

Tommi Vikki

**KAUKOLÄMPÖKESKUKSEN LOGIIKAN OHJELMOINTI JA
KÄYTTÖÖNOTTO**

KAUKOLÄMPÖKESKUKSEN LOGIIKAN OHJELMOINTI JA KÄYTTÖÖNOTTO

Tommi Vikki
Opinnäytetyö
Kevät 2020
Konetekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu

Konetekniikan tutkinto-ohjelma, koneautomaation suuntautumisvaihtoehto

Tekijä: Tommi Vikki

Opinnäytetyön nimi: Kaukolämpökeskuksen logiikan ohjelmointi ja käyttöönotto

Opinnäytetyön nimi englanniksi: Logic programming and deployment of district heating plant

Työn ohjaaja: Timo Broström

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2020

Sivumäärä: 74 + 2 liitettä

Tässä opinnäytetyössä toteutettiin kaukolämpökeskuksen logiikkaohjelmiston ja käyttöliittymän suunnittelu sekä lataus laitoksen logikkayksikköön. Laitos oli Vuorelassa sijaitseva uusi huippu- ja varalämpökeskus, jonka pääasiallinen tehtävä oli kaukolämpöveden lämmitys ja pumppaus asiakkaiden lämmönvaihtimiin.

Työssä lisättiin Step 7 -ohjelmistoon laitoksen logiikkaohjatun toiminnan mahdollistavat I/O-osoitteet, fyysistä logiikkalaitteistoa vastaava CPU, logiikan kortit sekä niiden virtaviestien ja jännitealueiden määrytykset. Ohjelmointityössä toteutettiin tarvittavien mittaustietojen skaalaus oikealle toimialueelle, digitaalitulojen tarvittavat käsittelyt, laitoksen suorakäyttöisten, ja taajuusmuuttajaohjattujen moottoreiden sekä venttiileiden ohjaus. Ohjelmointityöhön kuului myös TIA Portal V15.1 -ohjelmistolla tapahtuva graafisen käyttöliittymän suunnittelu ja toteutus.

Työhön sisältyi lisäksi Uudessakaupungissa suoritettu I/O-osoitteiden testaus sähkömiehen kanssa, Vuorelassa laitoksen loppusijoituspaikalla tapahtuva laitteiden varsinainen testaus ja käyttöönotto sekä kaksi 24:n tunnin mittaista testiajoa, joista toinen oli vaatimuksiltaan virheetön testiajo. I/O- ja käyttöönottotestit myös dokumentoitiin asianmukaisesti ennen laitoksen luovuttamista loppuasiakkaalle.

Työn tavoitteet saavutettiin, ja omassa aikataulussa pysyttiin sovitun mukaisesti. Laitoksen varsinainen testaus ja käyttöönottopäivät myöhästyivät noin kuukaudella itsestä riippumattomista asioista. Testiajot sujuivat moitteettomasti, eikä virheitä laitoksen toiminnassa havaittu testausaikana. Lopputuloksena saatiin odotetusti toimiva kaukolämpökeskus, joka täytti loppuasiakkaan toiveet.

Asiasanat: ohjelmitava logiikka, kaukolämpökeskus, Step 7, TIA Portal V15.1, logiikkaohjelmisto

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Mechanical engineers degree programme, automations orientation

Author: Tommi Vikki

Title of thesis: Logic programming and deployment of district heating center

Supervisor: Timo Broström

Term and year when the thesis was submitted: Spring, 2020 Number of pages:
74 + 2

This thesis was about designing, executing and downloading logics program and user interface to new district heating plant. District heating plant was located in Vuorela and its type was a reserve and top heating plant. The main purpose of this plant was to heat and deliver district heating water to clients heat exchangers.

The basic programming work was done by adding I/O-addresses essential to plants logic controlled functioning to software and adding a hardware configurations corresponding to actual physical CPU and logic cards of the plant to Step 7 software. These hardware configurations included defining a size of current messages and voltage-areas of digital inputs. Programming work contained the scaling of analogic inputs to right area, handling of digital inputs in case of blackouts and controlling of direct usage, frequency controlled devices and valves. The programming work also included designing an user interface using Siemens TIA Portal V15.1 -software.

The job included also testing of I/O-addresses with electrician in Uusikaupunki, Finland and actual testing of devices and logics software in Vuorela after the plant was delivered to its final destination. Tests in Vuorela included two 24h test drives. First was a preliminary test and during that test changes and adjustments were allowed to made. Second test had to be error free and adjustments and changes could not be made during the test. Results of I/O- and test drives were documented properly before handing the plant to final client.

The goals were achieved and time table held as promised. Actual testing of the plant and deployment days were delayed approximately for a month but the delay had nothing to do with my own work. The end result was properly functioning district heating plant and it met the demands of final client.

Keywords: Programmable logic, district heating plant, Step 7, TIA Portal V15.1, Logic program

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
1 JOHDANTO	8
2 KAUKOLÄMPÖ	9
2.1 Jakeluverkosto	10
2.2 Lämmön tuotanto	11
2.3 Huippu- ja varalämpökeskukset	11
3 OHJELMOITAVA LOGIIKKA	13
3.1 IEC 61131-3 -standardi	15
3.2 Tikapuukaavio	16
3.3 Toimintolohkokaavio.....	17
3.4 Datatyypit	17
4 TYYPIILLISIMMÄT OHJAUSTYYPIT JA SÄÄTÖTAVAT.....	19
4.1 Suorakäyttö	19
4.2 Taajuusmuuttajaohjaus	19
4.3 Pid-säätö	21
4.3.1 P-säätö	21
4.3.2 I-säätö	22
4.3.3 D-säätö	23
4.4 Säätimen viritys	24
4.4.1 Vahvistus	24
4.4.2 Integrointiaika	24
4.4.3 Derivointiaika	24
5 KÄYTTÖLIITTYMÄN SUUNNITTELU.....	26
5.1 ISO/IEC JTC 1/SC 35.....	26
5.2 Värimaailma	27
5.3 Grafiikat.....	27
5.4 Datan ilmaisu.....	27
5.5 Tilannetietämys	28
5.6 Ajan ja päivämäärän ilmaisu.....	28

6	KAUKOLÄMPÖKESKUS	29
6.1	Suorakäyttöohjaus.....	30
6.1.1	Paineenpitopumput.....	30
6.1.2	Öljynsiirtopumput.....	31
6.1.3	Omakäyttöpiirin pumppu.....	31
6.1.4	Kiertoilmakojeet.....	31
6.1.5	Poistoilmapuhaltimet	32
6.2	Taajuusmuuttajaohjaus	32
6.2.1	Kaukolämpöpumppu.....	32
6.2.2	Sekoituspumppu.....	33
6.3	Kaksiasentoiset toimilaitteet	33
6.3.1	Lisävesisäiliön magneettiventtiili.....	33
6.3.2	Korvausilmapeltit	33
6.3.3	Savukaasupelti	34
6.4	Pi-säädetyt venttiilit	34
6.4.1	Kaukolämpöveden säätöventtiili	34
6.4.2	Omakäyttöpiirin säätöventtiili.....	35
6.4.3	Polttimen ohjaus	35
7	LAITTEISTOMÄÄRITYKSET	36
7.1	Analogiatulokortin määrittely	37
7.2	I/o- ja symbolilista.....	38
7.3	Analogiasignaalin käsittely	40
7.4	Digitaalitulon käsittely	41
7.5	Ohjelmakierto ja rakenne	42
8	TOIMILAITTEIDEN OHJAUS	44
8.1	Kaukolämpöpumpun ohjaus.....	45
8.2	Kaukolämpöveden säätöventtiilin ohjaus	48
8.3	Paineenpitopumppujen ohjaus	51
9	KÄYTTÖLIITTYMÄ	55
9.1	Pääsivu	55
9.2	Kattilapiiri.....	56
9.3	Omakäyttöpiiri	57
9.4	Asetukset	58
9.5	Laskurit ja lukitukset	59

9.6	Hälytykset.....	60
9.7	Trendit.....	61
10	TESTAUS JA KÄYTTÖÖNOTTO	63
10.1	I/o-testaus	63
10.2	Käyttöönotto	64
10.3	Vuorokauden koeajo	64
10.4	24h:n virheetön koeajo	65
11	POHDINTA	67
11.1	Logiikkasuunnittelu.....	67
11.2	Käyttöliittymän suunnittelu.....	68
11.3	Testaukset.....	69
11.4	I/o-testi	69
11.5	24h:n testiajo.....	70
11.6	24:n tunnin virheetön testiajo	71
11.7	Loppupohdinta.....	72
	LÄHTEET	73
	LIITTEET	
	Liite 1 Moottorinohjauslohko	
	Liite 2 PID-Säädinlohko	

1 JOHDANTO

Työssä suunnitellaan ja toteutetaan logiikkaohjelma sekä käyttöliittymä syksyllä 2019 valmistuneeseen kaukolämpökeskukseen. Ohjelmistojen toteuttamisen lisäksi työssä esitellään käyttöönotto, joka sisältää vaaditut testit ja koeajot ennen laitoksen luovuttamista loppuasiakkaalle.

Kaukolämpölaitos on tyypiltään huippu- ja varalämpökeskus, joten sitä on suunniteltu käytettävän lähinnä normaalista poikkeavissa tilanteissa. Laitosta käytetään pääsääntöisesti etäyhteydellä, joten se on pystyttävä ajamaan sekä ylös että alas etäyhteyden kautta. Kaukolämpölaitoksen rakenteeseen kuuluu monia erilaisia mittauksia, laskureita, säätöpiirejä, moottoreita ja venttiileitä, joista suurin osa on logiikkaohjattuja. Jokaisella toimilaitteella on omat tehtävänsä, ehtonsa ja rajoituksensa tässä prosessissa, joiden mukaan niiden täytyy toimia. Näistä kaikista muodostuu toimiva kokonaisuus, jonka pääasiallinen tehtävä on lämmittää kaukolämpöverkossa kiertävä vesi sekä pumpata se asiakkaiden lämmönvaihtimille.

Työ tehtiin Enelec Oy:lle, joka on Kuopiossa toimiva automaatioalan yritys. Enelec Oy suunnittelee logiikkaohjelmistoja ja automaattioratkaisuja erilaisille teollisuuden aloille sekä tekee myös käyttöönottoja. Kaukolämpölaitoksen rakentamisesta vastasi Uudessakaupungissa toimiva Calortec Oy ja sähkösuunnittelusta vastasi AH-Control Oy. AH-Control oli asiakas jolle ohjelmisto tehtiin, ja Savon Voima koko projektin loppuasiakas, kenelle laitos tehtiin ja luovutettiin.

2 KAUKOLÄMPÖ

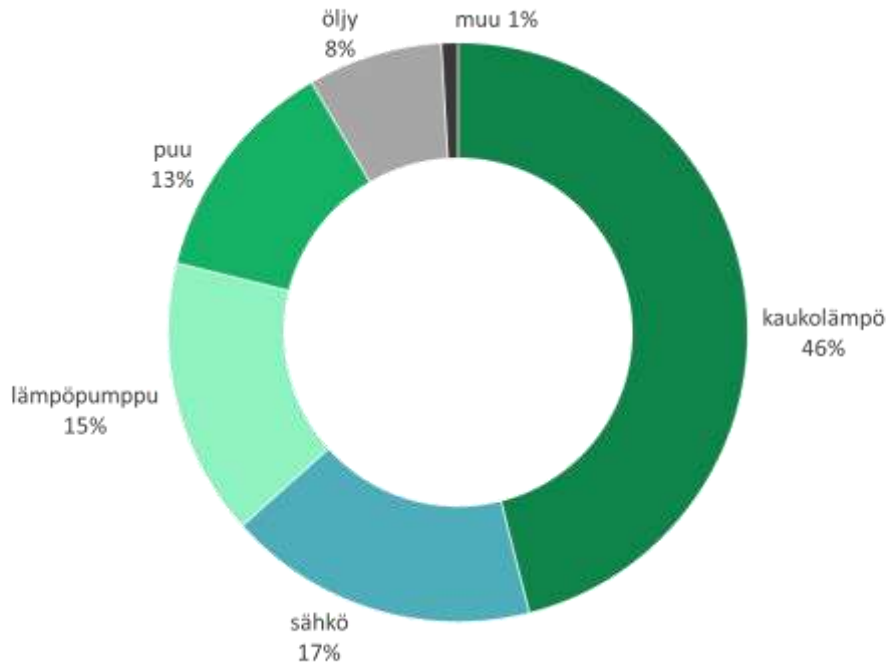
Kaukolämmitys on keskitetty lämmitystapa, jossa useita rakennuksia tai jopa kaupunkeja lämmitetään samasta lämmityskeskuksesta. Se tarjoaa mukavuuden lisäksi muitakin etuja talokohtaiseen lämmitykseen verrattuna. Siinä voidaan käyttää halvempia polttoaineita ja hankkia ne edullisesti suurissa erissä. Lämpökeskusten suuret kattilat kehittävät lämpöä paremmalla hyötysuhteella kuin pienten talojen kattilat. Lisäksi lämpökeskus voidaan varustaa paremmilla puhdistus-, säätö- ja valvontalaitteilla kuin pienet talojen kattilat. Lisäksi lämmitys- ja huoltotyöhön voidaan käyttää paremmin koulutettua henkilökuntaa, mikä parantaa omalta osaltaan käyttövarmuutta ja lämmöntuoton hyötysuhdetta. (1, s. 95.)

Keskitetyn lämmöntuotannon etuna on myös se, että asutuskeskukset pysyvät puhtaampina ja ilman saastuminen vähenee. Näistä syistä kaukolämmitys on vakiinnuttanut asemansa Suomen taajamien peruslämmitysmuotona. (1, s. 95.)

Kaukolämpöä tuotetaan tuotantolaitoksella, joka on kaukolämpövoimalaitos tai lämpökeskus. Myös teollisuusvoimalaitosten vastapainehöyryllä tuotetaan kaukolämpöä. Kaukolämpöä tuotetaan yleensä yhteistuotannossa sähkön kanssa, jolloin polttoaineen energiasta hyödynnetään 80 - 90 % ja ympäristöhaitat ovat pienet. (1, s. 27.)

Ensimmäinen kaukolämpöverkko rakennettiin Helsingin Olympiakylään 1930-luvun lopulla. Suurimmissa kaupungeissa keskustarakennuksia alettiin liittää kaukolämpöverkkoon 1950-luvulla ja sitä mukaa kun uusia kaupunginosia rakennettiin, myös niiden rakennukset liitettiin kaukolämpöverkkoon. (2, s. 26.)

Kaukolämmitys on Suomen rakennusten yleisin lämmitysmuoto, sillä noin puolet kokonaisrakennuskannastamme on liitetty kaukolämpöverkkoon (kuva 1). Suurin osa julkisista rakennuksista, liikerakennuksista ja asuinkerrostaloista sekä noin puolet rivitaloista lämmitetään kaukolämmöllä. (2, s. 26.)



KUVA 1. Kaukolämmityksen markkinaosuudet asuin- ja palvelurakennuksista vuodelta 2017 (3)

2.1 Jakeluverkosto

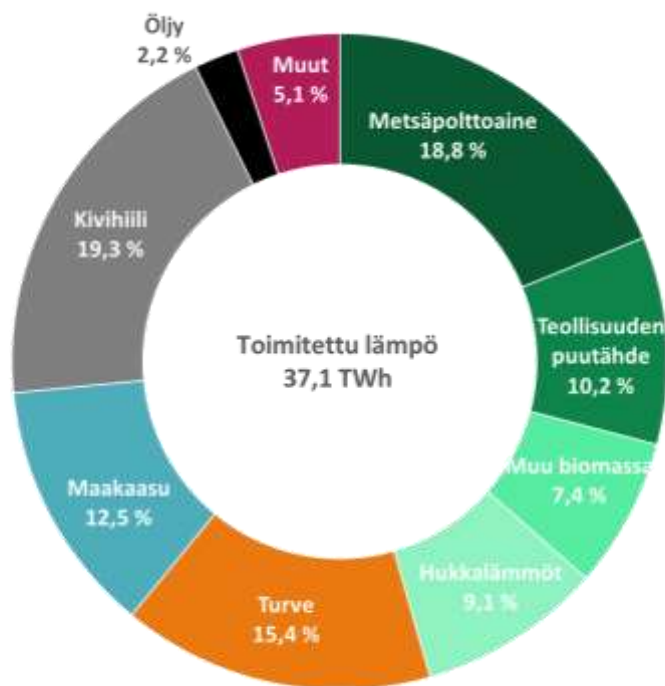
Kaukolämpöverkoissa siirretään tuotantolaitoksilla tuotettu lämpöenergia asiakkaille kuumana vetenä suljetussa kaksiputkisessa (meno- ja paluuputki) kaukolämpöverkossa. Taloon tulevassa menoputkessa kiertävä kaukolämpövesi luovuttaa lämpöä asiakkaille lämmönsiirtimien välityksellä, ja palaa jäähtyneenä paluuputkessa takaisin tuotantolaitokseen uudelleen lämmitettäväksi. Kaukolämpövesi ei kierrä talojen lämmitysverkossa. Menoputkessa kaukolämpöveden lämpötila vaihtelee sään mukaan 65 °C:n ja 115 °C:n välillä ja paluuputkessa yleensä 40 °C:n ja 60 °C:n välillä. (4.)

Kaukolämpöverkon kokonaispituus Suomessa vuoden 2018 lopussa oli noin 15 100 km. Virtausputken halkaisija vaihtelee pientalojen liittymisjohtojen 20 mm:stä Helsingin Vuosaaren voimalaitokselta lähteviin 1 000 mm:n putkiin. Kaupungeissa ja muissa suuremmissa taajamissa verkot kattavat käytännössä koko kaukolämmitykseen taloudellisesti liitettävissä olevan alueen. Vuosittain verkon pituus kasvaa 250 – 500 km pääasiassa olemassa olevan verkon

täydennysrakentamisena, ja uusien rakennusten kaukolämpöverkkoon liittämisenä. Vanhoja johtoja saneerataan vuosittain noin 50 - 70 km. (4.)

2.2 Lämmön tuotanto

Polttoaineina on paikkakunta- ja tuotantolaitoskohtaisesti puu tai muu biomassa, kivihiili, maakaasu, turve, jäte tai öljy. Polttoaineen valinnassa on huomioitava toimitusvarmuus, kokonaistaloudellisuus ja ympäristövaikutukset. Vain ajoittain käytettävien tuotantolaitosten polttoainevalinnassa varastoitavuus on tärkeää. Hiilineutraalia lämmöntuotantoa tavoiteltaessa fossiilisten polttoaineiden osuus pienentyy (kuva 2). Puun ja muiden biomassojen osuus kaukolämmön tuotannon polttoaineista on jo noin kolmannes. Monessa kunnassa kaukolämpö tuotetaan kokonaan kotimaisilla polttoaineilla. (5.)



KUVA 2. Kaukolämmön energialähteet vuodelta 2018 (3)

2.3 Huippu- ja varalämpökeskukset

Peruskuormalaitokset tuottavat pääosan vuotuisesta energiatarpeesta, ja niiden käyttöaika suunnitellaan mahdollisimman pitkäksi. Peruskuormalaitokset voivat olla joko lämmitysvoimalaitoksia tai lämpökeskuksia. Suurimmissa kaukolämpöjärjestelmissä on useampia lämmitysvoimalaitoksia samassa

verkostossa. Pienimmissä järjestelmissä peruskuormalaitos voi olla yksittäinen kiinteän polttoaineen lämpökeskus. Kummassakin tapauksessa tarvitaan myös huippu- ja varatehoa. (6, s. 30.)

Asiakkaiden tarvitsema kaukolämpöenergia tuotetaan peruskuormalaitoksilla ja huippulämpökeskuksilla. Kun jollakin alueella kaukolämpötoiminta alkaa erillisverkostona, huippulämpökeskus voi toimia alkuvaiheessa tämän alueen päälämpökeskuksena. Tällöin huippukeskuksen tehon on vastattava asiakkaiden tehontarvetta kaikissa ulkoilman olosuhteissa. Joskus tällaisissa tilanteissa aivan alkuvaiheessa käytössä olleet siirrettävät lämpökeskukset jäävät joksikin aikaa alueen huippu- ja varalämpökeskuksiksi. (6, s. 33.)

Skandinaviassa varakeskusten yhteisteho mitoitetaan olemassa olevan tehontarpeen mukaisesti. Käytävissä olevien varalämpökeskusten tuotantokapasiteetin on oltava vähintään yhtä suuri kuin suurimman käynnissä olevan tuotantoyksikön eli yleensä peruskuormalaitoksen kapasiteetti. Varalämpökeskuksia käytetään usein huipputehon tuottajina lämpötehon suurissa vaihteluissa, kuten aamuisin. Lämmön jakelulle tämä on pieni riski, sillä kyseisessä ajotilanteessa varateho on suunniteltua pienempi. (6, s. 35.)

3 OHJELMOITAVA LOGIIKKA

Ohjelmoitavan logiikan englanninkielinen nimi (Programmable Logic Controller, PLC) tarkoittaa suoraan käännettynä ohjelmoitavaa logiikkasäädintä, mutta toiminnaltaan se on säädintä paljon monipuolisempi ohjausjärjestelmä. (7, s. 3.)

General Motors toi markkinoille ensimmäisenä muistiin ohjelmoitavan logiikkalaitteen jo 1960-luvulla, ja sen jälkeen laitteet ovat yleistyneet nopeasti. Ratkaisevana etuna ohjelmoitavilla laitteilla muihin toteutuksiin verrattuna on joustava ja nopea muutosten teko. Mikroelektroniikan nopea kehitys 1970- ja 1980 -luvulla muokkasi ohjelmoitavia logiikoita yhä monipuolisemmiksi. Laajimmat logiikkajärjestelmät muistuttavatkin nykyisin automaatiojärjestelmiä ja raja näihin on näin hämärtyvässä. (7, s. 3.)

Markkinoilla on nykyään yli sata erilaista ohjelmoitavaa logiikkaa. Tarkisteltaessa eri logiikoita huomataan, että niiden toiminta on pitkälti toistensa kaltaista. Logiikan valmistajasta (Siemens, Omron, Allen Bratley, Mitsubishi, ABB jne.) riippumatta, kaikki logiikat voidaan ohjelmoida loogisilla käskyillä, joiden toiminta on samanlaista. Logiikoiden samankaltaisuus merkitsee sitä, että jos tutustuu yhteen ohjelmoitavaan logiikkaan perusteellisesti, on hyvin helppoa oppia käyttämään myös toisen valmistajan logiikkaa. (7, s. 3.)

Ohjelmoitava logiikka käsittää ulkoiset liitännät, joista käytetään yleisesti nimiä tulo ja lähtö. Tuloliitännöistä saadaan tarvittava tieto prosessin tilasta, eli niillä tuodaan tietoa logiikkayksikölle. Lähtöliitännöillä puolestaan ohjataan prosessia.

Tuloliitännöistä yleisimmät ovat digitaalitulot ja analogiatulot. Digitaalituloa käytetään yleensä ilmaisemaan jonkin laitteen tai prosessin yksinkertaista päällä tai pois tilaa. Lukuarvo 1 on tosi ja 0 epätosi. Järjestelmä mittaa kyseisen piirin jännitettä ja tulkitsee jännitteen suuruuden perusteella tilaksi joko tosi tai epätosi. Esimerkkinä logiikka voi käyttää 24 V:n DC-jännitettä, jolloin 22 V:n ylittävä jännitteen arvo tulkitaan todeksi, ja alle 22 V:n jännite puolestaan epätodeksi.

Analogiatuloilla järjestelmään voidaan tuoda erilaisia mittauksia kuten painemittaus, lämpötilamittaus ja virtausmittaus. Analoginen signaali tulkitaan

mittaamalla sen virran suuruus. Virtaviestialueita on monenlaisia, mutta yleisesti ottaen 4 - 20 mA on paljon käytetty. Virtaviestin suuruudesta voidaan laskea mittauksen tarkka lukuarvo. Jos ajatellaan mittausta prosentteina välillä 0 - 100 %, niin 4 mA:n virtaviesti vastaa lukuarvoa 0 ja 20 mA:n viesti puolestaan lukuarvoa 100 %.

Lähtöliitännät käsittävät digitaalilähdöt ja analogialähdöt. Digitaalilähdöillä ohjataan yleensä erilaisia laitteita kuten moottoreita tai venttiileitä. Logiikasta poiketen isojen moottoreiden ohjaus vaatii suuremman jännitteen, joka ei sovellu logiikalle. Tästä syystä johtuen varsinainen digitaalilähdön päälleohjaus ohjaa pienemmän releen päälle, ja pienempi rele puolestaan ohjaa kontaktorin päälle. Kontaktorin sulkeutuessa ohjattu laite käynnistyy.

Siinä missä analogiatuloilla tuodaan mittaussignaali logiikalle niin analogialähdöllä voidaan lähettää signaali. Tyypillinen esimerkki olisi jonkin moottorin taajuusmuttajalle siirrettävä viesti. Tämän virtaviestin alue voi olla esimerkiksi 4 - 20 mA, joka on määritettävissä ohjelmiston laitteistoasetuksista.

Laitteistoon liittyvät hankinnat oli päätetty paljon ennen ohjelmointityön aloittamista, ja tässä laitoksessa käytettiin Siemensin S7 300 -sarjan CPU:ta (kuva 3). S7 300 -sarja julkaistiin vuonna 1994, ja se onkin saanut hyvän maineen kestävyytensä ja luotettavuutensa ansiosta. Oikeanlaisen laitteiston valintaan liittyy monta tekijää, joista painavimmat ovat laitoksen koko, käyttötarkoitus ja asiakkaan päätös laitteiston valmistajasta.



KUVA 3. Siemens 317-2 PN/DP CPU sekä logiikan kortit

3.1 IEC 61131-3 -standardi

IEC-standardin 61131:n kolmas osio tarjoaa ainoan maailmanlaajuisen standardin teollisuuden kohteiden ohjelmointiin. Se yhdenmukaistaa tavan, jolla ohjelmoijat suunnittelevat teollisia ohjauksia ohjelmointirajapinnan standardisoinnin avulla. Standardisoidun ohjelmoinnin rajapinnan avulla ihmiset erilaisine taustoineen ja taitoineen voivat luoda erilaisia ratkaisuja ohjelmiston eri vaiheisiin sen elinkaaren aikana: suunnittelu, määrittely, toteutus, testaus, asennus ja ylläpito. Kaikki osat noudattavat yhteistä rakennetta ja ne toimivat harmonisesti yhdessä. (8.)

IEC 61131-3 määrittelee vähimmäisjoukkona ohjelmoinnin peruselementit, syntaktiset ja semanttiset säännöt yleisimmin käytetyille ohjelmointikielille. Tämä sisältää graafiset kielet: Ladder diagramin (tikapuukaavio) ja Function block diagramin (toimintolohkokaavio) sekä tekstikielet: Instruction list (ohjelista) ja Structure text (rakenneteksti) sekä Sequential function chart (peräkkäinen

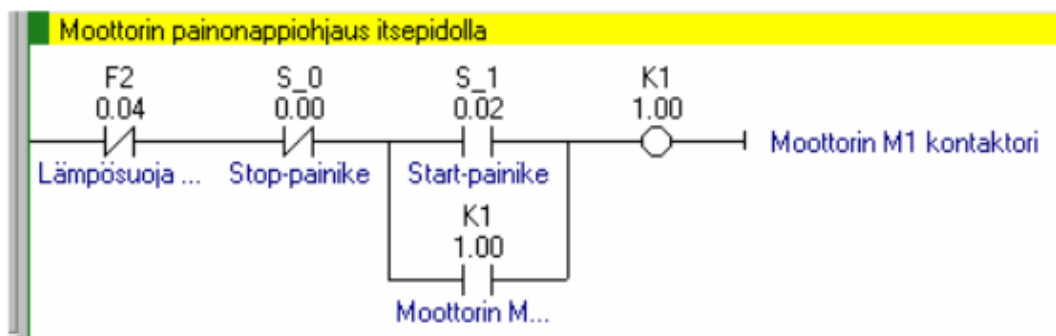
toimintakaavio), joita käytetään ohjelman sisäisen rakenteen luomiseen. Loogiseksi elementeiksi hajottamalla, modularisoinnilla ja nykyaikaisilla ohjelmatekniikoilla jokainen ohjelma rakennetaan pala palalta, mikä kasvattaa sen uudelleenkäytettävyyttä, vähentää virheiden määrää, sekä parantaa ohjelmoitavuutta sekä käyttäjätehokkuutta. (8.)

Luvuissa 3.2, 3.3 ja 3.4 käsitellään tarkemmin IEC 61131-standardin kolmannen osan graafiset ohjelmointikieliset sekä yleisimmät datatyypit.

3.2 Tikapuukaavio

Tikapuulogiikka on ohjelmoitavan logiikan ohjelmoinnissa käytettävä kieli. Se on graafinen kieli, joka ilmaisee loogiset operaatiot symbolisina merkintöinä käyttäen tikapuu kaaviota samalla tavoin kuin kiskoja ja puolia perinteisessä relelogiikkapiirissä. Insinöörit ja sähköasentajat käyttävät sitä loogisten, peräkkäisten, laskenta-, ajoitus- ja arimeettisten tehtävien suorittamiseen halutun automaatiosovelluksen aikaansaamiseksi. (9.)

Yksinkertaisimmillaan relekaavio-ohjelma näyttää kuvassa 4 esitetyltä, ja muistuttaa ohjauspiirikaavioita. Avautuvilla ja sulkeutuvilla koskettimilla muodostetaan tarvittavista bittimuuttujista ehtologiikka, jonka tila kopioidaan kelalla haluttuun bittiin. Käytännössä ohjelmissa esiintyy useita erilaisia bittejä tai sanoja käsitteleviä logiikkakäskyjä, joilla toteutetaan mutkikkaampia operaatioita. (9.)

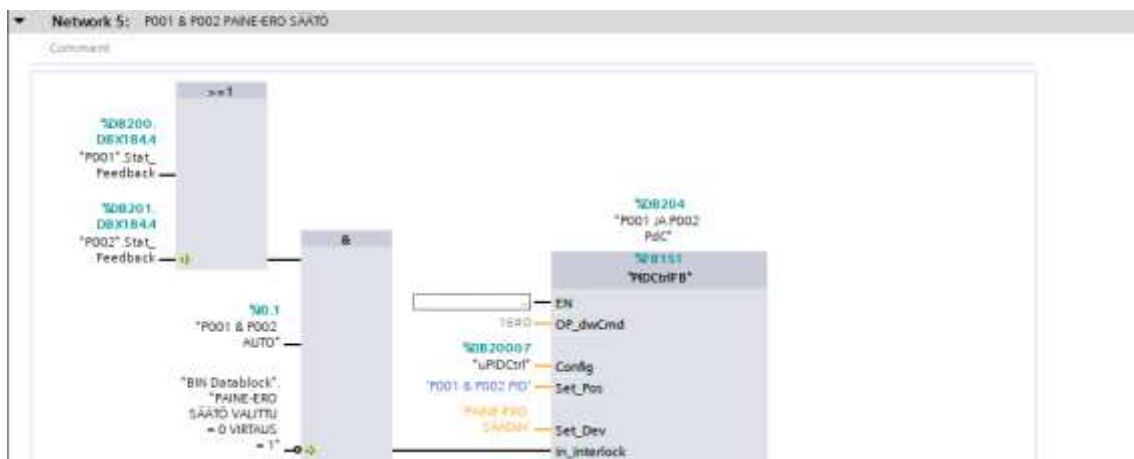


KUVA 4. Moottorin kontaktorin päälleohjaus toteutettuna Ladder-ohjelmoinnilla (9)

3.3 Toimintolohkokaavio

Toimintolohkokaavio on graafinen IEC 61131-ohjelmointikieli, joka koostuu verkostojen listasta. Jokainen verkko sisältää rakenteen, joka voi sisältää loogisia ja aritmeettisiä lausekkeitä, toimintolohkokutsut, hypyn tai paluulausekkeen. (10.)

Käytetyt toimintolohkot ovat tuttuja Boolean algebrasta. Toimintolohkot ja muuttujat yhdistetään yhdyslinjoihin. Signaalin virtaus verkossa on vasemmalta oikealle. Signaalin kulku editorissa on ylhäältä alas, alkaen verkosta 1 (kuva 5). (10.)



KUVA 5. OR- ja AND-funktiot verkossa nro 5

3.4 Datatyypit

Minkä tahansa ohjelmoitavan logiikan kanssa on käsiteltävänä paljon erilaisia tietoja, jotka ovat eri muodoissa (kuva 6). Esimerkiksi näppäimistön painikkeiden sisääntulot, valaistuspiirin ulostulo ja intervalliajastimet. On tärkeää ymmärtää, kuinka järjestelmä esittää ja varastoi erityyppisiä tietoja. Tietoja on periaatteessa kahta tyyppiä: diskreetti ja sanadata. Diskreetti data on yksi bitti, joka voi olla tilaltaan joko 1 tai 0. Diskreettiä tietoa käytetään näppäimistön painikkeiden tuloihin ja valaistuspiirien lähtöihin. Sanadata on 16-bittinen, joka edustaa kiinteää tai muuttuvaa lukua. Esimerkiksi sanatietoja käytetään intervalliajastimissa ja muissa matemaattisissa toiminnoissa. (11.)

Type	# bits	Signed/Unsigned	Min Value	Max Value
Bit	1		0	1
Int	8	Signed	-128	127
		Unsigned	0	255
	16	Signed	-32,768	32,767
		Unsigned	0	65,535
	32	Signed	-2,147,483,648	2,147,483,647
		Unsigned	0	4,294,967,295
Floating Point	32		1.175 E-38	3.403 E+38
	64		2.225 E-308	1.798 E+308

KUVA 6. Kolme yleisintä datatyyppiä, niiden koko bitteinä sekä minimi- ja maksimiarvot (12)

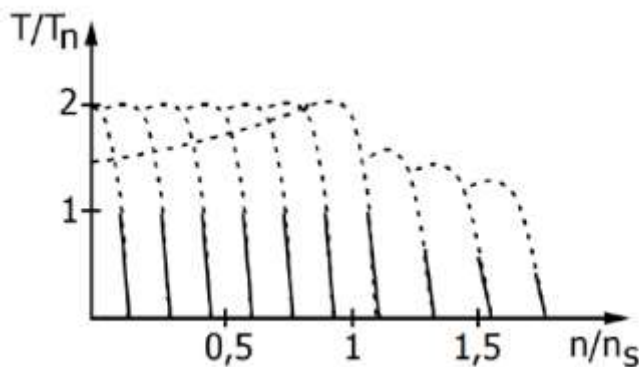
4 TYYPILLISIMMÄT OHJAUSTYYPIT JA SÄÄTÖTAVAT

4.1 Suorakäyttö

Suorakäytöllä tarkoitetaan oikosulkumoottoreiden käyttöjä, joissa verkkosähkö syötetään moottoreille suoraan ja muuttamattomana kontaktorien avulla. Tällöin moottorin syöttöä ei pystytä säätämään mitenkään, jolloin moottorin pyörimisnopeus riippuu syöttävän verkon taajuudesta, moottorin napapariluvusta ja kuormituksesta. (13, s. 13.)

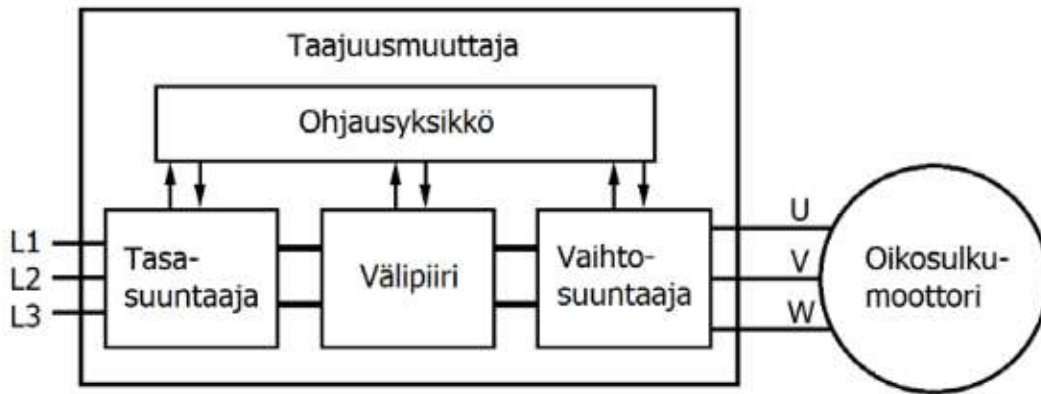
4.2 Taajuusmuuttajaohjaus

Taajuusmuuttaja mahdollistaa oikosulkumoottorin syötön jännitteen ja taajuuden säädön portaattomasti. Näiden avulla pystytään säätämään moottorin pyörimisnopeus ja momentti halutun suuruisiksi (kuva 7). (13, s. 16.)



KUVA 7. Oikosulkumoottorin momenttikäyriä taajuuden funktiona (13, s. 16)

Taajuusohjatuissa oikosulkumoottorikäytöissä käytetään välipiirillisiä taajuusmuuttajia. Tällaiset taajuusmuuttajat koostuvat seuraavaksi esitettävän kuvan 8 mukaisesti neljästä lohokosta. (13, s. 16.)



KUVA 8. Taajuusmuuttajan lohkoakaavio (13, s.16)

Näillä kullakin osalla on oma tehtävänsä. Tehtävät ovat esitetty seuraavassa listassa:

1. Tasasuuntaaja muuntaa verkon vaihtojännitteen tasajännitteeksi.
2. Välipiiri suodattaa tasasuuntaajan syöttämän sykkivän tasajännitteen LC-alipäästösuodattimella tai muuntaa sen tasavirraksi tasoituskuristimella.
3. Vaihtosuuntaaja muuttaa välipiirin tasajännitteen halutun taajuiseksi vaihtojännitteeksi.
4. Ohjausyksikkö huolehtii taajuusmuuttajan tarkoituksen mukaisesta toiminnasta. (13, s.16.)

Taajuusmuuttajat, joiden välipiiri on toteutettu pelkästään tasoituskuristimilla, kutsutaan tasavirtapiirillisiksi taajuusmuuttajiksi. Nämä toimivat virtalähteinä, joilla syötetään moottorille sellainen virta, että moottorin navoissa on halutun suuruinen jännite. Virran amplitudi säädetään tasasuuntaajassa tai tasavirtapiiriin kytketyllä tasavirtakatkojalla. (13, s. 17.)

Taajuusmuuttajia, joiden välipiirissä on LC-alipäästösuodatin, nimitetään tasajännitevälipiirillisiksi taajuusmuuttajiksi. Tämän tyyppisissä taajuusmuuttajissa moottorille syötettävän jännitteen amplitudia muutetaan, joko välipiirin jännitettä muuttamalla tai muuttamalla jännitteen pulssikuviota vaihtosuuntaajassa. Pulssikuvion muuntamista kutsutaan pulssileveysmoduloinniksi (PWM, Pulse Width Modulation). (13, s. 17.)

PWM-taajuusmuuttaja on yleisimmin käytetty taajuusmuuttajatyyppejä. Tämä johtuu siitä, että se kuluttaa vähän loistehoa, ja sen säätönopeus on nopea suhteessa välipiirin jännitesäädöllä toteutettaviin taajuusmuuttajiin. (13, s. 17.)

4.3 Pid-säätö

Teollisuudessa yleisimmin käytetty säädin on rakenteeltaan PID-säädin (Proportional-Integral-Derivative). Vaikka säädin on rakenteeltaan yksinkertainen, se toimii hyvin myös piireissä, joissa vaikuttaa useita häiriö- ja epävarmuustekijöitä. Sen virittämisen peruseräatteen ovat melko tunnetut. PID-säätimestä voidaan käyttää useita eri yhdistelmiä kuten P-, PI- ja PD-säätimiä. PID-säätimestä yleisimmin käytetty säädinrakenne onkin PI-säädin, jolla pystytään hallitsemaan tyypillisimmät teollisuusprosessit. (14, s. 67.)

4.3.1 P-säätö

P-säädössä jatkuva-aikainen ohjaussignaalin arvo $u(t)$ riippuu suoraan erosuureen arvosta $e(t)$ kaavassa 1 (14, s. 69).

$$u(t) = K_p e(t) + u_0$$

KAAVA 1

K_p = säätimen vahvistus

$e(t)$ = erosuureen arvo

u_0 = ohjaussignaalin vakiotaso

$u(t)$ = ohjaus-signaalin arvo

K_p = säätimen vahvistusarvo

Ohjaussignaalin vakiotaso asetetaan sellaiseksi, että halutussa toimintapisteessä ei esiinny säätövirhettä. Matemaattisena esityksenä kyseessä on siis pelkkä kerto- ja yhteenlasku. Jos erosuure on nolla, on myös säätimen lähtö sama kuin u_0 , usein nolla. (14, s. 69.)

4.3.2 I-säätö

Integroivaa säätöä käytetään usein yhdessä P-säädön kanssa. I-osan ansiosta tyypillinen P-säädön asentovirhe jää pois. PI-säätimen ohjaussignaali on esitetty kaavassa 2. (14, s. 72.)

$$u(t) = K_p \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t) dt \right)$$

KAAVA 2

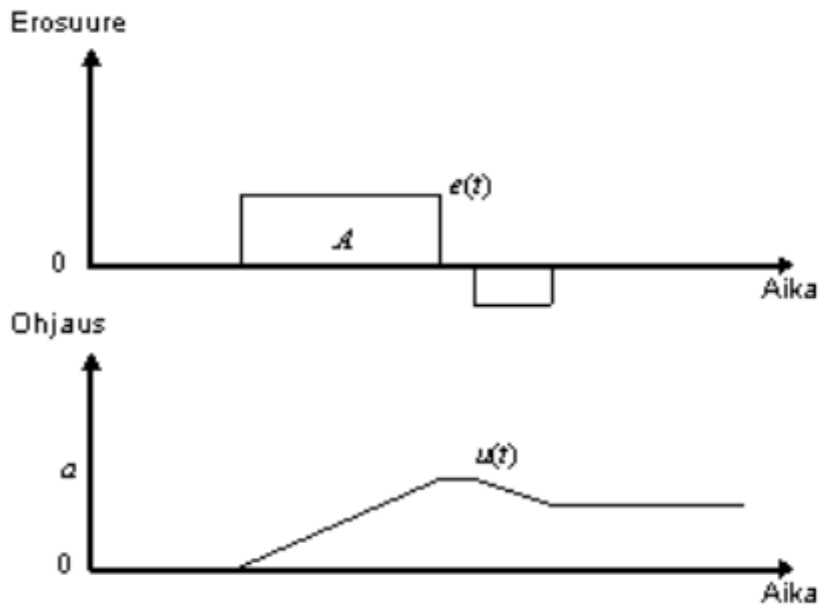
T_i = integrointi-aika sekunneissa

$e(t)$ = erosuureen arvo

K_p = säätimen vahvistusarvo

$u(t)$ = ohjaus-signaalin arvo

Kaavassa 2 T_i on integrointi-aika sekunneissa. Pelkkään P-säätöön verrattuna säätimen signaalin vakiotaso u_0 on nyt korvattu ajan funktiona muuttuvalla erosuureen integraalilausekeella. Integraalilauseke voidaan mieltää vanhojen erosuureiden summaan verrannolliseksi. Säätimen lähtö muuttuu niin kauan kuin säätöpoikkeama ei ole nolla. Säätimen lähtöön vaikuttaa siis säätöpoikkeaman suuruus ja säätöpoikkeaman vaikutusaika. Matemaattisesti integrointi tarkoittaa pinta-alan laskemista, eli ohjaustaso a on riippuvainen pinta-alasta A (kuva 9). PI-säädin on monien hyvien ominaisuuksiensa vuoksi yleisimmin käytetty säädintyyppi. (14, s. 72.)



KUVA 9. Erosuureen vaikutus ohjaussignaaliin (14, s. 72.)

4.3.3 D-säätö

Derivoivaa säätöä käytetään yhdessä P-säädön (PD-säädin) tai integroivan säädön (PID-säädin) kanssa. Ideaalisessa PID-säädössä ohjaussignaali on esitetty kaavassa 3. (14, s. 73.)

$$u(t) = K_p \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right) \quad \text{KAAVA 3}$$

T_d = derivointiaika sekunteina

$de(t)/dt$ = erosuureen derivaatta

$dy(t)/dt$ = mittaussuureen muutosnopeus

$e(t)$ = erosuureen arvo

T_i = integrointiaika sekunteina

K_p = säätimen vahvistus

$u(t)$ = ohjaus signaalin arvo

Kaavassa 3 T_d on derivointiaika sekunneissa. Derivaatta (d/dt) kuvaa suureen muutosnopeutta. Kun $de(t)/dt$ on nolla, muutoksia ei tapahdu ja D-signaali on siis vakio. Usein erosuureen derivaatan $de(t)/dt$ sijasta käytetään

mittaussuureen muuttumisnopeutta $dy(t)/dt$, jolloin säädin ei reagoi D-osan kautta suoraan asetusarvon muutoksiin. Säädin on toisin sanoen suunniteltu tällöin vain kuormitushäiriöiden kompensointiin. (14, s. 73.)

4.4 Säätimen viritys

4.4.1 Vahvistus

Vahvistuskerroin K_p on suhdekerroin säätimen ohjauksen ja erosuureen välillä. Vahvistus näkyy erosuureen askelmuutoksessa säätimen ohjauksen perustason arvona. Vahvistusta kasvattamalla nopeutetaan järjestelmän käyttäytymistä. P-säädin tuntee siis erosuureen suuruuden ja etumerkin. (14, s. 76.)

4.4.2 Integrintiaika

Integrintiosa käyttää ohjaukseen järjestelmän historiatietoja, siis erosuureen vanhoja arvoja. Sen päätarkoituksena on poistaa jatkuvuustilan virhe, sillä pienikin erosuureen arvo kasvattaa integrintiosan ansiosta säätimen lähtöä. Integrintiaika T_i on aika, jossa I-osa saa aikaan samansuuruisen muutoksen ohjaussuureeseen kuin P-osa askelmaisessa erosuureen muutoksessa. Mitä suurempi integrintiaika, sitä pienempi I-osan vaikutus on. Pieni integrintiaika aiheuttaa suuren ohjauksen kasvunopeuden. Koska integrintiaika on kaavassa muotoa $1/T_i$, havaitaan että laittamalla T_i äärettömän suureksi sen vaikutus katoaa, ja PI-säädin alkaa muistuttaa P-säädintä. PI-säädin tuntee siis erosuureen suuruuden, etumerkin ja kestoajan. (14, s.77.)

4.4.3 Derivointiaika

D-osa muodostaa ohjauksen erosuureen tai tarkasteltavan säädettävän suureen muutosnopeuden pohjalta. Muutosnopeutta voidaan pitää ennustuksena järjestelmän käyttäytymisestä tulevaisuudessa. Prosessin dynamiikan seurauksena ohjauksen muutokset havaitaan järjestelmän lähdössä vasta pienen ajan kuluttua. Suljetun piirin suorituskyvyn ja vaimennuskyvyn parantamiseksi voidaan em. kompensoida käyttämällä ennustamista. Mitä suurempaa derivointiaikaa käytetään, sitä voimakkaampi D-osan vaikutus on. Mikäli prosessissa on viivettä, täytyy derivaattaan suhtautua varovaisesti. (14, s.78.)

Haittapuolena on se, että D-osa korostaa korkeita taajuuksia, siis esim. mittauskohinaa. Tämän vuoksi tarvitaan joko signaalien suodatusta tai derivaatan laskemista hieman eri tavalla. Tämän takia derivoiva säätö on harvemmin käytössä prosessiteollisuudessa, jossa mittaussignaalit ovat aina kohinaisia. Mekaanisten järjestelmien yhteydessä D-osan käyttö onkin jo yleisempää, osaltaan johtuen lyhyistä signaalien siirtoteistä. PID-säädin reagoi erosuureen suuruuteen, etumerkkiin, kestoaikaan ja muutosnopeuteen. (14, s.78.)

5 KÄYTTÖLIITTYMÄN SUUNNITTELU

Valvontatyö on lisääntynyt tasaisesti automaatioasteen kasvun myötä, ja valvottavien prosessien lisääntynyt seuranta ja hallinta luovat suuria haasteita valvontajärjestelmille (15).

Käyttöliittymien pitäisi toimia operaattorille ”ikkunana” valvottavaan kohteeseen, mutta yleensä tunne voi olla enemmänkin prosessin valvontaa avaimen reiästä. Näyttömäärän lisäämisellä ja näyttöruutujen jakamisella useampaan ikkunaan on pyritty lisäämään näkyvillä olevaa tietoa, mutta tiedon hajallisuus estää selvän kokonaiskuvan muodostamista prosessin tilasta tai ohjauksen vaikutuksesta prosessiin. Usein vain kokenut operaattori pystyy hahmottamaan oleellisen tiedon informaatiotulvasta, navigoimaan sujuvasti oikean tiedon löytämiseksi ja toteuttamaan ohjauksia vakaasti. (15.)

5.1 ISO/IEC JTC 1/SC 35

Käyttöliittymien standardisoinnissa laaditaan standardeja tukemaan käyttöliittymien suunnittelua ja toteutusta. Standardeissa huomioidaan kielelliset ja maakohtaiset eroavuudet sekä erityisryhmien tarpeet. (16.)

Standardien tunteminen on edellytys hyvän käyttöliittymän suunnittelulle. Standardisoidut ratkaisut tukevat käyttäjän toimintaa. Jos esimerkiksi saman kuvakkeen toiminnallisuus on eri järjestelmissä erilainen, käyttäjä hämmentyy ja käyttää mieluiten standardinmukaista ratkaisua. Jos käyttäjä kokee järjestelmän käyttämisen hankalaksi, ei järjestelmää yleensä käytetä, eikä sitä suositella muille. (16.)

Käyttöliittymiin liittyvää kansainvälistä standardisointityötä tehdään ISO:n alakomiteassa ISO/IEC JTC 1/SC 35 User interfaces. (16.)

Alakomitean työryhmissä on esillä seuraavia aiheita:

- käyttöliittymien saavutettavuus
- käyttöliittymien vuorovaikutteisuus
- kuvakkeet ja graafiset symbolit

- mobiililaitteiden käyttöliittymät
- maakohtaiset, kielelliset ja käyttäjäkohtaiset vaatimukset
- erityisryhmien käyttöliittymät
- opastusohjelmien ja järjestelmäavustajien toiminta (16).

5.2 Värimaailma

Monet paneelinsuunnittelun ohjeet kehottavat hillitsemään värien käyttöä, ja suosittelevat taustaväriksi matalakonstrastista harmaata sotkuisen näkymän välttämiseksi. Esimerkiksi vaaleanharmaa näytön tausta, jossa tyypillinen merkkivalo olisi tummanharmaa pois päältä -tilassa ja valkoinen päällä -tilassa, on silmille helppo, ja se on järkevä intuitiivisesti, koska hehkulamppu muuttuu valkoiseksi, kun se on päällä. Käyttöliittymän suunnittelussa on hyvä pyrkiä käyttämään hillittyjä värejä tai harmaasävyjä ja kylläisiä värejä epänormaalien olosuhteiden osoittamiseen. (17.)

5.3 Grafiikat

Grafiikoita suunnitellessa täytyy olla huolellinen, ettei ajaudu käyttämään turhia animaatioita. Jotkut taiteellisesti lahjakkaammat käyttöliittymäsuunnittelijat nauttivat kaikkien ohjelmistossa saatavien värien ja graafisten animaatioiden käytöstä, mutta tätä tulisi välttää. Pumpputen ja puhaltimien pyörimisen, venttiilien avaamisen ja sulkemisen sekä putkissa liikkuvan nesteiden näyttämisen voi näyttää hienolta, mutta se voi olla liiallista ja voi hämätä käyttäjää prosessin seuraamisessa. Animointia voidaan käyttää, jos se on käyttäjälle eduksi. (17.)

5.4 Datan ilmaisu

Datan ilmaisu on avaintekijä käyttöliittymän suunnittelussa, ja erityyppiset tiedot vaativat erilaisia ilmaisumalleja. Numero näytöllä voi näyttää nopeuden tarkasti, mutta kyseessä voi olla tekninen yksikkö ja hyväksyttävä alue ei välttämättä ole tiedossa. Tämä ratkaistaan lisäämällä selvästi näkyville yksiköt, esimerkiksi metriä sekunnissa ja maksimi- ja vähimmäisarvot. (17.)

5.5 Tilannetietämys

Varmista, että asiaankuuluvat tiedot näkyvät selkeästi, jotta operaattorit voivat ymmärtää laitteen tai prosessin nykytilan yhdellä silmäyksellä. Hyvä näyttö vastaa kahteen avainkysymykseen: "Missä tilassa kone tai prosessi on nyt?", ja "Kuinka sitä verrataan optimaalisiin olosuhteisiin?" (17.)

Yksinkertaisille koneille tietojen näyttäminen koneen nykytilasta voi olla riittävä, mutta monimutkaisemmille koneille tai prosesseille näytön suunnittelun ja ulkoasun tulisi pyrkiä auttamaan käyttäjää ennakoimaan mahdollisia ongelmia. (17.)

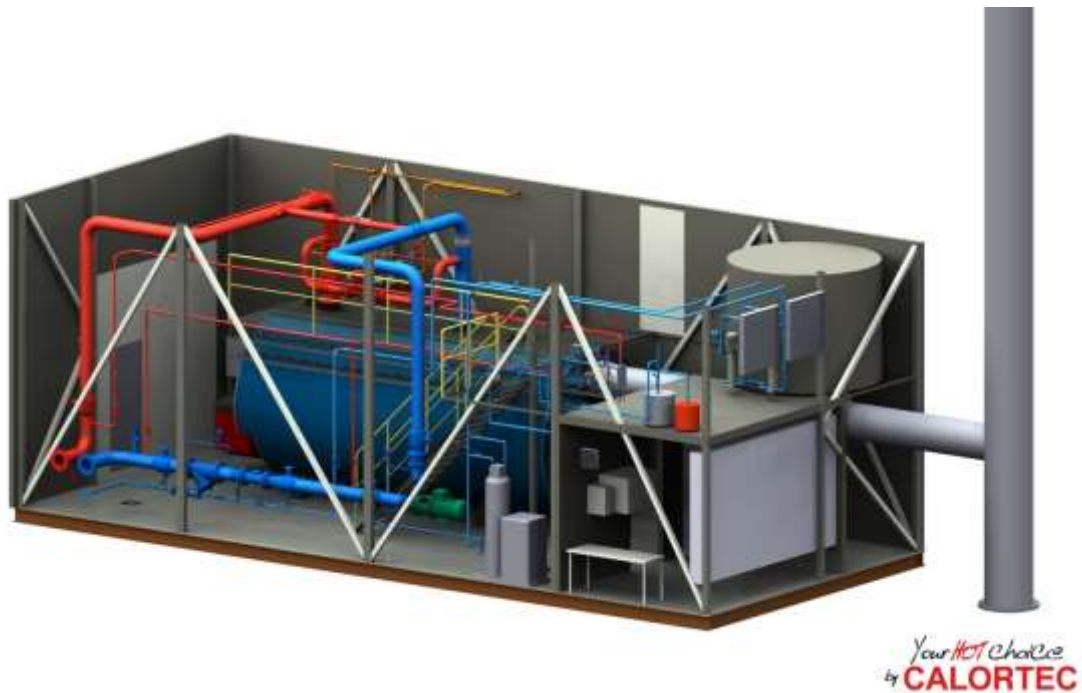
5.6 Ajan ja päivänmäärän ilmaisu

Hyvät käyttöliittymä vaatii muutakin kuin vain oikein suunniteltuja näyttöjä; käsiteltävänä on myös ominaisuuksia, kuten hälytyksiä ja tapahtumien kirjaamisia. (17.)

Hälytyksen kohteen ja syyn lisäksi on oleellista tietää myös tapahtuma-aika. Monet toistuvat ongelmat saattavat tuntua liittymättömiltä, mutta korreloivat usein muutosten, kahvitaukojen tai jopa lähellä olevien laitteiden käynnistyksen ja sammutuksen tai muun määräajoin tapahtuvan laitoksen toiminnan kanssa. (17.)

6 KAUKOLÄMPÖKESKUS

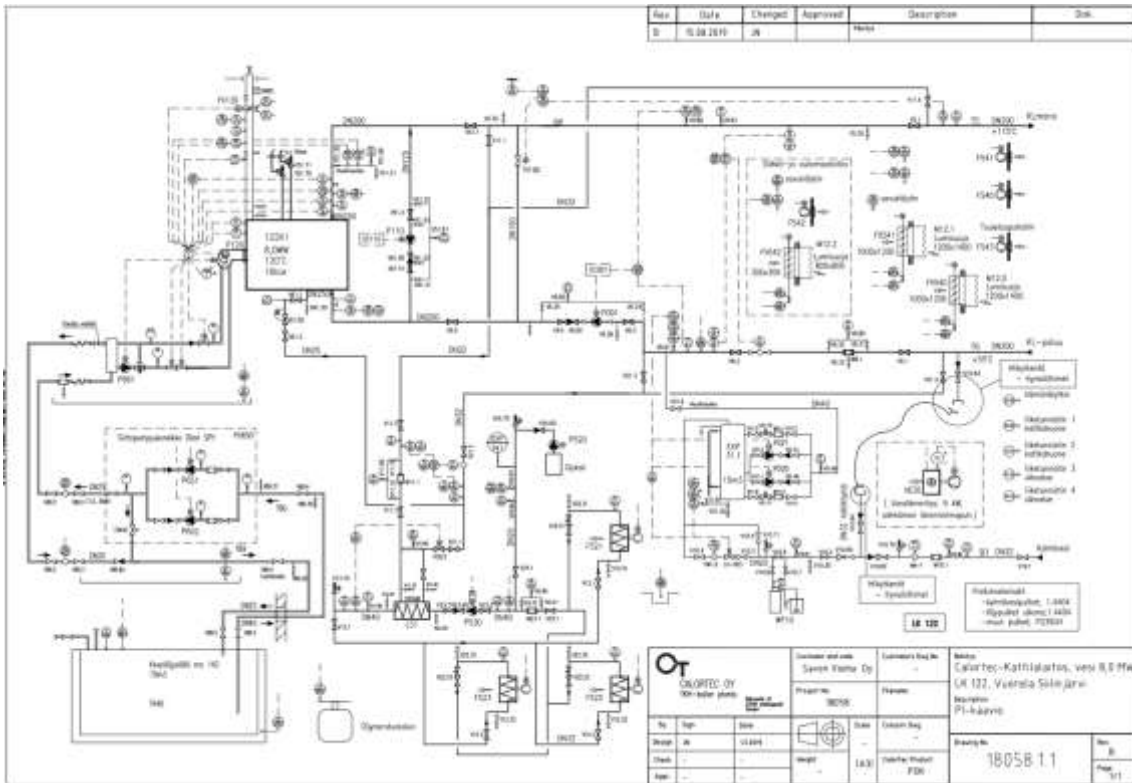
Kaukolämpölaitoksen pääasiallinen tehtävä on lämmittää ja pumpata kaukolämpövesi asiakkaiden lämmönvaihtimille. Tämän projektin kaukolämpökeskus oli kaksikerroksinen (kuva 10). Kaukolämpökeskus sisälsi useita eri toimilaittepiirejä, mittauksia ja logiikalla ohjattavia toimintoja.



KUVA 10. Laitosvalmistajan 3D-mallinnus kaukolämpökeskuksesta

Ohjelmistosuunnittelun alettua laitos oli jo rakennusvaiheessa Uudessakaupungissa ja siihen kuuluvat laitteet ja komponentit oli päätetty jo jonkin aikaa ennen rakentamisvaihetta. Myös logiikkayksikön tyyppi ja tarvittavat tulo- ja lähtökortit oli jo valmiiksi suunniteltu ja hankittu.

Työksi jäi suunnitella logiikkaohjelmisto, joka ohjaa prosessia ja graafinen käyttöliittymä, jonka kautta prosessia hallitaan. Prosessin ymmärtämiseksi laitoksen valmistajalta toimitti käytettäväksi PI-kaavion, eli putkitus ja instrumentointikaavion, joka pitää sisällään laitoksen instrumentit, mittaukset ja säätöpiirit (kuva 11).



KUVA 11. PI-kaaviossa esitettiin kaksikulotteisesti laitoksen toiminnot

Laitetekonaisuuksien selvemäksi esittämiseksi ne on jaettu toimilaitetyyppeihin. Toimilaitetyypin yhteydessä kerrotaan myös ohjelmalliset kriteerit, joiden mukaan laitteiden täytyy toimia.

6.1 Suorakäyttöohjaus

Laitoksessa oli viisi kappaletta suorakäyttöisellä moottorilla ohjattua pumppua. Suorakäyttöistä moottorihjausta käytettiin seuraavissa toiminnoissa:

- kaukolämpöveden paluulinjan paineenpitopumppujen ohjauksessa
- polttimen kevytöljyn siirtopumppujen ohjauksessa
- omakäyttöpiirin pumpun ohjauksessa
- kiertoilmakojeiden ohjauksessa
- poistoilmapuhaltimien ohjauksessa.

6.1.1 Paineenpitopumput

Kaukolämpöveden paineenpitopiiriin tehtävänä on käynnistää paineenpitopumput vuorotellen, kun kaukolämpöveden paluulinjan paine laskee alle määritellyn

alarajan. Paineenpitopumput ovat kytketty rinnan ja ne saavat pumpattavan veden lisävesisäiliöstä. Pumput eivät saa käydä silloin, kun lisävesisäiliön pinta on liian alhaalla tai jos pinnanmittauksessa on havaittu mittausvirhe. Toisen pumpun vikaannuttua sen käyntivuorolla toisen pumpun täytyy lähteä käyntiin. Käyntiehtoihin täytyi myös ohjelmoida toiminto, jossa toinenkin pumppu lähtee käyntiin, jos ensimmäinen pumppu ei saavuta paluulinjan tavoiteltua painetta 30 sekunnin kuluessa. Vian ilmetessä ja pumpun pysähtyessä toimilohkon täytyy luoda hälytys.

6.1.2 Öljynsiirtopumput

Poltin käyttää polttoaineena kevytpolttoöljyä, joka siirretään polttimelle kahdella siirtopumpulla. Nämä siirtopumput on kytketty rinnan ja ne saavat öljyn ulkona olevasta öljysäiliöstä. Pumput käyvät vuorotellen ja ne käynnistyvät polttimen käynnistyksen yhteydessä ylösajosekvenssissä. Pumput eivät saa käydä, jos yksikin öljyvuotohälytin on lauennut tai jos öljysäiliön pinta on tarpeeksi matalalla. Pinnanmittauksessa havaitun virheen täytyy myös estää pumppujen käynnistyminen. Vikatilanteessa täytyy toisen pumpun lähteä käyntiin, kun ensimmäinen pumppu vikaantuu. Vikatilassa olevan pumpun täytyy myös aiheuttaa hälytys.

6.1.3 Omakäyttöpiirin pumppu

Omakäyttöpiiri on kaukolämpökeskuksen sisäiseen lämmitykseen käytettävä piiri. Omakäyttöpiirin pumppu kierrättää piirin sisässä vettä, jolla siirretään lämmintä vettä kiertoilmakojeille. Piirin pumppua ei säädetä taajuusmuuttajalla, mutta siinä on sisäisesti valittavissa kaksi säätötapaa. Paine-ero vakio tai suhteellinen paine-ero. Automaattitilassa pumppu käy jatkuvasti ja se käynnistyy käynnistyssekvenssin yhteydessä. Vian ilmetessä pumppu luo hälytyksen.

6.1.4 Kiertoilmakojeet

Laitoksen kiertoilmakojeet ovat omakäyttöpiiriin liitettjä lämmityslaitteita. Kiertoilmakojeet ovat suorakäyttöisiä. Ne ohjelmoitiin käynnistymään käyttöliittymästä asetettavista käynnistys- ja pysäytysrajoista sekä kiinteistä rajoista, joita ei käyttäjä voi itse määrittää. Kiertoilmakojeet eivät saa käydä, kun

palosulake ovat lauennut. Vian ilmetessä laitteiden toiminta pysähtyy ja siitä luodaan hälytys.

6.1.5 Poistoilmapuhaltimet

Poistoilmapuhaltimet ovat laitoksen sisäiseen tuuletukseen käytettäviä puhaltimia, jotka toimivat vallitsevan sisälämpötilan mukaan. Ne ovat suorakäyttöisiä moottoreita, jotka on asennettu tuuletuspeltien yhteyteen laitoksen yläosaan tarkoituksena poistaa ilmaa laitoksen sisältä. Tuuletuspellit ovat painovoimalla toimivia ja avautuvat, kun poistoilmapuhallin käy ja sulkeutuvat, kun poistoilmapuhallin sammuu. Poistoilmapuhallus käynnistyy, kun valvomosta asetetut tai kiinteät rajat on saavutettu. Poistoilmapuhallin ei saa käydä kun palosulake on lauennut. Tuloilmapeltien on oltava auki poistoilmapuhaltimien käynnin mahdollistamiseksi. Vian ilmetessä laitteen toiminta pysähtyy ja siitä luodaan hälytys.

6.2 Taajuusmuuttajaohjaus

Laitoksessa oli yhteensä kaksi taajuusmuuttajaohjattua pumppua: kaukolämpöpumppu ja sekoituspumppu. Taajuusmuuttajaohjattu moottori eroaa suorakäyttöisestä kierrosnopeuden säätömahdollisuudella.

6.2.1 Kaukolämpöpumppu

Kaukolämpöpumpun tehtävänä on pumpata lämmitetty kaukolämpövesi asiakkaiden lämmönvaihtimille kaukolämpöverkkoa pitkin. Kaukolämpöpumppua ohjataan kahdella PI-säätimellä, joista valittavissa on joko paine-eroon perustuva säätö tai virtaukseen perustuva säätö. Pääsääntöisesti ohjaus tapahtuu paine-ero säädöllä, mutta asiakas oli havainnut, että joissakin tapauksissa virtaukseen perustuva säätö on hyödyllisempi, joten se toteutettiin paine-ero säädön lisäksi.

Kaukolämpöpumppu käynnistyy sekvenssikäynnistyksen yhteydessä, mutta sen voi myös käynnistää ilman sekvenssikäynnistystä. Sekvenssikäynnistyksen yhteydessä pumppu nostaa kierroksia hitaasti virtauksen syntymiseen saakka, ja sen jälkeen aavistuksen nopeammin, kunnes tavoiteltu paine-eron tai virtauksen arvo on saavutettu. Kaukolämpöpumppu menee lukitustilaan, jos paluulinjan

paine on liian matala tai menolinjan paine on liian korkea. Vian ilmetessä pumpun toiminta pysähtyy ja siitä luodaan hälytys.

6.2.2 Sekoituspumppu

Kattilan paluuveden lämpötilan säädöllä pyritään tasaamaan kattilan meno- ja paluupuolen välistä lämpötilaeroa. Lämpötilaeron taseus tapahtuu kierrättämällä lämmitettyä menovettä takaisin kattilan paluuvesipuolelle. Vettä kierrättää taajuusmuuttajaohjattu sekoituspumppu, jota säädetään PI-säätimellä. PI-säätimen suurena toimii kattilan paluupuolen veden lämpötila.

Lämpötilaeron tasaaminen on kriittistä kattilan toiminnan kannalta, sillä liiaksi kasvanut lämpötilaero polttimeen käydessä voi vaurioittaa kattilan rakennetta pysyvästi. Sekoituspumppu käy jatkuvasti kun automaattitila on valittu, ja se lähtee käymään aina polttimeen käynnistyksen yhteydessä, sekä myös käynnistyssekvenssistä. Sekoituspumpun toiminta pysähtyy vian ilmetessä ja siitä luodaan hälytys.

6.3 Kaksiasentoiset toimilaitteet

Laitoksessa on yksi kaksiasentoinen venttiili, joka on auki- tai kiinni-tyyppinen. Lisäksi laitoksessa on neljä muuta samalla periaatteella toimivaa ilmapeltiä.

6.3.1 Lisävesisäiliön magneettiventtiili

Laitoksen ainoa logiikkaohjattu magneettiventtiili sijaitsee lisävesisäiliön täyttölinjassa. Sen tehtävänä on avautua, kun valvomosta asetettava alaraja saavutetaan tai hälytysraja saavutetaan. Magneettiventtiilin avautuessa lisävesisäiliöön virtaa lisää vettä. Valvomosta asetettavan ylärajan saavutettuaan magneettiventtiili sulkeutuu ja estää veden virtauksen säiliöön. Hälytys luodaan, jos magneettiventtiili on ollut auki yli 30 min. tai, jos vika ilmenee.

6.3.2 Korvausilmapelit

Korvausilmapelit ovat myös kiinni/auki -tyyppisiä laitteita. Niitä on laitoksessa kolme, kaksi niistä kattilasalissa ja yksi sähkö- ja automaatiotilassa. Korvausilmapelit nimensä mukaisesti tuovat laitoksen sisään korvaavaa ilmaa

polttimen käydessä, jotta sisälle ei synny alipainetta. Kesäisin niitä käytetään myös laitoksen tuuletukseen. Korvausilmapeltit eivät varsinaisesti ole venttiileitä, mutta ne toimivat samankaltaisesti, kuin magneettiventtiilit. Ohjauksen mentyä pois päältä pelti palautuu takaisin kiinniasentoon. Moottorilla ei siis ohjata peltiä kiinni, vaan auki. Korvausilmapeltit avautuvat poistoilmapuhalluksen tai polttimen käynnistyttyä, sekä myös sekvenssikäynnistyksen yhteydessä. Korvausilmapeltit eivät avaudu, jos palosulake on lauennut. Vian ilmetessä laitteen toiminta pysähtyy ja siitä luodaan hälytys.

6.3.3 Savukaasupelti

Savukaasupeltiä käytetään avaamaan savukaasukanava ohjaamalla se logiikasta auki, kun poltin on käynnissä savukaasujen poistamiseksi kattilan tulipesästä. Se on auki/kiinni -tyyppinen pelti, joka avautuu käynnistyssekvenssin yhteydessä, kun poltin käynnistetään. Se ohjataan kiinni, kun poltin ei enään käy tai palosulake on lauennut. Vian ilmetessä tai momenttisuojan lauetessa laitteen toiminta pysähtyy ja siitä luodaan hälytys.

6.4 Pi-säädetyt venttiilit

PI-säätimellä ohjattuja venttiileitä on kaksi, mutta lasken polttimen ohjauksen kolmanneksi, koska logiikan kannalta sitä ohjataan samalla tavalla kuin PI-säätöisiä veden lämpötilaa säätäviä venttiileitä. Säätöventtiilin asento määrittyy PI-säätimen laskeman erosuureen ja integrointiajan perusteella, ja se on skaalattu suuruudelle 0 – 100 %.

6.4.1 Kaukolämpöveden säätöventtiili

Kaukolämpöveden säätöventtiiliä käytetään lähtevän kaukolämpöveden lämpötilan säätämiseen. Säätäminen tapahtuu sekoittamalla paluulinjasta kylmempää vettä lähtevään linjaan, jolloin lämpötila laskee. Mitä enemmän venttiili on auki, sitä enemmän viileämpää vettä sekoittuu menolinjaan, jonka seurauksena lähtevä kaukolämpövesi jäähtyy. Venttiilin asentoa ohjaa PI-säädin, joka käyttää säädettävänä suurena lähtevän kaukolämpöveden lämpötilaa. Säätöventtiili aloittaa toiminnan käynnistyssekvenssin yhteydessä. Vian

ilmetessä tai momenttisuojan lauetessa laitteen toiminta pysähtyy ja siitä luodaan hälytys.

6.4.2 Omakäyttöpiirin säätöventtiili

Laitoksen omakäyttöpiirin tehtävänä on hoitaa laitoksen sisäinen lämmitys. Omakäyttöpiiri saa veden kaukolämpöveden paluulinjasta. Paluulinjaan on sijoitettu PI-säätimellä ohjattu venttiili, joka päästää paluuvettä omakäyttöpiirin lämmönvaihtimelle. PI-säädin käyttää säädettävänä suureena omakäyttöpiirin menoveden lämpötilaa ja se aloittaa toiminnan käynnistyssekvenssin yhteydessä. Venttiilin toiminta pysähtyy vian ilmetessä ja siitä luodaan hälytys.

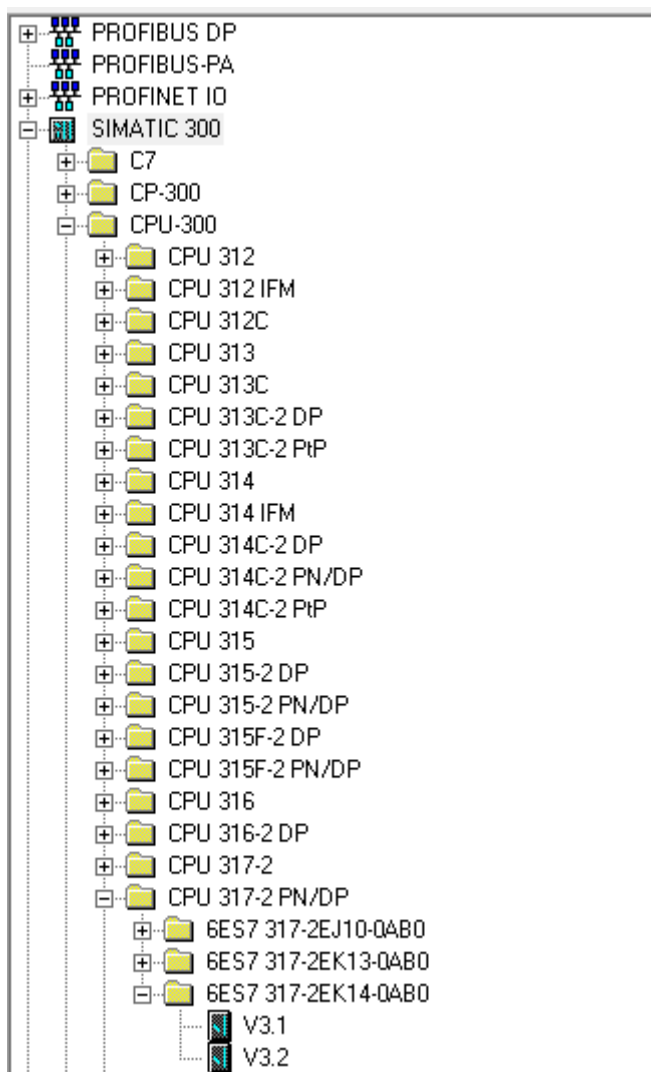
6.4.3 Polttimen ohjaus

Veden lämmitykseen käytetään Oilonin valmistamaa kevytöljykäyttöistä poltinta, joka käynnistyy käynnistyssekvenssin yhteydessä. Polttimen malli on KP-700 M-II. Poltinta säädetään logiikan PI-säätimellä polttimen ollessa kaukokäytöllä. PI-säädin käyttää suureena kattilasta lähtevän menoveden lämpötilaa. Polttimen käynnistys vaatii, että palopiirin turvalaitteet eivät ole laenneet, poltinhäiriötä ei ole, savukaasupelti on auki, tuloilmapeltit ovat auki, sekoituspumppu on käynnissä, toinen öljypumpuista käy, kuivakiehuntasuojaja tai rajoitintermostaatti ei ole lauennut sekä polttimen käynnistyskytkin on KAUKO-asennossa.

Polttimen toiminta pysähtyy vian ilmetessä, tai jos jokin edellä mainituista ehdoista ei toteudu. Häiriötilanteen sattuessa siitä luodaan hälytys. Polttimelle ohjelmoitiin myös logiikan sisäinen termostaatti, joka tarkkailee kattilasta lähtevän veden lämpötilaa. Se pysäyttää ja käynnistää polttimen, kun käyttöliittymään asetetun termostaatin rajat on alitettu tai ylitetty.

7 LAITTEISTOMÄÄRITYKSET

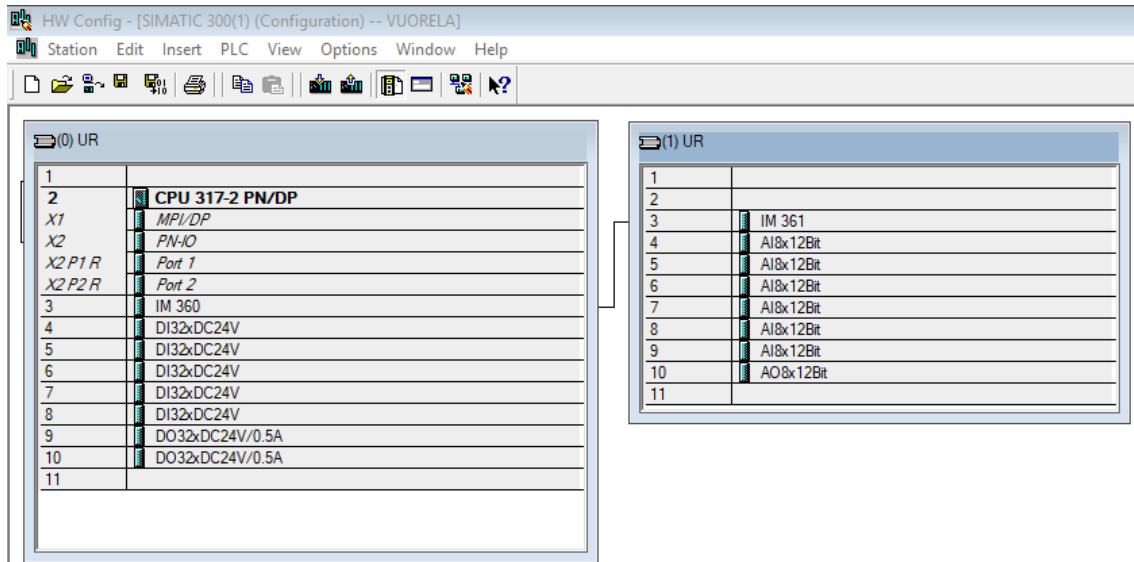
Ohjelmointityön alussa oli määritettävä Step7-ohjelmiston Hardware-config-osiassa se, millaista CPU:ta ja mitä kortteja käytetään. Step7-ohjelmisto tukee S7 300- ja S7 400 -sarjan logiikkayksiköitä. Projektin alussa sain listan laitoksessa käytettävästä CPU:sta ja kaikista korteista. Seuraavaksi ne etsittiin HW-config osion listasta nimen perusteella (kuva 12). Jokaisella laitteella ja kortilla on oma yksilökohtainen järjestysnumero, joten varmistin vielä niiden perusteella, että valitsemani komponentit olivat oikeat.



KUVA 12. CPU:n tyypin valintalista Hw-config -osiassa

Projektissa logiikan kortteja on yhteensä 14, joista digitaalitulokortteja 5, digitaalilähtökortteja 2, analogiatulokortteja 6 ja analogialähtökortteja yksi.

Korttien koko ilmoitetaan valintaikkunassa (kuva 13) esim. DI32xDC24V tarkoittaa, että kortin koko on 32 bittiä ja se toimii 24 V:n tasajännitteellä. Korttien ja CPU:n valinnan jälkeen voitiin siirtyä määrittelemään korttien asetuksia.

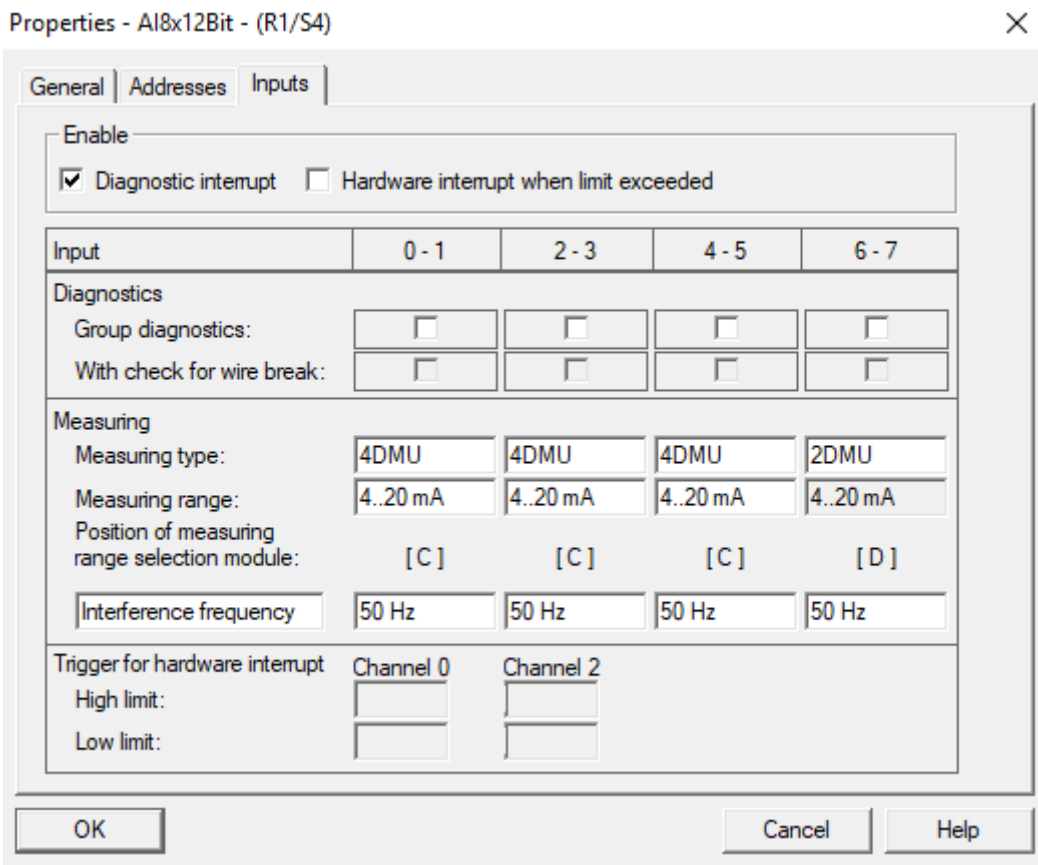


KUVA 13. Laitteistomäärittely valmis

7.1 Analogiatulokortin määrittäminen

Logiikan korttien valinnan jälkeen analogiatulokortteihin määriteltiin mittaustyyppi ja mittausalue. Mittaustyyppillä tarkoitetaan 4-johtoista lähetintä tai 2-johtoista lähetintä. Nämä eroavat toisistaan siten, että 2-johtoisessa kenttälaitteessa ei ole omaa jännitelähdettä, joten logiikan kortti syöttää käyttöjännitteen laitteelle. 4-johtoinen puolestaan tarkoittaa, että kenttälaitteella on oma jännitelähde, joten logiikan kortti ei syötä jännitettä.

Yhdessä analogiatulokortissa on 4 paria eli yhteensä tilaa kahdeksalle eri mittauslaitteelle. Koska mittaustyyppi määritetään aina yhdelle kanavalle joka voi sisältää kaksi mittausta, on molempien kenttälaitteiden oltava samantyyppisiä. Esimerkiksi pari 0 - 1 sisältää kaksi eri mittausta, joten tässä parissa molemmat ovat joko 4-johtoisia tai 2-johtoisia (kuva 14). Toiselta nimeltään näitä kahta eri laitetyyppiä kutsutaan passiiviseksi kenttälaitteeksi ja aktiiviseksi kenttälaitteeksi. Passiivinen laite saa jännitteen logiikan kortilta (D), ja aktiivisella toimilaitteella (C) on oma jännitelähde.



KUVA 14. 8 x12-bittisen analogiatulokortin asetusten määrittäminen

Mittaustyyppin määrittämisen jälkeen määritellään millaista mittausaluetta käytetään. Toiselta nimeltään tätä mittausaluetta kutsutaan virtaviestiksi. Vaihtoehtoina ovat: +/- 3.2 mA, +/- 10 mA, 0 - 20 mA, 4 - 20 mA tai +/- 20 mA. Tässä projektissa mittausalueena käytettiin 4 - 20 mA. Jos ajatellaan, että mittaus skaalaan välillä 0 - 100 %, niin 4 mA vastaa lukuarvoa 0 % ja 20 mA vastaa lukuarvoa 100 %. Etuna tässä virta-alueessa on se, että virransyötön katketessa havaitaan, kun virta putoaa 0 mA:in eli selvästi alle mittausalueen. Jos käytettäisiin esimerkiksi aluetta 0 - 20 mA, niin laitteen rikkoutumista on hankala havaita, koska vikatilassa virta putoaa nolnaan, joka vastaa 0 %:a. Nämä määrittäykset tehtiin käytettävien laitetyyppien mukaan, joten niiden mielivaltainen määrittely ei ole mahdollista.

7.2 I/O- ja symbolilista

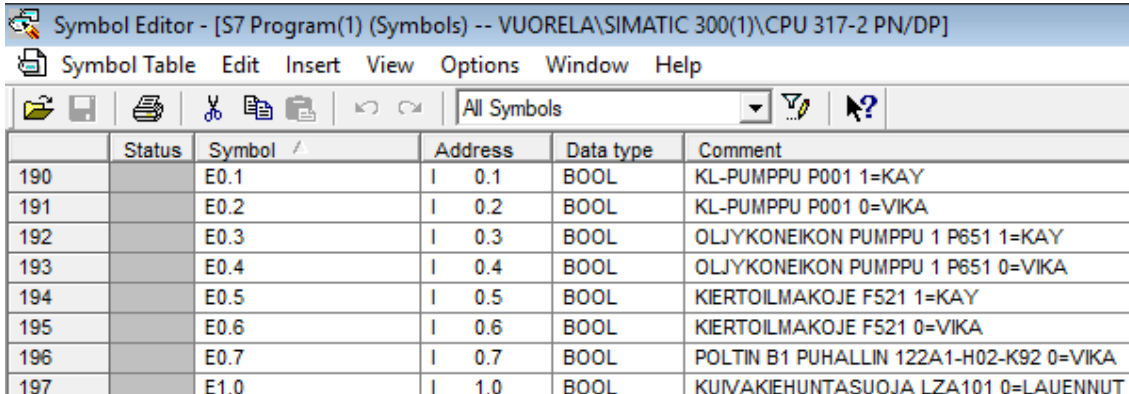
I/O-lista on automaatio- tai sähkösuunnittelijan laatima lista, joka sisältää kaikki laitoksen logiikan piiriin kuuluvat toimilaitteet ja niiden tehtävät, instrumentit,

automaatiopositiot sekä niiden osoitteet logiikan korteilla (kuva 15). E0.0 on ensimmäisen digitaalitulokortin ensimmäinen kanava. R0/S4 tarkoittaa: r0 eli rack 0 on ensimmäinen kehikko ja s4 eli slot 4 tarkoittaa paikkaa 4.

Nro	UPS	Pos.	Piiritunnus	Tehtävä
DIGITAALITULOT R0/S4				
Nro	Nimi	Pos.	Piiritunnus	Tehtävä
E0.0	KL-PUMPPU	P001		1=AUTOMAATTI
E0.1	KL-PUMPPU	P001		1=KÄY
E0.2	KL-PUMPPU	P001		0=VIKA
E0.3	ÖLJYKONEIKON PUMPPU 1	P651		1=KÄY
E0.4	ÖLJYKONEIKON PUMPPU 1	P651		0=VIKA
E0.5	KIERTOILMAKOJE	F521		1=KÄY
E0.6	KIERTOILMAKOJE	F521		0=VIKA
E0.7	POLTIN B1 PUHALLIN	122A1-H02-K92		0=VIKA
E1.0	KUIVAKIEHUNTASUOJA	LZA101		0=LAUENNUT
E1.1	KATTILAVEDEN PAINE MATALA	PZA101		0=LAUENNUT

KUVA 15. Osa I/O-listan digitaalituloista

Laitoksen ohjelmiston laatiminen aloitettiin lisäämällä kaikki digitaalitulot, digitaalilähdöt, analogiatulot sekä analogialähdöt Step 7-ohjelmiston symbolitaulukkoon (kuva 16). Taulukkoon määriteltiin myös: laitteen nimi, automaatiopositio, tehtävä, sekä data-tyyppi. Johdonmukaisuus osoitteiden nimeämisessä on tärkeää, sillä ohjelmointityö helpottuu huomattavasti, kun kaikki osoitteet on nimetty samalla kaavalla. Johdonmukainen ja selkeä nimeäminen tekee ohjelman tulkinnasta myös helpompaa henkilölle, joka ei ole itse ohjelmaa suunnitellut.



Status	Symbol	Address	Data type	Comment
190	E0.1	I 0.1	BOOL	KL-PUMPPU P001 1=KAY
191	E0.2	I 0.2	BOOL	KL-PUMPPU P001 0=VIKA
192	E0.3	I 0.3	BOOL	OLJYKONEIKON PUMPPU 1 P651 1=KAY
193	E0.4	I 0.4	BOOL	OLJYKONEIKON PUMPPU 1 P651 0=VIKA
194	E0.5	I 0.5	BOOL	KIERTOILMAKOJE F521 1=KAY
195	E0.6	I 0.6	BOOL	KIERTOILMAKOJE F521 0=VIKA
196	E0.7	I 0.7	BOOL	POLTIN B1 PUHALLIN 122A1-H02-K92 0=VIKA
197	E1.0	I 1.0	BOOL	KUIVAKIEHUNTASUOJA LZA101 0=LAUENNUT

KUVA 16. Step 7-ohjelmiston symbolitaulukko, jossa käytettävät osoitteet nimetään

7.3 Analogiasignaalin käsittely

Laitoksessa on yhteensä 34 analogista mittausta, jotka tuotiin logiikalle. Jokaisella mittauksella on oma yksikkönsä ja alue, jolle se täytyy skaalata. Esimerkiksi kaukolämmön menolinjasta mitattu veden paine täytyy käsitellä siten, että virtaviestin 4 mA vastaa 0 bar:n ja 20 mA vastaa 16 bar:n painetta (kuva 17).

IV292	KL.MENOVEDEN PAINE	PE113	PE-03	OLUARVO	0,0...16,0 bar, 4...20 mA
-------	--------------------	-------	-------	---------	---------------------------

KUVA 17. I/O-lista kertoo mittauksen, tunnuksen, tehtävän, yksikön ja alueen jolle se skaalataan

Analogiamoduulille tuotu virtaviesti 4 mA - 20 mA on muutettava eri muotoon, jotta sitä voidaan käsitellä ohjelmistossa. Logiikalle tuotu analoginen signaali muunnetaan digitaaliseen muotoon analogiatulokortissa olevalla A/D-muuntimella. Digitaalisen lukuarvon alue riippuu ohjelmiston valmistajasta. Siemensin ohjelmistossa tämä alue on 0 - 27648 normaalissa tilanteessa. Virtaviestin 20 mA muuntuu arvoksi 27648 ja 4 mA lukuarvoksi 0. 22,737 mA:n suuruinen virtaviesti vastaa lukua 32378 ja 1,185 mA:n suuruinen viesti vastaa lukua -4864. Jos lukuarvo ylittää arvon 27648, se tarkoittaa ylivirtaa tai jotakin muuta ongelmaa. Vastaavasti lukuarvo ollessa pienempi kuin 0, vastaa tilanne alivirtaa ja jossakin instrumentissa on mahdollisesti vika.

Edellä mainitun mittauksen tapauksessa digitaalinen lukuarvo täytyy skaalata vastaamaan 0 – 16 bar:n aluetta. Tässä käytetään hyödyksi suoran yhtälöä, josta tunnetaan kaksi pistettä (kaava 4).

$$y - y_0 = k(x - x_0)$$

KAAVA 4

k = kulmakerroin

y = digitaalisen lukuarvon maksimi

y_0 = digitaalisen lukuarvon minimi

x = skaalattavan mittauksen maksimi

x_0 = skaalattavan mittauksen minimi.

Suoran yhtälö on koordinaattimuodossa, josta ratkaistaan k eli kulmakerroin, jolloin yhtälö saa muodon, joka on esitetty kaavassa 5.

$$k = \frac{(y-y_0)}{(x-x_0)}$$

KAAVA 5

Suoritetaan kaavan 6 mukainen jakolasku, josta saadaan tulokseksi kulmakerroin k .

$$k = \frac{27648-0}{16\text{bar}-0} = 0,0005787037037$$

KAAVA 6

Tarkastetaan skaalauksen paikkansapitävyys kertomalla kulmakerroin digitaalisella maksimilukuarvolla kaavassa 7.

$$27648 * 0,0005787037037 = 16 \text{ bar}$$

KAAVA 7

Tulokseksi saadaan mittauksen skaalattu maksimiarvo. Tällä periaatteella virtaviestiä vastaava digitaalinen lukuarvo skaalataan ohjelmassa vastaamaan mittauksen toimialuetta.

7.4 Digitaalitulon käsittely

Laitoksen toiminta huomioon ottaen on tärkeää maskata digitaalitulot esimerkiksi sähkökatkojen varalta. Monet vian ilmaisevat digitaalitulot on määritelty siten, että kun vika ilmenee digitaalitulo saa tilan 0, ja kun vikaa ei ole tila on 1. Nämä digitaalitulot käsiteltiin ohjelmassa siten, että vian ilmetessä digitaalitulon tilan pudotessa nolnaan se käännettiin invertterillä, jonka seurauksena se saa tilan 1. Tämä muunnos tehtiin erillisellä tiedostoyksiköllä. Erillisestä tiedostoyksiköstä voitiin myös estää hälytyksen syntyminen, jos verkkokäytön päälläoloa ilmaiseva digitaalitulo muuttuu tilaan 0 sähkökatkon seurauksena. Tämä tehtiin turhien hälytysten estämiseksi, koska muuten lyhyenkin sähkökatkon aikana kaikista laitteista olisi muodostunut hälytykset, jotka aiheuttaisivat lisätöitä laitoksen käyttäjälle.











7.5 Ohjelmakierto ja rakenne

Ohjelmistorakenne koostuu erilaisista yksikkötyypeistä, joita ovat: OB eli organisaatioyksikkö, FC eli toiminta, FB eli toimintayksikkö sekä DB eli tiedostoyksikkö.

Toiminta ja toimintayksikkö ovat rakenteeltaan lähes samanlaisia, mutta niiden erona on staattinen muisti. Toiminnalla ei ole staattista muistia, mutta toimintayksiköllä on. Toimintayksikköä luodessa ohjelma pyytää käyttäjää luomaan yksikölle oman oheistiedostoyksikön. Oheistiedostoyksikköön tallennetaan staattiset muuttujat ja paremetrien arvot.

Toiminnot ja toimintayksiköt muodostavat varsinaisen käyttäjäohjelman. Ne mahdollistavat monitahoisen ohjelman jaon pieniin havainnollisiin yksiköihin. Tässä projektissa käyttäjäohjelma luotiin toimintojen pohjalle. Toimintayksiköistä muodostetut prosessin osat ja laitteiden ohjauslohkot sijoitettiin toimintoihin, joita kutsutaan ohjelmakierrossa.

Käyttöjärjestelmä kutsuu organisaatioyksiköitä, joista OB1 on syklinen ohjelmankäsittely (kuva 18). Se käy jatkuvasti läpi ohjelmaa, ja kun OB1 on käyty läpi niin se aloittaa uuden ohjelmankäsittelykierron. Kaikkien toimilaitteiden FC:t sijoitettiin OB1-organisaatioyksikköön. Korkeamman prioriteetin organisaatioyksikön käsittelyn ajaksi OB1 voidaan asettaa tauolle käsittelyn ajaksi. OB1:n suoritusväli vaihtelee muun ohjelmakierron mukaan. Aikakriittiset toiminnot kuten säädinlohkot ja mittauslohkot sijoitettiin OB35-organisaatioyksikköön, joka on osa periodista ohjelman käsittelyä. Periodisen ohjelmankäsittelyn tarkoitus on keskeyttää syklinen ohjelmakierto tietyin väliajoin, jolloin järjestelmä käsittelee esimerkiksi OB35:n. Aikaväli, milloin tämä tapahtuu määritellään Step7-ohjelmiston HW-config-osiossa.

 System data	---	---
 OB1		FBD
 OB35	CYC_INT5	STL
 OB82	I/O_FLT1	STL
 OB83	I/O_FLT2	STL
 OB85	OBNL_FLT	STL
 OB86	RACK_FLT	STL
 OB100	COMPLETE RESTART	FBD
 OB121	PROG_ERR	FBD
 OB122	MOD_ERR	FBD

KUVA 18. OB1 on ensimmäinen organisaatioyksikkö, jota järjestelmä kutsuu

8 TOIMILAITTEIDEN OHJAUS

Jokaista logiikalla ohjattua toimilaitetta voidaan käyttää joko automaatti- tai käsikäyttötilassa. Automaattitila tarkoittaa, että laitteen toiminnalle on määritelty tietyt ehdot, joita se noudattaa, kun automaattitila on asetettu. Käsikäyttötilassa laitteet eivät toimi enää automaattitilan ehdoilla, vaan niitä voidaan ohjata: päälle, pois, kiinni, auki ja niille voidaan myös kertoa asento tai nopeusohje, jota laite noudattaa. Manuaalitilan ollessa aktiivinen PI-säätöiset laitteet eivät myöskään toimi PI-säätimen mukaan.

Kaukolämpökeskuksen automaatio- ja sähkötilassa sijaitsee nokkakytkimet jokaiselle laitteelle, joista voidaan määrittää onko laite automaattitilassa vai käsikäyttötilassa. Laite voidaan myös suoraan ohjata päälle tai pois nokkakytkimestä. Nokkakytkimien ollessa automaatti asennossa voidaan myös laitoksen ohjauspaneelista valita jokaisen laitteen kohdalla ohjelmallinen automaatti tai käsikäyttötila.

Taajuusmuuttajaohjattuja pumppuja voidaan myös käyttää täysin ilman logiikkaa valitsemalla nokkakytkimestä käsikäyttö ja asettamalla nopeus sen läheisyyteen sijoitetusta potentiometrillä. Edellä mainitut käsiohjaus toiminnot ovat lähinnä poikkeustilanteita varten, jos sattuu tilanne jolloin laitosta ei voida ohjata logiikalla jostain syystä.

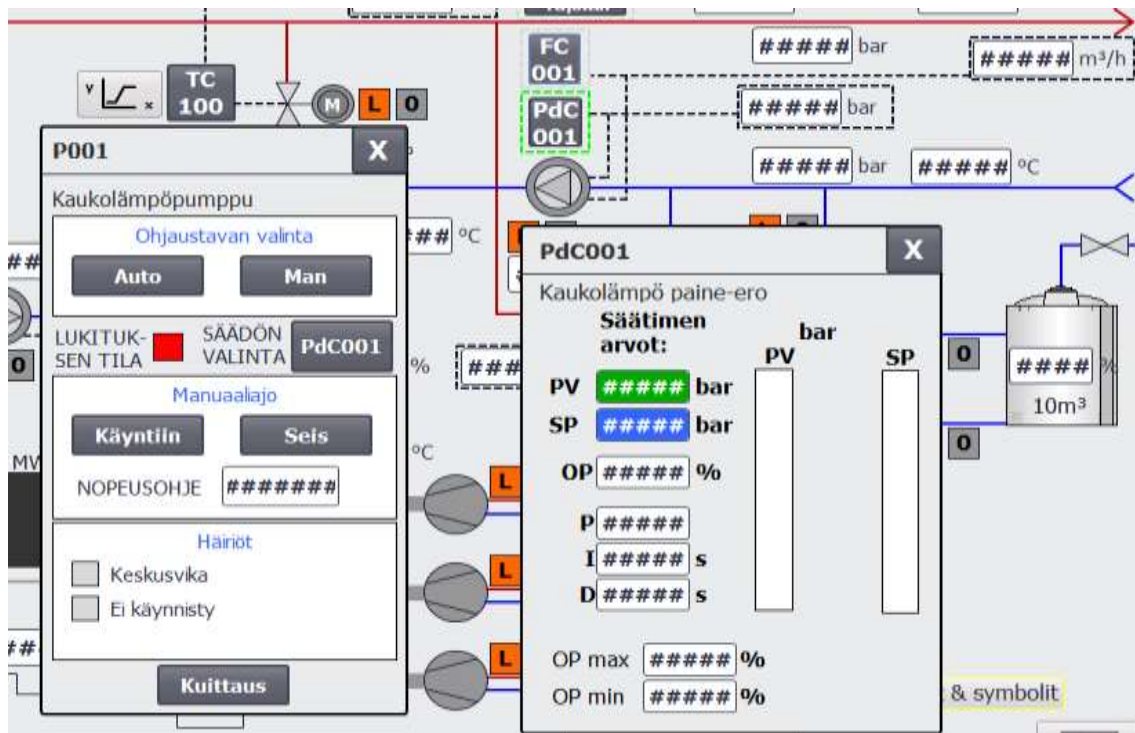
Toimilaitteiden ohjauksessa käytettiin Enelec Oy:n suunnittelemaa ja toteuttamia moottorinohjauslohkoja (liite 1), venttiilinohjauslohkoja, sekä PID-säädinlohkoja (liite 2), jotka nopeuttivat ohjelmointityötä huomattavasti. Lohkoissa oli huomioitu kaikki tärkeät toiminnot sekä turvallisuustekijät prosessilaitteiden ohjaukseen, joten käyttölaitteiden ohjausta ei tarvinnut alkaa rakentamaan tyhjästä.

Oleellisimpina tietoina ohjauslohkolle kytketään: vikatieto, turvakytkintieto, lukitusehdot, käyntiehdot sekä ohjearvo, jotka määrittävät miten ohjauslohko käyttäytyy. Vika- ja turvakytkintiedolla pysäytetään laitteen toiminta vian ilmetessä, sekä luodaan hälytystieto. Lukitusehtoihin määritetään ehdot, missä tilanteessa ohjauslohko menee lukitustilaan eli laitteen toiminta pysäytetään ohjelmallisesti lukituksen päälläolon ajaksi, mutta siitä ei luoda hälytystä.

Käyntiehdot puolestaan määrittävät miten laite toimii. Käyntiehtojen täytyessä laite ohjataan päälle. Asetusarvoa käytetään taajuusmuuttajaohjatuissa laitteissa tai venttiileissä. Asetusarvo voi olla esim. jokin tietty lämpötilan arvo, joka syötetään ko. säätöpiirin PI-säätimelle. PI-säädin laskee sille annettujen parametrien perusteella ohjausarvon, jolla ohjataan säätöpiiriä manipuloivaa laitetta halutun asetusarvon saavuttamiseksi.

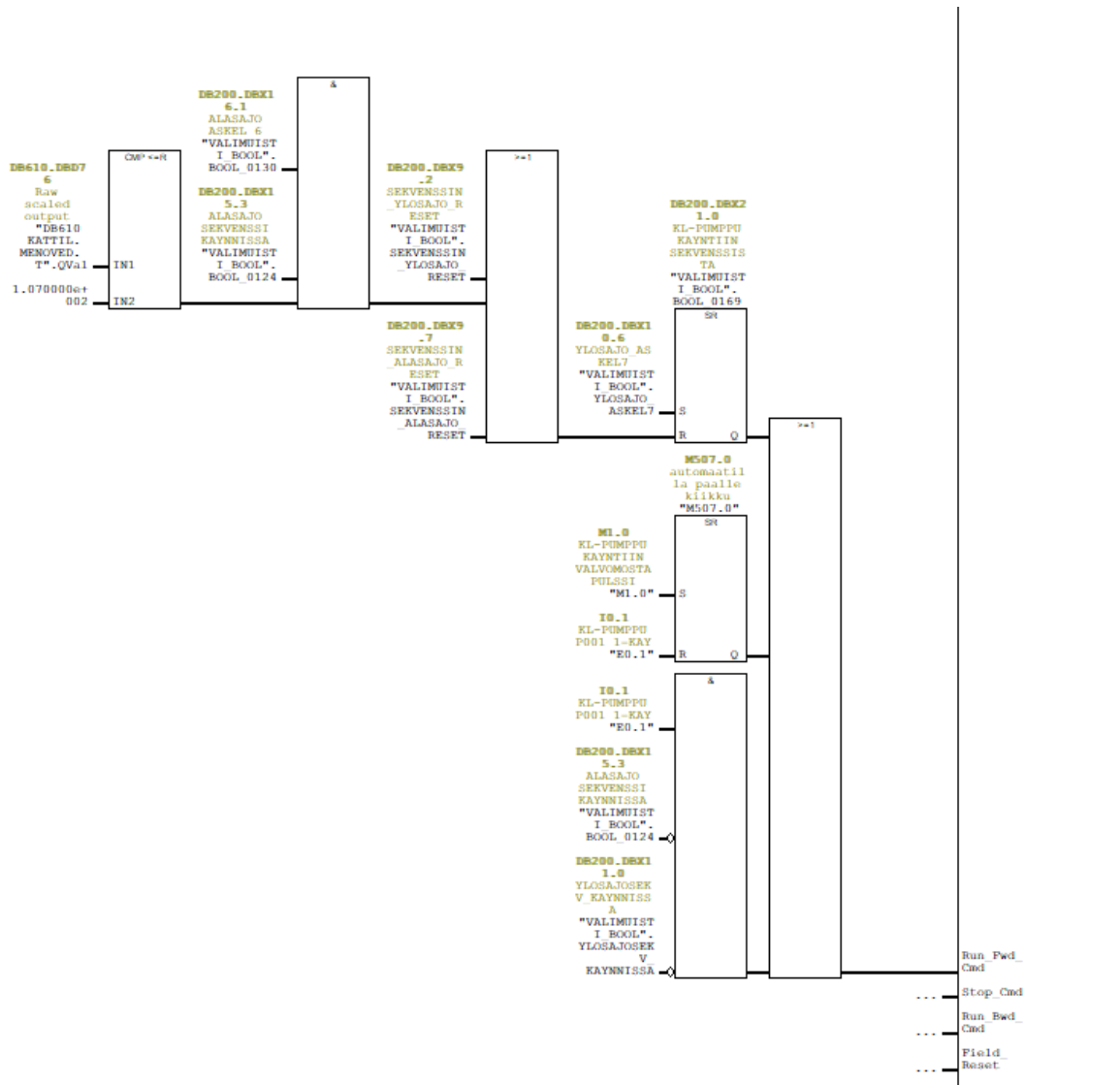
8.1 Kaukolämpöpumpun ohjaus

Kaukolämpöpumppu on koko laitoksen tärkein pumppu ja sitä ohjataan taajuusmuuttajalla (ks. luku 4.2 Taajuusmuuttajaohjaus). Kaukolämpöpumppu on tyypiltään Wilo BL 80/210-37/2. Pumpun optimaalisen käytön mahdollistamiseksi sen säädössä käytettiin kahta PI-säädintä. Valittavissa olivat joko paine-ero säätö tai virtaus-säätö. Säädön valinta tapahtuu laitoksen hallintapaneelista, jolloin käyttöön otettu säädin jatkaa pumpun ohjausta ja toinen säädin menee tauolle (kuva 19).



KUVA 19. Pääsivun näkymä kaukolämpöpumpun hallinta-ikkunasta, sekä pumpun PI-säädön hallinta-ikkunasta. Kaukolämpöpumpun ikoni sijaitsee PI-säätimen ikkunan yläpuolella. Valittu säätö indikoidaan virheällä neliöllä valitun säätimen ympärillä

Kaukolämpöpumppu käynnistetään normaalisti käynnistyssekvenssin yhteydessä askeleessa seitsemän. Poikkeustilannetta varten ohjelmoitiin myös pumpun käynnistysmahdollisuus ilman sekvenssiä jos tilanne vaatii, että kaukolämpöpumppu täytyy käynnistää mahdollisimman nopeaan (kuva 20).



KUVA 20. Kaukolämpöpumpun käynnistysehdot ohjelmituna toimintolohko ohjelmoinnilla

Kaukolämpöpumpun moottorinohjauslohkolle tuotiin digitaalituloina laitteen automaattikytkimen tieto, vikatiieto ja käyntitieto. Pumpun digitaalilähtönä oli sen käyntiin ohjausosoite, ja analogialähtönä taajuusmuuntajalle siirrettävä ohjearvo.

Pumpun käyntitiedon ilmaiseva digitaalitulo tuodaan ohjauslohkolle takaisinkytkentänä. Tämän perusteella lohko voi muodostaa "Ei käynnisty"-hälytyksen. "Ei käynnisty"-hälytys muodostuu, kun lohko ohjaa pumppua käyntiin, muttei saa takaisinkytkentänä pumpulta tietoa 1 = KI-pumppu käy. Koska käyntiinhjaus on päällä, mutta käyntitieto on 0, niin lohko muodostaa tämän perusteella kyseisen hälytyksen.

Ohjauslohkolle tuodulla vikatiedolla mahdollistetaan laitteen toiminnan pysäytys ja hälytyksen luonti vian ilmetessä.

Digitaalilähtönä tuotiin ohjauslohkolle pumpun käyntiinhjaus osoite. Tämä kyseinen osoite vastaa relettä, joka ohjataan päälle. Rele puolestaan ohjaa kontaktoria, joka sulkee pumpun käyntiin vaadittavan virtapiirin.

Analogiatulona saatava pumpun oloarvo tarkoittaa pumpun sen hetkistä kierrosnopeutta, jolla pumppu käy. Tässä projektissa pyörintänopeus tuotiin laitoksen hallintapaneeliin, jotta näytöltä nähdään pumpun sen hetkinen pyörintänopeus.

Analogialähtönä viedään ohjauslohkolta taajuusmuuttajalle lähetettävä taajuusohje. Logiikassa tämä arvo on välillä 0-27648, joka muunnetaan kortin sisäisellä D/A-muuntimella virtaviestiksi välille 4-20mA. Taajuusmuuttaja vastaanottaa virtaviestin ja sen sisäisen parametroidin avulla virtaviestin muunnetaan alueelle: 0 – 50 Hz, jolla pumppua ohjataan (kuva 21).

Esimerkiksi, kun taajuusmuuttajalle syötetyn virtaviestin suuruus on 20 mA, se vastaa 50 Hz:n taajuutta. Jos pumpun pyörimisnopeutta tulkitaan prosentteina, 50 Hz:n taajuus vastaa 100 %:a eli suurinta mahdollista pyörimisnopeutta. Kaukolämpöpumpun maksimaalinen pyörintänopeus on 2960 r/min.



KUVA 21. ABB:n valmistama ACS 580 taajuusmuuttaja, jota käytettiin kaukolämpöpumpun ohjaukseen

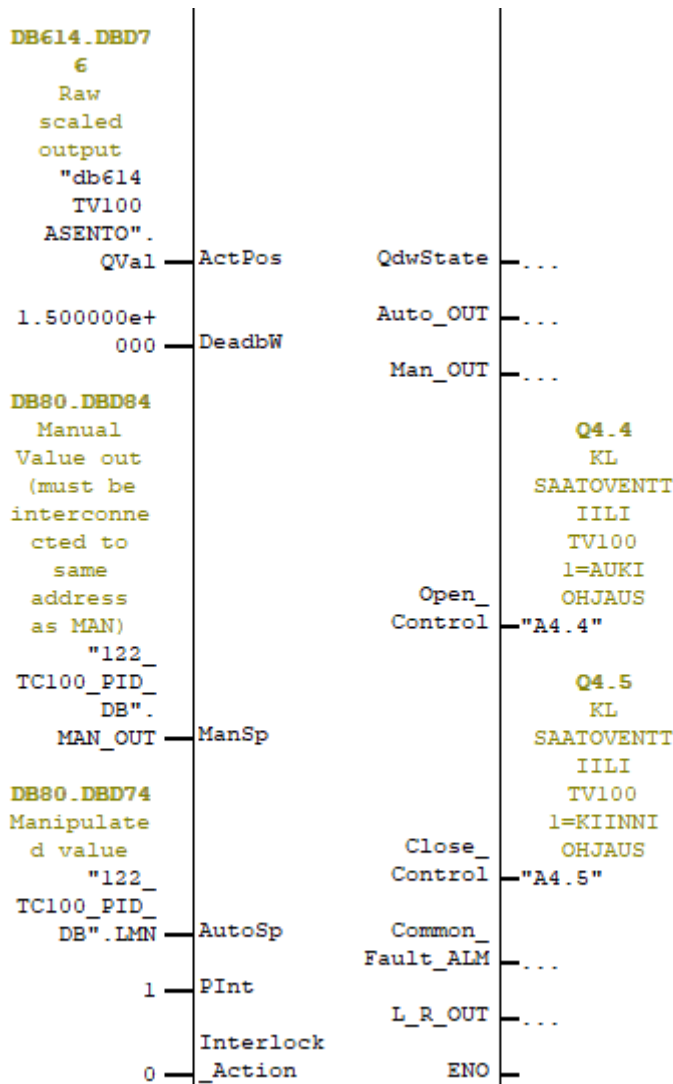
8.2 Kaukolämpöveden säätöventtiilin ohjaus

Venttiilin malli on Vexve14080/e, jonka auki- ja kiinniohjauksesta vastasi Auma SQR07.2 -sähkömoottori. PI-säädöllä ohjattava venttiili toimii hieman erilailla verrattuna aiempaan PI-säädöllä ohjattuun kaukolämpöpumppuun.

Pumpusta poiketen venttiiliä ohjataan auki ja kiinni pulsseilla, eli lohko ohjaa kahta eri digitaaliilähtöä. PI-säädin laskee erosuureen ja integrointiajan perusteella ohjausarvon, joka siirretään venttiilin ohjauslohkolle. Asetusarvon ja venttiilin asentotiedon erotuksella saadaan tietää korjauksen suunta ja suuruus,

jonka perusteella venttiiliä ohjataan kiinni tai auki. Korjauksen suuruudessa myös otetaan huomioon "kuollut alue." Kuollut alue määritellään lohkolle välillä 0 – 100 %:a, tässä tapauksessa käytettiin 1,5 %. Sen tehtävänä on määrittää, kuinka pieneen erosuureeseen venttiili on tyytyväinen. Esimerkiksi, jos venttiilin asento-ohjeeksi on määritelty 50 %:a ja kuollut alue on 1,5 %:a, niin asennon ollessa 48,5 %:a säädin ei enää pyri ohjata venttiiliä enempää auki.

Ohjauslohkolle määritetään myös pulssin pituus sekä pulssin väli. Pulssin pituus määrittää sen ajan kuinka kauan moottori ohjaa venttiiliä jompaankumpaan suuntaan. Pulssin väli puolestaan määrittää minkä ajan välein tämän moottorin ohjaus tapahtuu (kuva 22).



KUVA 22. Moottorinohjauslohkon alaosa, jossa Pint tarkoittaa pulssin väliä

Venttiilissä käytettiin myös sulkeutumis ja avautumisrajakytkimiä, sekä momentintunnistimia venttiilin suojaksi. Rajakytkimillä saadaan tieto logikalle milloin venttiili on jommassa kumassa ääripäässä, joten ohjaus voidaan pysäyttää kun venttiili saavuttaa rajakytkimen.

Venttiili on sijoitettu kaukolämpöveden paluu- ja menolinjan väliin, joka altistaa sen jatkuville lämpötilanvaihteluille (kuva 23). Lämpötilanvaihteluista ja käytön vähydestä johtuen venttiilin jumiutuminen yhteen asentoon voi pahimmassa tapauksessa olla mahdollista. Laitteen rikkoutumisen estämiseksi venttiilissä on momenttisuojat, jotka mittaavat moottorin tuottamaa vääntömomenttia venttiilille. Ylitettyään maksimimomentin laite pysähtyy ja menee vikatilaan. Tämän toiminnan ideana onkin estää laitteen rikkoutuminen. Venttiilin moottorissa on myös kampi, jolla sitä voidaan käsin avata ja sulkea, jos tarve vaatii.

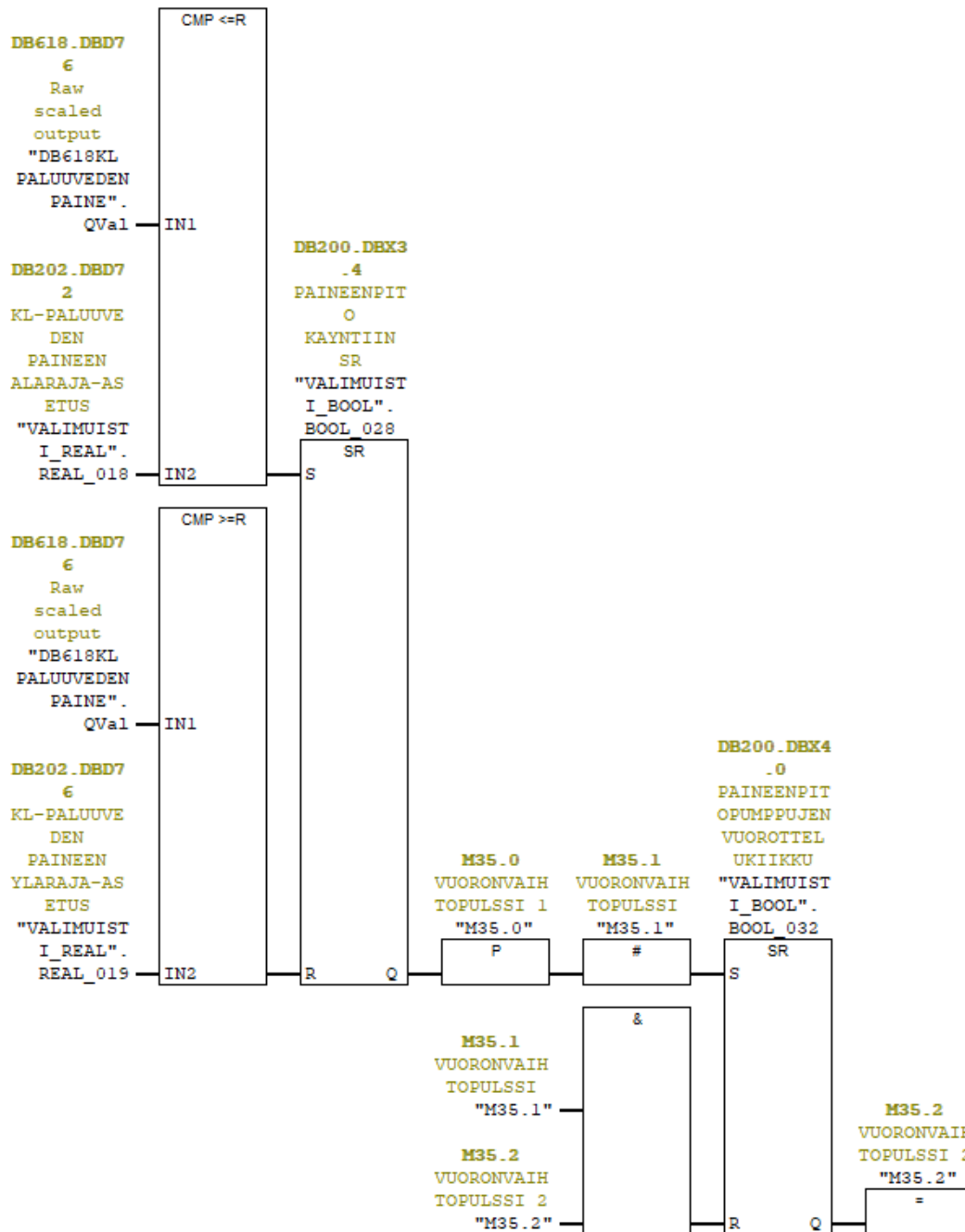


KUVA 23. Säätoventtiili on sijoitettu molemmat linjat yhdistävään putkeen vihreän moottorin yläpuolelle

8.3 Paineenpitopumppujen ohjaus

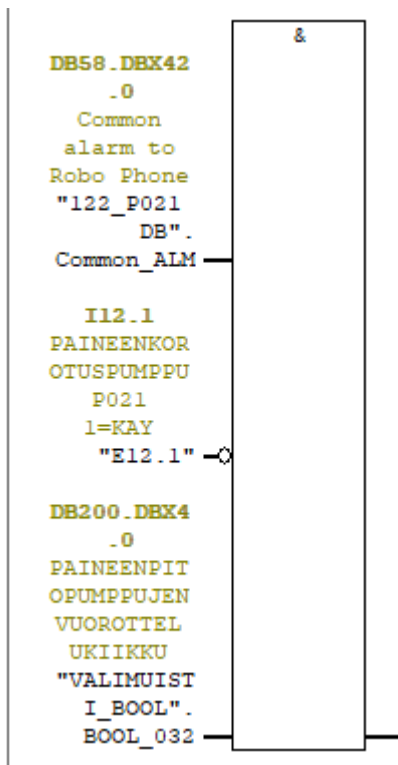
Paineenpitopumppujen toiminta on hieman yksinkertaisempi. Pumput ovat suorakäyttöisiä, joten niille ei tarvinnut ohjelmoida erillistä säädintä (ks. Luku 4.1 Suorakäyttö). Käyntiehtona automaattitilassa on, että pumput vaihtavat vuoron perään käyntivuoroja (kuva 24). Käyntivuorossa oleva pumppu käynnistyy, kun palaavan kaukolämpöveden paluupaine on laskenut asetetun rajan alapuolelle. Tämä tehtiin yksinkertaisella real-lukuarvon vertailulla, jossa paluueden paineen suuruutta verrattiin sille asetettuun alaraja-arvoon, joka kytkee paineenpidon käyntiin ohjaavan SR-kiikun päälle.

Network 1: PAINEENPIDON KÄYNNISTYS KUN PALUUPAINEEN ALARAJA SAAVUTETAAN



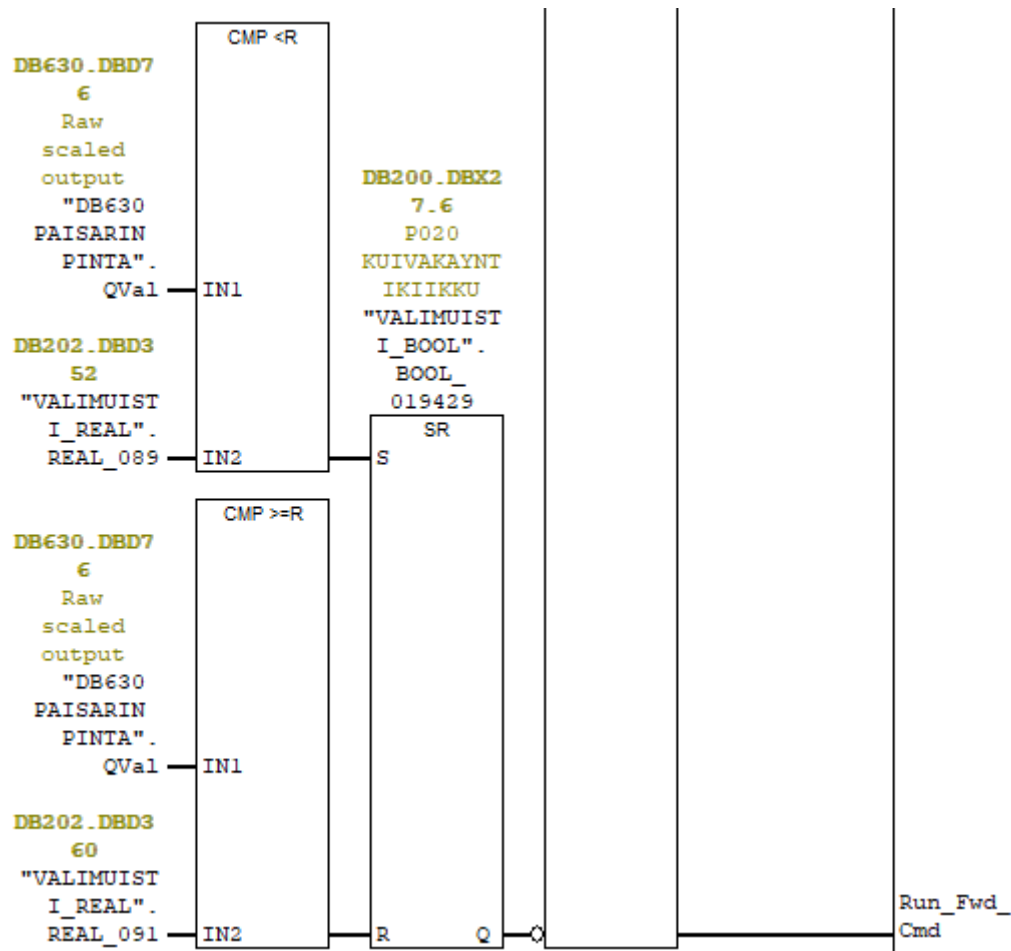
KUVA 24. Paineenpidon käynnistävä SR-kiikku, sekä vuoronvaihdon hoitava vuorottelukiikku

Vikatilanteiden varalle ohjelmoitiin myös varmuustoiminto, jossa toinen pumpu käynnistyy, kun käyntivuorossa oleva pumpu menee vikatilaan (kuva 25). Tämä tehtiin yksinkertaisesti AND-toiminnolla, johon tuotiin toisen pumpun käyntivuoro, käyntitieto käännettynä, sekä hälytystieto. Nämä ehdot kuvaavat tilannetta, jossa toisella pumpulla on käyntivuoro, mutta se ei käy ja siltä on lähtenyt hälytys. Ehtojen toteutuessa ei käyntivuorossa oleva pumpu lähtee päälle.



KUVA 25. Käyntivuorossa olevan pumpun vikaantumistilanne

Pumput käyttävät lisävesisäiliön vettä, joten oli myös tarpeellista ohjelmoida kuivakäyntisuoja, joka estää pumpun käyntiinlähdön, jos veden pinta on alle käyttäjän määrittelemän alarajan (kuva 26). Tämäkin toteutettiin real-lukuarvon vertailulla ja SR-kiikulla. SR-kiikun saadessa tilan 1, laitteen käyntiehdot eivät toteudu invertterin vuoksi.



KUVA 26. Kuivakäyntisuoja toteutettuna yksinkertaisella SR-kiikulla ja Real-arvojen vertailulla

9 KÄYTTÖLIITTYMÄ

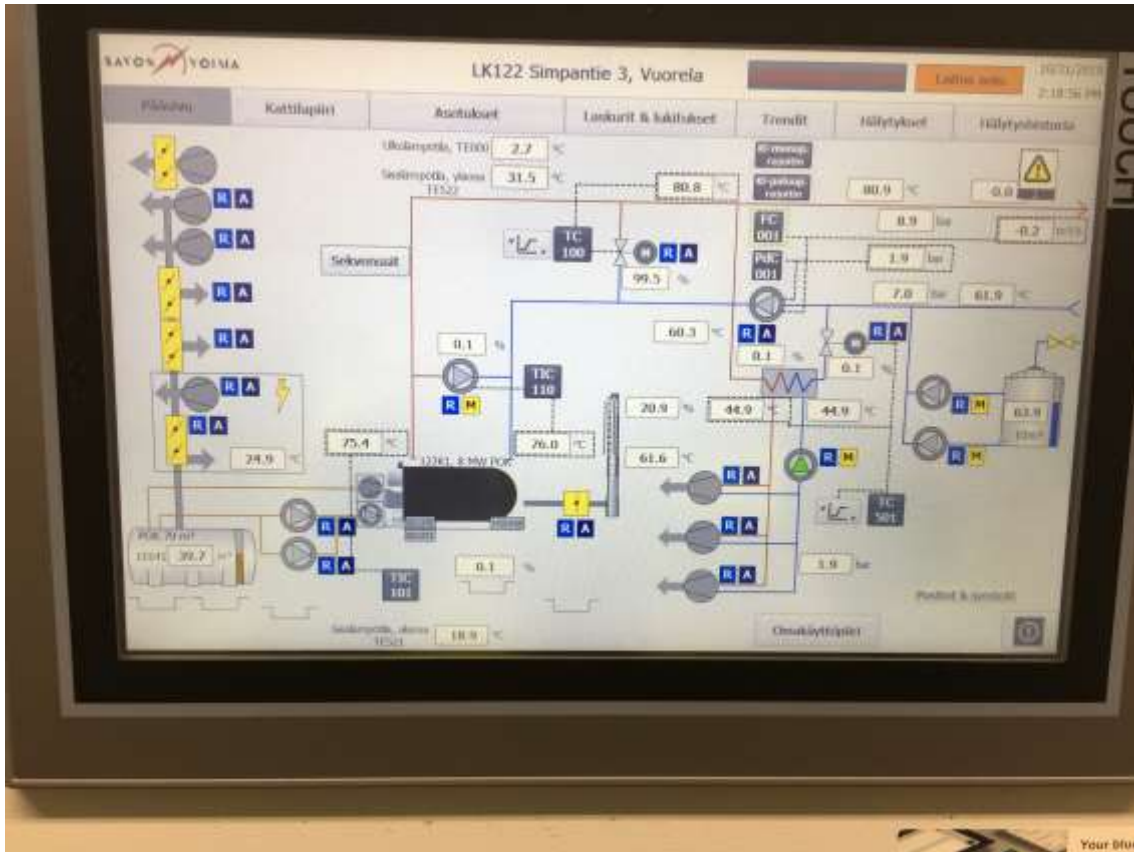
Tia portal V15.1 on Siemensin toiseksi uusin ohjelmistosuunnitteluympäristö, joka sisältää myös ohjauspaneelin rakennukseen käytettävän WinCC-suunnittelutyökalun. Tämän laitoksen graafinen käyttöliittymä toteutettiin kyseisellä työkalulla.

9.1 Pääsivu

Käyttöliittymän ohjelmointi aloitettiin luomalla pääsivu, josta näkee koko prosessin ohjattavat laitteet, niiden sen hetkiset tilat, mittaustiedot sekä laitepositiot ja selitykset. Pääsivun ideana on saada kokonaiskuva prosessista yhdellä vilkaisulla. Pääsivulla nähdään laitoksen piirien tärkeimmät mittaukset ja laitteet, joita ovat kaukolämpöpiiri, kattilapiiri, omakäyttöpiiri, paineenpitopiiri, tuloilmapeltit sekä poistoilmapuhaltimet.

Pääsivun suunnittelussa piti ottaa huomioon, että siitä ei tule liian sekava ja se ei sisällä liikaa eri värejä. Hyvään lopputulokseen päästiin valitsemalla harmaa pohja. Myös säädinten ja laitteiden ohjausikkunat ovat pohjan harmaalla värillä. Ikoneista tehtiin myös harmaita. Ikonit edustavat toimilaitteita, kuten pumppuja, ilmapeltejä sekä venttiileitä. Laitteiden tiloja ilmaistiin puolestaan vihreällä, keltaisella ja punaisella. Tuloilmapeltin ollessa auki, sitä symboloiva suorakulmio saa vihreän värin. Jos tuloilmapeltiin tulee vika, niin koko ikoni muuttuu punaiseksi. Kiinni olevaa normaalisti toimivaa peltiä ilmaistaan keltaisella värillä.

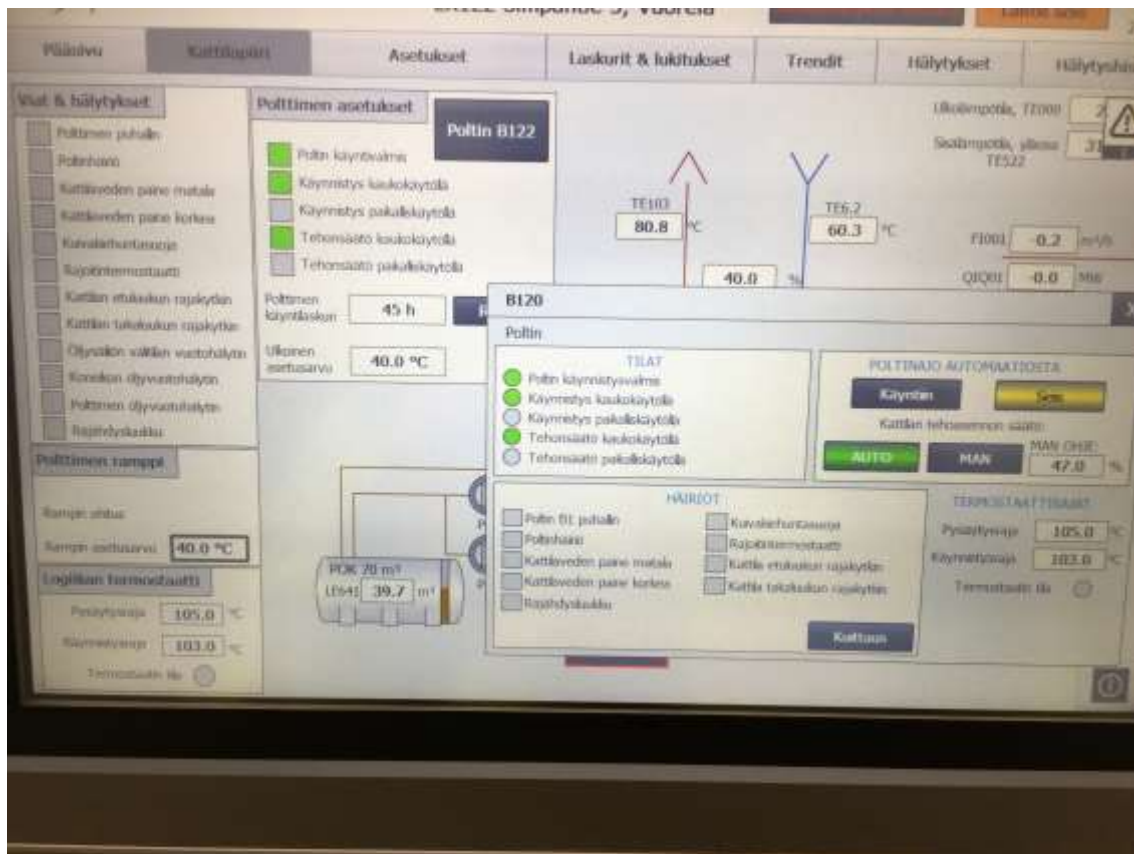
Kuvassa 27 on esitetty pääsivun näkymä normaalissa tilanteessa. Se on suurimmaksi osaksi harmaa, eikä siitä pistä silmään mikään väri erityisesti. Kun johonkin laitteeseen tulee vika, niin punainen väri on helppo havaita harmaasta taustasta. Näin siis voidaan nopealla vilkaisulla ilman suurempaa tutkiskelua havaita, että prosessi toimii normaalisti. Ideana on tehdä mahdollisimman selkeä kokonaisuus laitosta käyttävälle henkilölle, jossa punainen väri tarkoittaa vikaa tai ongelmaa, johon pitää reagoida, muut värit eivät. (Ks. Luku 5.2 Värimaailma).



KUVA 27. Hallintapaneelin pääsivu tilanteessa, jossa laitos on sammutettuna

9.2 Kattilapiiri

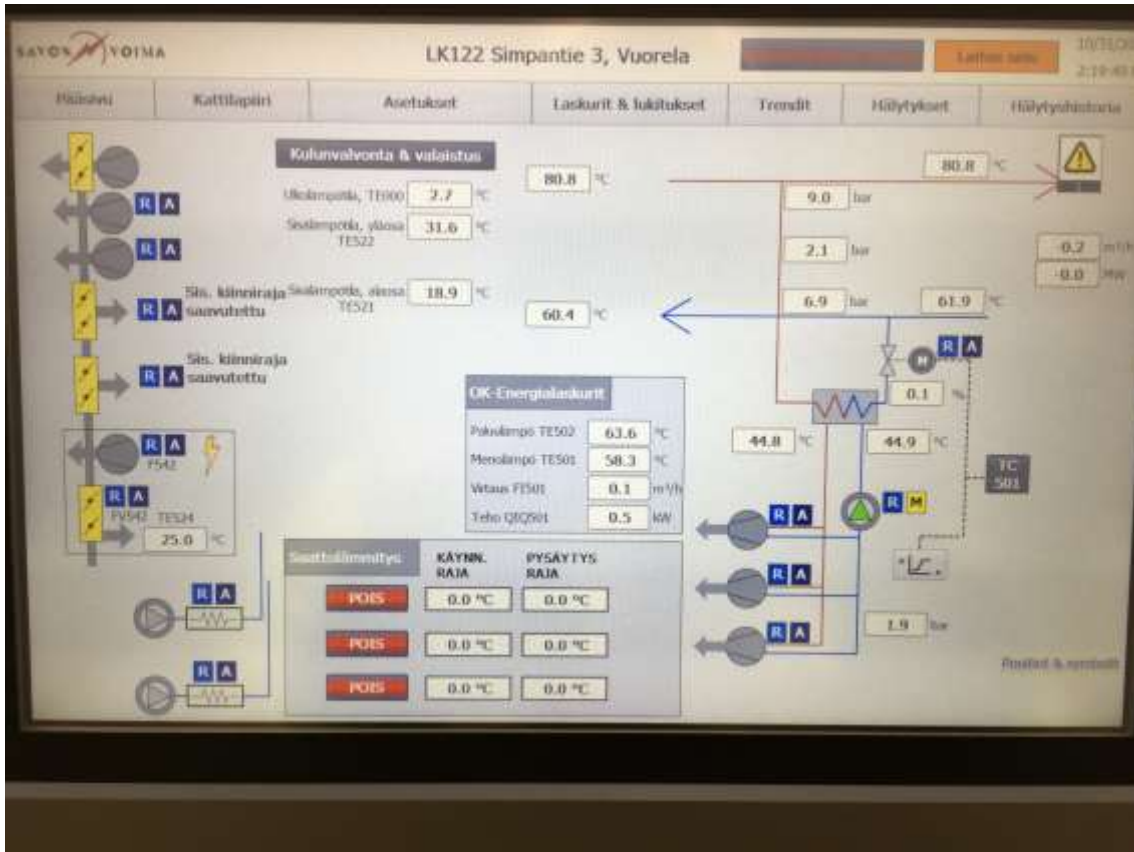
Kattilapiiri-sivu sisältää kaiken polttimeen ja kattilaan liittyvät tiedot. Siinä on kuvattuna poltin, sekoituspumppu, öljysäiliö, öljyn siirtopumput, savukaasupelti, PI-säädin-ikkuna, kattilan ja polttimen viat ja hälytykset sekä polttimen käyntiaikalaskuri. Tältä sivulta voidaan myös laukaista hätä-seis painike logiikan kautta. Poltin B122-ikkunaa tai polttimen kuvaa painamalla saadaan esiin polttimen oma hallintaikkuna, josta nähdään polttimen vikatiedot, ja siitä voidaan asettaa polttimelle logiikan käynnistys ja pysäytysrajat (kuva 28).



KUVA 28. Kattilapiiri-sivu, sekä polttimen hallintaikkuna avattuna

9.3 Omakäyttöpiiri

Omakäyttöpiirin sivulla nähdään kaikki omakäyttöpiiriin liittyvät mittaukset ja laitteet joita ovat omakäyttöpiirin pumppu, säätöventtiili, kiertoilmakojeet, tuloilmapeltit, poistoilmapuhaltimet, saattolämmitykset ja omakäyttöpiiriin liittyvät mittaukset (kuva 29). Omakäyttöpiirin sivulta pääsee myös siirtymään kulunvalvonta ja valaistus sivulle.



KUVA 29. Omakäyttöpiirin sivu hallintapaneelissa

9.4 Asetukset

Asetukset sivulla määritetään eri toimintojen ja laitteiden käynnistys- ja pysäytysrajat (kuva 30). Sivun on jaettu kuuteen eri osaan, joista jokainen lohko edustaa omaa laitetta tai toimintoa. Kivi-pumppaus-osiosta voidaan ottaa käyttöön imu- ja menopainelukitukset sekä rajoitukset, ja säätää niiden käynnistymis- ja pysähtymisrajoja.

Kattilaosiossa määritetään logiikan termostaatin rajat ja polttimen ulkoinen asetusarvo, sekä siitä nähdään myös polttimen käyntiaika.

Säätöpoikkeamat osiossa voidaan eri säätöpiireille määrittää erosuureen hälytysrajat.

Paineenpitosivulta määritetään paineenpitopumpuille käynnistys- ja pysäytysrajat sekä kuivakäyntisuojaajan rajat.

Lisävesisäiliön täyttöosiosta määritetään magneettiventtiilin avautumis- ja sulkeutumisrajat.

Jäähdytys- ja lämmitys osiossa määritetään kiertoilmakojeille ja poistoilmapuhaltimille käynnistys- ja pysäytysrajat.

Kaikki sivulla esitettävä data ilmaistaan selkeällä tekstillä, numeroilla ja yksiköillä. Näin paneelia operoivalle henkilölle ei jää epäselväksi mitä säädetään ja millä säädetään. (Ks. luku 5.4 Datan ilmaisu)

Pääsivu	Kattilapiiri	Asetukset	Laskurit & lukitukset	Trendit	Hälytykset	Hälytyshistoria
KI - Pumppaus ASETUS VAPAUTUS MITTAUS IMUPAINE-LUKITUS POIS 0.0 bar 0.0 bar 7.0 bar IMUPAINERAJOITUS POIS 4.0 bar Säätimen lähtö: 90.0 % MENOPAINE-LUKITUS POIS 0.0 bar 0.0 bar 8.9 bar MENOPAINERAJOITUS POIS 12.0 bar Säätimen lähtö: 90.0 %			Paineenpito ASETUS VAPAUTUS MITTAUS PAINEENPITO 5.7 bar 6.0 bar 7.0 bar KUIVAKÄYNTISUOJA 15.0 % 25.0 % 64.3 %			
Kattila KÄYNNISTYS ASETUS PYSÄYTYS ASETUS MITTAUS LOGIIKAN TERMOSTAATTI 103.0 °C 105.0 °C 79.5 °C POLTTIN ULKOINEN ASETUSARVO 40.0 °C KÄYNTIAIKALASKURI Reset 45 h			Lisävesisäiliön täyttö ALARAJA YLÄRAJA MITTAUS SÄILIÖN TÄYTTÖ 64.0 % 65.0 % 64.3 %			
Säätöpoikkeamat (PV-SP) Poikkeaman suuruus Salattu poikkeama Paine-ero säädin PdC001 0.1 bar 20.00 bar Virtaus säädin FC001 -10.2 m ³ /h 30.00 m ³ /h KJ-sekoitusventtiilin säädin TC100 4.5 °C 30.00 °C Sekoituspumpan säädin TIC110 15.7 °C 40.00 °C Omakäyttöpiirin venttiilin säädin TCS01 -31.7 °C 40.00 °C Kattilan menoveden lt. säädin TIC101 4.9 °C 30.00 °C			Jäähdytys & lämmitys KÄYNN. RAJA PYSÄYTYS RAJA KIINT. RAJAT KIERTOILMAKOJE F521 14.0 °C 16.0 °C 30.2 °C KIERTOILMAKOJE F522 12.0 °C 14.0 °C KIERTOILMAKOJE F523 12.0 °C 14.0 °C ALATASO lt. POISTOPUHALLIN F540 34.0 °C 30.0 °C 14.6 °C POISTOPUHALLIN F541 36.0 °C 32.0 °C SÄHKÖTIL. POIS-TOPUHALLIN F542 27.0 °C 25.0 °C SÄHKÖTILA lt. 24.7 °C			

KUVA 30. Asetukset-välilehti

9.5 Laskurit ja lukitukset

Laskurit ja lukitukset sivulle kerättiin pumppujen ja polttimen käyntiajat, laitoksen käyntiaika, laitokseen toimintaan ja kulutukseen liittyviä laskureita, sekä lista laitteista. Listasta näkee nopeasti, jos jokin laitteista on mennyt lukitustilaan (kuva 31). Käyntiajoille tehtiin myös nollauspainikkeet, josta laskurit voi nollata tarvittaessa.



KUVA 31. Näkymä laskurit ja lukitukset-sivulta

9.6 Hälytykset

Hälytykset sivulle ilmestyy aktiiviset sekä poistuneet viimeaikaiset hälytykset. Sivun kertoo hälytyksen kellonajan, päivänmäärän, tilan sekä hälytystekstin, joka ilmaisee laiteposition ja kertoo mikä hälytys on kyseessä (ks. luku 5.6 Ajan ja päivänmäärän ilmaisu). Aktiiviset hälytykset jäävät voimaan tähän sivulle, mutta kuittaamattomat poistuneet hälytykset voidaan kuittauspainikkeella poistaa sivulta.

Kaikki sen hetkiset ja aiemmat hälytykset kerääntyvät hälytyshistoria-sivulle, josta voidaan tarkastella aiemmin ilmenneitä hälytyksiä ja niiden ajankohtia (kuva 32).



KUVA 32. Hälytykset-sivu, jossa on yksi aktiivinen hälytys

9.7 Trendit

Trendit sivu tehtiin, koska siitä voidaan seurata laitteiden toimintaa ja mittaustietojen arvoja eri ajankohtina. Trendi otettiin käyttöön lähes jokaiselle mittaukselle ja PI-ohjatuille toimilaitteelle. Trendit-sivu jaettiin kolmeen osaan: kaukolämpöpiiri, kattilapiiri ja omakäyttöpiiri. Piirin valitsemalla saa siihen kuuluvat laitteet ja mittaukset näkyviin, ja niistä kerättyä dataa voi tutkiskella pidemmältäkin aikaväliltä (kuva 33).



KUVA 33. Trendit-sivun näkymä kaukolämmön energialaskurin mittaamasta tehosta (ruskea), sekä kaukolämmön energialaskurin mittaamasta virtauksesta (sininen)

10 TESTAUS JA KÄYTTÖNOTTO

Projektin valmistumisen nopeuttamiseksi suoritettiin esitestaus Uudessakaupungissa Calortec Oy:n tiloissa, jossa laitos oli rakennusvaiheessa. Sähkö- ja rakennustyöt olivat vielä osittain kesken, mutta kuitenkin siinä tilanteessa, että voitiin testata kaikki digitaalitulot ja -lähdet, sekä analogiatulot ja -lähdet. Esitestaus tapahtui 9. - 12.9.2019 välisenä aikana. Varsinainen käyttöönotto tapahtui 7. - 15.10 ja 21. - 25.10 välisenä aikana Vuorelassa.

10.1 I/o-testaus

Testaus alkoi osaltani logiikkaohjelman ja paneeliohjelman lataamisella logiikkayksikköön ja paneeliin ethernet-kaapelilla. Tämän jälkeen alkoi varsinainen testaus, jossa käytiin I/O-osoitteita läpi sähköasentajan päättämässä järjestyksessä. Käytännössä osoitteiden testaus tapahtui niin, että sähköasentaja kytki tietyn osoitteen piirin toimintaan ja minä tarkistin logiikasta tuliko tieto perille, sekä ohjauspaneelista, että tieto kulkeutui myös sinne. Näin käytiin läpi suurin osa I/O-osoitteista. Työ oli varsin yksinkertaista, mutta osaltani varsin kiireistä, koska esimerkiksi vian ilmaisevan digitaalitulon päälle kytkeminen aiheuttaa ohjauspaneelissa hälytyksiä ja indikaatioita, joiden toimivuus täytyi tarkistaa samaan aikaan.

Pidin testauksessa excel-muodossa olevaa testauspöytäkirjaa, jonne merkitsin aina päivänmäärän ja nimikirjaimeni, milloin osoite oli testattu toimivaksi (kuva 34).

Nro	Pos.	Piiritunnus	Tehtävä	Huom!	Kommentti
DIGITA					
Nro	Pos.	Piiritunnus	Tehtävä	Huom!	Ent-testi
E0.0	P001		1=AUTOMAATTI		12.9. TVI
E0.1	P001		1=KÄY		12.9. TVI
E0.2	P001		0=VIKA		12.9. TVI
E0.3	P651		1=KÄY		10.9. TVI
E0.4	P651		0=VIKA		10.9. TVI
E0.5	F521		1=KÄY		10.9. TVI
E0.6	F521		0=VIKA		10.9. TVI
E0.7	I22A1-H02-K92		0=VIKA		12.9. TVI
E1.0	LZA101		0=LAUJENNUT		12.9. TVI
E1.1	PZA101		0=LAUJENNUT		12.9. TVI
E1.2	PZA102		0=LAUJENNUT		12.9. TVI
E1.3	TZA1310		0=LAUJENNUT		12.9. TVI

KUVA 34. Excel-tiedosto I/O-osoitteista, joka toimii myös testauspöytäkirjana

10.2 Käyttöönotto

Varsinainen käyttöönotto alkoi, kun laitos saatiin toimitettua Uudestakaupungista Vuorelaan loppusijoitus paikalle ja laitokseen saatiin kytkettyä sähköt. I/O-testi saatiin suoritettua esitestauksessa, joten jäljelle jäi nyt laitteiden ja säädinten testaus sekä säätö. Sähköteknisistä syistä aloitin testaamisen pienemmistä laitekokonaisuuksista, kuten poistoilmapuhaltimien ja tuloilmapeltien testauksella ja etenin niistä pumppujen ja venttiilien testaukseen sitä mukaan, kun sähkötekniset asiat ratkesivat.

Kaukolämpöpumpun testauksessa oltiin yhteydessä alueen päälaitokseen, jossa pääasiallinen lämpö tuotetaan kaukolämpöverkkoon. Päälaitokselta saatiin ohjeet siitä, kuinka suurella teholla vettä voitiin pumpata kaukolämpöverkkoon ilman, että se tuottaisi ongelmia alueen päälaitokselle. Testien aikaan ulkona oli vielä suhteellisen lämmintä, joten laitoksilta vaadittu tuotto oli varsin vähäistä. Nämä olosuhteet hieman hidastivat testauksia, koska kaukolämpöverkkoon ei voitu pumpata kovin paljoa vettä. Parhaimmillaan kaukolämpöpumppua voitiin käyttää, mutta alle puolella teholla.

Polttimen testaus oli myös paljon riippuvainen siitä, miten kaukolämpöpumppua voitiin käyttää. Jos poltin käynnistetään ilman, että kaukolämpöpumppu pumpkaa vettä verkkoon, niin kattilapiirin vesi lämpiää todella nopeaa maksimiarvoihin, jonka vuoksi poltin piti pian sammuttaa. Polttimen testauksen kannalta oli välttämätöntä, että laitoksen vettä voitiin pumpata kaukolämpöverkkoon lämpökuorman purkamiseksi.

10.3 Vuorokauden koeajo

23.10. alkoi 24:n tunnin mittainen koeajo, jonka tarkoituksena oli, että laitos pysyy käynnissä 24:n tunnin ajan ilman suurempia ongelmia. Tänä aikana hienosäätöjen tekeminen oli vielä mahdollista, jos havaittiin säätöjen tekemisen olevan tarpeellista. Koeajo aloitettiin 23.10. klo. 09.00, ja se päättyi 24.10. klo. 09.00. Koeajon päättymisen ja paikalle saapumiseni jälkeen huomasin, että laitos oli käynyt niinkuin pitää, eikä hälytyksiäkään ollut tullut. Trendi-ikkunoita tutkittuani selvisi, että noin 6 tuntia aloituksen jälkeen poltin oli käynyt 12:n tunnin ajan pätkäkäyttöä (kuva 35). Pätkäkäyttö tarkoittaa sitä, että kun poltin tietyn ajan

päällä oltuaan oli kuumentanut veden asetettuun ylärajaan, oli logiikan sisäinen termostaatti lauennut ja sammuttanut polttimen, jonka jälkeen poltin käynnistyi taas uudestaan, kun vesi oli viilentynyt tarpeeksi. Tätä sykliä oli kestänyt noin 12:n tunnin ajan, jonka jälkeen poltin oli käynyt lähes koko lopputestin ajan tasaisesti. Tarkkaa syytä tälle ilmiölle ei löytynyt, mutta epäilen, että sen aiheutti kaukolämpöverkossa tapahtunut muutos.



KUVA 35. Polttimen tehoasentoa kuvaa punainen käyrä, joka vaihteli välillä 0 - 100 % pätkäkäyttöjakson ajan. Siitä jatkuva tasainen käyrä kertoo, että polttimen tehoasento oli ollut tasaisesti noin 47 %

10.4 24h:n virheetön koeajo

Varsinaisen 24:n tunnin koeajon jälkeen alkoi virheetön 24:n tunnin koeajo, jonka aikana ei saanut tulla yhtään hälytystä ja laitoksen täytyi toimia moitteettomasti. Koeajo alkoi 24.10. klo. 12.00 ja loppui 25.10. klo. 12.00. Koeajo onnistui täydellisesti, sillä laitos kävi normaalisti ilman vikoja koko koekäytön ajan. Laitos sai tältä osin puhtaat paperit ja työni oli tehty (kuva 36). Jäljelle jäi vielä yksi testi

eli täyden tehon koeajo, jossa laitosta käytetään sen täydellä kapasiteetilla. Leudon talven vuoksi tämä kyseinen koeajo siirtyi myöhemmälle ajankohdalle.



KUVA 36. Toimintavalmis kaukolämpökeskus

11 POHDINTA

Tämän insinööriyön aiheena oli suunnitella ja toteuttaa logiikkaohjelmisto sekä graafinen käyttöliittymä loppuasiakkaan uuteen huippu- ja varalämpökeskukseen. Työhön kuului suunnitella ja ohjelmoida laitoksen kaikkien logiikkaohjattujen laitteiden turvallinen ja oikeanmukainen toiminta asiakkaan toiveet huomioiden. Tärkeää oli myös tehdä käyttöliittymästä mahdollisimman helppokäyttöinen ja selkeä.

Työhön sisältyi myös laitoksen logiikan osalta tarvittavat I/O-testit, laitteiden toiminnalliset testaukset sekä kaksi vuorokauden pituista koeajopätkää, joista toisen aikana ei saanut tulla yhtään hälytystä, eikä toimintavirheitä ohjelmointityön osalta. Työhön kuului myös dokumentoida I/O- ja varsinaiset testit asianmukaisesti ja selkeästi.

11.1 Logiikkasuunnittelu

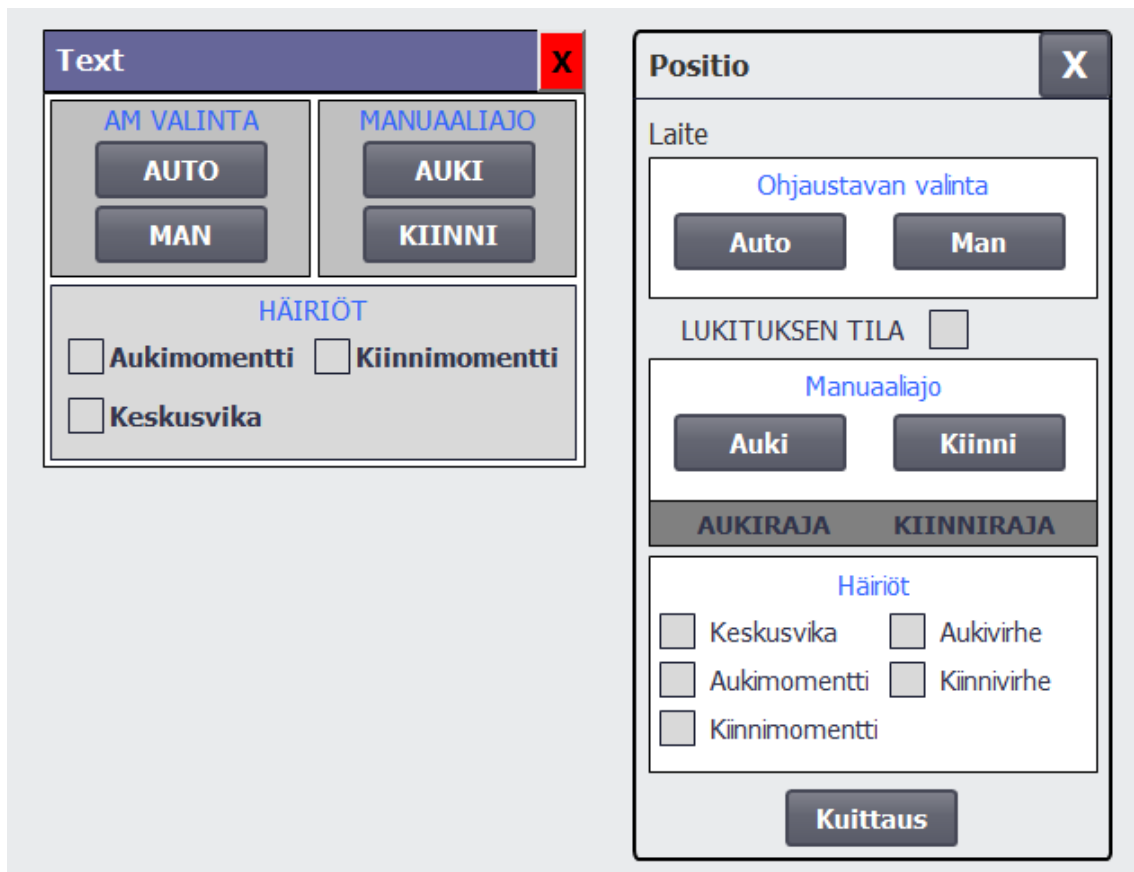
Logiikkaohjelman osalta päästiin toimivaan ja luotettavaan lopputulokseen. Toimilaitteet ohjelmoitiin toimimaan niille tarkoitettulla tavalla ja niille tarkoitetuissa rajoissa. Testauksissa laitoksen toiminnassa ei havaittu vikoja, puutteita tai virheitä. Ohjelmointityössä huomioitiin loppuasiakkaan toiveet muun muassa luomalla erilaisia turvallisuustoimintoja ja rajoittimia, joiden avulla kaukolämpövettä voidaan pumpata turvallisesti verkkoon aiheuttamatta häiriötilanteita muille alueen laitoksille tai asiakkaille.

PI-säätöisten toimilaitteiden säädinten viritys onnistui myös hyvin. Virityksessä käytettiin apuna aiempien vastaavien laitoksien viritysparametreja suuntaa antavina arvoina, joita sitten vielä hiottiin tarkemmin kohdalleen laitoksen testauksen aikana. Täyden kuormituksen testin siirtymisen ja laitoksen käytön vähyyden vuoksi laitoksen pidempiaikaisesta käytöstä kuormituksen alaisena ei ole toistaiseksi saatu riittävästi dataa, jonka perusteella säädinten parametreja tai muita laitokseen liittyviä toimintoja oltaisiin voitu tarvittaessa hioa vielä tarkemmiksi. Nämä kyseiset muutokset on helppo tehdä jälkeen päin, jos parannettavaa tai korjattavaa ilmenee laitoksen pidempiaikaisen käytön jälkeen.

Ohjelmointityössä saman tietyn toiminnan voi toteuttaa monella eri tavalla, joista osa on huonompia ja osa parempia tapoja. Ohjelmointivirheiden mahdollisuutta karsittiin pois muun muassa käyttämällä mahdollisimman vähän välimuistipaikkoja, sekä selkeällä ja johdonmukaisella symbolisella nimeämisellä. Virheiden mahdollisuus myös pienentyi huomattavasti, koska käytössä oli yrityksen puolesta valmiiksi tehdyt ohjauslohkot yleisimmille toimilaitteille, joten ohjelmistoa ei tarvinnut rakentaa alusta asti uudestaan.

11.2 Käyttöliittymän suunnittelu

Käyttöliittymän suunnittelu ja toteutus veivät vähintään yhtä paljon aikaa kuin itse logiikkaohjelmiston suunnittelu. Tärkein tavoite oli toteuttaa käyttöliittymä, jota on helppo tulkita ja käyttää. Tähän lopputulokseen päästiin hillityllä värien käytöllä, selkeällä nimeämisellä ja yleisesti käytetyillä symboleilla. Kyseiselle loppuasiakkaalle oli tehty useampia vastaavanlaisia kohteita ja asiakas halusikin, että käyttöliittymän peruspiirteet olisivat myös samanlaiset kuin aiemmissa kohteissa. Siksi varsinaiseen suunnitteluun ei tarvinnut käyttää paljon aikaa. Aiempien käyttöliittymien peruspiirteitä noudattaen modernisointia kuitenkin tehtiin ottamalla käyttöön vaalean harmaa pohjaväri sivuihin sekä toimilaitteiden ohjaus- ja säädinikkunoihin. Värimaailman uudistuksen lisäksi myös käyttölaitteiden ohjaus- ja säädinikkunat uudistettiin näyttämään modernimmilta kuin vanhat olivat (kuva 37). Edellä mainittujen pienten muutosten myötä käyttöliittymä saatiin näyttämään huomattavasti modernimmalta.



KUVA 37. Auki/kiinni-tyyppisen venttiilin vanha hallinta-ikkuna vasemmalla ja uusi oikealla

11.3 Testaukset

Laitoksen testaus tapahtui kolmessa eri osassa. Ensimmäinen testi oli laitoksen rakennuspaikalla suoritettava I/O-testi, toinen testi oli laitoksen loppusijoituspaikalla tapahtuva 24:n tunnin testiajo ja kolmas testi oli laitoksen loppusijoituspaikalla tapahtuva 24n tunnin virheetön testiajo, joka nimensä mukaisesti ei saanut sisältää laitoksen toiminnassa virheitä tai hälytyksiä aiheuttavia tilanteita.

11.4 I/o-testi

I/O-testi suoritettiin laitostoimittajan tiloissa Uudessakaupungissa. Testin aikana yksinkertaisesti käytiin läpi jokainen logiikalle tuleva ja logiikalta lähtevä signaali. Tämä tapahtui esimerkiksi digitaalitulojen osalta siten, että sähkömies kytki päälle kyseiselle osoitteelle kuuluvan piirin, ja minun tehtäväni oli tarkistaa logiikalta, että tämä signaali tulee perille. Jos signaali ei jostakin syystä toiminut,

logiikan korteilta tarkistettiin, että asetukset ovat oikeat ja kortti on toimiva. Jos vikaa logiikasta ei löytynyt, silloin alettiin tutkia ongelmaa sähköpuolelta.

I/O-testauksella säästettiin paljon aikaa laitoksen toimintaan saamisessa. Testissä ilmenneet viat logiikassa tai sähköissä saatiin korjattua vielä laitoksen ollessa rakennusvaiheessa, joten loppusijoituksen tapahtuessa voitiin olla varmoja sähköjen ja logiikan toiminnasta. Tämä säästi paljon aikaa, minkä ansiosta voitiin suoraan alkaa testiajamaan laitteita, kun loppusijoitus oli tapahtunut. I/O-testi sujui hyvin, ja tarvittavat korjaukset ja muutokset logiikkansa ja sähköihin saatiin tehtyä Uudessakaupungissa. Testien dokumentointi onnistui myös mutkitta.

11.5 24h:n testiajo

Laitteiden toiminnallisten testausten ja säätöjen jälkeen oli testiajon vuoro. Tavoitteena oli käyttää laitosta 24:n tunnin ajan normaalissa tilanteessa, jossa vettä lämmitetään ja pumpataan kaukolämpöverkkoon. Vikatilanteet olivat tässä vaiheessa vielä hyväksyttäviä ja säätöjä laitokseen oli mahdollista tehdä. Tavoite saavutettiin kiitettävästi, sillä laitos kävi vaaditun ajan moitteettomasti. Säätöjen tai muutoksien tarvetta ei havaittu testiajon aikana. Ainoa normaalista hieman poikkeava asia ilmeni, kun testiajon jälkeen tutkittiin polttimen tehoasentoa. 6 tuntia testin alkamisen jälkeen poltin oli käynyt pätkäkäyttöä noin 5:n tunnin ajan. Illan viiletessä polttimen tehoasento oli tasaantunut noin 47 %:iin, ja sen jälkeen se oli käynyt normaalisti testin loppumiseen saakka.

Lopullista syytä pätkäkäytölle ei löytynyt, mutta siihen saattoi vaikuttaa usea tekijä. Pätkäkäytön voi aiheuttaa joko polttimen liian suuri tehoasento, liian vähäinen lämpökuorman pumppaus verkkoon tai molemmat. Jos lämpökuorma ei ehdi purkautua verkkoon tarpeeksi nopeasti, kattilan menoveden lämpötila lämpenee liian nopeasti sille asetetulle raja-arvoille. Tämä aiheuttaa polttimen sammumisen. Kun kattilan menoveden lämpötila laskee tarpeeksi matalalle, poltin saa taas käyntiluvan. Veden lämpötila laskee todella hitaasti ilman kaukolämpöpumppua, joka purkaisi lämpökuorman verkkoon. Oletettavasti pätkäkäytön osasyynä oli liian pieni virtaus kaukolämpöverkkoon suhteessa polttimen tehoasentoon. Tällöin kattilan menoveden lämpötila ei päässyt

jäähtymään tarpeeksi nopeaan. Osasyynä voi myös olla jokin kaukolämpöverkossa tapahtunut muutos. Pätäkäyttö alkoi iltapäivällä, kun ulkolämpötila oli korkeimmillaan, ja loppui alkuillasta, kun lämpötila alkoi laskemaan. Myös tämä havainto tukee liian suuren lämpökuorman kertymistä kattilaveden piirissä.

Myös polttimen säätimen parametointi voi olla osasyllinen tähän ilmiöön. Prosessilaitteiston säädössä käytetään harvemmin derivoivaa osaa, mutta tässä tapauksessa sitä olisi ollut mahdollista kokeilla olosuhteiden vuoksi. Derivoivan osan käyttöä en kuitenkaan kokenut tarpeelliseksi vähäisen datan määrän takia, ja koska derivoivan osan käyttö korostaa korkeita taajuuksia kuten mittauskohinaa, säätimen parametrit jätettiin toistaiseksi ennalleen. Säätimen parametrien muuttaminen voi olla tarpeellista myöhempänä ajankohtana, kun laitosta käytetään pidemmän aikaa normaalissa tilanteessa ja olosuhteissa, jolloin on enemmän tietoa siitä, miten poltin käyttäytyy.

11.6 24:n tunnin virheetön testiajo

Ensimmäisen koeajopätkän jälkeen seurasi toinen vuorokauden mittainen koeajo, jonka tavoitteina oli käyttää laitosta normaalissa tilanteessa, jossa lämmitetään sekä pumpataan vettä kaukolämpöverkkoon. Lisäksi tässä koeajossa ei ollut sallittua tehdä mitään muutoksia tai säätöjä laitokseen koeajon aikana. Testin aikana ei saanut myöskään tulla hälytyksiä, eikä toiminnallisia virheitä.

Testi aloitettiin puoliltapäivin ja se loppui 24:n tunnin jälkeen aloittamisajankohdasta. Testin aikana ei havaittu yhtäkään virhettä, hälytystä tai toiminnallista syytä, jonka vuoksi testi olisi hylätty, joten tältä osin laitos sai puhtaat paperit.

Kokonaisuudessa testit sujuivat erinomaisesti ja laitos valmistui ajallaan. Laitoksen täyden tehon testiajot valitettavasti jäi tekemättä poikkeuksellisen lämpimän talven vuoksi, mutta tähän asiaan ei kukaan voinut vaikuttaa.

11.7 Loppupohdinta

Koulun tarjoama opetus toimi hyvänä pohjana tälle työlle. Koulussa oppimani asiat teoriasta auttoivat pääsemään alkuun tässä työssä ja loivat vakaan pohjan oppimiselle. Ohjelmoinnin ja käyttöönoton yhdistyessä monet itseäni askarruttaneet asiat muuttuivat ahaa-elämyksiksi, ja opin todella paljon ohjelmointityöstä, sekä mitä aiheeseen liittyvät asiat tarkoittavat käytännössä. Varsinaisten testauksien ja käyttöönoton aikana kesällä tekemäni logiikkaohjelma ja käyttöliittymä yhdistyivät laitokseen, joka loi kokonaiskuvan mitä tämä työ kokonaisuudessaan on ja miten ohjelmisto ja käytännön laitteet liittyvät toisiinsa.

Kokonaisuutena tämä projekti oli todella laaja, joten itse työn kirjoittaminen tuotti joissakin määrin haasteita ja pitkiä miettimistaukoja. Työn rajausta oli mielestäni vaikein osuus, koska kaukolämpökeskukseen liittyviä tärkeitä toimintoja ja laitteita oli niin paljon, ettei niitä olisi voinut kaikkia tähän raporttiin sisällyttää. Siispä päädyin valitsemaan muutamia laitteita joihin paneuduin työssä tarkemmin.

Mielenkiintoisinta projektissa oli päästä testaamaan käytännössä logiikkaohjattuja laitteita, kuten kevytöljypoltinta ja kaukolämpöpumppua. Laitteiden toiminnan toteutuksessa esiintyneet haasteet ja ongelmat olivat mielenkiintoisia, ja niiden ratkaisun löytyminen motivoi suuresti työn aikana.

Asetetut tavoitteet saavutettiin ja omalta osalta aikataulussa pysyttiin hyvin. Kaikki laitteet ja muut logiikkaan liittyvät instrumentit saatiin toimimaan halutulla ja turvallisella tavalla sekä asiakkaan toiveet myös huomioitiin. Lopputuloksena saatiin helppokäyttöinen ja halutulla tavalla toimiva kaukolämpökeskus, joka voidaan valjastaa käyttöön etäyhteydellä tai paikan päältä heti kuin tarve vain vaatii.

LÄHTEET

1. Seppänen, Olli – Seppänen, Matti 2007. Rakennusten sisäilmasto ja lvi-tekniikka. Espoo: SIY Sisäilmatieto Oy.
2. Rakennusten lämmitysjärjestelmät. 2007. Tampere: Rakennustieto Oy
3. Kaukolämpö 2018 graafeina. 2019. Energiateollisuus Ry. Helsinki.
Powerpoint-diasarja. Saatavissa:
https://energia.fi/julkaisut/materiaalipankki/kaukolampo_2018_graafeina.html#material-view Hakupäivä: 12.2.2020.
4. Kaukolämpöverkkoja yli 15 000 km. Helsinki: Energiateollisuus Ry.
Saatavissa: <https://energia.fi/energiasta/energiaverkot/kaukolampoverkot>
Hakupäivä: 12.2.2020.
5. Kaukolämpö tuotetaan lähellä asiakasta. Helsinki: Energiateollisuus Ry.
Saatavissa:
https://energia.fi/energiasta/energiantuotanto/kaukolammon_tuotanto
Hakupäivä: 12.2.2020.
6. Mäkelä, Veli-Matti – Tuunanen, Jarmo 2015. Suomalainen kaukolämmitys. Opintomateriaali. Mikkeli: Mikkelin ammattikorkeakoulu.
Saatavissa: <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/97138/URNISBN9789515885074.pdf?sequence=1> Hakupäivä: 12.2.2020.
7. Logiikkaohjattu annosteluprosessi, 2013. Prosessitekniikan laboratoriotyö. Oulu: Oulun yliopisto. Prosessi- ja ympäristötekniikan osasto. Saatavissa:
https://www oulu.fi/sites/default/files/content/annosteluprosessi_v6_0.pdf
Hakupäivä: 29.4.2020.
8. Logic. PLCopen. Saatavissa: <https://plcopen.org/technical-activities/logic>
Hakupäivä: 29.4.2020.

9. Ladder Logic Basics, 2020. Ladder Logic World. Saatavissa: <https://ladderlogicworld.com/> Hakupäivä: 29.4.2020.
10. FBD/LD/IL. Beckhoff information system. Saatavissa: https://infosys.beckhoff.com/english.php?content=../content/1033/tc3_plc_intro/2526631051.html&id= Hakupäivä: 29.4.2020.
11. PLC Data types, 2003. Hometoys. Saatavissa: <https://hometoys.com/plc-data-types/> Hakupäivä: 29.4.2020.
12. Data inside PLC:s. PCLhowto.com. Saatavissa: <http://plchowto.com/data-inside-plcs/> Hakupäivä: 29.4.2020.
13. Salenius, Vili 2012. Sähkökoneiden vikaantumisen havainnointi. Insinööriyö. Helsinki: Metropolia Ammattikorkeakoulu, Sähkötekniikan koulutusohjelma. Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/39580/Salenius_Vili.pdf?sequence=1 Hakupäivä: 29.4.2020.
14. Harju, Timo – Marttinen, Arto 2000. Sääntötekniikan koulutusmateriaali. Saatavissa: https://www.automaatioseura.fi/site/assets/files/1367/pid_kirja_1-1.pdf Hakupäivä: 18.2.2020.
15. Näin syntyy käyttäjakeskeinen valvomo. Turku: Elomatic Oy. Saatavissa: <https://www.elomatic.com/fi/palvelut/tuote-ja-palvelukehitys/artikkelit/nain-syntyy-kayttajakeskeinen-valvomo.html> Hakupäivä: 29.4.2020.
16. Käyttöliittymät. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. Saatavissa: https://www.sfs.fi/standardien_laadinta/sfs_n_standardisointiryhmat/it-standardisointi/it_-_aihealueet/kayttoliittymat Hakupäivä: 29.4.2020.
17. McDaniel, Chip, 2020. Design Tips to Create a More Effective HMI. International Society of Automation. Saatavissa: <https://blog.isa.org/design-tips-effective-industrial-machine-process-automation-hmi> Hakupäivä: 5.5.2020

FB48 Motor Frequency Converter FB "MtrFB"			
.. EN		...	Jammed_
.. OP_dvCmd		...	Fault
.. Control_Voltage		...	Rotation_Guard_
.. Interlock		...	Enable
.. DriveRead		...	Rotation_Guard_
.. Y		...	Type
.. Fwd_Lim		...	Rotation_Guard_
.. Bwd_Lim		...	Action
.. R_L		...	Fwd_Control_
.. Feedback		...	Field
.. Alarm_Prohibit		...	Bwd_Control_
.. Run_Fwd_Cmd		...	Field
.. Stop_Cmd		...	Additional_Reset
.. Run_Bwd_Cmd		...	Force_Speed
.. Field_Reset		...	OnDelay
.. VFD_used		...	OffDelay
.. Rev_used		...	Feedback_Monitoring_Time
.. Control_Error_Action		...	RGuard_On_Monit_Time
.. Runtime_Reset		...	Alarm_Reset_OUT
.. Clock		...	RGuard_Off_Monit_Time
.. Thermistor_Fault		...	Feedback_OUT
.. Thermal_Relay_Fault		...	L_R_OUT
.. Safety_Switch		...	Control_Voltage_Delay
.. VFD_Fault		...	Limited_Control_Time
.. VFD_Warning		...	ManSp
.. MCC_Fault		...	Automatic_Setpoint
		...	RtLim
		...	Force_Setpoint
		...	QdvwState
		...	Common_ALM
		...	Fwd_Control
		...	Bwd_Control
		...	Alarm_Reset_OUT
		...	Feedback_OUT
		...	L_R_OUT
		...	AUTO_OUT
		...	MAN_OUT
		...	Control_OUT
		...	Control_Float_OUT
		...	Control_VFD_OUT
		...	Rt
		...	ENO

