

Leo Eskola

# LÄMPÖKESKUKSEN AUTOMAATIO- REVISIO

Opinnäytetyö

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

2022



**Kaakkois-Suomen  
ammattikorkeakoulu**

Tutkintonimike	Insinööri (AMK)
Tekijä/Tekijät	Leo Eskola
Työn nimi	Lämpökeskuksen automaatiorevisio
Toimeksiantaja	Savon Voima Joensuu Oy
Vuosi	2022
Sivut	56 sivua, liitteitä 1 sivu
Työn ohjaaja(t)	Teemu Manninen, Jari Piispanen

## TIIVISTELMÄ

Tässä opinnäytetyössä suunniteltiin ja toteutettiin Savon Voima Joensuu Oy omistamaan Käpykangas 2 -lämpökeskukseen uusi automaatiojärjestelmä vanhan Allen-Bradley-logiikan ja Netcontrol SCADA -ohjelmiston tilalle. Automaatiojärjestelmän uusintaprojektissa mukailaan Suomen automaatioseuran automaatiosuunnittelun prosessimallia.

Esisuunnittelun yhteydessä käytiin läpi olemassa olevaa automaatiojärjestelmää ja perusteita automaation uudistustarpeelle. Esisuunnittelussa otettiin kantaa myös poikkeamatarkastuksen tarpeellisuudelle. Perussuunnitteluvaiheessa tarkasteltiin prosessin ja käyttäjien asettamia vaatimuksia uudistettulle automaatiolle. Perussuunnitteluvaihe käsitti myös kattilan ohjausekvenssien, mittauksien, säätö- ja lukituspiirien määrittämisen. Suunnitteluvaiheessa määritettiin uuden logiikan kokoonpanon tarpeet, jotka saatiin perussuunnittelussa luodusta toiminnallisesta kuvauksesta ja vaatimuksista. Kokoonpanoon vaikuttavat tekijät olivat IO-lukumäärä, mittaukset ja ohjaukset. Suunnitteluvaihe käsitti myös uuden automaatiokeskuksen keskussuunnittelun ja käyttöliittymän toteutukseen liittyvät keskeisimmät säännöt.

Toteutusosiossa kerrottiin, kuinka logiikan ohjelmointi voitiin aloittaa laitteisto konfiguraatiosta, tulojen ja lähtöjen määrittämisestä sekä ohjelmointikielen valinnasta. Toteutuksessa käytiin läpi myös vanhan Netcontrol SCADA -ohjelmiston käyttöliittymää ja uuden Ignition SCADA -ohjelmiston käyttöliittymäspesifikaation mukaisia käyttöliittymäsivuja, sekä uuden automaatiokeskuksen rakentamista pohjalevyille. Asennusosiossa käydään läpi tarvittavia dokumentteja purkamis- ja asennusvaiheeseen sekä vanhan automaatiokeskuksen purkamisessa käytettyjä menetelmiä. Asennusosiossa on myös uuden automaatiokeskuksen asennus ja käyttöönottotarkastus. Asennuksien päätyttyä keskukselle suoritettiin laitteistotestaus, joka varmisti signaalien ja mittauksien oikeellisuuden.

Työn lopussa on toiminnallinen testaus, joka pitää sisällään kylmä- ja kuumatestauksen eri vaihteita. Kuumatestauksen yhteydessä tarkasteltiin kattilan käynnistyksessä kriittisintä säätöpiiriä trendityökalun piirtämien kuvien perusteella ja teoriaa säätöpiireistä yleisellä tasolla. Opinnäytetyön tuloksena syntyi uudistettu automaatiojärjestelmä, joka parantaa kattilan käytettävyyttä vara- ja huippulaitoksena.

**Asiasanat:** automaatiosuunnittelu, lämpökeskus, siemens, projekti, logiikka

Degree title	Bachelor of Engineering
Author (authors)	Leo Eskola
Thesis title	Heating center automation revision
Commissioned by	Savon Voima Joensuu Oy
Time	2022
Pages	56 pages, 1 pages of appendices
Supervisor	Teemu Manninen, Jari Piispanen

## ABSTRACT

In this thesis, a new automation system is planned and implemented for the Käpykangas 2 heating center owned by Savon Voima Joensuu Oy, replacing the old Allen-Bradley logic and Netcontrol SCADA software. In this automation project, the Finnish Automation Society's automation design process model work will be adapted.

In connection with preliminary planning, the existing automation system, and the reasons for the need for automation renewal were reviewed. In preliminary planning, a position was also taken on the necessity of deviation inspection. In the basic design phase, the requirements set by the process and the users for the renewed automation were examined. The basic design phase also included the determination of boiler control sequences, measurements, control and locking circuits. In the design phase, the needs of the new logic assembly were determined, which were obtained from the functional description and requirements created in the basic design. The factors influencing the composition were the number of IOs, measurements and controls. The planning phase also included the central design of the new automation center and the most important rules related to the implementation of the user interface.

In the implementation section, it was explained how logic programming could be started from hardware configuration, input and output determination, and programming language selection. The implementation also covered the user interface of the old Netcontrol SCADA software and the user interface pages according to the user interface specification of the new Ignition SCADA software, as well as the construction of a new automation center on the base plate. In the installation section, the necessary documents for the dismantling and installation phase are reviewed, as well as the methods used in dismantling the old automation center. The installation section also includes the installation and commissioning inspection of the new automation center. After the installations were completed, hardware testing was performed on the center, which ensured the correctness of the signals and measurements.

At the end of the work, there is functional testing, which includes different stages of cold and hot testing. In connection with the heat testing, the control circuit most critical for starting the boiler was examined based on the pictures drawn by the trend tool and the theory of control circuits at a general level. As a result of the thesis, a renewed automation system was created, which improves the usability of the boiler as a backup and peak plant.

**Keywords:** automation planning, heating center, siemens, project, logic

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	6
2	KÄPYKANGAS 2 .....	6
3	AUTOMAATIOPROJEKTI .....	7
4	MÄÄRITTELY .....	9
4.1	Esisuunnittelu .....	10
4.2	Perussuunnittelu .....	12
4.2.1	Toiminnallinen kuvaus .....	12
4.2.2	PI-kaaviot.....	13
4.2.3	Sekvenssit .....	14
4.2.4	Säätöpiirit.....	16
4.2.5	Mittaukset .....	18
4.2.6	Lukitukset.....	19
5	SUUNNITTELU.....	21
5.1	IO-lukumäärä .....	21
5.2	Laitteistosuunnittelu .....	22
5.2.1	Mittaukset .....	23
5.2.2	Ohjaukset.....	24
5.2.3	Keskussuunnittelu.....	25
5.3	Käyttöliittymä .....	27
5.4	Kustannukset.....	29
6	TOTEUTUS .....	29
6.1	Ohjelmointi.....	29
6.1.1	Konfiguraatio.....	30
6.1.2	PLC tagit .....	30
6.1.3	Ohjelmalohkot.....	31
6.1.4	Lohkojen teko .....	33
6.1.5	Sekvenssit .....	34

6.2	Käyttöliittymä .....	35
6.3	Automaatiokeskus .....	39
7	ASENNUS .....	41
7.1	Vanhan keskuksen purkaminen.....	41
7.2	Uuden keskuksen asennus.....	45
7.3	Laitteistotestaus.....	46
8	TOIMINNALLINEN TESTAUS .....	46
8.1	Kylmätestaus .....	47
8.2	Kuumatestaus.....	48
9	TULOKSET.....	52
10	POHDINTA.....	52
	LÄHTEET.....	54
	LIITTEET	

Liite 1. PI-kaavio Käpykangas 2

## 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella ja toteuttaa uusi automaatiojärjestelmä Savon Voima Joensuu Oy omistamaan Käpykangas 2 -lämpökeskukseen. Automaatiojärjestelmän modernisointi pitää sisällään myös laitosdokumentaation päivityksen ja kaukokäyttöliittymän päivittämisen. Käpykankaan lämpökeskuksen kattila 2 on 40 MW kevytpolttoöljy vesiputki-tulitorvikattila, jota käytetään ensisijaisesti huippu- ja varalämpökeskuksena turvaamaan kaukolämmöntuotantoa häiriötilanteessa. Opinnäytetyön kohteena oleva vanha uusittava automaatiojärjestelmä on toteutettu Allen-Bradley PLC 2/17 -automaatiojärjestelmällä ja Netcontrol SCADA -kaukokäyttöjärjestelmällä.

Automaatiojärjestelmän uusintaa vauhdittaa myös Savon Voimalla pääasiallisessa käytössä oleva kaukokäyttöjärjestelmä, joka ei suoraan kommunikoi vanhan Allen-Bradley PLC 2/17:n kanssa. Tämän seurauksena valvomossa on jouduttu käyttämään kahta erillistä kaukokäyttöjärjestelmää valvontaan ja operointiin. Muita vaikuttavia tekijöitä uusinnalle on, että vanhan Allen-Bradley- ja Netcontrol SCADA -järjestelmien varaosien saatavuus ja elinkaari on lopussa. On myös huomioitava, että vanhaan Netcontrol- ja Allen-Bradley-järjestelmiin yhtiön sisällä oleva osaaminen on ajansaatossa heikentynyt eläköitymisten johdosta. Uudella automaatiojärjestelmällä lämpökeskuksen luotettavuus ja käytettävyys paranee merkittävästi. Suuren lämmön tuotantokyvyn takia kattila on merkittävässä roolissa takaamaan toimitusvarmuuden kaukolämmölle huippu- ja varalämpökeskuksena.

Työn tarkoituksena on myös laajentaa omaa osaamista automaatiojärjestelmien suunnittelun vaiheisiin, Siemens 1500 -sarjan ohjelmoitavaan logiikkaan, Siemens TIA portal -ohjelmointityökaluun, Ignition SCADA -kaukokäyttöjärjestelmään ja perehtyä kattilaprosessin toimintaan sekä säätöpiireihin.

## 2 KÄPYKANGAS 2

Käpykankaan lämpökeskus koostuu kahdesta erillisestä kattilasta. Kattila 1 on höyrylieriöllä varustettu vesiputkikattila, joka on käyttöönotettu vuonna 1983. Kattila 2 on yhdistetty vesiputki-tuliputkikattila, joka on käyttöönotettu vuonna

1989. Kattilaa 2 voidaan käyttää lämmin- tai kuumavesikattilana. Molemmat kattilat 1 ja 2 ovat teholtaan 40 MW tuottaen 80 MW yhteistehon kaukolämpöverkkoon.

Kattila 2 on Ahlströmin valmistama TF35 40 MW -vesiputki-tuliputkikattila. Kattilan pääkomponentit ovat tulipesä, välikanava ja konvektio-osa turbulenssielimineen sekä jalusta. Tulipesän rakenne muodostuu kaasutiivistä hitsatuista membraaniseinäistä ja vastakkain asetetuista lautaspäädyistä, jotka muodostavat pohjan ja katon sekä samalla ala- ja yläkokoojan. Konvektio-osa on pystyssä oleva vesilieriö, jonka sisällä on tasajaolla sijoitettuja tuliputkia. Konvektion yläosassa on säädettävät turbulenssielimet.

#### Mitoitusarvot kattila 2

- |                                   |            |
|-----------------------------------|------------|
| • Lämpöteho                       | 8–40 MW    |
| • Suunnittelupaine                | 16 Bar     |
| • Suunnittelulämpötila            | 150 °C     |
| • Kattilan menoveden lämpötila    | 120–130 °C |
| • Kattilan paluuv veden lämpötila | 70–110 °C  |

Kattilaa voidaan käyttää raskaalla ja kevyellä polttoöljyllä. Raskaasta polttoöljystä on kuitenkin luovuttu, ja kattilassa käytetään nykyään ainoastaan kevyttä polttoöljyä. Kattilassa on Saacke GM 400-LK40 -pyöriväkuppinen öljypoltin. Öljypoltin on sijoitettu kattilan tulipesän kattoon. (Ahlström 1989, 2–4.)

### 3 AUTOMAATIOPROJEKTI

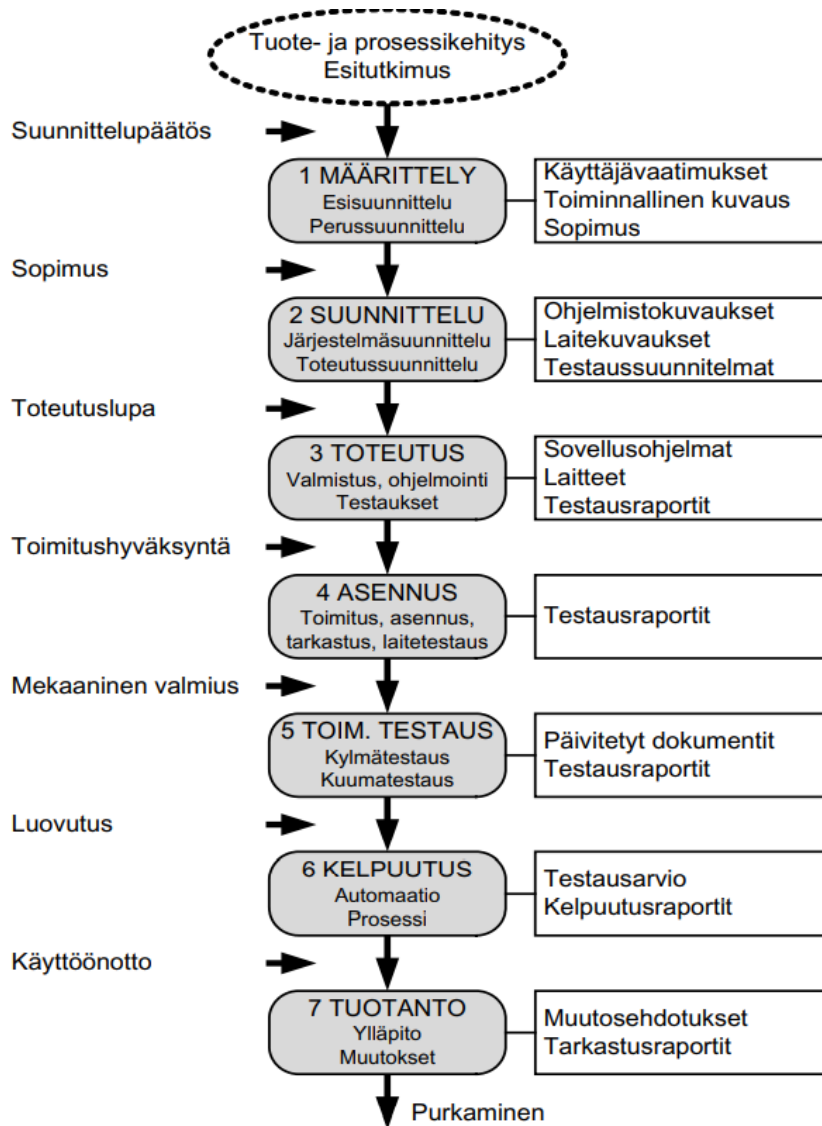
Automaatioprojektin lähtökohtana on antaa itse järjestelmän toteuttamiseen, hallintaan ja ylläpitoon tarpeellinen informaatio sekä vastata automaatiojärjestelmän varsinaisesta toteutuksesta. Automaation laatu parametreina pidetään suunniteltua tuottavuutta, turvallisuutta, tasoa ja energiatehokkuutta. Projektissa laadun saavuttaminen riippuu useasta eri tekijästä. Laadun varmistamisen määrittävänä tekijänä on kuitenkin prosessin ja loppukäyttäjien asettamien tarpeiden saavuttaminen. Eli kuinka hyvin automaatio suoriutuu sille suunnitellusta toiminnoista. Tämän seurauksena onkin tärkeää ottaa huomioon suunnittelun alkuvaiheessa prosessin ja käyttäjien vaatimukset sekä kuvata niitä mahdollisimman yksiselitteisesti. Hyvin kuvatut vaatimukset toimivat

projektin toteutuksen lopputarkastelussa laadun saavuttamisen yhtenä mittarina. (Tommila 2012, 5–6.)

Projektissa suunnittelijan on ymmärrettävä vahvasti automaatio-ohjelmistojen toteutusmenetelmät, suunnittelumenetelmät ja prosessikuvaukset. Projektien varsinaiselle suunnittelulle, valvonnalle ja toteutukselle on olemassa yrityskohtaisia tapoja. Tässä projektissa on hyödynnetty Suomen Automaatioseuran julkaisemaa automaatio-suunnittelun prosessimallia ja laatua automaatioissa kirjaa, jotka antavat hyvät lähtökohdat projektin suunnittelulle ja toteutukselle (Tommila 2012, 4).

Automaatiota kuvaava elinkaaren vaiheet muodostuvat alla olevan kaavion mukaisesti (kuva 1) määrittelystä, suunnittelusta, toteutuksesta, asennuksesta, toiminnallisesta testauksesta, kelpuutuksesta ja varsinaisesta tuotannosta (Strömman ym. 2010, 16).





Kuva 1. Automaatiojärjestelmän elinkaaren vaiheet (Strömman ym. 2010, 16)

Laadukas automaatioprojekti perustuu siis systemaattiseen toimintaan ja sen valvontaan sekä lopputuloksen tarkasteluun. Etenkin prosessiteollisuuden sovellukset edellyttävät lisäksi vakiintuneita toteutustapoja, yhteistyötä, oikeita työvälineitä ja laatu järjestelmiä. Kaavion kuvaamat projektin elinkaaren vaiheet soveltuvat niin vaativiin kuin pienempiinkin projekteihin. Pienemmissä projekteissa kaaviota voidaan kuitenkin soveltaa ja keventää pitämällä yllä hyviä suunnittelu-, toteutus- ja asennustapoja (Tommila 2012, 16).

#### 4 MÄÄRITTELY

Määrittelyvaiheessa määritetään automaatiojärjestelmän vaatimukset ja yleiset toiminnot suunnittelua varten mahdollisimman tarkasti. Vaatimukset määrittävät automaatiojärjestelmän käyttäytymisen ja palveluiden edellytykset.

Määrittelemällä projekti ja sen tarpeet saadaan investoinnille luotua myös perusteet ja aineisto budjettikyselyyn. Määrittely voidaan jakaa kahteen eri osioon, jotka ovat esisuunnittelu ja perussuunnittelu. (Tommila 2012, 18.)

Esisuunnittelussa on tarkoitus selvittää automaation uudistustarve, kustannukset ja saavutetut hyödyt. Lisäksi esisuunnittelussa vaiheessa syntyy aineisto, jonka pohjalta investoinnin tarpeellisuus voidaan määrittää. Esisuunnittelussa tutkitaan myös, onko prosessissa vaaratekijöitä ja tarvetta turvallisuuteen liittyvälle järjestelmälle (TLJ). Esisuunnittelun tulos ohjautuu tyypillisesti investointipäätökseen. (Tommila 2012, 18.)

Perussuunnitteluvaiheessa luodaan käyttäjävaatimuksien pohjalta prosessin toiminnallinen kuvaus. Toiminnallinen kuvaus määrittää järjestelmän, jolla saavutetaan käyttäjien ja prosessin asettamat vaatimukset. Perussuunnittelu tarkentuu myös kuvaamaan tarkemmin prosessin ajomallit, automaation toiminnot ja toteutukselta vaadittuja periaatteita. Toiminnallisesta kuvauksesta selviää prosessin yksittäiset toiminnot, ohjelmistot ja laitteistorakenteet. Toiminnallinen kuvaus on suunnitelma, joka ei ole ristiriidassa käyttäjävaatimuksen kanssa. (Tommila 2012, 44.)

#### 4.1 Esisuunnittelu

Alkuperäinen automaatiojärjestelmä on toteutettu Allen-Bradleyn MINI 2/17 PLC -logiikalla, joka on valmistettu 80-luvun lopussa. Logiikka on alkuperäinen kattilatoimituksen mukana tullut ohjausjärjestelmä, joka on ohjannut lämpökeskuksen toimilaitteita ja lukenut prosessin mittauksia tuoden ne olemassa olevaan Netcontrol SCADA -kaukokäyttöjärjestelmään.

Logiikan hardware-kokoonpano (kuva 2) on koostunut seuraavista komponenteista:

• Prosessori	PLC 2/17	1 kpl
• Tulokortti DI 32ch	1771-INB	4 kpl
• Lähtökortti DQ 32ch	1771-OBN	3 kpl
• Analogitulokortti AI 16ch 12bit	1771-IFE	2 kpl
• Virtalähde 24VDC	1771-P5	1 kpl
• Kommunikointikortti	1771-KA	1 kpl
• Kommunikointiyksikkö	1770-KF2	1 kpl



Kuva 2. Allen-Bradley PLC MINI 2/17 hardware

Kattilan turvallisuuteen liittyvä järjestelmä (TLJ) on kattilatoimituksen mukana toimitettu alkuperäinen järjestelmä. Turvallisuusjärjestelmä on toteutettu polttimen PK2 ohjauskaapilla 230 VAC releistyksellä ja kattilaan sijoitetuilla mittalaitteilla. Turvallisuuteen liittyvä järjestelmä on siis täysin erillään käyttöautomaatiosta, vaikka automaatiossa käsitelläänkin osittain samoja hälytyksiä ja lukituksia. Turvallisuusanalyysi ja kriittisen toimintojen tarkastelu ei muutu käyttöautomaation uusinnalla, joten varsinaiselle poikkeamatarkastukselle (HAZOP) ei nähty edellytyksiä. Poikkeamatarkastelun (HAZOP) osalta konsultoiin vielä tarkastajalta hyväksyntää toiminnalle päivittää pelkästään käyttöautomaatio.

Kaukokäyttöjärjestelmänä on käytetty Netcontrol SCADA -ohjelmistoa, jota on käytetty aikaisemmin kaikissa Savon Voima Joensuu -alueen lämpökeskuksissa ja pumppaamoissa. Netcontrol on palvellut lämpökeskuksien ja pumppaamoiden kaukokäyttöjärjestelmänä 90-luvulta alkaen. Kaukokäyttöjärjestelmää on operoitu Joensuun sähkön ja lämmön yhteistuotanto (CHP) -laitoksen valvomosta ja lämpökeskuksien paikallisvalvomoista.

Alkuperäinen suunnitelma automaation uusinnalle on johtunut siitä, että varaosien ja huoltojen saatavuus on heikentynyt logiikan komponenteille. Logiikan prosessorin valmistus on lopetettu ja IO-korttien saatavuus on hyvin epävar-

maa nojautuen lähinnä käytettyihin varaosiin. Muita syitä automaation uusinnalle on, että yhtiön sisäinen osaaminen on huonontunut kyseisiä järjestelmiä kohtaan eläköitymisten johdosta ja riittävä kouluttautuminen vanhaan järjestelmään ei ole järkevää. Automaatiojärjestelmän uudistaminen jatkaa kattilan käyttöikää ja turvaa varaosien saatavuuden tulevaisuuteen pitkälle. Uusi automaatio parantaa myös kattilan käytettävyyttä vara- ja huippulaitoksena.

Alkuperäisen automaatiojärjestelmien kunnossapito suunnitelman mukaan olemassa oleva Allen-Bradley-logiikka olisi palvellut vielä vuoteen 2023. Suunnitelmaa jouduttiin päivittämään, koska Netcontrol korvattiin vuonna 2021 uudella Inductive Automation Ignition SCADA -kaukokäyttöjärjestelmällä. Kaukokäyttöjärjestelmän uudistaminen onnistui Käpykangas kattila 2:ta lukuun ottamatta muihin valvottaviin kohteisiin. Allen-Bradley logiikan data highway -kommunikointiprotokolla tuotti vaikeuksia uuden kaukokäyttöjärjestelmän yhteenliittämisessä. Kommunikointivaikeudet käynnistivät nopeutettuna uuden automaatiojärjestelmän suunnittelun, jonka pohjalta oli mahdollista tehdä vielä vuoden 2022 budjettiin investointiesitys automaatiopäivityksestä Käpykankaan kattila 2:lle. Automaatiopäivityksen budjetointiin hyödynnettiin aikaisempia automaatiopäivitysprojekteja ja niiden toteutuneita kustannuksia. Automaatiopäivityksen investointiesitys hyväksyttiin.

## **4.2 Perussuunnittelu**

Perussuunnittelun luomat dokumentit toimivat varsinaisen suunnittelun pohjana, joten perussuunnittelussa kannattaa käyttää riittävästi aikaa ja tarkastella asioita riittävän laajasti (Tommila 2012, 44).

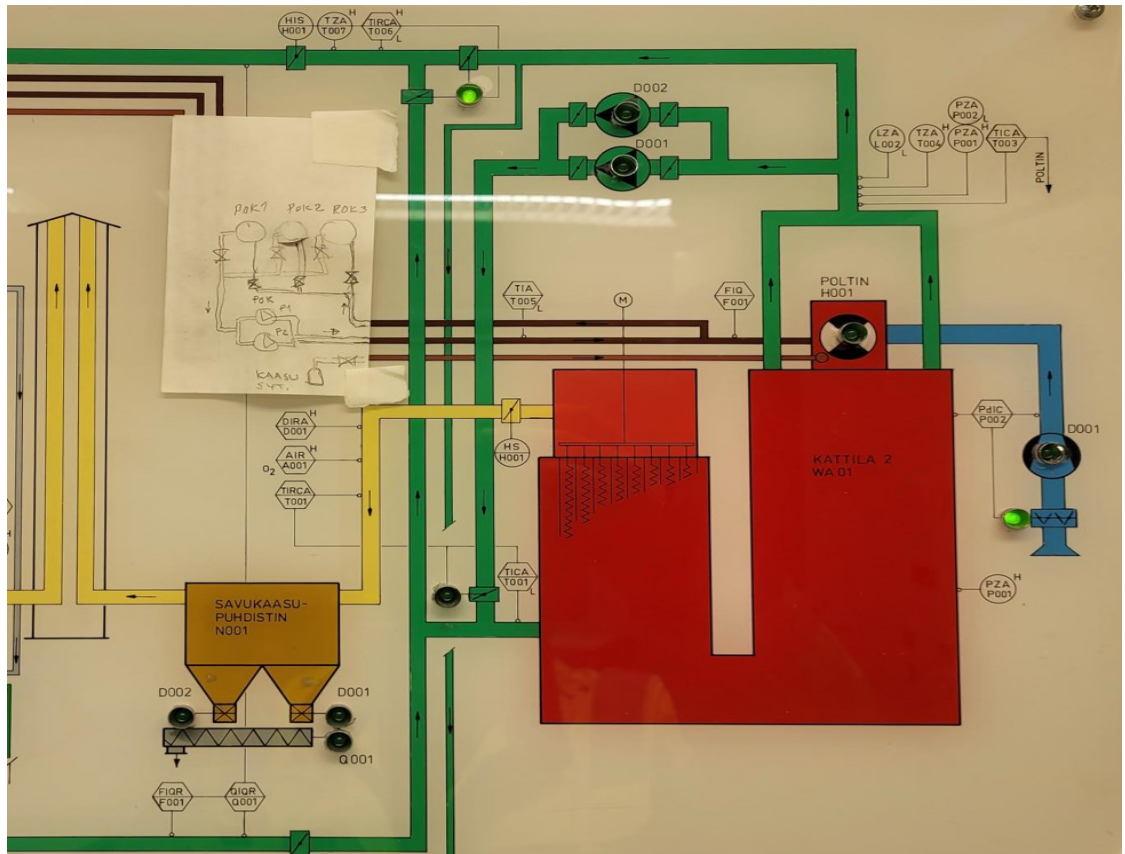
### **4.2.1 Toiminnallinen kuvaus**

Vuosien varrella kattilalle on tehty lukuisia toiminnallisia muutoksia, joten toiminnallisen kuvauksen tarkastelu ja päivittäminen on työn ensi askeleet kokonaiskuvan hahmottamiseksi. Kattilan nykyisestä toiminnasta oli tehty aikoinaan toiminnallinen kuvaus, jossa viitattiin osittain myös Allen-Bradley ladder-ohjelmaveriin. Toiminnallisesta kuvauksesta osoittautui kuitenkin, ettei se ollut enää ajan tasalla, joten kuvaus päätettiin tehdä puhtaalta pöydältä.

Toiminnallisessa kuvauksessa määritetään kattilan käynnistys ja pysäytyssekkvenssit, säätöpiirien yleinen toiminta ja niiden suorittamat ohjaukset kattilan toimilaitteille sekä prosessin ajotavat ja ajoon vaikuttavat säädöt. Kuvauksessa on myös käsitelty mittaus, lukitus ja suojalaitteet. Prosessin toiminnallinen kuvaus palvelee valvomo-operaattoreita ja kunnossapitohenkilöstöä, kun halutaan tarkastella kattilan käyttäytymistä. Tarkasti tehdystä toiminnallisesta kuvauksesta saadaan myös helposti määriteltyä tärkeitä valvottavat ja ohjattavat kohteet käyttöliittymään. Toiminnallista kuvausta ei ole esitetty tässä työssä täydessä laajuudessaan.

#### **4.2.2 PI-kaaviot**

Lähtökohtana tärkeänä suunnittelun perustana voidaan pitää ajantasaista putkisto- ja instrumentointikaaviota eli PI-kaaviota, jonka avulla voidaan hahmottaa prosessin kokonaiskuva. PI-kaavio on merkittävästi muuttunut alkuperäisestä (kuva 3), koska Käpykankaan lämpökeskuksessa on siirrytty raskasöljystä kevyt öljyyn. Muita muutoksia on myös, että kolmesta öljysäiliöstä on siirrytty yhteen suurempaan öljysäiliöön, joka on kooltaan 999 m<sup>3</sup>. Muita muutoksia on tullut myös PI-kaavioon raskasöljystä siirryttäessä kevyt öljyyn ja siihen, ettei öljyä ole enää tarve lämmittää ennen poltinta öljynerilämmittimellä.



Kuva 3. Kattila 2 vanha ohjaustaulun kuva

#### 4.2.3 Sekvenssit

Laitoksen sekvenssit on jaoteltu käynnistys- ja pysäytyssekvensseihin, jotka ovat etukäteen määritettyjä sekvenssiohjauksia. Pysäytyssekvenssiä hyödynnetään myös hätäseis-tilanteessa, jossa poikkeuksena normaaliin pysäytykseen kattilan poltin pysäytetään välittömästi. Sekvenssiohjauksissa on ohjelmallisesti määritetty toteutumisen valvonta-aika, jota ei voida muuttaa kaukokäyttöjärjestelmästä.

Käynnistyssekvenssi muodostuu 5 eri vaiheesta, jotka ovat

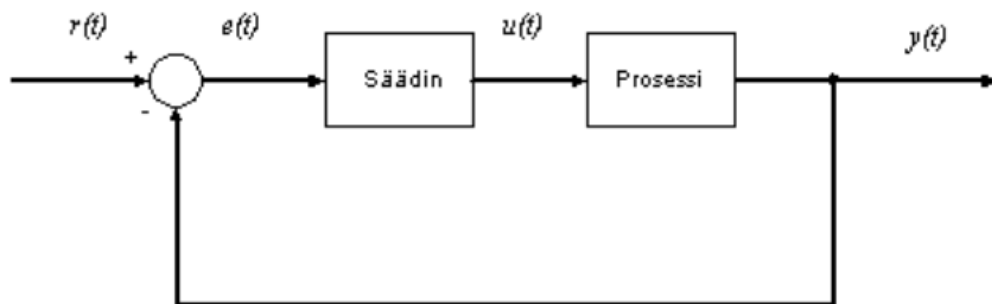
- Askel 1
  - Savukaasupelti auki
  - Kattilan pääsulkuventtiili auki
  - Toimilaitteet automaattilla
  - Palamisilman tuloilmapelti auki
  - Öljypumppu käy
- Askel 2
  - Shunttipumppu 1 tai 2 käy
  - Palamisilman kierovesipumppu käy
  - Tuhkaruuvi käy
  - Sulkusyötin 1 käy
  - Sulkusyötin 2 käy
- Askel 3
  - Tehosäätö päällä
  - Kaukolämpöverkon tehoasetus 8 MW
  - Poltin päällä
  - Palamisilmapuhallin käy
  - Kattilan menovesi yli 90 astetta
- Askel 4
  - Kaukolämpöpumppu käy
  - Kaukolämpöveden virtaus yli 200 m<sup>3</sup>/h
- Askel 5
  - Kaukolämpöteho yli 8 MW
  - Kattilan menoveden lämpötila yli asetellun

Pysäytyssekvenssi muodostuu 5 eri vaiheesta, jotka ovat

- Askel 1
  - Toimilaitteet automaattilla
  - Tehosäätö päällä
- Askel 2
  - Kaukolämpöteho alle 10 MW
  - Kattilan menovesi alle 100 astetta
  - Kaukolämpöveden virtaus alle 100 m<sup>3</sup>/h
- Askel 3
  - Öljypumppu seis
  - Tuhkaruuvi seis
  - Palamisilman kiertovesipumppu seis
  - Sulkusyötin 1 seis
  - Sulkusyötin 2 seis
- Askel 4
  - Kaukolämpöpumppu seis
  - Palamisilmapuhallin seis
- Askel 5
  - Savukaasupelti kiinni
  - Kattilan pääsulkuventtiili kiinni
  - Shunttipumppu 1 seis
  - Shunttipumppu 2 seis
  - Palamisilman tuloilmapelti kiinni

#### 4.2.4 Säätopiirit

Prosessit tarvitsevat aina vähintäänkin jossain määrin säätämistä ja sen aiheuttamaa ohjausta. Säädot voivat olla operaattorin käsin tehtyjä ohjauksia tai vaihtoehtoisesti automaattisen säätimen tekemiä säätöjä. Käsiohjauksella tarkoitetaan, että prosessiin annetaan ohjaus tietämättä prosessin todellista mitattua suuretta. Automaattinen säätö eroaa käsiohjauksesta siitä, että ohjaus perustuu aina mittauksen antamaan tietoon prosessin tilasta. Näin ollen automaattinen säädön kannalta takaisinkytkentä on ehtona toimivalle säädölle. Takaisinkytkennässä esiintyy kuitenkin aina prosessista riippuen viivettä ja hitauksia. Prosessin hitaus tekee säätimien asetusarvoista ainutlaatuisia, jonka takia asetusarvoja ei voida pitää samanlaisina, vaikka säädettävä suure onkin vertailukelpoinen. Onnistuneet parametrit säätimessä tekevät prosessin säätöjärjestelmästä automaattisen. Oikeiden parametrien löytäminen vaatii kuitenkin runsaasti prosessin testaamista projektin kuumatestausvaiheessa. (Harju & Marttinen 2000, 9.)



Kuva 4. Säätopiiriä mallintava yksinkertainen lohkokkaavio (Harju & Marttinen 2000, 14).

Säätopiiri muodostuu prosessia ohjaavasta toimilaitteesta, mittauksesta ja säätimestä (kuva 4). Säädin antaa ohjauksen toimilaitteelle, joka on säätimestä riippuen joko pulssi- tai analoginen ohjaussignaali. Toimilaitteen ohjaus vaikuttaa suoraan ohjattavaan prosessisuureeseen. Pulssiohjattua ohjaussignaalia käytetään etenkin vanhoissa prosessisovelluksissa ohjaamaan toimilaitetta, joka voi olla säätöventtiili tai säätömootori. Analogista ohjaussignaalia käytetään lähes poikkeuksetta uusissa sovelluksissa, jossa halutaan saada suurta tarkkuutta säätöön. Analoginen ohjaus on tyypillisesti 4–20 mA virtaviesti. Pulssiohjaus ohjaa toimilaitetta eripituisilla jännitepulsseilla, jotka voidaan määrittää säätimestä. Haluttua säädettävää suuretta mitataan proses-



sista riippuen sopivalla mittausanturilla, joka ohjataan säätimen takaisinkytkentään. Mittaus suuretta verrataan käyttäjän asettamaan asetusarvoon, jonka perusteella säädin tekee ohjauksen prosessin toimilaitteelle. Säätimen toiminta perustuu siis mittaukseen ja asetusarvoon, jonka perusteella säädin luo erosuureen, jota korjataan säätimen parametrien mukaisesti, kunnes tavoiteltu prosessin tila on saavutettu. (Harju & Marttinen 2000, 13.)

Kattilan säätöpiirit muodostuvat tehon, paine-eron ja lämpötilan säädöistä. Vanhassa logiikassa säätöpiirejä on enemmän, koska kattilalla on käytetty raskasta öljyä. Uudessa logiikassa turhat säätö piirit jäävät pois ja jäljelle jää vain tarvittavat. Toiminnan kannalta tärkeimmät säätöpiirit ovat

- Kattilan menoveden lämpötilansäätö
- Kattilan paluueden lämpötilansäätö
- Kaukolämpö menoveden lämpötilansäätö
- Kaukolämpöveden virtaussäätö
- Palamisilman paine-erosäätö.

Kattilan menoveden lämpötilaa säädetään polttimen asennolla. Polttimen asento vaikuttaa suoraan säätömekanismiin avulla palamisilman ja polttoaineen suhteeseen pitäen palamisprosessin optimaalisena. Säätimen asetusarvoksi määritetään haluttu kattilan menoveden lämpötila, ja takaisinkytkentänä säätimelle mitataan menoveden lämpötilaa.

Kattilan paluueden lämpötilasäädöllä säädetään savukaasun ja paluueden lämpötilaa. Savukaasun lämpötila pyritään pitämään 140–144-asteisena. Säädön rajoitteena on paluueden minimi ja maksimi lämpötila. Säätimen asetusarvoksi määritetään haluttu savukaasun lämpötila ja takaisinkytkentänä säätimelle mitataan savukaasun lämpötilaa.

Kaukolämmön menoveden lämpötilansäädin säätää menoveden lämpötilaa sekoittamalla kaukolämmön paluuvettä menoveteen. Säädin saa asetusarvon ulkolämpötilaan perustuvasta kuvaajasta, tai vaihtoehtoisesti se voidaan käsin määrittää. Säätimen takaisinkytkentä mitataan kaukolämmön menoveden lämpötilasta.

Kaukolämpöveden virtaussäätö saa ohjearvon paine-eron tai tehon asetusarvosta. Käynnistyksessä ja pysäytyksessä käytetään myös virtauksen asetusarvoa, jolloin takaisin kytkentänä käytetään virtausmittausta. Kaukolämpöveden virtaus on yleisesti teho säädössä, joka muuttaa kaukolämpöpumpun taajuuden ohjausta. Tehosäädössä tavoitellaan haluttua tehoa ja paine-erosäädössä haluttua paine-eroa. Takaisinkytkentä on säätötavasta riippuen joko tehomittauksen tai paine-eromittauksen laskennan arvo.

Palamisilman paine-erosäätö säätää paine-eroa asetellun paine-eroasetuksen mukaan. Säädin ohjaa pulsseilla puhaltimen imupuolelle asennettua johtosiiivistä. Säätimen takaisinkytkentään mitataan paine-eroa kattilasta.

#### **4.2.5 Mittaukset**

Kattilan prosessimittaukset muodostuvat vedenlämpötila-, virtaus-, tummuus-, happi-, paine- ja toimilaitteiden asentomittauksista. Kattilaveden ja tulipesänpainemittaukset ovat poltinkaappiin liitetyjä mittauksia, jotka toteuttavat osan kattilan turvatoiminnoista. Turvatoimintojen mittauksien hälytykset on välitetty automaatioon. Prosessimittaukset muodostuvat seuraavista mittauksista:

- Kaukolämpö menovedenlämpötila
- Kaukolämpö paluuedenlämpötila
- Kattilan menoveden lämpötila
- Kattilan paluueden lämpötila
- Savukaasun lämpötila
- Savukaasun happipitoisuus
- Savukaasun tummuus
- Kaukolämpöveden virtaus
- Kaukolämpöveden paine-ero
- Palamisilman paine-ero
- Kaukolämpöpumpun taajuus
- Kattilan menoveden säätimen asento
- Kattilan paluueden säätöventtiilin asento
- Palamisilman johtosiiivistön asento
- Savukaasupellin asento
- Kaukolämpöverkon shunttiventtiilin asento
- Öljynvirtaus
- Öljynlämpötila
- Öljynpaine

Kaukolämpöenergian mittaus käyttää kaukolämpö meno- ja paluuveden lämpötilaa sekä kaukolämpöveden virtausta. Kaavalla 1 saadaan johdettua kaukolämpöenergia. Laskenta tehdään ohjelmallisesti logiikassa.

$$E = cm\Delta T \quad (1)$$

jossa	$E$	Lämpöenergia	[kJ]
	$c$	Veden ominaislämpökapasiteetti	[kJ/kg*°C]
	$m$	Veden massa	[kg]
	$\Delta T$	Lämpötilaero	[°C]

Yhtälöstä saadaan johdettua lämpöenergia, joka täytyy muuttaa vielä tehoksi. Lämpöenergia saadaan muutettua tehoksi kaavan 2 avulla.

$$P = \frac{\left(\frac{E}{t}\right)}{1000} \quad (2)$$

jossa	$P$	Teho	[MW]
	$E$	Lämpöenergia	[kJ]
	$t$	Tunnin sekuntimäärä	[s]

Kaukolämpöverkon paine-ero mittaus hyödyntää kaukolämpöverkon meno- ja paluupainetta. Paine-ero saadaan johdettua kaavan 3 avulla. Laskenta tehdään ohjelmallisesti logiikassa.

$$\Delta P = P1 - P2 \quad (3)$$

jossa	$\Delta P$	Paine-ero	[Bar]
	$P1$	Menopaine	[Bar]
	$P2$	Paluupaine	[Bar]

#### 4.2.6 Lukitukset

Lukituspiirin toiminnot ovat alkuperäisiä, ja ne on johdotettu poltinkaapin releille. Kattilapiirin lukitusketju koostuu seuraavista kosketintiedoista:

• Kattilaveden paine yläraja	PZA-P001
• Kattilaveden paine alaraja	PZA-P002
• Kattilaveden yllämpö	TZA-T004
• Kattilan kuivakeittosuoja konvektio	LZA-L001
• Kattilan kuivakeittosuoja menoputki	LZA-L002
• Kaukolämpöveden yllämpösuoja	TZA-T007
• Tulipesän ylipaine	PZA-P001
• Savukaasupellin auki raja	HS-H001
• Polttimen luukun rajakytkin	-
• Sekoituspumpun käynti	WB20D001/WB10D002

Lähtevän veden painetta valvotaan menoputkessa pressostaatilla. Pressostaatilla on yli- ja minimipainerajat. Ylipaineraja on 11 bar, ja minimipaineraja on 1 bar. Lähtevän veden lämpötilaa valvotaan menoputkessa termostaatilla, jonka asetusarvo on 134 °C. Kattilassa on kaksi kuivakeittosuoja, jotka ovat konvektio-osassa sekä menoputkessa. Kuivakeittosuojien releet ovat poltin-kaapin oveen sijoitettu. Kaukolämpöverkon lämpötilan rajoitin on asetettu 123 °C.

Kattilan lukitus ketjuun on myös liitetty seuraavia tilatietoja ja mittauksia:

- Hätäseis
- Öljyvuoto
- Palokytkin
- Palosulake
- Nuohousveden poistventtiilin tilatieto
- Savukaasun jäännöshappipitoisuus alaraja
- Savukaasun tummuus yläraja
- Kaukolämpöveden virtaus
- Liekkihäiriö

Hätäseispiirin laukeaminen aiheuttaa polttimen välittömän pysähtymisen ja öljyvuolen pääkontaktorin avautumisen sekä palamisilman puhaltimen että huippuimurin pysähtymisen. Öljyvuoto, palokytkin, palosulake, nuohousveden poistventtiilin tilatieto aiheuttaa samat toiminnot kuin hätäseispiiri. Savukaasun jäännöshappipitoisuus alaraja on ohjelmallisesti asetettu 1,3 %, mikä käynnistää alasajon viiveen jälkeen. Lukitusraja on 1 %, mikä käynnistää välittömästi alasajon pysäytyssekvenssin. Kaukolämpöveden virtauksen ollessa alle 200 m<sup>3</sup> logiikka tulkitsee virtauksen heikentyneen prosessin kannalta merkittävästi ja lukitusketju aktivoituu viiveen jälkeen. Liekkihäiriö tunnistaa polttimen liekin intensiteetin ja pysäyttää polton välittömästi, jos tunnistusraja-arvo

alittuu. Kattilassa on myös käyttötermostaatti, joka ohjaa polttimen tarvittaessa seis, jos lämpötila nousee yli 128 °C. Käyttötermostaatin toimiessa poltin käynnistyy uudestaan automaattisesti, kun lämpötila laskee alle 128 °C.

## 5 SUUNNITTELU

Suunnittelussa (System design) toiminnallisen kuvauksen osoittamat vaatimukset määrittävät pitkälti uuden logiikan kokoonpanon tarpeet. Kuvauksesta saadaan selville säätöpiirien lukumäärät, tulojen- ja lähtöjen lukumäärä, lukitusketju, toimilaitteiden tiedot ja myös tiedot kattilasta sekä asennuksista, jotka on otettava huomioon. Suunnittelun ensiaskel on automaation laitteistosuunnittelu (hardware design), jos mekaanisia muutoksia ei ole, jotka voisivat vaikuttaa laitemääriin prosessissa. Laitteistosuunnittelussa määritetään tarvittava laitteisto ja laitesijoittelut. Laitteisto pitää sisällään prosessiaseman ja niiden liityntäkortit, lähettimet, muuntimet ja kaapeloinnit (Tommila 2012, 49).

Vanhasta Allen-Bradleyn logiikan ohjelmasta ei ollut paljoa apua suunnitteluun, koska sen tulkitseminen oli liian paljon aikaa vievää. Vanha ohjelma kuitenkin talletettiin levykkeelle, josta sitä on mahdollista tarkastella tekstityökälun avulla. Ohjelma rakenne on tyypiltään LADDER eli tikapuukaaviolla tehty. Uusi ohjelma on tarkoitus toteuttaa FBD function block diagram -menetelmällä.

### 5.1 IO-lukumäärä

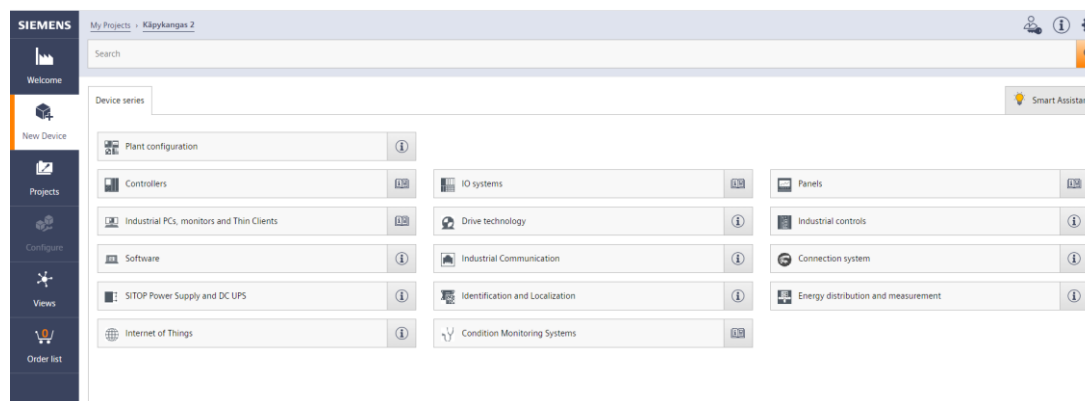
IO-lukumääriä tarkasteltiin toiminallisesta kuvauksesta ja vanhoista kattilan piirikaavioista. Lopullisessa lukumäärässä päädyttiin käyttämään lisäksi 10 % IO-varausta, ettei mahdolliset pienet laajennukset tulevaisuudessa tai projektin edetessä aiheuta ongelmia logiikkakorttien vapaille kanaville. Toiminnallista kuvausta ja piirikaavioita tutkimalla IO-lukumäärä oli seuraavanlainen, ilman varausta:

• Digitaalitulot	88	kpl
• Digitaalilähdöt	60	kpl
• Analogiatulot	27	kpl
• Analogialähdöt	1	kpl

## 5.2 Laitteistosuunnittelu

Logiikan hardwaressa varauduttiin tulevaan polttimen päivitysmuutokseen ja logiikan CPU:ksi valittiin prosessori, josta löytyy profinet-liittimien lisäksi profibus-väyläliitäntä. Profibus-väylän avulla logiikan IO voidaan hajauttaa uudelle poltinkaapille (DCS) ja laajentaa uuden logiikan ohjelmaa koskemaan myös poltinkaapin toimintoja.

Hardware määritettiin lopuksi Siemensin verkkosivuilta löytyvällä TIA selection toolilla (kuva 5). Työkaluun määritetään halutut parametrit, kuten vaadittavat liitännät, IO-lukumäärä ja tuotesarja. Työkaluun määritettiin myös haluttu IO-lukumäärän varaustaso prosenteissa ja korttien johdinliittimet kiinnitysmenetelmä.



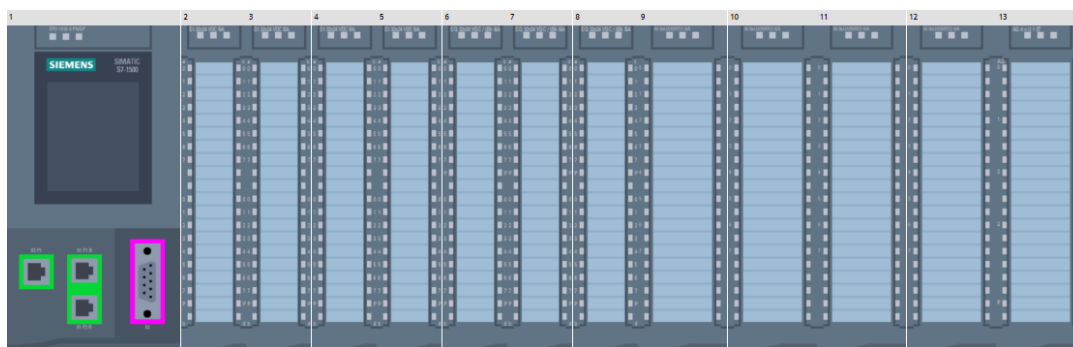
Kuva 5. Laitteistomäärittäminen Siemensin valintatyökalun avulla (Tia Selection Tool 2022)

Lopullinen hardware muodostui prosessorista, neljästä digitaalisesta tulokortista, kolmesta digitaalilähtökortista, kolmesta analogitulokortista ja yhdestä analogilähtökortista (kuva 6). Tarkat mallit korteille olivat:

• CPU 1516-3 PN/DP prosessori	1	kpl
• DI 32x24 VDC tulokortteja	4	kpl
• DQ 32x24 VDC lähtökortteja	3	kpl
• AI 8x U/I/R/RTD tulokortteja	4	kpl
• AQ 4x U/I lähtökortteja	1	kpl

Tarvittava IO-määrä sattui hyvin lähelle korttien tuloja ja lähtöjä, joten työkalu lisäsi periaatteessa kokonaisuudessaan ylimääräiset kortit hardwareen. Lopullinen IO-lukumäärä 10 % varauksella muodostui työkalun ehdottamilla korteilla seuraavasti:

• Digitaalitulot	128	kpl
• Digitaalilähdöt	96	kpl
• Analogitulot	32	kpl
• Analogilähdöt	4	kpl



Kuva 6. Prosessiaseman kokoonpano (Tia Selection Tool 2022)

### 5.2.1 Mittaukset

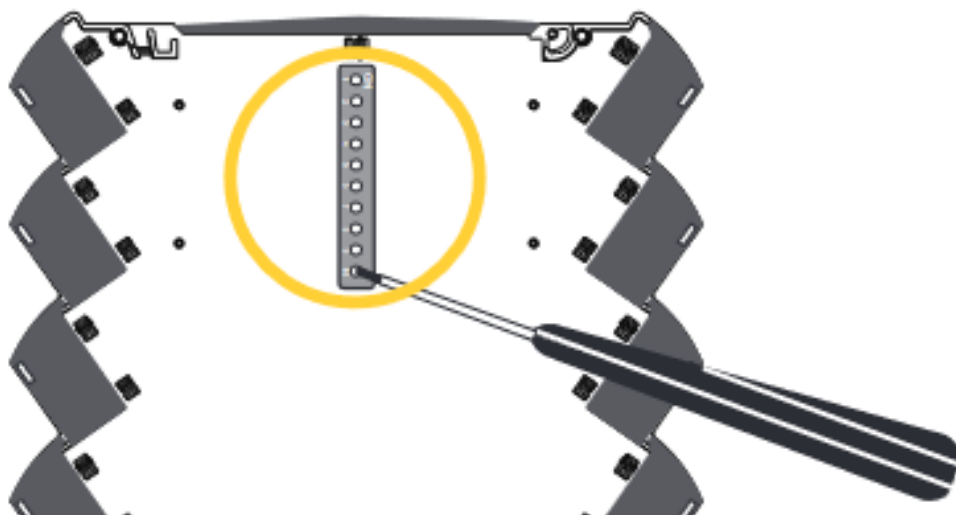
Prosessin mittaukset koostuvat lämpötila-, taajuus-, paine-, savukaasu- ja toimilaitteiden asentomittauksista. Lämpötila- ja asentomittauksien anturien johdotukset on lähes poikkeuksetta johdotettu suoraan automaatiokeskukseen, jotka tarvitsevat toimiakseen erilliset lähettimet. Lähettimien avulla anturien vastusarvo saadaan muutettua analogiseksi jännite- tai virtatiedoksi. Tyypillisesti anturin mittaama vastusarvo muunnetaan virtaviestiksi, etenkin silloin, kun lähetin on integroitu anturin kanssa samaan. Muiden mittauksien osalta ne on mahdollista kytkeä suoraan riviliittimille, jotka on johdotettu suoraan logiikkakortin tulokanaviin.

Mittaukset, joissa tarvitaan erilliset lähettimet, on niiden valinnassa pieni fyysinen koko ja konfiguroinnin helppous tärkeää, koska käytettävissä oleva tila on rajallinen. Sopivat lähettimet löytyivät Preelectronics-tuotevalikoimasta, jotka ovat fyysisiltä mitoiltaan erittäin pienet ja helposti konfiguroitavissa.

Lämpötilamittaukset ovat 3-johdin Pt100-platina-antureita, jonka vastusarvo on 100 ohmia 0 asteessa. Anturin vastusarvo muuttuu lämpötilan vaikutuksesta 0,39 ohmia / 1 aste. Anturin ollessa kolmella johtimella saadaan pienennettyä kaapelin omaa vaikutusta vastusarvoon, joka parantaa huomattavasti mittauksen tarkkuutta kaapelointimatkojen ollessa pitkä. Sopiva lähetin löytyi

Preelectronics-tuotevalikoimasta. Lähettimen malli on 3102-Pt100-lämpötilälähetin, johon voidaan kytkeä 2-, 3- ja 4-johdin-Pt100-lämpötila-anturit. Lähettiin on lisäksi määritetty yli 1000 tehdaskalibroituja mitta-alueita. Laitteen konfigurointi tehdään lähettimen sivuun sijoitetuista DIP-valintakytkimistä (kuva 7). Lähettimen konfiguroinnissa määritetään seuraavat asiat:

- Anturijohdinten lukumäärä
- Ulostulo viestin tyyppi
- Automaattinen anturi vian tunnistus
- Ulostuloviesti viassa
- Häiriön suodatus
- Vasteaika
- Lämpötilamittauksen alue



Kuva 7. Lähettimen konfigurointi DIP-valintakytkimillä (PR electronics 2022, 15)

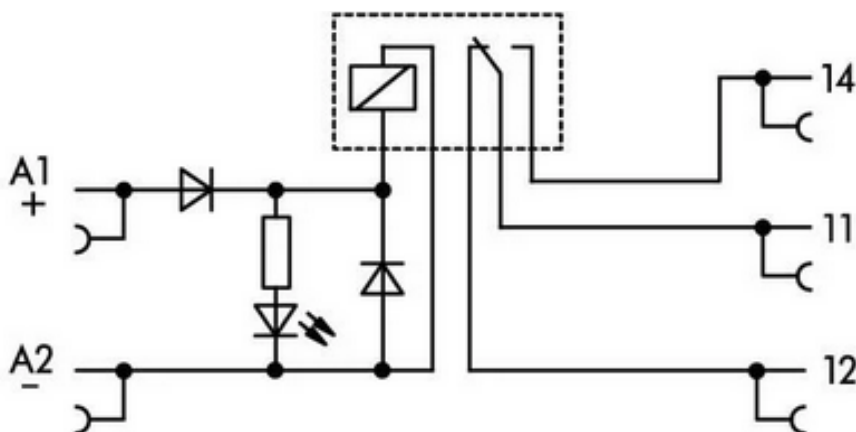
Asentomittaukset on toteutettu potentiometrillä, jonka vastusarvo on 0–1000 ohmia. Asennon mittaukset ovat venttiilitoimilaitteiden ja sulkupeltien mittauksia. Sopiva lähetin löytyi Preelectronics-tuotevalikoimasta. Lähettimen malli on 4114-ohjelmoitava lähetin. Konfigurointi lähettimelle tehdään erikseen myytävästä PR 4500-hallintapaneelistä. Lähettimen konfiguroinnissa määritetään samoja asioita kuin lämpötilälähettimessä.

### 5.2.2 Ohjaukset

Ohjaukset tapahtuvat pääasiallisesti välireleiden avulla, kuten alkuperäisessä asennuksessaakin. Logiikalla ohjataan 400V PK2 keskuksen kennolähtöjä



”käyntiin” ja ”seis”, joista saadaan takaisin kytkentänä tilatiedot ”käy” ja ”keskusvika”. Ohjauksia suunniteltaessa automaatiokeskuksen fyysinen koko alkoi muuttumaan ongelmaksi, koska useiden valmistajien välireleet olivat leveydeltään liian suuria tai niitä ei ollut mahdollista sijoittaa useita vierekkäin lämpenemisen takia. Keskuksen käytettävissä olevaan tilaan soveltuvat välireleet löytyivät Wagon valmistamista malleista.



Kuva 8. Välireleen sisäinen kytkentäkuva (Wago 2022)

Välireleissä on käytettävissä ainoastaan yksi vaihtokosketin, joka on riittävä tähän sovellukseen (kuva 8). Ohjauksissa käytetään 24 VDC tasajännitteellä toimivia releitä ja takaisin kytkentään tilatietojen indikointiin 230 VAC vaihtojännitteellä toimivia releitä. Releet ovat ainoastaan 6 mm leveitä, ja niitä voidaan sijoittaa rajattomasti vierekkäin releiden ollessa samansuuntaisesti.

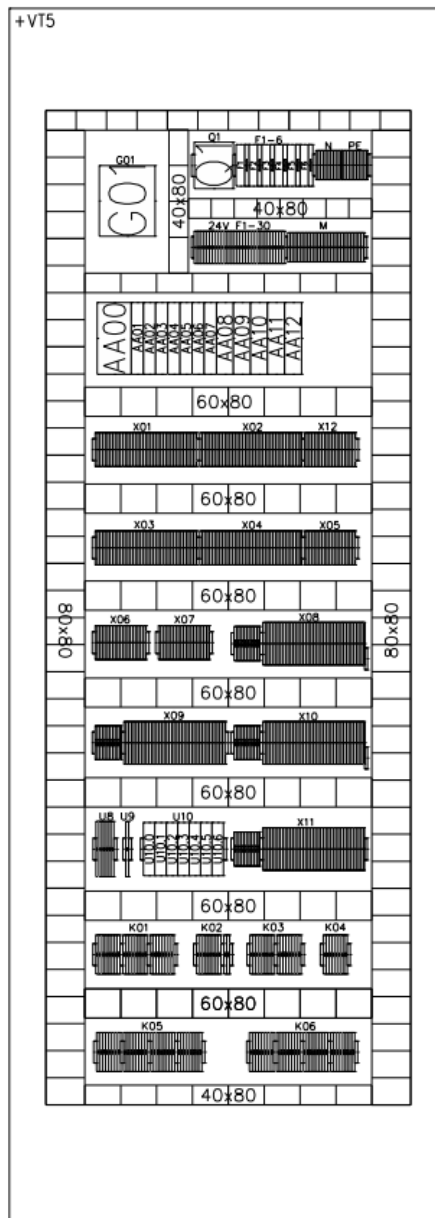
### 5.2.3 Keskussuunnittelu

Keskuksen suunnittelussa oli huomioitava, että se täyttää sähkökeskusten rakennetta koskevan standardinsarjan SFS-EN 61439 mukaiset vaatimukset. Lisäksi SFS 6000-7-729:2017 LIITE 729X määrittää, että

*Jos olemassa olevaan keskukseseen tehdään muutoksia, esim. lisätään lähtöjä, kalustetaan olemassa olevia varatiloja tai vaihdetaan suojalaitteita toisen tyyppiseksi (vähemmän häviölämpöä tuottaviksi), on noudatettava vastaavia vaatimuksia tai keskuksen alkuperäisen rakenteen mukaisia käytäntöjä. Keskuksen merkinnät ja piirustukset on muutettava muuttunutta rakennetta vastaaviksi ja keskusmuutoksen tekijän pitää kiinnittää keskukseseen tai keskuksen muutettuun osaan kilpi, jossa on ilmoitettu keskusmuutoksen tekijä ja muutospäivämäärä. Tarvittaessa korjataan myös arvokilventiedot. (SFS 6000-7-729: 2017, 216.)*

Ottaen huomioon keskusmuutoksen laajuuden ei keskuksen alkuperäisiä käytäntöjä voida noudattaa, vaan suunnittelussa käytetään SFS-EN 61439 -standardia. Kun keskus on tarkoitettu muiden kuin maallikoiden käytettäväksi, voidaan suunnittelussa käyttää SFS-EN 61439-2 -standardin vaatimuksia toteutuksessa (SFS 6000-7-729: 2017, 217).

Keskuksen layout-suunnittelu tehtiin CADMATIC-ohjelmistolla, jossa suunnitelmat voitiin tehdä oikeaan mittakaavaan (kuva 9). Tarkan mitoituksen takia keskuksen komponentteja joutui asettelemaan paljon ja alkuperäisen suunnitelman mukaiset riviliitinmallit jouduttiin vaihtamaan lopulta kapeampiin.



SAVON VOIMA OY  
KÄPYKANKAAN LÄMPÖKESKUS  
JOENSUU

Kuva 9. CADMATIC-ohjelmistolla mittakaavaan suunniteltu keskus

Keskuksen yläosaan on sijoitettu 24 VDC virtalähde, joka saa sähkönsyötön ylhäällä olevasta johdonsuoja automaatista. Johdonsuoja automaateista syötetään myös toimilaitteita, jotka tarvitsevat 230 VAC jännitettä. Jännitteenjako osien alapuolelle on sijoitettu logiikan prosessori ja IO-kortit. Logiikan komponentit on asennettu Siemensin omaan taustalevyyn. Logiikan alapuolella on riviliittimiä, joita käytetään ristikytkentänä kenttäpuolen kaapeleiden ja IO-korttien välillä. Keskuksen alaosaan on sijoitettu lähettimet ja niiden alle välireleet. Välireleet sijoitettiin keskuksen alaosaan, koska ohjaukset 400 V PK2 keskuksen kennoihin lähtevät 230 VAC jännitetasossa. Sijoittelulla myös estetään, ettei ohjauskaapeleiden peruseristyksen jännitekestoisuus ylitä.

### 5.3 Käyttöliittymä

Kattilaprosessin käyttöliittymä toteutetaan olemassa olevalla Inductive automationin valmistamalla Ignition SCADA -ohjelmistolla. Kattilalle suunniteltu uusi Siemensin ohjelmoitava logiikka kommunikoi Ignition SCADA -serverin kanssa OPC UA -rajapinnan avulla (kuva 10). Ignition SCADA -ohjelmiston OPC UA -moduuli sisältää tarvittavat OPC UA -ajurit kommunikointiin Siemens-logiikan kanssa (Inductive automation 2022).



Kuva 10. Liityntäpisteitä havainnollistava kartta (Inductive automation 2022)

Suunnittelussa hyödynnetään samanlaisien suorakytkentäkattiloiden graafista layoutia operoinnin helpottamiseksi. Valvomokäyttöliittymän uudistamisessa kerättiin myös käyttökokemuksiin perustuvia kehitystarpeita, jotka otetaan huomioon uudessa käyttöliittymässä. Lähtökohtaisesti käyttöliittymän ja ohjausjärjestelmän sivujen tulee olla myös helposti hahmotettavissa ja kuvien selkeitä. Selkeyden mittarina toimii se, miten hyvin ja nopeasti käyttäjä hahmottaa näyttösivun tarjoaman informaation. Tyypillisesti näyttösivua katsoessa katse noudattaa lukusuuntaa eli vasemmalta ylhäältä oikealle alas. Näin ollen tärkein informaatio olisikin syytä sijoittaa vasemmalle ylös. (Heimbürger ym. 2011, 103–104.)

Värien käytössä on oltava maltillinen, koska niiden käyttöön sisältyy riskejä. Väri on itsessään jo pelkästään voimakas katseen kiinnittäjä, joten oikealla ryhmittelyllä saavutettu selkeys voidaan menettää ilman johdonmukaista värien käyttöä. Näyttösivua on helppo lukea, jos värejä on käytetty vähän ja niiden käyttö ei ole liiallista. Liiallisesta korostamisesta käytetään termiä Las Vegas -ilmiö, jos liiallinen korostaminen on aiheuttanut sen, ettei mikään korostu. Prosessiteollisuudessa käytetään kuitenkin putkistoissa ja venttiileissä eri värejä, riippuen vallitsevasta prosessi suureesta, joten värien tasapainoinen käyttö teollisuudessa on vieläkin hankalampaa. (Heimbürger ym. 2011, 105–106.)

Käyttöliittymän graafisten symbolien tunnistettavuus on helpompaa, jos ne perustuvat tiettyihin muotoihin, kuten kolmioon, neliöön tai ympyrään. Symbolien tunnistettavuutta parantaa myös se, jos esimerkiksi pumput ja venttiilit on esitetty kaikissa näyttösivuissa samalla periaatteella. Tunnistettavuutta symboleissa parantaa myös se, että toimilaitteiden käyntitiedot esitetään aina samalla kaavalla, esimerkiksi pumpun kohdalla ”Käynnissä” ja ”Seis”. Venttiilissä vastaavat tilatiedot ovat ”Auki” ja ”Kiinni”. Myös prosessin toimilaitteiden looginen sijainti auttaa operaattoria tunnistamaan yksittäisiä laitteita värin ja muodon lisäksi. (Heimbürger ym. 2011, 108–109.)

Nykyään suositaan käyttää näyttösivujen taustavärinä vaaleaa. Vaalealla taustavärillä käytetään tekstin värinä mustaa, joka on luettavuudeltaan paras. Tekstin luettavuuteen vaikuttaa myös valittu kirjainlaji ja koko. Tekstin koolle suhteessa katseluetäisyyteen annetaan ohjeistuksia standardissa ISO 9241-3.

Katseluetäisyyden määrittämisessä on otettava huomioon, tehdäänkö valvomossa töitä istualtaan vai seisaaltaan (Heimbürger ym. 2011, 106).

## 5.4 Kustannukset

Suunnitelmien ja layout kuvien perusteella keskustarvikkeista luotiin tarjouspyyntö materiaali eri tukkureille. Tarjouskyselyt lähetettiin kolmelle tukkurille. Logiikan komponentit ja lähettimet osoittautuivat paremmaksi hankkia tukkureiden ohi. Lopullinen hinta keskustarvikkeille logiikan komponenttien kanssa on alla olevan kulurakenteen mukainen, mikä sisältää myös johdotuskulut.

Logiikan komponentit	8 467,70 €	
Lähetimet	1 733,64 €	
Keskustarvikkeet	6 889,13 €	
Yhteensä	17 090,47 €	alv 0 %

Kokonaiskustannukset on reilusti alle budjettiin esitetyn investointiesityksen. Keskustarvikkeiden valmistajia ja malleja jouduttiin tarjouskyselyjen aikana vaihtamaan useasti, koska komponenttipula oli vaikuttanut myös riviliittimien saatavuuteen. Tietyillä alkuperäisen suunnitelman mukaisilla riviliittimillä toimitusaikaa ei voitu edes vahvistaa. Käyttöliittymämuutos ei aiheuta suoria kustannuksia projektiin, koska käytettävään Ignition SCADA -ohjelmistoon voidaan liittää runsaasti logiikoita samaan lisenssiin.

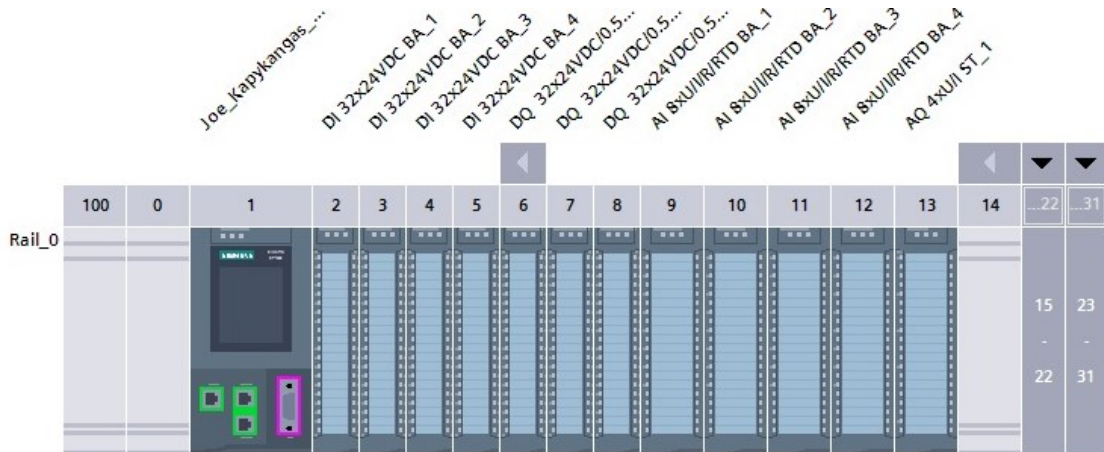
## 6 TOTEUTUS

### 6.1 Ohjelmointi

Ohjelmointityökaluna tässä työssä käytettiin Siemens Simatic STEP 7 Professional V17 TIA Portal -ohjelmistoa. Ohjelmistolla voidaan ohjelmoida projekteissa käytetyn S7-1500-sarjan lisäksi S7-1200-, S7-300-, S7-400-, ET200- ja Drive controller -laitteita.

### 6.1.1 Konfiguraatio

Ohjelmointi aloitetaan määrittämällä laitteiston oikea hardware-kokoonpano device configuroinnissa. Ensimmäiseksi määritetään käytettävä prosessori, joka haetaan laite hierarkiasta. Prosessorin valinnan jälkeen ohjelmisto luo hardwaresta rackin, johon määritetään lisäksi käytettävät kortit ja niiden oikean järjestyksen (kuva 11). Konfiguroinnin jälkeen luotu kokoonpano on valmis ohjelmointiin.



Kuva 11. Laitteistokokoonpano luotu Siemens simatic step 7 V17 TIA portal -ohjelmistolla

Muita tärkeitä määritettäviä perusasetuksia kokoonpanoon konfiguroinnissa on prosessorin IP-osoite, jos se tulee verkkoon liitetyksi. Projektissa käytetty prosessori liitetään verkkoon, että kaukokäyttöjärjestelmä Ignition SCADA -ohjelmiston palvelin voi kommunikoida sen kanssa. IP-osoite määritetään prosessorin general-valikon profinet interface -asetuksista.

### 6.1.2 PLC tagit

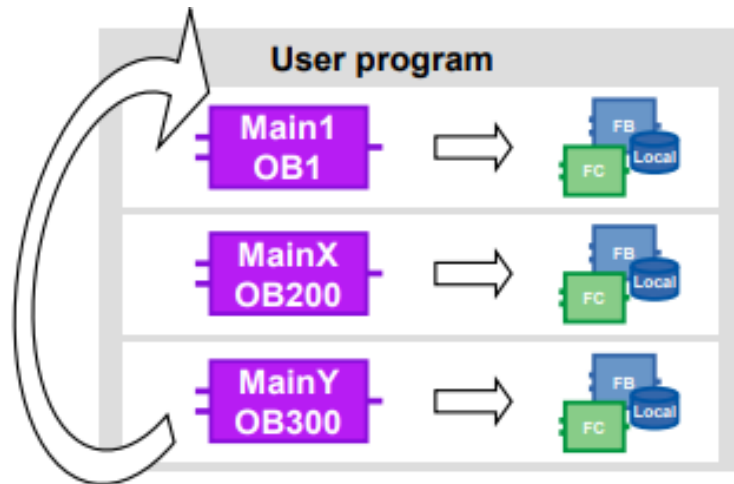
Laitteistokonfiguroinnin jälkeen voidaan ohjelmointi aloittaa määrittämällä käytetyt tulot ja lähdöt. Määrittämisessä nimetään ja määritetään tagi taulukkoon name, tag table, data type, address, retain, accessible from HMI / OPC UA / Web API, Writable from HMI / OPC UA / Web API, Visible in HMI engineering ja comment.

Taulukon name-kohtaan määritetään tagin nimi, joka voi esimerkiksi olla "Savukaasupelti AUKI". Tag table -kohtaan valitaan käytettävä taulukko, jos projektissa on luotu useampi taulukko. Tässä työssä tagi-tilaukko on jaettu seu-

raavasti, digitaalitulot, digitaalilähdöt, analogitulot, analogilähdöt ja muistipaikat taulukoihin. Data type -kohtaan määritetään käytettävän datan tyyppi. Tässä projektissa taulukon datatyypit ovat bool, int ja real. Datatyypillä bool voidaan ilmaista tilaa 0 tai 1. Bool (1bit) -datatyyppiä käytetään digitaalituloissa ja lähdöissä. Int (16bit) -datatyypillä voidaan ilmaista arvot -32768–32767. Int-datatyyppiä käytetään analogien tuloissa, koska tämän projektin analogikortit ovat 16-bittisiä. Real (32bit) -datatyypillä voidaan ilmaista arvot  $-3.40e+38$  –  $3.40e+38$ . Real-datatyyppiä käytetään tässä projektissa reaalityökalujen tallentamiseen muistipaikkoihin. Projektissa on käytetty muitakin datatyyppejä, mutta niitä käytetään vain DB-muisteissa. Osoite (Address) -kohtaan määritetään, onko kyseessä tulo (I), lähtö (Q) vai muistipaikka (M). Tulot ja lähdöt numeroidaan hardware-kokoonpanosta saatujen osoitteiden mukaisesti. Muistipaikkojen osoitteet riippuvat käytetyistä datatyypeistä. Retain-kohtaan määritetään, säilytetäänkö tagien arvot, jos prosessori käy jännitteettömänä. Retain-muisti on rajallinen, joten on syytä miettiä suuremmissa projekteissa, mihin muistia käytetään. Kohdassa HMI / OPC UA / Web API määritetään, sallitaanko muuttujan luku ja kirjoitus muuttujaan prosessorin ulkopuolisilta laitteilta, prosessorin käy-tilassa. Visible in HMI engineering valitaan, onko muuttuja näkyvässä HMI-valintalistalla. Comment-kenttään voidaan kommentoida tagia. Kommentointi on tarpeellinen, jos muuttujan nimi ei ole riittävän yksilöllinen ja tunnistettavissa. (Siemens AG 2021.)

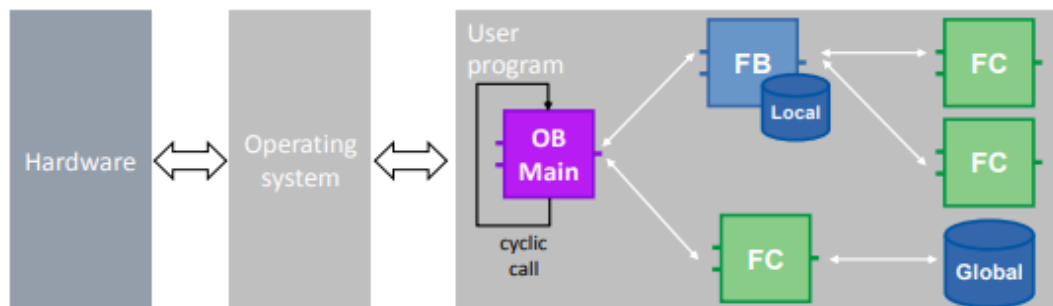
### 6.1.3 Ohjelmalohkot

Muuttujien määrittämisen jälkeen luodaan varsinainen ohjelma, joka koostuu organisaatiolohkoista (OB), toimintolohkoista (FB), toiminnoista (FC) ja tietolohkoista (DB). Ohjelman suoritusjärjestys määräytyy organisaatiolohkojen numeroinnin perusteella (kuva 12). Organisaatiolohko kutsuu ohjelmassaan vuorollaan toimintolohkoja ja toimintoja. (Siemens AG 2018b, 44.)



Kuva 12. Ohjelmarakenne usealla OB:lla (Siemens AG 2018b, 44)

Toiminnot-FC on lohkoja, joissa ei ole itsessään syklistä datan tallennusta, vaan tietojen tallennus on tehtävä esimerkiksi Global DB -muistiin (kuva 13). Toimintolohkot-FB sisältävät syklisen datan tallennuksen. Toimintolohkon data tallennetaan toimintolohkon luomaan instanssi-DB-datalohkoon. Lohkossa static-muuttujat pitävät arvonsa syklistä toiseen. Toimintolohkoja käytetään aliohjelmien luomiseen, kun tiedot halutaan tallentaa syklin jälkeen (Siemens AG 2018b, 46–47).



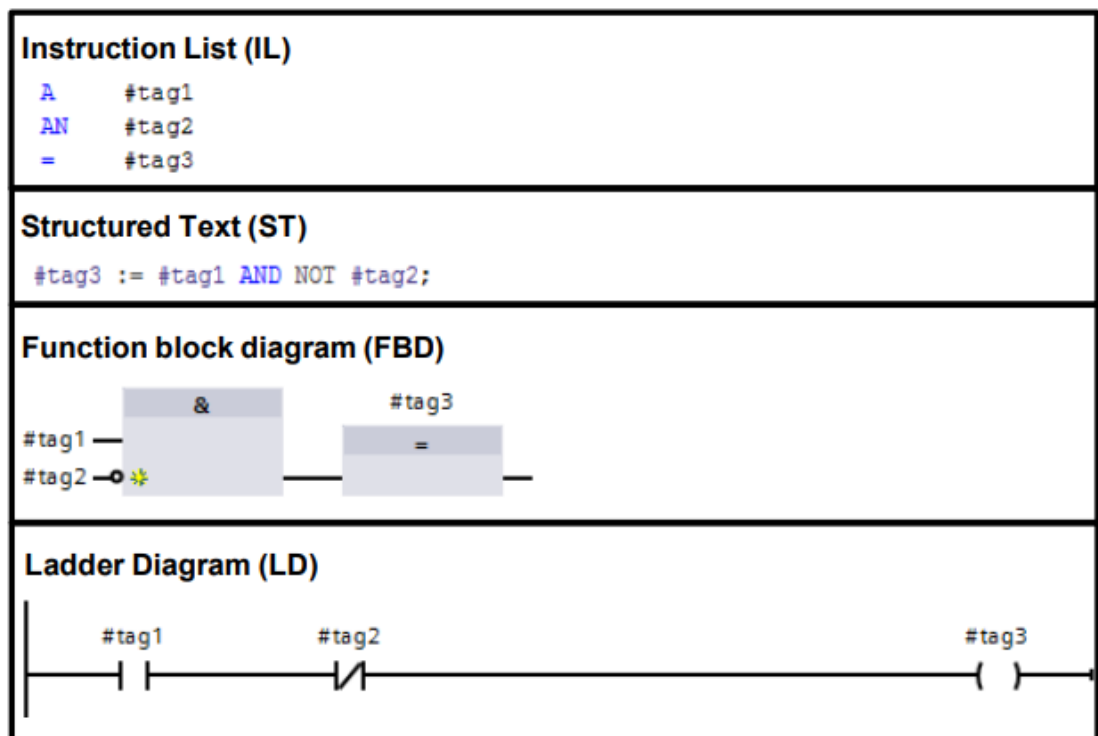
Kuva 13. Ohjelmarakenne (Siemens AG 2018b, 42)

Tässä projektissa käytetään kahta organisaatiolohkoa, jotka ovat OB1 ja OB35. Organisaatiolohko OB1 on ei-niin-suurta nopeutta vaativat toiminnot, kuten moottorilähtöjen ohjaukset. OB35 on asetettu suoritettavaksi 300 ms välein, koska kyseiseen lohkoon on asetettu esimerkiksi PI-säätimien ja säädön kannalta tärkeitä FC-toiminnot, jotka vaativat suurempaan tarkastelunopeutta.



### 6.1.4 Lohkojen teko

Lohkojen ohjelmat voidaan tehdä neljälle eri ohjelmointikielelle (kuva 14). Ohjelmointikieli valitaan luodessa OB-, FB- tai FC-lohkoja. Standardi IEC 61131-3 määrittää nämä neljä ohjelmointikieltä. Käytettävissä olevat ohjelmointikielut ovat instruction list (IL), structured test (ST), function block diagram (FBD), ladder diagram (LD). TIA PORTAL -ohjelmistossa statement list (STL) vastaa instruction list (IL) -ohjelmointikieltä ja structured control language (SCL) vastaa structured text (ST) -ohjelmointikieltä. Nimityksissä on poikkeama myös ladder logic (LAD), joka vastaa standardin ladder diagram (LD) -ohjelmointikieltä. Tämän projektin ohjelmointikielenä on FBD, joka on selkeä myös suuremmissa ohjelmissa verrattuna toiseen yleiseen ohjelmointikieleen LD. (Siemens AG 2018a, 8.)



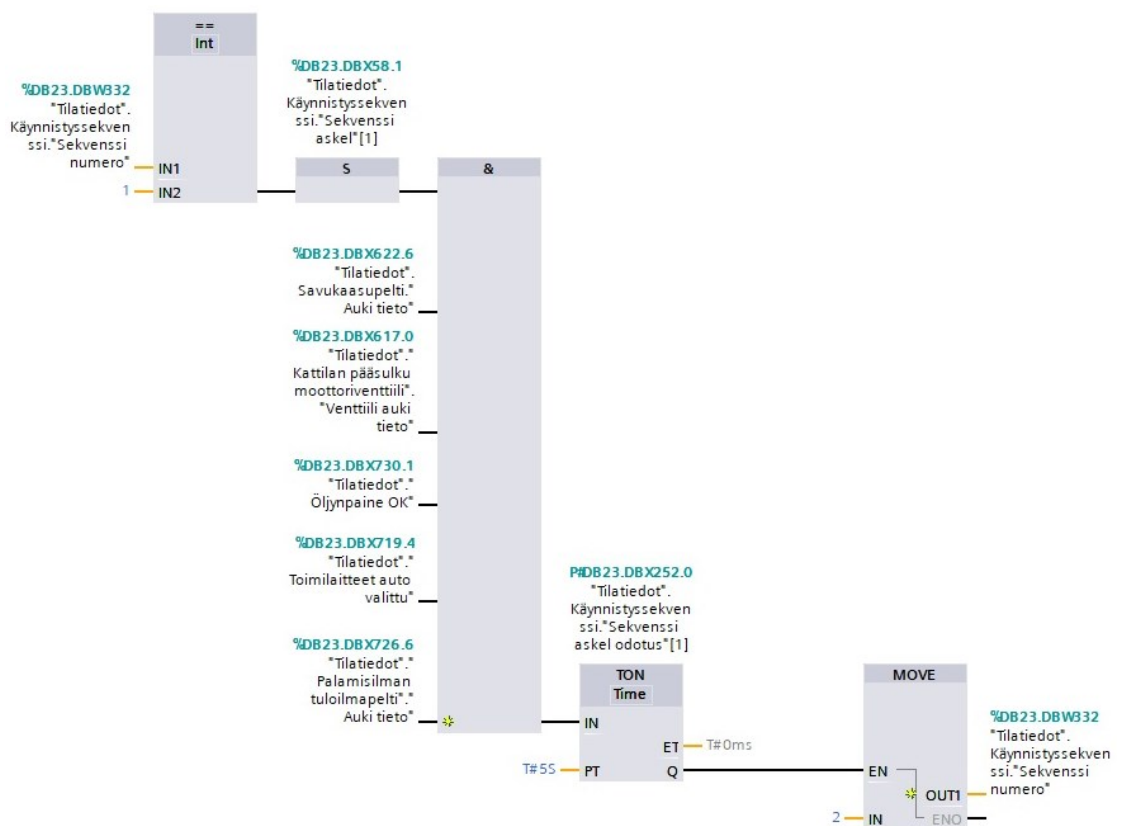
Kuva 14. Standardin IEC 61131-3 mukaiset ohjelmointikielut (Siemens AG 2018a, 8)

Tietyille toiminnoille, kuten mittauksille ja moottorilähdöille, määrittelin yleisesti käytettävän toimintalohkon (FB), jota kutsutaan toiminto (FC) lohkon sisällä. Mittauksen toimintalohkon tulotiedot koostuivat analogiatulon 16-bittisestä (int) tulosta, skaalausarvoista, hälytysrajoista ja hälytysviiveestä. Lohko kirjoittaa vastavuoroisesti lähtöihin skaalatun mittausarvon, mittausvian ja hälytystiedot. Mittausvian ilmaisu perustuu skaalauksen lähtöarvojen prosentuaalisista ar-

voista. Moottorilähtölohkon tulot koostuvat automaatti/käsi-valinnasta, käyntiin/seis-ohjauksesta, käy/seis- ja lämpöreletiedoista. Lohko kirjoittaa lähtöihin, onko auto/käsi valittu, moottori käynnissä/seis tai lämpöreletiedon. Lohkossa on myös valinta, onko ohjaus jatkuva vai liipaisu.

### 6.1.5 Sekvenssit

Sekvenssien toiminta perustuu lukuarvon vertailuun ja ohjauksien suorittamiseen lukuarvon perusteella. Sekvenssin käynnistyessä siirretään luku 1 sekvenssi numeroksi ja numeron ollessa eri kuin 0 tulkitsee ohjelma sekvenssin olevan käynnissä. Lukuarvolla suoritetaan ennalta määrätyt ohjaukset, ja niiden toteutumista vahditaan (kuva 15), ennen kuin sekvenssinumeroksi voidaan siirtää seuraava lukuarvo.



Kuva 15. Käpykangas 2 -käynnistyssekvenssin askel 1 ehdot

Sekvenssitoimintaa valvotaan askelkohtaisella aikavalvonnalla. Liian pitkä ennalta määritely askelkohtainen aika käynnistää pysäytyssekvenssin automaattisesti. Sekvenssin toiminta valitulla tavalla osoittautui luotettavaksi ja

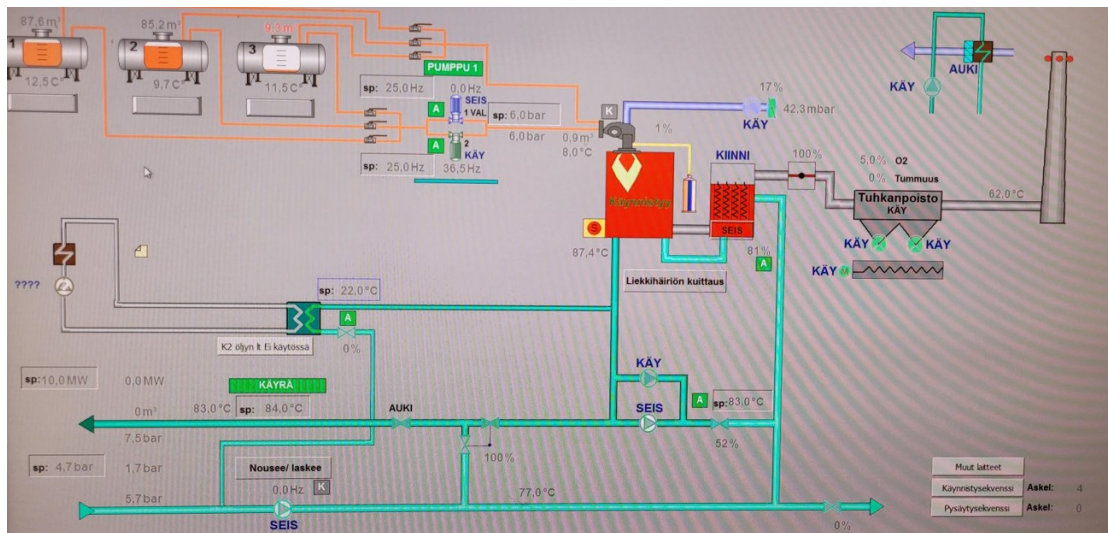
helppolukaiseksi. Käyttöliittymään on luotu käynnistys- ja pysäytyssekvensien valvontaan omat popup-ikkunat, joista voidaan katsoa, toteutuuko määritellyt ehdot.

## 6.2 Käyttöliittymä

Käyttöliittymän yksityiskohtaisena suunnitteluohjeena voidaan pitää Ignition SCADA -palvelimeen liitettyjä, käytössä olevia Savon Voiman kattiloita ja niiden käyttöliittymiä. Olemassa olevat kattilat muodostavat käyttöliittymäspesifikaation, jota noudatetaan tämänkin kattilan osalta. Alkuperäinen käyttöliittymäkonsepti on toteutettu Savon Voima Joensuu Oy omistamalle Noljakan lämpökeskukseen, joka on määritellyt suunnitteluohjeistuksen muille lämpökeskuksille.

Käyttöliittymäkonsepti kuvaa käyttöliittymätekniikoiden rajoitteet ja mahdollisuudet suunnittelun osalta. Esimerkkinä voidaan pitää sitä, kuinka määrävänä tekijänä näyttösivulla esitettävien dynaamisten symbolien lukumäärä voi olla, kun informaation jakoa suunnitellaan näyttösivulle. Sovellettavat periaatteet tiedon esittämisessä ja operoinnissa jakaantuvat ergonomisiin vaatimuksiin, yksityiskohtaisiin suunnitteluohjeisiin ja projektin asettamiin erityisvaatimuksiin. Käyttöliittymäkonseptista saadaan selville yleiset suunnittelusäännöt, jossa esitetään symbolien käyttö ja värit, informaation koodaus ja operoinnin informaatio ohjauksissa. Lisäksi konsepti määrittää reunaehdoja toteutukselle. Reunaehdoja määritetään myös automaation toimintojen osalta, joita esiintyy kattilan toiminnassa, kuten rajoitukset. (Heimbürger ym. 2011, 145.)

Prosessin valvonta on lähtökohtaisesti vain yleisellä tasolla, ja poikkeamat prosessin tavoitetilasta ilmaistaan operaattorille hälytyksillä. Hälytysten suunnittelu onkin tämän takia vaativaa ja tärkeää, mikä on huomioitava jo prosessin logiikan ohjelmoinnissa. Käyttöliittymän hälytyslistaan välitettävät hälytykset tulee valita oikein ja osata suhteuttaa operaattorin rooliin valvomossa. Merkityksettömät hälytykset kuormittavat ja turhauttavat valvomo-operaattoria. Onkin siis tärkeää, että hälytetään vain toimenpiteitä vaativista ja oleellisista tapahtumista. Tärkeänä tekijä hälytyksissä on myös niiden oikea informatiivinen esitysmuoto ja paikannettavuus. (Heimbürger ym. 2011, 147.)



Kuva 16. Käpykangas 2:n alkuperäinen Netcontrol SCADA -näkymä

Alkuperäinen käyttöliittymä on toteutettu Netcontrol SCADA -ohjelmistolla (kuva 16). Käyttöliittymäkuvassa on vasemmalle ylös sijoitettu öljysäiliöt ja niiden operointiin vaikuttavat venttiilit ja pumput. Oikealla on kattila ja savukaasun tuhkanpoisto sulkusyöttimiseen sekä savupiippu. Käyttöliittymän alaosassa on kaukolämpöverkkoa mallintavat putkistot, pumput ja venttiilit. Sekvenssien monitorointi-ikkunat avautuvat oikean alakulman painikkeista. Mitauksista avautuu alla olevan kuvan 17 mukainen ikkuna, josta voidaan määrittää esimerkiksi mittauksen hälytysrajat.

Ominaisuudet | Graafinen estys

KA\_K2\_LMENO 999,0 Sulje

Mittaus 81,0 °C HIHI 125,0 Kuittaa

HI 120,0

LO 54,0 Normaalit

LOLO 52,0 HI -1,0

0,0 LO 0,0

Manuaali

Manuaalinen päivityksen esto

Manuaalinen hälytyksenesto

Ajastettu hälytysesto

(tt mm ss)

Hälytysesto

Työmerkintä

Kommentti: Alkaa: Päättyy: Aseta

28.11.2019 21:51 29.11.2019 21:51

Kommentti 1:

Kommentin päiväys:

Kommentin tekijä:

Kommentti 2:

Kommentin päiväys:

Hälytysviiveet

Hälytysviive (mm:ss) 00:05

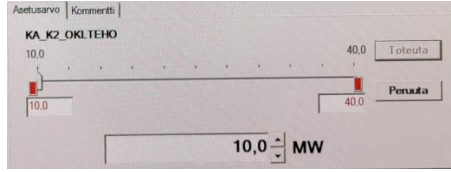
Muuttumattoman arvon hälytysviive (tt:mm) -

Poikkeamahälytyksen raja-arvo 0,0

Poikkeamahälytyksen viive (mm:ss) 00:05

Kuva 17. Netcontrol SCADA -ohjelmiston mittausikkuna

Tehon asetusarvo avautuu alla olevan mukaiseen ikkunaan (kuva 18), josta tehon säätö tapahtuu liu'uttamalla osoitinta tai vaihtoehtoisesti asettamalla tehon määrä suoraan kirjoituskenttään.



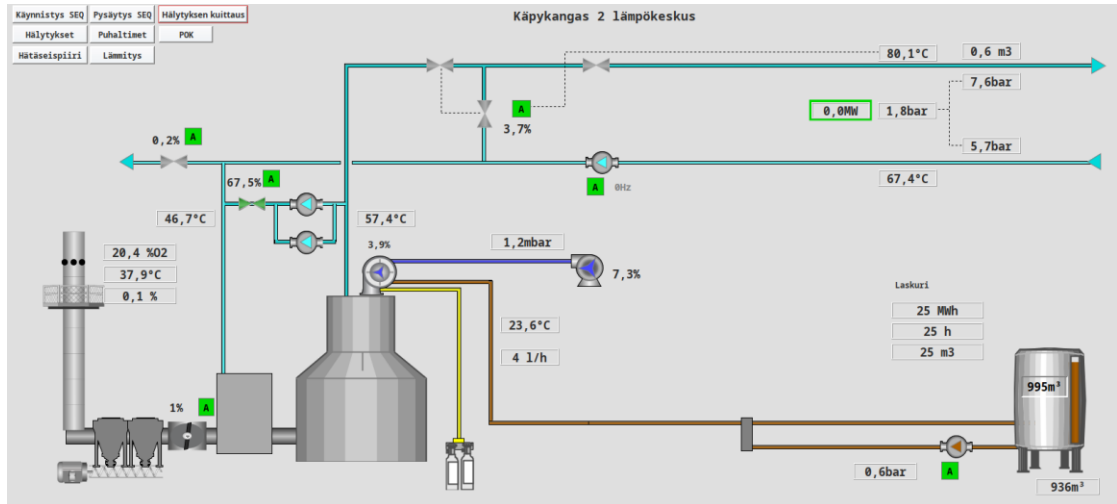
Kuva 18. Netcontrol SCADA -ohjelmiston tehonsäätöikkuna

Olemassa oleva Netcontrol SCADA -ohjelmistolla luotu käyttöliittymä popup-ikkunoineen poikkeaa sijoittelultaan ja toteutukseltaan merkittävästi uudesta käyttöliittymänspesifikaatiosta. Poikkeama ja tottumus vanhaan voi aiheuttaa valvomo-operaattorille ja kunnossapitohenkilöstölle uuden opettelua, jota pyritään paikkaamaan käyttäjäkoulutuksella kattilan uuden logiikan lopullisessa käyttöönotossa ja luovutuksessa.

Ennen varsinaista käyttöliittymän toteutusta täytyy Ignition SCADA -palvelimelle määrittää uusi logiikka ja verkkoyhteyteen liittyvät parametrit, kuten IP-osoite ja käytettävän prosessorin malli. Prosessorin malli määrittämällä valitaan automaattisesti käytettävät ajurit OPC UA -kommunikointiin. Määrittämisen jälkeen käyttöliittymän on mahdollista kommunikoida logiikan kanssa OPC UA -rajapinnan avulla. Määrittämisen jälkeen voidaan aloittaa rakentamaan uutta käyttöliittymää ja popup-ikkunoita. Käyttöliittymänspesifikaatio määrittää yksityiskohtaisen suunnitteluohjeistuksen sekä kattaa myös käytettävät tekniikat. Spesifikaatiosta käy selväksi symbolien käyttö, värit, putkistojen järjestys ja koodaustavat templateihin. Yleiset suunnitteluperiaatteet ja projektiin vaikuttavat suunnittelusäännöt selviävät myös käyttöliittymänspesifikaatiosta. (Heimbürger ym. 2011, 146.)

Varsinainen käyttöliittymän toteutus tehdään Ignition SCADA -ohjelmistoon kuuluvalla designer-työkalulla. Työ aloitetaan määrittämällä hierarkiaan toimilaitteiden, mittauksien ja hälytyksien tagit, jotka vastaavat osoitteeltaan ohjelmoitavan logiikan tageja. Tagien viittauksessa voidaan käyttää DB-muistialuetta tai vaihtoehtoisesti suoraan muistipaikkoja eli merkkereitä. Tässä työssä kaikki data on koottu logiikassa DB-muistiin sen visuaalisen helppouden vuoksi, joten suoria viittauksia merkkereihin ei käytetä. Toimilaitteiden visuaalinen template, jota käytetään käyttöliittymän kuvassa, kopioidaan käyttöliittymäkonseptin hierarkiasta ja muokataan tarvittaessa vastaamaan prosessissa

käytettäviä toimilaitteita. Läheskään kaikki templatet eivät ole suoraan kopioitavissa vaan suurinta osaa joutuu yksilöimään kohteen toimintojen perusteella. Alla olevassa kuvassa 19 on luotu käyttöliittymäspesifikaation mukainen käyttöliittymä kattilaprosessin valvontaan ja ohjaukseen.



Kuva 19. Ignition SCADA -ohjelmistolla tehty kattilan pääsivu

Toteutus poikkeaa merkittävästi alkuperäisestä käyttöliittymästä, mutta on spesifikaation mukainen ja yhtäläinen muiden kattiloiden kanssa.



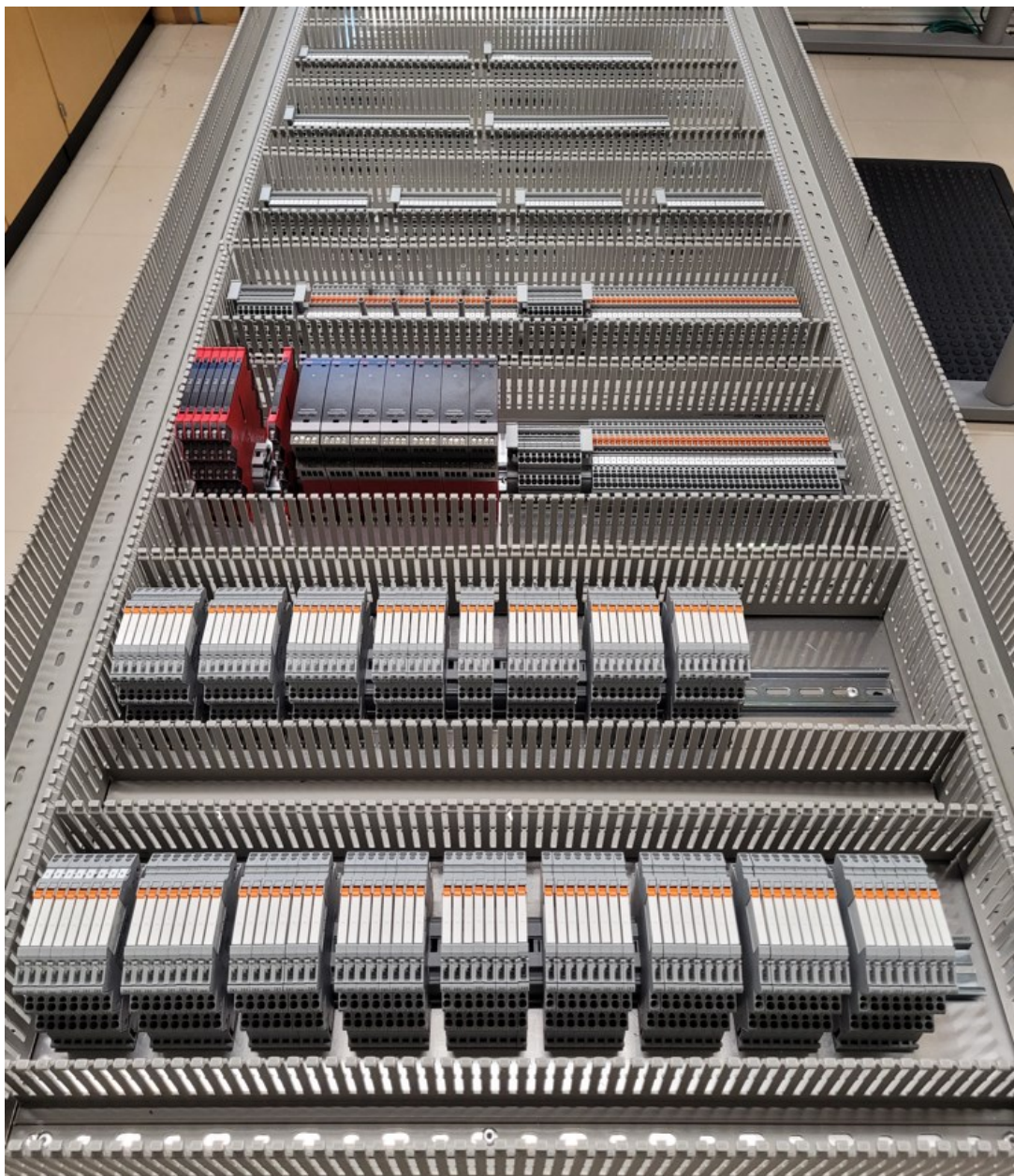
Kuva 20. Kaukolämpöpumpun pop up -ikkuna

Painamalla kaukolämpöpumpun symbolia avautuu kuvan 20 mukainen popup-ikkuna, josta voidaan määrittää kattilalle teho, paine-ero tai tarvittaessa suoraan pumpun taajuus. Valittu säätötapa on reunustettu vihreällä indikoimaan operaattorille säätötapaa. Popup-ikkunan vasemmasta ylälaidasta painamalla voidaan myös muuttaa ohjelmoitavan logiikan kaukolämpöpumpun virtaussäätimen viritysarvoja. Säätimen viritysarvojen muuttaminen on sallittu vain ennalta määrätyillä tunnuksilla kirjautuessa.

### **6.3 Automaatiokeskus**

Uuden automaatiokeskuksen komponentit asennettiin erilliselle taustalevyille, CADMATIC-ohjelmistolla tehdyn suunnitelman mukaisesti (kuva 21). Suunnitelma oli tehty oikeaan mittakaavaan, joten komponenttien sijoittelussa mitat oli mahdollista tarkastaa CADMATIC-ohjelmistosta.





Kuva 21. VT5 uusi automaatiokeskus toimiston lattialla

Komponenttien sijoittelun jälkeen keskus johdotettiin valmiiksi. Johdotuksessa käytettiin standardin SFS-EN IEC 60445:2021 mukaista johdinten tunnistusstandardia. Standardissa määritetään, että värimerkintää pitää käyttää johtimien päissä, ja on suositeltavaa, että merkintä jatkuu koko johtimen pituudelta joko värillisenä eristeenä tai värimerkintänä, pois lukien paljaat johtimet, missä värimerkintä tehdään johtimen päätepisteissä ja liitoskohdissa (SFS-EN IEC 60445: 2021, 10).

Standardi SFS-EN IEC 60445: 2021 Taulukko A.1 johtimien ja liittimien tunnistamiseen käytettävät värit, aakkosnumeeriset merkinnät ja kuvatunnukset, opastaa käyttämään DC-johtimissa alla olevia värityksiä.



Positiivinen	L+	Punainen
Negatiivinen	L-	Valkoinen
Keskipistejohdin	M	Sininen
Nollajohdin	N	Sininen

AC-johdimissa standardi opastaa käyttämään alla olevia värityksiä.

1-Johdin	L1	Musta
2-Johdin	L2	Ruskea
3-Johdin	L3	Harmaa
Keskipistejohdin	M	Sininen
Nollajohdin	N	Sininen

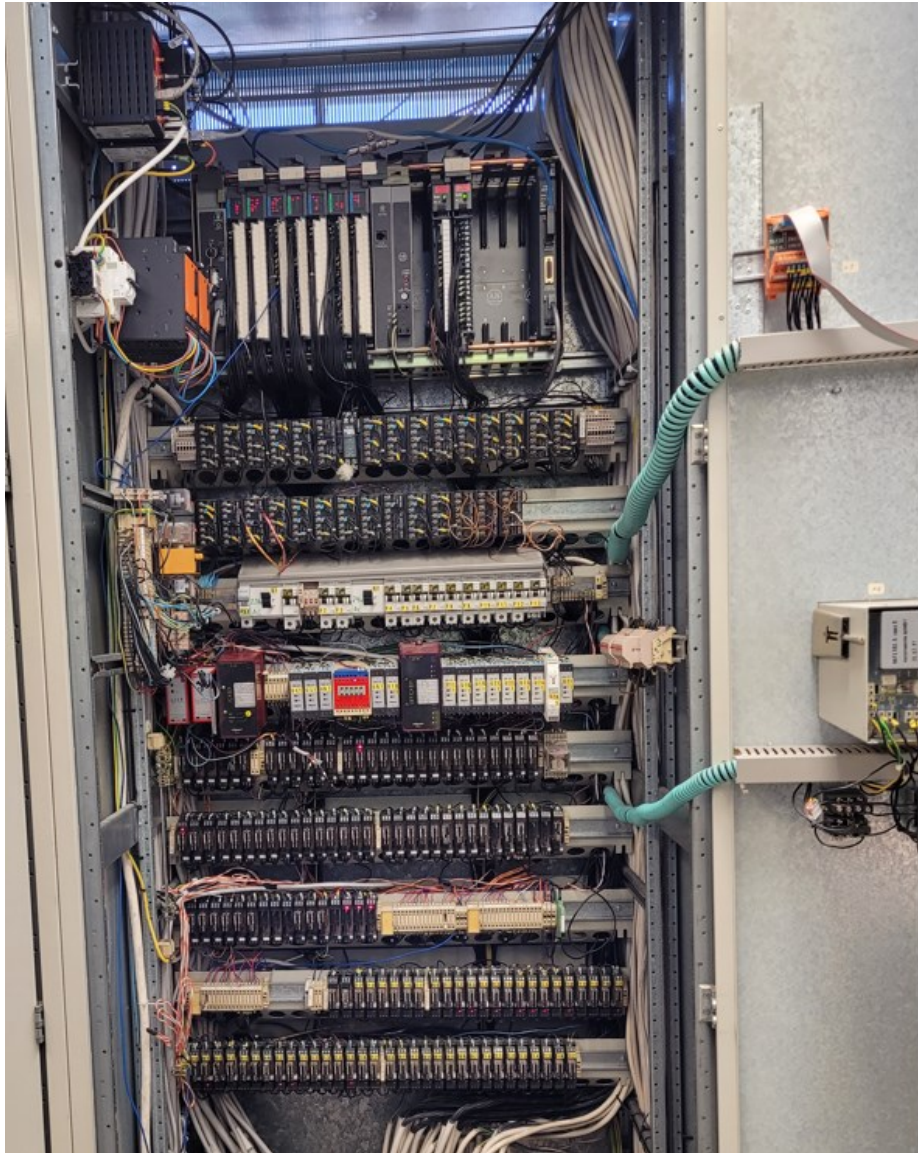
Oheisten värien lisäksi päädyin käyttämään digitaalitulojen ja lähtöjen johdotuksessa oranssia. Analogiatulojen ja lähtöjen johdotukseen ruskeaa. Väritys helpottaa jatkossa hahmottamaan keskuksen johdotuksia, jos johtokanavia joudutaan avaamaan.

## 7 ASENNUS

Asennusta varten työmaalle tulostettiin uudet vanhojen kuvien pohjalta tehdyt piirikaaviot, johdotuslista ja IO-luettelo. Johdotuslistaan oli merkitty tunnus-, kortti-, ristikytkentä-, rele/erotin- ja kaapelitiedot. Asennuksessa käytettiin pääasiassa vain johdotuslistaa kytkennöissä, koska siihen oli merkitty kaikkien kaapelointien alku- ja loppupäät. Piirikaavioita ja IO-luetteloa käytettiin johdotuslistan apuna, kun kytkentöjä haluttiin tarkemmin todentaa.

### 7.1 Vanhan keskuksen purkaminen

Keskuksen purkaminen aloitettiin kytkemällä irti vanhat johdotukset välireleitä ja lähettimiltä (kuva 22). Osa johdotuksista oli jopa kytketty suoraan logiikan korttien liittimiin. Johdotuksien purkamista hidasti merkittävästi ohjauksien jännitetaso, joka on 230 VAC.



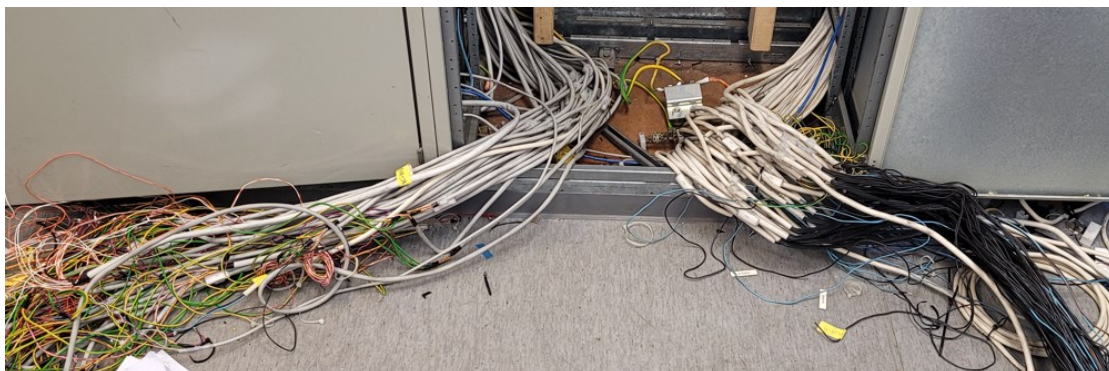
Kuva 22. VT5 vanha automaatiokeskus.

Kaikki irrotettavat johdotukset täytyi koestaa jännitteenkoettimilla, että purkamisvaiheessa voitiin olla varmoja jännitteettömyydestä ja välttää sähköiskun vaara. Johdotuksia purkamalla seurattiin samalla, että uudet kytkentälistat pitivät paikkansa.



Kuva 23. VT5 vanhan automaatiokeskuksen ovi

Vanhan keskuksen oveen (kuva 23) oli sijoitettu kaksi peukalopyörää, joita pyörittämällä oli mahdollista seurata prosessin tilaa. Lisäksi oveen oli sijoitettu raporttitulostimia kaksi kappaletta, venttiilien autokäsi-ohjauspainikkeita ja kattilan tilaa indikoivia merkkilamppuja.

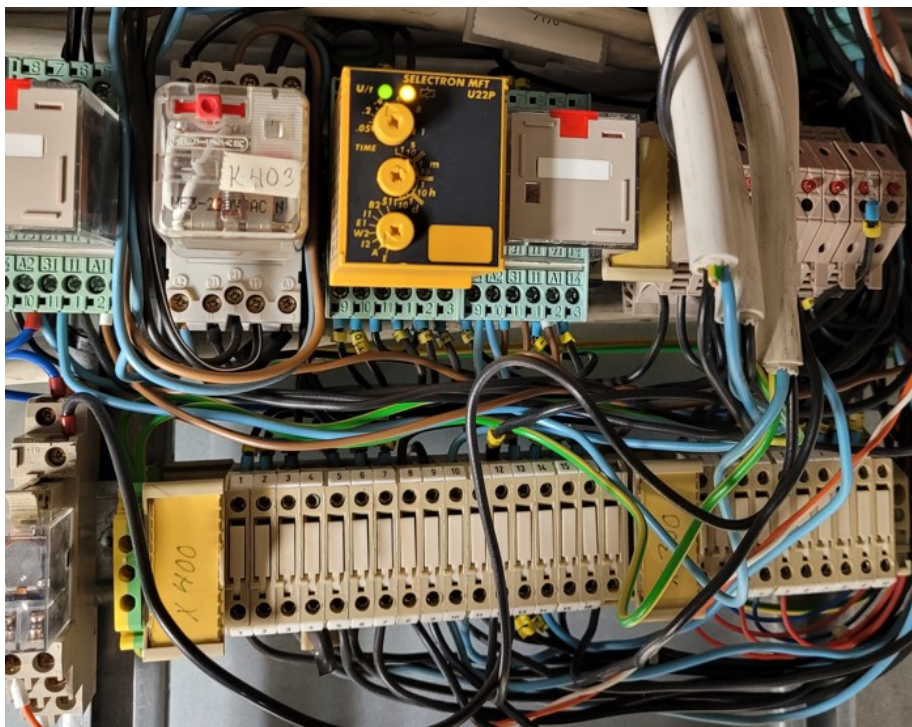


Kuva 24. VT5 automaatiokeskuksen kaapelit purettuna lattialle

Vanhan keskuksen johdotukset irrotettiin ja käännettiin lopulta lattialle (kuva 24). Osassa kaapeleita ei ollut johdinmerkintöjä, joten ne täytyi nimetä seuraavilla vapailla kaapeliluettelon numeroilla. Keskuksen johdotukset oli toteutettu pääosin MMJ 7x1,5N- ja erityyppisillä JAMAK-kaapeleilla.



Turvapiirin jättäminen alkuperäiseksi oli asennusteknisesti mahdollista, koska turvapiiriin releet olivat sijoitettu automaatiokeskuksen sivupeltiin (kuva 25) ja varsinaiset suojausreleet olivat taas asennettu kattilan poltinkaappiin. Turvatoimintojen indikointi on osittain toteutettu 230VAC jännitetasossa uusittavalla automaatiokeskuksella. Turvapiiri on hajautettu myös kattila 1 TLJ -turvalogiikalle, kattila 2 -poltinkaapille ja PK2 400V -pääkeskukselle, josta ohjataan esimerkiksi turvareleellä kevytöljypumppuja.

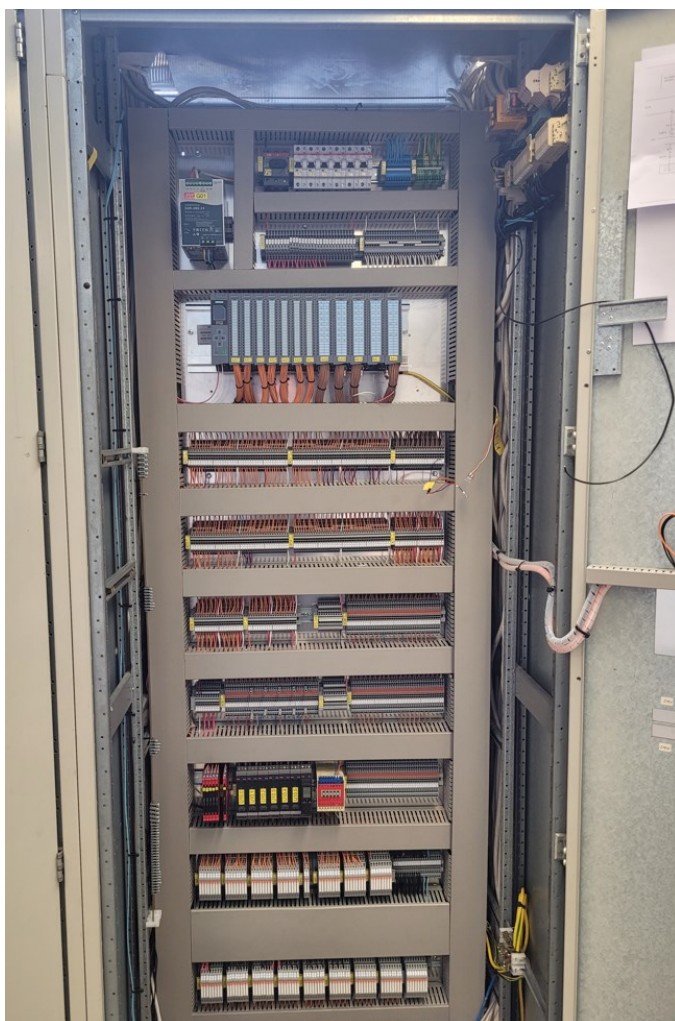


Kuva 25. VT5 automaatiokeskuksen turvapiiriin releistys

Olemassa olevat releet siirrettiin riviliittimiseen uuteen asennukseen, jolloin turvapuolelle ei tullut muutoksia. Alkuperäiset asennukset kuitenkin tarkastettiin siirron yhteydessä, että lukituspiiriin johdotukset ovat alkuperäisiä ja kuvat ajan tasalla. Lukituspiirissä oli muutoksia raskasöljyn pumppauksen johdotuksissa, koska kattila 1:n turvalogiikka oli muutettu ohjamaan uusia kevytöljypumppuja. Päätettiin kuitenkin, ettei olemassa oleviin johdotuksiin aloiteta tekemään muutoksia, vaan jätetään myös käyttämätön raskasöljypumpun rele johdotuksineen.

## 7.2 Uuden keskuksen asennus

Uuden keskuksen asennuksessa hyödynnettiin keskuksen purkamisvaiheessa käytettyjä kytkentäkuvien punakynäversioita, joihin oli tehty muutoksia jo purkamisvaiheessa. Muutoksia alkuperäisiin työpiirustuksiin nähden oli, että joidenkin toimilaitteiden tilatiedot olivat ristissä tai kaapelimerkinnot muuttuneet. Asennus sujui kuitenkin hyvin, ja suurimmilta vastoinkäymisiltä vältyttiin. Vanhasta keskuksesta jouduttiin siirtämään uuteen keskukseen alkuperäinen öljynmäärämittaus, koska öljynmäärän mittaus tuottaa vain impulsseja, jotka muutetaan analogiseksi virtaviestiksi. Impulssien laskenta olisi logiikan ohjelmassa vaatinut hiukan aikaa, joten alkuperäinen muunnin päätettiin jättää myös uuteen keskukseen. Muutoin keskus kalustettiin täysin uusilla komponenteilla (kuva 26).



Kuva 26. VT5 automaatiokeskus uudella pohjalevyllä

Kun kaikki kaapelit ja laitteet oli asennettu keskukseseen, suoritettiin keskukselle käyttöönottotarkastukset ennen käyttöönottoa. Käyttöönottotarkastuksissa ei havaittu puutteita, ja laitteisto todettiin olevan turvallinen sekä vaatimuksien mukainen. Tarkastuksesta laadittiin erillinen käyttöönottotarkastuspöytäkirja. Tarkastuksen jälkeen keskuksen 230 VAC sähkönsyöttö kytkettiin lopullista käyttöä varten ja 24 VDC tasajännitelähteen jännitetaso tarkastettiin ja säädettiin ennen riviliitinsulakkeiden päälle kytkemistä. Asennuksien valmistuttua voitiin aloittaa laitteistolle testaukset.

### **7.3 Laitteistotestaus**

Laitteistotestaus osoittaa automaatioon liitettyjen toimilaitteiden, mittauksien ja kennolähtöjen sähköisen toimivuuden. Testauksessa varmistetaan signaalien ja mittauksien oikeellisuudesta käyttöliittymään asti (Signal and Loop Testing, SLT). Testauksessa saadaan myös selvitettyä, vastaako laitteiston testaustulokset suunniteltua dokumentaatiota. Laitteistotestauksessa ei lähtökohtaisesti oteta kantaa logiikan ohjelmistoon, koska sen testaus ja toimivuus suoritetaan toiminnallisen testauksen yhteydessä. (Tommila 2012, 70.)

Laitteistotestausta varten on luotu erillinen piirikohtainen testaussuunnitelma, johon on merkitty, tehdäänkö testaus kylmätestauksena, mittauksien tarkistuksena, vesiajona, käynnissä ollessa tai SAT-testinä ennen käynnistystä. Testaussuunnitelmasta selviää myös käytettävä väline, joka voi olla esimerkiksi milliampeerilähetin. Suunnitelmaan merkitään myös laitepositio, piirin nimi, piirin tyyppi ja signaali. Testauksessa havaitut puutteet korjataan punakynällä kytkentäkuviin ja piirikaavioihin. Punakynäkuvien perusteella voidaan lopulliset piirustukset (as-built) tehdä. Testaukset suoritettiin testaussuunnitelman mukaisesti kahdestaan sähkö- ja automaatiokunnossapito henkilön kanssa. (Tommila 2012, 71.)

## **8 TOIMINNALLINEN TESTAUS**

Asennuksien valmistuttua varmistetaan toiminnallisella testauksella (commissioning) laitteiden, järjestelmien, ohjelman ja kenttäinstrumenttien toiminnallisen kuvauksen mukainen toimivuus. Toiminnallisen testauksen jälkeen saadaan varmuus soveltuvuudesta kattilan tuotannolliseen käyttöön. Testauksen tärkeimmät kohdat ovat kylmätestaus ja kuumatestaus (Tommila 2012, 20).

Toiminnallisessa testauksessa hyödynnettiin toiminnallista kuvausta, PI-kaaviota ja testaussuunnitelman tuloksia. Luodussa toiminnallisessa kuvauksessa on määritelty säätöpiirien, käynnistys- ja pysäytyssekvenssien ja lukituspiirien toiminnot. Testauksessa käydään läpi prosessin normaalit ajotilanteet, käynnistys, pysäytys ja mahdolliset poikkeavat toiminnot. Poikkeavia toimintoja ovat lukituksen aiheuttamat kattilan alasajot eri tehoalueilta. Toiminnallinen testaus toimi myös hyvänä kattilaprosessin opetusvaiheena käyttäjille ja minulle, koska aikaisempaa kokemusta lämpökeskuksen kattiloista ennen tätä työtä ei ollut.

## 8.1 Kylmättestaus

Kylmättestauksen (cold commissioning) periaate on suorittaa testauksia mahdollisimman pitkälle prosessille turvallisessa tilassa. Kylmättestauksessa koestetaan aluksi hälytykset, lukitukset ja hätäpysäytyssekvenssin toiminta. Jos mahdollinen primääritestaus ei ole kaikilta prosessin osilta mahdollinen, suoritetaan testaukset simuloituna niiden osalta. Simulointityökaluna voidaan käyttää esimerkiksi milliampeerilähetintä tai muuttaa laitteen binääristä tilaa mittalaitteelta. On tärkeä todentaa ohjelman toimivuus ennen varsinaista kuumatestausta vaaratilanteiden välttämiseksi. Lukitus- ja pysäytystoimintojen varmentamisen jälkeen voidaan aloittaa kylmättestauksen seuraava vaihe (making blanks). Seuraavassa vaiheessa koestetaan prosessin sekvenssien, säätöpiirien ja laskentapiirien toiminta mahdollisimman oikeaa tilannetta simuloimalla. (Tommila 2012, 73–74.)

Säätöpiirien toimintaa koestettiin mahdollisimman pitkälle muuttamalla säätimien asetusarvoja alemmaksi, mikä mahdollisti moottoriventtiilien ohjauksen säätimien ohjaamana. Tällöin saatiin varmuus, että säätimet ohjaavat venttiilejä oikeaan suuntaan ja rajoitteet toimivat oikein. Simuloinnissa kattilan polttimen öljynvirtaus on estetty mekaanisesti kääntämällä sulkuventtiili kiinni öljypumppaamolta. Öljyn pääsy polttimelle ollessa estetty voitiin käynnistys- ja pysäytyssekvenssiä koestaa polttimen sytytykseen asti, minkä jälkeen liekkihäiriö käynnistää pysäytyssekvenssin. Testauksessa selvisi myös, miten hyvin sekvenssien aikavalvonta piirit toimivat ja kuinka pysäytyssekvenssikulku vastasi haluttua sekvenssiajan ylitettyä aikarajan.

## 8.2 Kuumatestausta

Kuumatestausta (hot commissioning) avulla voidaan osoittaa, että prosessi toimii kokonaisuutena sille suunnitellulla tavalla. Kuumatestausta on tärkeää, että hälytykset ja lukitukset on koestettu jo aikaisemmin kylmätestauksessa ja voidaan olla varmoja, että prosessin suojaustoiminnot ovat toiminnassa. Testauksessa saadaan selville logiikan ohjelman sekvenssien toiminto ja säätöpiirien oikeanlainen harmonia prosessiin. Ne mittaukset, jotka kylmätestauksessa voitiin testata vain alhaisilla lämpötiloilla, tarkastetaan kuumatestausta yhteydessä uudestaan oikeilla prosessin arvoilla. Kuumatestausta yhteydessä päästään tarkastamaan myös säätimien viritysarvot ja niiden oikeanlainen toimivuus prosessissa. (Tommila 2012, 75.)

Kattilaprosessin kannalta kuumatestausta tärkein vaihe on tarkastaa ja saada säätimet toimimaan halutulla tavalla. Testauksessa tulee hyvin esille, kuinka säädettävät suureet vaikuttavat prosessin lähes kaikkiin mittaus- ja säätöarvoihin. On siis havaittavissa, että prosessi on integroitunut ja säätösuureet ovat riippuvaisia toisistaan. Väärin parametroitu säädin aiheuttaa dominoefektin, joka saa prosessin värähtelemään ja ajautumaan häiriötilanteeseen. Säätimien virityksessä on myös huomioitava, että kaikki siihen liittyvät toimilaitteet ja mittaukset toimivat hyvin. (Harju & Marttinen 2000, 10.)

Säätimien periaate on saada mittaus tai laskennasta saatu tulos vastaamaan annettua asetusarvoa. Muutokset säätimen asetusarvoon tulisi saada prosessissa kurottua kiinni mahdollisimman nopeasti ilman liiallista ylityksiä asetusarvoon nähden. Säätimen asetusarvoja virittäessä on kuitenkin hyväksyttävä, että normaaliin ajotilanteeseen sopivat parametrit eivät poista laitevioista johtuvia ennalta määräämättömiä ongelmia täydellisesti. (Harju & Marttinen 2000, 9–10.)

Säätimien viritysparemetrien lähtöarvoina käytettiin samantyyppisten suorakytkentä kattiloiden säätimien asetuksia. Säätimien parametreja jouduttiin kuitenkin hakemaan prosessin dynamiikkaan sopiviksi, koska jokaisella kattilalla on omat hitaudet ja toimilaitteet välyksineen. Kriittisin säädin tasaisen toiminnan kannalta on kaukolämpöpumpun taajuutta ohjaava säädin, koska

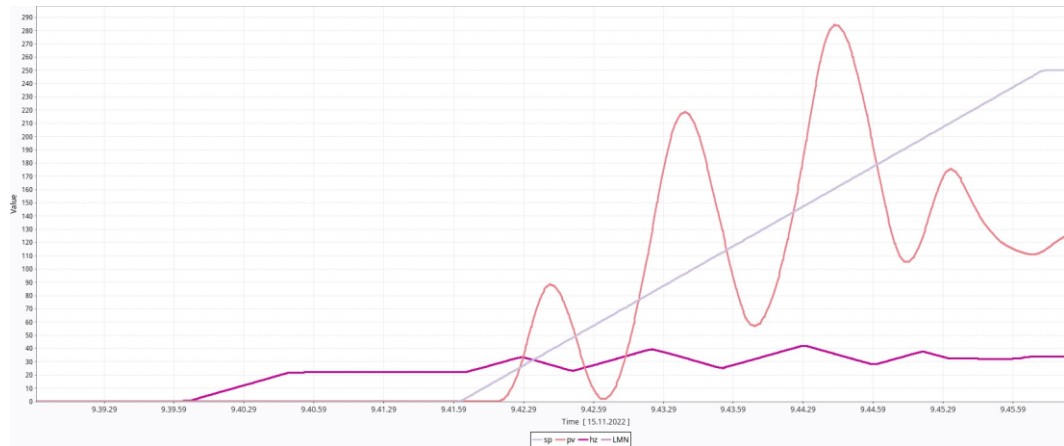


väärä ohjausarvo saa koko prosessin värähtelemään. Säätimen virityksestä tekee hankalan myös se, että käynnistyksen aikana säädössä käytetään virtauksen arvoja. Käynnistyssekvenssin aikana pumpun säädin vaihtaa virtaus-säädöstä tehosäätöön, joka saattaa käynnistyssekvenssin loppuun kattilan 8 MW teholle. Kattilan käynnissä ollessa säädin voidaan vaihtaa vielä käyttämään paine-eroa.

Virtaussäädössä säätimelle annetaan kiinteä asetusarvo, joka porrastetaan säätimelle ja takaisinkytkentänä käytetään kaukolämpöveden virtausta. Säädössä on pitkistä putkista johtuvaa hitautta eli kuollutta aikaa. Omat haasteet virtaussäädössä on myös, että virtauksen alkaessa virtaus voi karata helposti liian suureksi. Paine-erosäädössä säätimelle annetaan operaattorin määrittämä paine-eron asetusarvo, jota säädin tavoittelee. Takaisinkytkentä on paine-eromittaus meno- ja paluukaukolämpöputkistosta. Pumpun säätäminen reagoi paine-eromittaukseen nopeasti ja eroaa tämän takia virtaussäädöstä. Tehosäädössä käytetään operaattorin käyttämää asetusarvoa säätimelle ja takaisinkytkentäsäätimelle käytetään tehon laskentaa. Laskenta koostuu lämpötilaerosta, veden ominaislämpökapasiteetista ja virtauksen määrästä. Tehosäädössä on näin ollen eniten muuttuvia tekijöitä, ja se poikkeaa aikavakioiltaan muihin säätötapoihin.

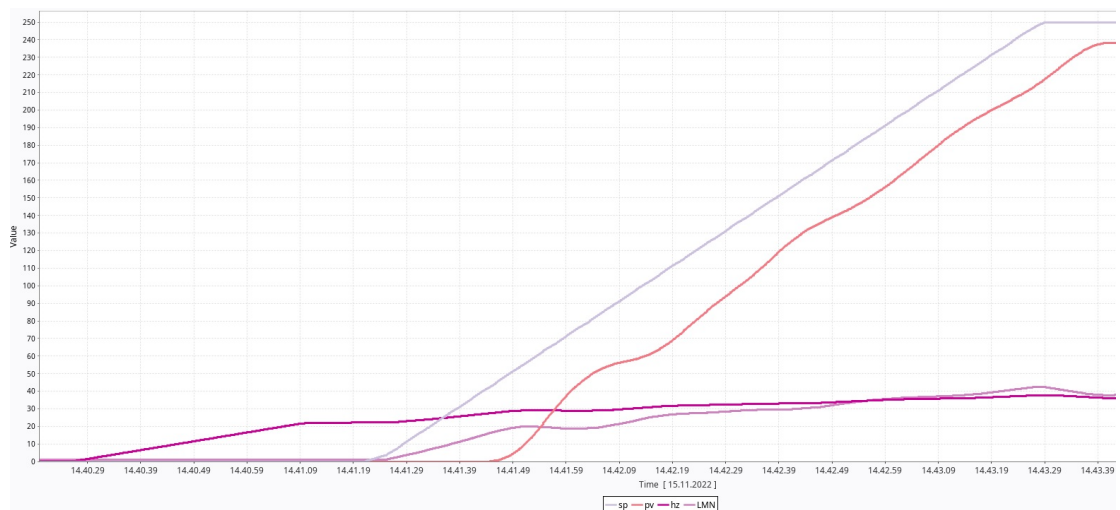
Säätimenä käytetään yhtä PI-säädintä, johon muutetaan säätötavasta riippuen dynamiikkaan sopivia viritysparametreja. Säätimien virityksessä käytettiin Ignition SCADA -ohjelmiston trendityökalua, jonka avulla voitiin tarkastella reaaliaikaista mittausdataa asetusarvoon nähden. Ensimmäiseksi syötetyt virtaus-säätimen viritysparametrit aiheuttivat ensimmäisessä käynnistyksessä rajun virtauksen heittelyn haluttuun virtauksen asetusarvoon nähden. Virtauksen ylitys johtui liian suuresta vahvistuksesta ja käynnistyksessä tapahtuvasta viiveestä virtauksessa. Virtauksen heijausliikettä ei ole helppo korjata enää sen syntyessä. Lisäksi liiallinen virtaus jäähdytti kattilan menovettä liikaa ja polttimen minimiteho ei riittänyt saavuttamaan käynnistyksessä vaadittavaa lämpötilaa. Korjauksena viritysparametrit aseteltiin uudestaan trendityökalua monitoroimalla. Lisäksi polttimen säätimeen tehtiin aikaan sidonnainen valvonta, joka vapauttaa polttimen säädölle, jos käynnistyslämpötilaa ei saavuteta tietyssä ajassa. Tilanne voi tulla esille myös, jos kattila käynnistetään niin sanottuun

kylmään verkkoon, joten valvonta oli tarpeellinen myös sen kannalta ja takamaan varman käynnistyksen kaukolämmön toimitus häiriössä CHP-laitoksella.



Kuva 27. Ensimmäinen kattilan käynnistys

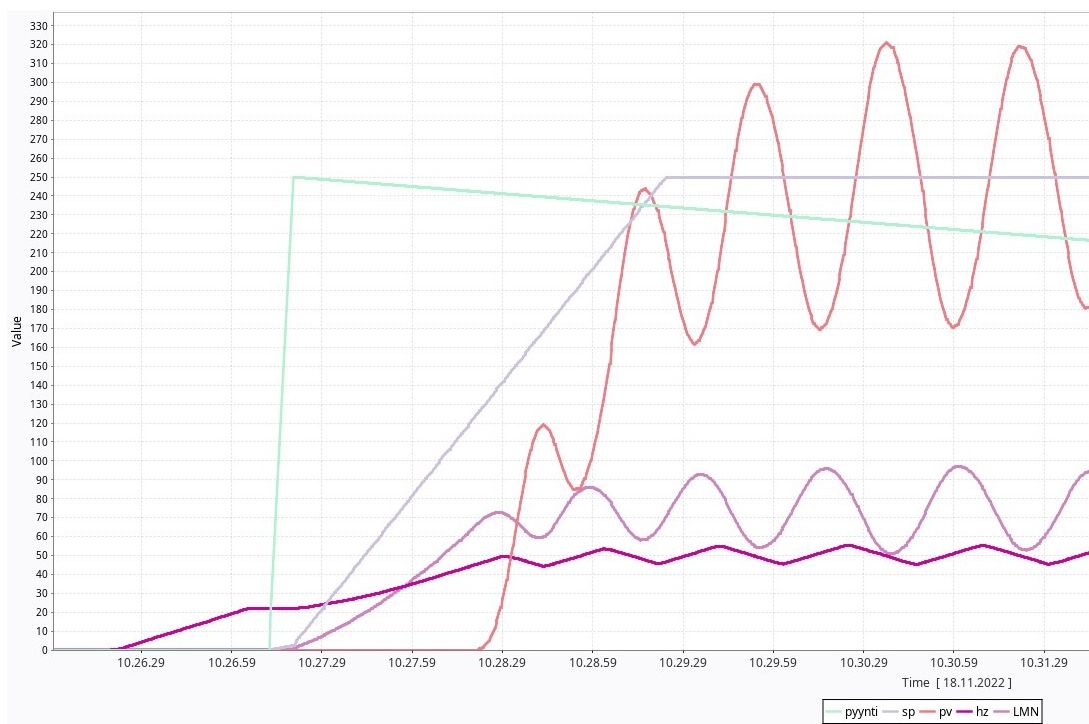
Kattilan ensimmäistä käynnistystä kuvaavasta trendistä (kuva 27) nähdään, että säädin nostaa pumpun taajuutta 10 Hz minimitaajuudesta 22 Hz, jonka jälkeen virtaus nousee jyrkästi. Virtauksen noustessa säädin korjaa liikaa pumpun taajuutta pienemmäksi ja virtaus menee takaisin nolnaan. Säätimen vahvistusta ja integrointiaikaa muutetaan, minkä jälkeen tehdään kattilan uudelleenkäynnistys (kuva 28).



Kuva 28. Toinen kattilan käynnistys uusilla parametreilla

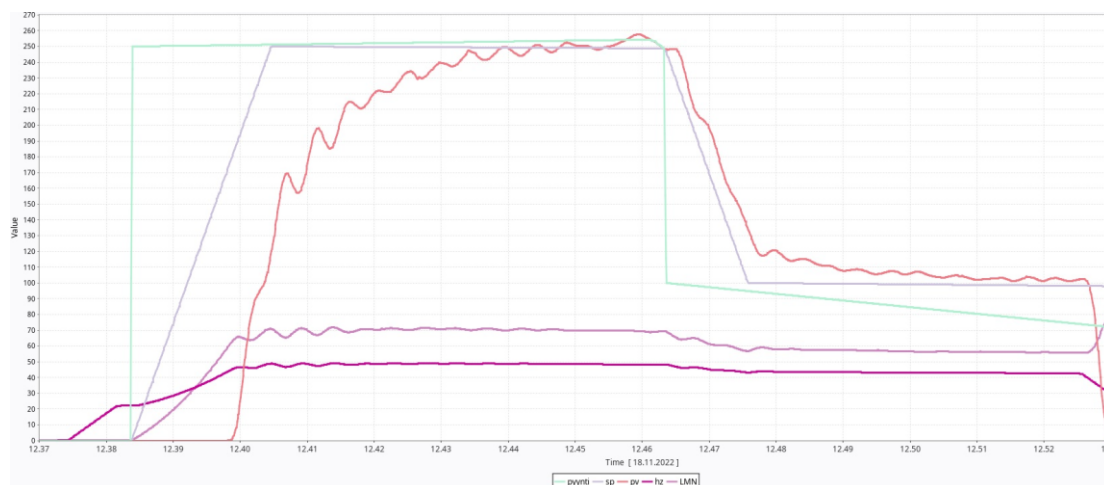
Pienemmällä vahvistuksella ja pidemmällä integrointiajalla virtaus nousee lineaarisesti asetusarvoon ja tekee virtauksen alkaessa riittävän pienen korjauksen taajuuteen. Kaukolämpöverkon tilanne vaikuttaa merkittävästi, kuinka hel-

posti virtaus alkaa kattilan läpi, joten testaukset suoritettiin vielä täyteen kaukolämpöverkkoon, että voidaan varmistaa säätimen toiminta kaikissa tilanteissa (kuva 29).



Kuva 29. Kattilan käynnistys kylläiseen verkkoon aikaisemmillä parametreilla

Kylläiseen verkkoon käynnistäessä aikaisemmin hyväksi todetut säädöt eivät toimineet enää, vaan säätöpiiri käy värähtelemään, eikä saavuta stabiilia virtauksen tilaa. Vahvistusta muutetaan 0,1 pienemmäksi ja integrointi aikaa pidennetään 20 sekuntia, jonka jälkeen kattila käynnistettiin uudestaan (kuva 30).



Kuva 30. Kattilan käynnistys kylläiseen verkkoon uusilla parametreilla

Trendistä nähdään, että parametrit toimivat riittävän hyvin, joten säädetyt parametrit voidaan todeta sopiviksi. Trendissä näkyy myös kattilan alasajo heti käynnistyssekvenssin jälkeen. Alasajo onnistuu todella hyvin ja seuraa säätimen asetusarvoa halutulla tavalla. Huomioitavaa on, että lähtökohtaisesti kattilaa ei ole tarvetta ajaa kylläiseen kaukolämpöverkkoon, koska kattila toimii vain vara- ja huippulaitoksena.

## **9 TULOSTEN JOHTOPÄÄTÖKSET**

Tarkastelun tärkeimpänä mittarina onnistumiselle on suunnittelun alkuvaiheessa asetetut prosessin ja käyttäjien vaatimukset. Projektin käyttöönoton jälkeen voidaan todeta, että kattilan toiminta vastaa suunnittelussa asetettuja vaatimuksia. Projekti toteutui hiukan suunniteltua ajankohtaa myöhemmin. Myöhästyminen johtui viivästyneestä prosessorin toimituksesta, joka siirtyi ke-säkuulta lokakuulle. Projekti saatiin kuitenkin käyttöönotettua marraskuussa ennen pakkasia, joten myöhästyminen ei vaarantanut vara- ja huippulaitoksien reservitehoa. Projektin kustannukset toteutuivat suunnitellusti, joka oli alkupe-räisestä budjettiesityksestä reilusti alle. Projekti on siis näitä mittareita käyttäen onnistunut hyvin. Uusi automaatiojärjestelmä jatkaa kattilan käyttöikää merkittävästi, ja varaosien saatavuus on taattu Siemensin toimesta ainakin 20 vuoden ajaksi.

## **10 POHDINTA**

Työn alkuvaiheessa en osannut ajatella, että projektissa tulisi olemaan näinkin paljon työtä. Automaation uusiminen oli kuitenkin hyvin mielenkiintoinen projektina, ja työ tarjosi runsaasti haasteita, joita oli mukava ratkoa.

Suurimpana haasteena oli saada kattila vastaamaan ohjauksiin ja toimimaan samaan aikaan rauhallisesti. Ohjelmaa tehdessä löytyi myös paljon vääriä ohjelmointitapoja, jotka tulivat testauksessa vasta esille. Projektin aikataulu oli kuitenkin löysä, joten sain ratkaista ongelmia itsenäisesti parhaan oppimisen saavuttamiseksi. Näin ollen myös oikeat toimintatavat jäivät hyvin mieleen.

Jälkikäteen projektia ajatellen eri vaiheita olisi kannattanut suorittaa joltain osin alihankintana, kuten kattilan dokumentaatiot ja piirustukset. Sain myös

hyvää oppia, kun sain toimia projektipäällikkönä tässä työssä ja raportoida yhtiön johdolle projektin etenemistä. Kävin projektin alkuvaiheessa kahden päivän projektipäällikkökoulutuksen, josta sain hyvät lähtötiedot projektin aikatauluttamiselle ja raportoinnille.

## LÄHTEET

Ahlström. 1989. Hoito ja käyttöohjeet. Moniste.

Harju, T. & Marttinen, A. 2000. Säättöpiirin virityksen perusteet. E-kirja. Espoo: Control CAD. Saatavissa: [https://www.automaatioseura.fi/site/assets/files/1426/pid\\_kirja\\_1-1.pdf](https://www.automaatioseura.fi/site/assets/files/1426/pid_kirja_1-1.pdf) [viitattu 23.11.2022].

Heimbürger, H., Markkanen, P., Norros, L., Paunonen, H., Savioja, P., Sundquist, M. & Tommila, T. 2011. Valvomosuunnittelun periaatteet ja käytännöt. 2. painos. Helsinki: Copy-Set Oy.

Inductive automation. 2022. OPC UA driver modules. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://docs.inductiveautomation.com/display/DOC81/Driver+Modules> [viitattu 25.11.2022].

Inductive automation. 2022. Scada software. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://inductiveautomation.com/scada-software/> [viitattu 25.11.2022].

PR electronics. 2022. 3000V106-UK Product manual. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://www.prelectronics.com/filearkiv/PDF-FTP/3100%20series/3102/Manual/3000V106\\_UK.pdf](https://www.prelectronics.com/filearkiv/PDF-FTP/3100%20series/3102/Manual/3000V106_UK.pdf) [viitattu 8.10.2022].

SFS-IEC 60445:en. 2021. Perus- ja turvallisuusperiaatteet ihmisen ja koneen väliselle rajapinnalle, merkinnöille ja tunnistamiselle. Laiteliittimien, johdonpäiden ja johtimien tunnistaminen.

SFS-käsikirja 600–1–2. 2017. Pienjännitesähköasennukset. Osa 1–2: Erikois-tilojen ja täydentävät vaatimukset.

Siemens AG. 2018a. Guide to Standardization. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://support.industry.siemens.com/cs/ww/en/view/109756737> [viitattu 02.11.2022].

Siemens AG. 2018b. Programming Guideline for S7-1200/1500. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://support.industry.siemens.com/cs/ww/en/view/81318674> [viitattu 12.11.2022].

Siemens AG. 2021. TIA portal V17. Ohjelmisto. Saatavissa: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/109784440> [viitattu 2.10.2022].

Siemens AG. 2022. TIA Selection Tool. WWW-sivu. Saatavissa: <https://mall.industry.siemens.com/tst/> [viitattu 2.10.2022].

Strömman, M., Hirvonen, J., Hukki, K. & Tommila, T. 2010. Automaatiosuunnittelun prosessimalli – Yhteiset käsitteet verkottuneen suunnittelun perusteena. E-kirja. Helsinki: Suomen automaatioseura. Saatavissa: <https://www.automatioseura.fi/site/assets/files/1426/laatuaumatiossa.pdf> [viitattu 10.11.2022].

Tommila, T. 2012. Laatu automaatiassa – Parhaat käytännöt. E-kirja. Helsinki: Suomen automaatioseura. Saatavissa: <https://www.automatioseura.fi/site/assets/files/1426/laatuaumatiossa.pdf> [viitattu 20.11.2022].

Wago. 2022. Relemoduuli 857–304. WWW-dokumentti. Päivitetty 13.11.2022. Saatavissa: <https://www.wago.com/fi/rele-ja-optokoplerimoduulit/relemoduuli/p/857-304> [viitattu 20.11.2022].

