttaa järjestelmän automaattisen ohjauksen parametrejä. Järjestelmän tilaa voidaan havainnoida prosessikaavioista, ”Alarms” sivulta” sekä jokaisen sivun yläreunassa olevasta ”System state” palkista, johon ilmestyy vihreän symbolin tilalle punainen huutomerkki, jos järjestelmässä on hälytys.

9.4 Tiedonkeruu

Kirjoitushetkellä datan keräyksen tarpeita ja vaatimuksia ei ollut tarkasti määritelty asiakkaan taholta. Tämän vuoksi ei ollut tarkkaa tietoa saatavilla, millaista dataa järjestelmästä halutaan arkistoida. Logiikan ohjelmaan oli tehty Nightly reading niminen funktio, joka kutsuttiin kerran vuorokaudessa kello 4:00. Funktiolla ohjattiin ensin venttiilit määriteltyihin asentoihin ja pumput tietylle nopeudelle, jonka jälkeen kello 4:15 tallennettiin jokaisen lämpökaivoryhmän tulovesiputkesta mitatut lämpötilat erilliseen datablokkiin. Datablogista tallennetut arvot logattiin eli arkistoiitiin käyttöliittymäpaneeliin liitettylle USB-tikulle. Loggaus siis toteutettiin paneelilla ja paneelille luotiin myös graafi, josta voidaan analysoida lämpökaivoryhmiin menevän veden lämpötilojen muutosta kausittain. Lisäksi CPU:n asetuksista otettiin käyttöön Webserver ominaisuus, määriteltiin sille asetukset ja luotiin käyttäjä tunnukset. Webserver toiminnolla nimensä mukaisesti luodaan serveri, joka on oikeastaan Internet-sivusto. Käyttäjätunnuksia luotiin kaksi, joista toisen tunnuksen oikeuksia rajoitettiin. Webserverille tuotiin nähtäväksi muun muassa Nightly Reading funktion mittausdata. Webserver koettiin hyväksi ratkaisuksi, koska sinne on helppo lisätä lisää dataa nähtäville ja järjestelmään dataa pääsee helposti lukemaan, vaikka ei hallitsisi TIA Portalin käyttöä. Järjestelmä on myös mahdollista liittää Internet-verkkoon, jolloin dataa pääsee tietokoneella lukemaan mistä vain. Liitettä järjestelmä verkkoon täytyy tietoturvallisuus kuitenkin ottaa huomioon. Käyttöliittymäpaneelilla on selainikkuna, josta Webserver sivua pääsee selaamaan. Paneelin selainikkuna toimii, vaikka järjestelmään ei liitettäisi Internetyhteyttä, koska paneeli ja PLC ovat samassa verkossa ja kommunikoivat Ethernet-protokollalla.



KUVA 3. Webserver

9.5 Käyttöönotto

Kirjoitushetkellä asennukset kohteessa olivat vielä kesken, eikä järjestelmää päästy käyttöönottamaan. Järjestelmän käyttöönotto on tarkoitus toteuttaa kevään 2023 aikana. Käyttöönoton vaiheista tehtiin kuitenkin suunnitelma. Ensimmäiseksi käyttöönotossa parametroidaan Modbus-laitteet, jonka jälkeen tarkistetaan, että kaksiasentoventtiilien kelojen liikesuunnanasetuskytkimet ovat oikeissa asennoissa ohjaukseen nähden. Toisessa vaiheessa ladataan ohjelma molempiin sekä järjestelmän IO-controlleriin, että IO-device laitteeseen. Ohjelma ladataan myös käyttöliittymäpaneelille. Käyttöliittymäpaneelilta sekä TIA Portal ohjelmiston avulla analysoidaan vastaavatko kaikki Modbus-laitteet kyselyihin. Jos

kaikki laitteet eivät vastaa tutkitaan mitkä niistä eivät vastaa. Modbus kommunikoinnin ongelmien tutkimista varten otetaan mukaan myös kannettava tietokone, jolla on asennettuna Modbus RTU master simulaattorihjelma. Mukaan otetaan myös RS232-RS485 adapterikaapeli, jolla kannettava tietokone liitetään Modbus-väylään. Simulaattorilla voidaan todeta, onko kommunikoinnin ongelma laitteella vai väylässä. Kolmannessa vaiheessa testataan järjestelmän toiminnot sekä automaattinen ohjaus simuloimalla erilaisia tilanteita.

10 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tuloksena saatiin suunniteltua ohjausjärjestelmä lämmönkausivarastointijärjestelmän prosessin ohjaamiseksi. Asiakkaan asettamat tavoitteet saatiin täytettyä ja järjestelmään saadaan nyt toimiva ohjaus- ja operointijärjestelmä. Järjestelmä suunniteltiin niin, että se voidaan parametroida käyttöliittymäpaneelilta, jotta lämmön kausivarastointijärjestelmän toimintaa voidaan tulevien käyttökokemusten perusteella optimoida vielä paremmaksi eikä parametrien muuttaminen vaadi kokemusta ohjelmoinnista, vaan pelkästään ymmärryksen järjestelmän toiminnasta. Aiheena työ oli poikkeuksellisen laaja, koska siihen sisältyi sekä sähkösuunnittelun, että logiikkaohjelmoinnin ja käyttöliittymäsuunnittelun osa-alueet. Myös Modbus RTU-väylän toimintaan ja Modbus-kommunikoinnin periaatteisiin perehtyminen vei paljon aikaa. Työtä tehdessä kuitenkin henkilökohtainen osaamiseni laajeni ja työn tekeminen oli erittäin antoisaa. Haasteita järjestelmän toiminnalle voi mahdollisesti aiheuttaa Modbus RTU-väylän suhteellinen hitaus, joka johtuu protokollan ja sarjaliikenteen rakenteesta. Lämmön kausivarastointijärjestelmän prosessin säätö ei kuitenkaan ole kovin aikakriittistä, joten kommunikoinnin hitautta ei nähty suurena ongelmana. Ympäristöystävällisyys ja hukkaenergian hyödyntäminen tekee lämmön kausivarastointijärjestelmästä ehdottomasti tulevaisuuden potentiaalisen lämmitysjärjestelmän teollisuuteen ja muihin isoihin kiinteistöihin tai kiinteistö komplekseihin.

LÄHTEET

- Apex Automation. Saatavissa: <https://apexautomation.fi/yritys/>. Viitattu 21.2023
- Bodnar, D. 2021. What is TCP/IP. Saatavissa: <https://www.avg.com/en/signal/what-is-tcp-ip>. Viitattu 14.1.2021.
- EPLAN. Sähkösuunnittelu. Saatavissa: <https://www.eplan.fi/toimialat/saehkoesuunnittelu/>. Viitattu 17.12.2022.
- Finn Spring. 2020a. Finn Springin tarina. Saatavissa: <https://finnspring.fi/yritys/tarina/historia.html>. Viitattu 25.12.2022.
- Finnspring. 2020b. Finn Springillä nautittiin viime talvena edellisen kesän lämmöstä. Saatavissa: <https://finnspring.fi/ajankohtaista/2020/06/26/finn-springilla-nautittiin-viime-talvena-edellisen-kesan-lammosta>. Viitattu 23.9.2022.
- Harrico. PROFINET ja muut teollisuus-Ethernet tekniikat. Saatavissa: <https://www.harrico.fi/profinet-teollisuus-ethernet-testerit>. Viitattu 9.2.2023.
- Hiltunen, O. 2020. Finn Spring hyödyntää lämmön kausivarastointijärjestelmää tilojensa lämmitykseen *Promaint*. 3.7.2020. Saatavissa: <https://promaintlehti.fi/Turvallisuus-ja-ymparisto/Finn-Spring-hyodyntaa-lammon-kausivarastointijarjestelmaa-tilojensa-lammitykseen>. Viitattu 23.9.2022.
- Koskinen, K. 2018. Automaatio ennen, nyt ja tulevaisuudessa. Automaatioväylä. Saatavissa: https://www.automaatioseura.fi/site/assets/files/1380/automaatio_ennen_nyt_ja_tulevaisuudessa_av_artikkelisarja_2018.pdf. Viitattu 9.11.2022.
- KS-geoenergi. Lämmönkausivarastointi. Saatavissa: <https://www.ks-geoenergi.fi/fi/lammon-kausivarastointi>. Viitattu 23.11.2023.
- Salomaa, N. 2021. Lämmön kausivarastoinnilla saataisiin Suomessakin satojen miljoonien hyöty. *Rakennuslehti*. Saatavissa: <https://www.rakennuslehti.fi/2021/03/lammon-kausivarastoinnilla-saataisiin-suomessakin-satojen-miljoonien-hyoty/>. Viitattu 4.11.2022.
- Silvola, R. 2006. Reaaliaikaiset teollisuus-Ethernet -ratkaisut automaatiojärjestelmissä. Tampereen teknillinen yliopisto. Diplomityö. Saatavissa: <https://docplayer.fi/5426449-Reaaliaikaiset-teollisuus-ethernet-ratkaisut-automaatiojarjestelmissa.html>. Viitattu 15.12.2022.
- Kiinteistöjen tiedonsiirtoväylät. 2017. ST-käsikirja 21. V. Piikkilä (toim). Espoo: Painokurki Oy.
- Modbus Organization. 2019. FAQ. Saatavissa: <http://www.modbus.org/faq.php>. Viitattu 23.9.2022.
- Modbus Organization, 2006. MODBUS over Serial Line. Saatavissa: https://modbus.org/docs/Modbus_over_serial_line_V1_02.pdf. Viitattu 23.9.2022.
- Modicon. 1996. Modbus Protocol Reference Guide PI-MBUS-300 Rev. J. 1996. Modbus organization. Saatavissa: https://modbus.org/docs/PI_MBUS_300.pdf. Viitattu 15.10.2022.

Paavilainen, A. 2016. Valaisinjärjestelmän hallitseminen Ethernetin avulla. Diplomityö. Saatavissa: https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/20859/master_Paavilainen_Asko_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Viitattu 15.2.2023

PILZ, PROFINET. Saatavissa: <https://www.pilz.com/fi-FI/lexicon/profinet>. Viitattu 15.12.2022.

Profibus, PROFINET - the leading Industrial Ethernet Standard. Saatavissa: <https://www.pilz.com/fi-FI/lexicon/profinet>. Viitattu 15.12.2022.

Rasmussen, H. 2018. Millainen verkkokaapeli pitäisi valita. Kotimikro. 23.1.2018. Saatavissa: <https://kotimikro.fi/internet/verkko/millainen-verkkokaapeli-pitaisi-valita>. Viitattu: 26.12.2022

Real time automation, 2022. Technologies. modbus-rtu. Saatavissa: <https://www.rtautomation.com/technologies/modbus-rtu/>. Viitattu 23.9.2022.

Sander, F., Viitala, T. & Saviranta, P. Finn Spring lämmön kausivarastointijärjestelmä. Järjestelmän esittely, keskustelu 23.9.2022.

Siemens. 2016. SIMATIC STEP 7 Professional V14. System Manual. Käyttöohje. Viitattu 4.11.2022.

Soltero, M., Zhang, J., Cockril, C., Zhang, K., Kinnaird, C. & Kugelsstadt, T. 2002, 9. RS-422 and RS-485 Standards Overview and System Configurations. Texas Instruments. SLLA070D. Raportti. Saatavissa: <https://www.ti.com/lit/an/slla070d/slla070d.pdf>. Viitattu 3.10.2022.

Wago. Nopea tiedonsiirto automaatio- ja kentälaitteiden välillä: MODBUS. Saatavissa: <https://www.wago.com/fi/modbus>. Viitattu 29.9.2022.

Weis, O., 2019. Modbus vs RS485. What is half-duplex system?. Virtual Serial Port. Saatavissa: <https://www.virtual-serial-port.org/articles/modbus-rtu-guide/#1>. Viitattu 15.10.2022.

Understanding Modbus Serial and TCP/IP. 2014. Saatavissa: <https://www.youtube.com/watch?v=k993tAFRLSE>. Viitattu 15.10.2022.