



# **Voimalaitosautomaation perussuunnittelu dokumentaation kehittäminen**

Samuli Leinonen

Opinnäytetyö, AMK

Syyskuu 2023

Tekniikan ala

Insinööri (AMK), Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma

**Leinonen, Samuli**

## **Voimalaitosautomaation perussuunnittelu dokumentaation kehittäminen**

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Syyskuu 2023, 37 sivua.

Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö AMK.

Julkaisun kieli: suomi

Julkaisulupa avoimessa verkossa: kyllä

### **Tiivistelmä**

Fimpec Engineering Oy:llä on suunnitelmissa laajentaa toimintaansa voimalaitosautomaatiojärjestelmien suunnittelun parissa. Projektiin liittyen havaittiin tarve selkeälle dokumentaatiolle, sillä perussuunnitteluun liittyvää dokumentaatiota ei ollut saatavilla. Tämän vuoksi on tarve luoda alustava dokumentaatio, joka sisältäisi mallidokumentit sekä kattavan symbolikirjaston, jota voitaisiin jatkokehittää tarpeen mukaan.

Projektin toteutusvaiheessa keskityimme toiminta- ja sekvenssikaavioiden laatimiseen ja suunnittelimme BricsCAD-ohjelmaan symbolikirjaston. Lisäksi pyrimme laatimaan yksityiskohtaiset ohjeet symbolikirjaston luomiseksi ja symboleiden lisäämisen siihen.

Tämän työn tuloksena syntyi yksityiskohtaisia dokumentteja, symbolikirjasto ja parannettiin symbolien sekä attribuuttien hallintaa. Tällä optimoinnilla saadaan tehostettua merkittävästi voimalaitosautomaation suunnitteluprosessia.

Tämä dokumentaatio ja symbolikirjasto tarjoavat erinomaisen pohjan suuremman kokonaisuuden rakentamiselle. Näitä resursseja voidaan hyödyntää, kun projektia edistetään ja Fimpec Engineering Oy:n osaamista ja palveluita laajennetaan voimalaitosautomaation alalla. On ensiarvoisen tärkeää, että dokumentaatiota päivitetään säännöllisesti ja symbolikirjastoa kehitetään, jotta se pysyy ajan tasalla ja vastaa muuttuviin tarpeisiin.

### **Avainsanat (asiasanat)**

Automaatiosuunnittelu, perussuunnittelu, toimintakaavio, sekvenssikaavio, BricsCAD

### **Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)**

Liitteet 1,2,3 ja 4 ovat salassa pidettäviä, ja ne on poistettu julkisesta työstä. Salassapidon peruste on Julkisuuslain 621/1999 24§, kohdat 7 ja 21. Salassapitoaika on viisi (5) vuotta, salassapito päättyy 29.9.2028.

**Leinonen, Samuli**

**Development of basic design documentation for power plant automation**

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, September 2020, 37 pages.

Degree Programme in Electrical and Automation Technology. Bachelor's thesis.

Permission for open access publication: Yes

Language of publication: Finnish

**Abstract**

Fimpec Engineering Oy has plans to expand its operations in the field of power plant automation system design. In connection with the project, there was a recognized need for clear documentation, as documentation related to basic design was not available. Therefore, there is a need to create preliminary documentation that includes template documents and a comprehensive symbol library that can be further developed as needed.

During the project implementation phase, the focus was on creating process flow diagrams and sequence diagrams, and a symbol library for the BricsCAD program was designed. Additionally, efforts were made to create detailed instructions for building the symbol library and adding symbols to it.

As a result of this work, detailed documents were created, a symbol library was established, and the management of symbols and attributes was improved. This optimization significantly enhances the power plant automation design process.

This documentation and symbol library provide an excellent foundation for building a larger framework. These resources can be utilized as the project progresses and as Fimpec Engineering Oy expands its expertise and services in the field of power plant automation. It is of paramount importance that the documentation is regularly updated, and the symbol library is developed to ensure that it remains up-to-date and responsive to changing needs.

**Keywords/tags (subjects)**

Automation design, basic design, Process Flow Diagram, sequence diagram, BricsCAD

**Miscellaneous (Confidential information)**

Attachments 1,2,3 and 4 are confidential and have been removed from the public release. Grounds for confidentiality are defined in the act on the openness of government activities 621/1999 24§, parts 7 and 21. Confidentiality period is five (5) years, confidentiality will end on 29.9.2028.

## Sisältö

<b>1</b>	<b>Johdanto .....</b>	<b>6</b>
1.1	Opinnäytetyön tausta .....	6
1.2	Työn tavoitteet.....	6
1.3	Tutkimuksen haasteet ja merkitys .....	7
1.4	Fimpec Group Oy.....	7
<b>2</b>	<b>Automaatiosuunnittelu.....</b>	<b>8</b>
2.1	Perussuunnittelu .....	9
2.2	Mikä on CAD? .....	11
2.3	Erilaiset kaaviot .....	12
2.3.1	Toimintakaaviot .....	12
2.3.2	Lukituskaavio .....	12
2.3.3	Sekvenssikaaviot.....	12
2.3.4	Säätökaavio.....	13
2.3.5	Mittapisteluettelo.....	13
<b>3</b>	<b>Voimalaitosautomaatio .....</b>	<b>13</b>
3.1	Voimalaitosautomaation kehitys .....	15
3.2	Voimalaitosten automaatiojärjestelmien haasteita .....	15
3.3	Turva-automaatio.....	16
3.4	Hajautettu ohjausjärjestelmä.....	17
<b>4</b>	<b>Tulokset.....</b>	<b>19</b>
4.1	Toiminta- ja sekvenssikaaviot .....	19
4.2	Symbolien luominen ja lisäys .....	22
4.3	CAD-attribuuttien hallinta.....	22
<b>5</b>	<b>Pohdinta.....</b>	<b>22</b>
5.1	Opinnäytetyön luotettavuus .....	23
	<b>Lähteet .....</b>	<b>24</b>
	<b>Liitteet .....</b>	<b>27</b>
	Liite 1. Toiminnallisten lohkojen lyhenneopas.....	27
	Liite 2. Symbolivalikon ja symbolien lisäysohje .....	30
	Liite 3. PID-pohjakuva.....	36
	Liite 4. Step-sekvenssipohja .....	37

## Kuviot

Kuvio 1. Automaatiojärjestelmän suositeltava elinkaarimalli laadun kannalta vaativiin kohteisiin (Tommila, 2001). .....	9
Kuvio 2. Briscad esimerkki pohjapiirustus kuva (Bricsys, n.d). .....	11
Kuvio 3. Lämpökattilan instrumentointi ja prosessiohjaukset voimalaitoksessa (Tek-trol, n.d).14	
Kuvio 4. Hajautetun ohjausjärjestelmän neljä tasoa (Control Station, 2018). .....	18
Kuvio 5. Otsikkotaulu .....	20
Kuvio 6. Attribuuttilohko.....	21
Kuvio 7. Otsikkotaulu ja attribuuttilohkot .....	21

# 1 Johdanto

## 1.1 Opinnäytetyön tausta

Globaali siirtyminen kohti kestäviä ja tehokkaita energiajärjestelmiä edellyttää energiainfrastruktuurien uusimista ja nykyaikaistamista. Erityisesti voimalaitosautomaatiossa perussuunnittelun merkitys korostuu, kun pyritään varmistamaan energiantuotannon tehokkuus, turvallisuus ja luotettavuus.

Hyvin suunniteltu ja toteutettu voimalaitosautomaatio voi merkittävästi parantaa laitoksen suorituskykyä ja tehokkuutta. Kuitenkin on haasteellista ylläpitää ja kehittää tätä infrastruktuuria, kun puuttuvat asianmukaiset mallidokumentaatiot, kuten Fimpec Engineering Oy:n kohdalla. Luomalla mallipohjan voimalaitosautomaation suunnitteluun ja tarjoamalla ohjausta tämä opinnäytetyö auttaa Fimpec Engineering Oy:n hankkeiden tehokkuuden ja huippuosaamisen parantamiseen.

## 1.2 Työn tavoitteet

Tämän opinnäytetyön ensisijainen tavoite oli kehittää perussuunnitteluaineistoa voimalaitosautomaation perussuunnittelua varten. Tähän aineistoon kuuluisi useita mallidokumentteja, kuten:

- Toimintakaaviot
- Lukituskaaviot
- Sekvenssikaaviot
- Säättökaaviot
- Signaalilistat
- Hälytysluettelot
- Mittapisteluettelot
- Hankintamäärittelyt
- Toimintaselostukset
- Näyttökissit

On kuitenkin syytä huomata, että tässä opinnäytetyössä on vasta tehty pieni osa dokumenteista, sen laajuus ja työn laajuus on ollut rajoitettua. Opinnäytetyö ei yksinään tule kattamaan kaikkia edellä mainittuja alueita, vaan tarkoitus on luoda pohja ja perusta tulevalle kehitykselle.

Tässä työssä hyödynnettiin myös aikaisempia Fimpecillä tehtyjä opinnäytetöitä. Tavoitteenani oli laatia toimintakaaviopohjia ja sekvenssikaaviopohjia sekä kehittää kirjasto BricsCAD-ohjelmalle. Tämä kirjasto sisältää suurimman osan tarvittavista piirrosmerkeistä sekä muita työhön liittyviä materiaaleja.

### **1.3 Tutkimuksen haasteet ja merkitys**

Työprosessin alkuvaiheessa kohtasimme monia haasteita. Yksi merkittävimmistä oli suunnittelun abstraktius, jonka vuoksi oli vaikea määritellä konkreettisia tavoitteita. Tämä aiheutti monia pala-vereita ja keskusteluja, joiden aikana pyrimme hahmottamaan ja määrittelemään odotukset ja tavoitteet. Lisähaasteena oli se, että Fimpec Engineering Oy ei ollut aikaisemmin tehnyt voimalaitosten perussuunnittelua, joten aikaisempaa referenssityötä tai mallia ei ollut saatavilla.

Tämän opinnäytetyön tuloksilla on kuitenkin suuri merkitys. Ne tarjoavat Fimpec Engineering Oy:lle keinon tehostaa voimalaitosautomaation perussuunnittelua, vähentää potentiaalisia virheitä ja parantaa automaatioprojektien laatua ja työn aikana on saatu hahmoteltua minkälaista työskentelytapaa, voidaan soveltaa tulevilla projekteilla. Kehitystyössä on otettu huomioon voimalaitosautomaation erityispiirteet ja vaatimukset, mikä mahdollistaa entistä tarkemman ja johdonmukaisemman suunnitteluprosessin.

### **1.4 Fimpec Group Oy**

Fimpec on projektinjohtamiseen ja suunnitteluun erikoistunut yritys, joka tarjoaa asiantuntijakonsultointia teollisuuden ja energiasektorin sekä rakentamisen ja infrastruktuurin suuriin investointiprojekteihin. Yrityksen laaja osaaminen kattaa kaiken, aina prosessisuunnittelusta ja tehdassuunnittelusta erilaisiin automaatio- ja sähkösuunnitteluun liittyviin tehtäviin.

Fimpecin toimipaikat kattavat monia Suomen kaupunkeja kuten Kouvolan, Helsingin, Jyväskylän, Kotkan ja Turun. Kansainvälisesti Fimpec on läsnä useissa maissa, kuten Chilessä, Saksassa, Ruotsissa, Uruguayssa ja Virossa.

Vuonna 2022 yrityksen liikevaihto oli 41 miljoonaa euroa, ja vuonna 2023 Fimpec työllisti yli 450 huippuasiantuntijaa. Fimpecin sydämessä on strategia, joka keskittyy asiakasarvon tuottamiseen, toiminnan laadun varmistamiseen, henkilöstön kehittämiseen, kilpailukyvyyn vahvistamiseen sekä liiketoiminnan laajentamiseen.

Fimpec on ollut mukana tuhansien onnistuneiden projektien toteutuksessa eri puolilla maailmaa ja monenlaisilla toimialoilla. Yrityksen meriittilistalta löytyvät muun muassa Kemin biotuotetehtaan rakentaminen, Stora Enson Oulun tehtaan kartonkikoneinvestointi, Länsimetron jatko projektit sekä Verlan vesivoimalan generaattorin modernisointi. Laadukkuus on Fimpecille kunnia-asia, minkä he ovat vahvistaneet saavuttamalla ISO 9001:2015-laatusertifikaatin (Fimpec Group, 2023).

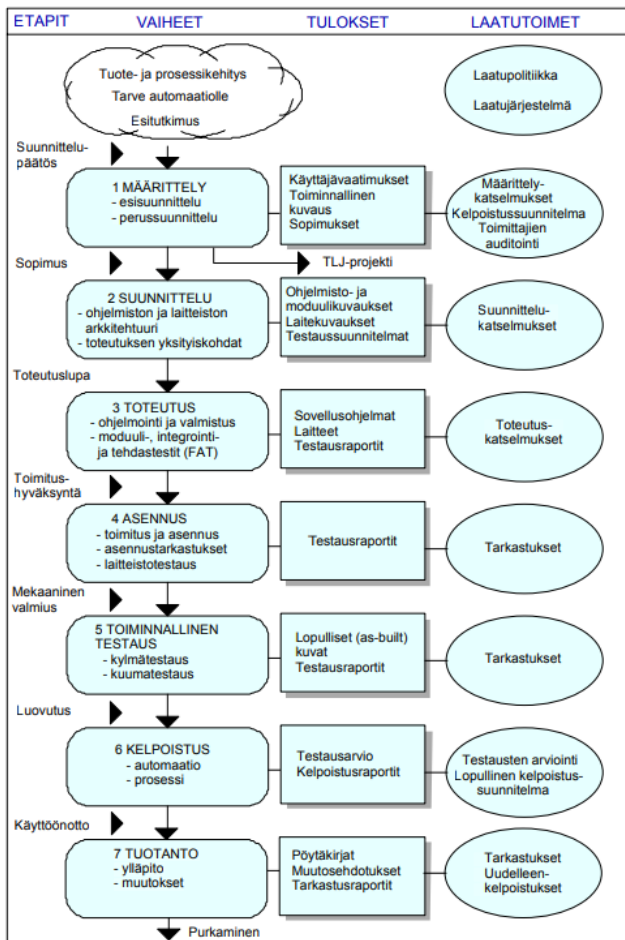
## **2 Automaatiosuunnittelu**

Automaatiosuunnittelu on kriittinen osa jokaista nykyaikaista tuotantolinjaa, siinä suunnitellaan prosessitoimintoihin perustuvia ohjauksia, ohjelmia ja sähköistyksiä ohjelmistojen ja ammattiosaamisen avulla. Tehokas automaation suunnittelu ja projektinhallinta voivat auttaa säästämään kustannuksissa asennusvaiheessa, sekä parantaa prosessin toiminnan tehokkuutta. (Automaatiosuunnittelu n.d.)

Automaatiojärjestelmien suunnittelu hyötyy usein teknologiasta riippumattomasta lähestymistavasta. Toteutuksen yksityiskohdista riippumattomat suunnitelmat ovat yleensä uudelleenkäytettäviä. Esimerkiksi prosessikomponenttien uudistettaessa voidaan hyödyntää vanhoja toimintakuvauksia ja suunnittelun perusteita, vaikka toteutusteknologia olisi muuttunut (Hirvonen, Hukki, Strömman, Tommila 2010, 23). Tämä teknologiasta riippumaton lähestymistapa tarjoaa automaa-

tion suunnittelijoille ja insinööreille joustavuutta ja säästömahdollisuuksia pitkällä aikavälillä. Samalla se varmistaa, että automaatiojärjestelmät ovat sopeutuvia ja kestäviä, mikä on elintärkeää nykypäivän nopeasti muuttuvissa teollisuusympäristöissä.

Automaatiosuunnitteluprosessi voidaan jakaa useisiin vaiheisiin, kuten kuviossa 1 olevassa kuvassa. Tässä työssä keskitytään erityisesti perussuunnitteluun.



Kuvio 1. Automaatiojärjestelmän suositeltava elinkaarimalli laadun kannalta vaativiin kohteisiin (Tommila, 2001).

## 2.1 Perussuunnittelu

Automaatiosuunnittelun ensimmäinen vaihe on esisuunnittelu, jossa tarkastellaan, mitä käyttäjä tarvitsee ja tuotetaan tietoa päätöksenteon tueksi. Siinä myös selvitetään hankkeen mahdollisuu-

det, riskit, turvallisuusnäkökohdat ja arvioidut kustannukset. Perussuunnitteluvaihe jatkaa esisuunnittelun pohjalta eteenpäin (Hirvonen, Hukki, Strömman, Tommila 2010, 20). Perussuunnittelussa tuotetaan perusautomaatioratkaisumallit ja alustavat tiedot, jotka toimivat perustana asennukselle, hankinnalle ja järjestelmän suunnittelulle. Perussuunnitteluvaiheessa keskitytään perusratkaisuihin, kuten:

- Piiriluettelo
- I/O-luettelo, joka voi olla osa piiriluetteloa
- Instrumenttilaite-erittelyt
- Automaattiventtiilierittelyt
- Näyttöliittymäehdotukset, näyttöjen esitystapojen määrittely
- Lukituskaaviot, säätökaaviot ja säätöselosteet tai piirikohtaiset toimintakuvaukset
- Yhdeksi yhdistetyt piirustukset ja luettelot (Menettelyohje automaatiosuunnittelu. 2012. 10).

Perussuunnittelu toimii pohjana myöhemmille automaatioprojektin vaiheille, jotta varmistetaan suunnitteluprosessin yhtenäisyys ja jatkuvuus.

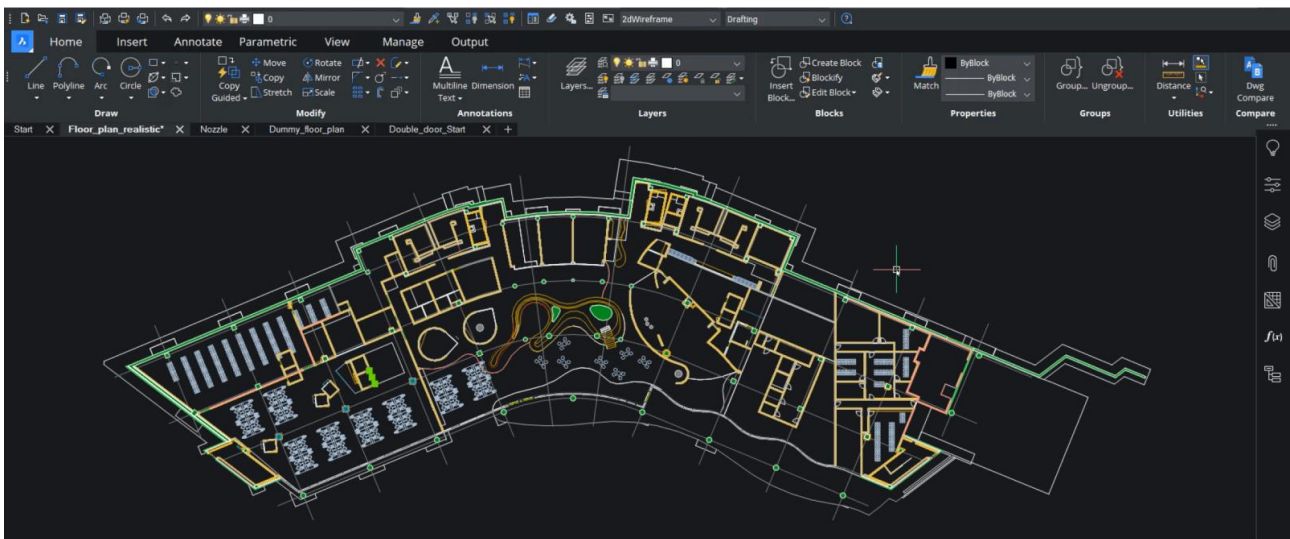
On tärkeää huomata, että automaation suunnittelussa tuotantolaitoksen asiantuntijoista on paljon apua. Heillä on paras ymmärrys siitä, miten tuotantolinja toimii, joten heidän panoksensa on kriittinen suunnitteluvaiheessa. Kuitenkin on syytä huomata, että aivan uutta laitosta suunniteltaessa saattaa olla tilanteita, joissa tuotantolaitoksen omia asiantuntijoita ei ole vielä saatavilla. Tässä tapauksessa suunnittelijat ja automaatioasiantuntijat ulkopuolelta voivat tuoda mukanaan arvokasta osaamista ja kokemusta vastaavista projekteista. Automaatiosuunnitelma toteutetaan yhteistyössä näiden asiantuntijoiden ja tehtaan omistajien tai tulevien käyttäjien kanssa varmistaen, että suunnitelmat vastaavat tarkasti laitoksen tarpeita ja tavoitteita (Automaatiosuunnittelu n.d.).

Perussuunnitteluvaiheessa määritellään tekniset ratkaisut ja investointikustannukset, jotka antavat selkeän kuvan käytetystä tekniikasta, laitoksen käyttöarvoista, ympäristövaikutuksista, käyttötaloudesta kuten energia- ja polttoainesopimuksista, aikataulusta, projektin toteutusmenetelmästä ja rahoituksesta. Näitä tietoja käytetään hyödyksi kassavirta- ja kannattavuusanalyysin laatimiseen, joka auttaa tekemään lopullisen sijoituspäätöksen (Vuorenmaa 2016).

## 2.2 Mikä on CAD?

Computer-Aided Design (CAD) on monipuolinen tietokoneohjelma, jonka avulla suunnittelijat ja insinöörit voivat luoda monimutkaisia kaksiulotteisia (2-D) piirustuksia ja realistisia kolmiulotteisia (3-D) malleja. Sen ensisijainen tavoite on virtaviivaistaa ja optimoida suunnitteluprosessia. CAD-ohjelmisto ei vain lisää tuottavuutta, vaan myös parantaa suunnittelun tarkkuutta ja laatua. Lisäksi se helpottaa saumatonta viestintää kattavan dokumentaation avulla. Lisäksi CAD toimii usein valmistussuunnittelutietokantojen kehittämisen kulmakivenä. Nämä digitaaliset mallit tallennetaan tyypillisesti sähköisiksi tiedostoiksi, jotka toimivat pohjana erilaisille valmistusprosesseille ja varmistavat suunnittelutietojen tehokkaan siirron (Techtarget, n.d).

Kaavioita ja muita automaatiota suunnittelussa toteutetaan usein CAD-ohjelmistoilla, ja tässä projektissa on käytetty BricsCAD-ohjelmistoa. BricsCAD tarjoaa tarvittavat ominaisuudet ja toiminnallisuudet, jotka ovat olennaisia projektimme erityistarpeiden täyttämiseksi. Kuviossa 2 esimerkki kuvakaaviosta, joka havainnollistaa CAD:n roolia



Kuvio 2. Briscad esimerkki pohjapiirustus kuva (Bricsys, n.d).

## **2.3 Erilaiset kaaviot**

### **2.3.1 Toimintakaaviot**

Toimintakaaviot (Process Flow Diagram, PFD) ovat kaavioita, jotka kuvastavat visuaalisesti teollisuuslaitoksen avainkomponenttien, kuten mekaanisten laitteiden, käyttötietojen ja muiden järjestelmien välisiä suhteita. Niitä käytetään yleisesti kemia- ja prosessiteollisuudessa auttamaan prosessin dokumentoinnissa, olemassa olevan prosessin parantamisessa tai uuden mallintamisessa. Kaavioissa esitetään erilaisia symboleja ja merkintöjä kuvaamaan prosessin osia, nämä symbolit saattavat vaihdella eri yhteyksissä. Kaavioiden laatu voi ulottua yksinkertaisista käsin piirretyistä luonnoksista ammattimaisesti CAD-ohjelmistoilla valmistettuihin yksityiskohtaisiin kaavioihin (Process Flow Diagrams n.d).

### **2.3.2 Lukituskaavio**

Lukituskaavio on visuaalinen tapa näyttää keskinäiset kytkennät ja loogiset suhteet järjestelmän lukituskomponenttien välillä. Lukitus tässä yhteydessä viittaa turvallisuusmekanismeihin ja rajoituksiin, jotka on asetettu eri laitteiden toiminnalle tietyissä olosuhteissa tai toimintasekvensseissä. Lukituskaavio kuvaa visuaalisesti, kuinka erilaiset laitteet, kuten kytkimet, anturit, releet ja toimilaitteet, on yhdistetty toisiinsa turvallisen ja kontrolloidun toiminnan varmistamiseksi.

Lukituskaavioissa käytetään tyypillisesti symboleja ja viivoja havainnollistamaan eri elementtien välisiä yhteyksiä ja signaalien kulkua tai olosuhteita. Lukituskaaviota tutkimalla saadaan käsitys järjestelmän lukituslogiikasta, toimintojen järjestyksestä ja turvatoimista. Se toimii arvokkaana työkaluna lukitusjärjestelmien ymmärtämiseen, analysointiin ja vianetsintään (What is an interlock, n.d).

### **2.3.3 Sekvenssikaaviot**

Sekvenssikaaviot osoittavat järjestelmän komponenttien välisiä vuorovaikutuksia, koordinointia ja järjestystä tietyn tehtävän tai toiminnan saavuttamiseksi. Käsitteellisesti "sekvenssi" tarkoittaa tapahtumien sarjaa, jotka tapahtuvat tietyssä järjestyksessä. Sekvenssikaaviot tarjoavat visuaalisen esityksen siitä, miten järjestelmän eri osat tai komponentit kommunikoivat keskenään

ja missä aikajärjestyksessä nämä tapahtuvat prosessissa. Niitä käytetään yleisesti ohjelmistokehityksessä auttamaan monimutkaisten järjestelmien ymmärtämisessä, ohjelmistoarkkitehtuurin suunnittelussa ja ohjelmistoammattilaisten välisen viestinnän helpottamiseksi (Sequence Diagram Tutorial – Complete Guide with Examples, 2022).

#### **2.3.4 Säättökaavio**

Säättökaaviolla (Control loop diagram) tarkoitetaan kaaviota, joka kuvaa prosessin automaattista ohjausta. Kaavio sisältää seuraavat elementit: mittausanturit, ohjain (esimerkiksi PLC), ohjausventtiilit, katkaisijat, kytkimet ja moottorit. Mittausanturit mittaavat prosessin tilaa ja lähettävät tiedot ohjaimeen. Ohjain käsittelee näitä tietoja ja säättää prosessia lähettämällä ohjaussignaaleja toimilaitteille, kuten venttiileille ja moottoreille. Jos prosessissa ilmenee häiriöitä, anturit havaitsevat muutokset ja ohjain reagoi niihin säätämällä toimilaitteita tarpeen mukaan. (National Institute of Standards and Technology, n.d).

#### **2.3.5 Mittapisteluettelo**

Mittapisteluettelo on luettelo sijainneista teknisessä järjestelmässä tai laitoksessa, jossa tarkkailaan ja mitataan tiettyjä olosuhteita tai parametreja. Näihin olosuhteisiin voi sisältyä tekijöitä, kuten lämpötila, paine, pyörimisnopeus tai muut asiaankuuluvat tietopisteet.

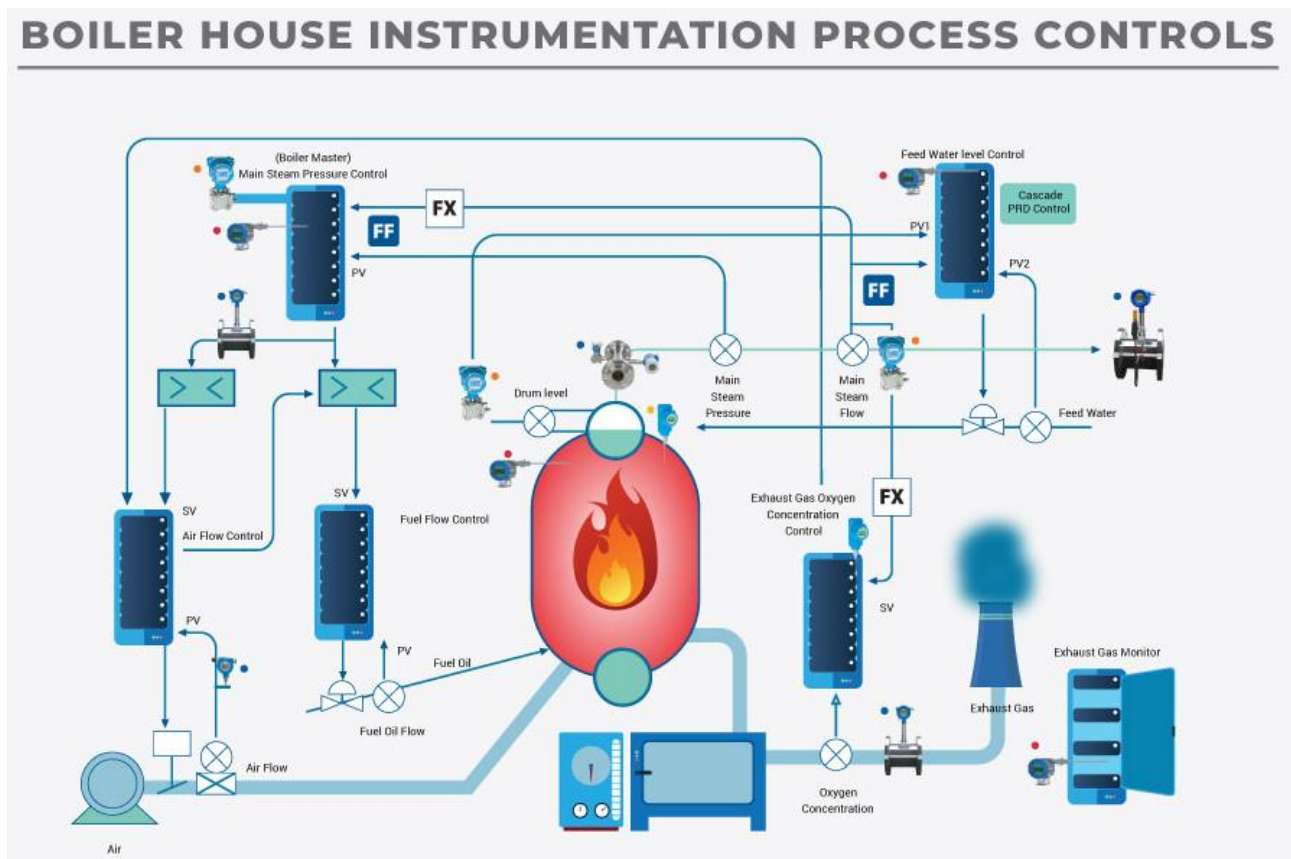
Mittauspisteluettelo toimii viitteenä kaikille mittauspaikoille, mikä helpottaa huoltohenkilöstön ja käyttäjien olosuhteiden seuranta ja hallintaa tilan eri osissa. Se varmistaa, että olennaisia parametreja seurataan, tallennetaan ja ylläpidetään halutulla tasolla, mikä edistää laitoksen yleistä toimintavarmuutta ja turvallisuutta (Measuring point, n.d).

### **3 Voimalaitosautomaatio**

Voimalaitos on teollinen tehdas, joka tuottaa sähköä primäärienergiasta, joka on peräisin esimerkiksi polttoaineista tai muista luonnonvaroista (Primary Energy, n.d). Yleensä näissä laitoksissa on yksi tai useampi "generaattori", laite, joka muuttaa mekaanisen energian sähköenergiaksi. Tämä sähkö sitten menee sähköverkkoon ja huolehtii siitä, että yhteiskunnan sähkötarpeet täyttyvät (Power Plant, n.d).

Lämpökattila toimii siten, että se polttaa polttoainetta, kuten hiiltä tai maakaasua, lämmittäen vettä kattilassa. Tämä kuumennettu vesi muuttuu höyryksi, joka kiertää putkistoissa ja siirtyy höyryturbiiniin. Höyryturbiini pyörittää generaattoria, joka tuottaa sähköä mekaanisen energian avulla (what is boiler, nd). Lämpökattilan instrumentointi ja prosessiohjaus varmistavat, että prosessi toimii tehokkaasti ja turvallisesti, ja ne ovat keskeisiä voimalaitoksen toiminnan hallinnassa.

Voimalaitoksen lämpökattilan instrumentoinnin ja prosessiohjauksen visuaalisen esityksen saamiseksi kuviossa 3 on esitetty eri prosessien ohjaukseen ja valvontaan liittyvät keskeiset komponentit.



Kuvio 3. Lämpökattilan instrumentointi ja prosessiohjukset voimalaitoksessa (Tek-trol, n.d).

Tuotantolaitokset ovat monimutkaisia järjestelmiä, jotka vaativat jatkuvaa seuranta ja hallintaa. Tuotantolaitoksen ohjausjärjestelmän ensisijaisena tehtävänä on optimoida prosessi siten, että asetetut tavoitteet saavutetaan parhaalla mahdollisella tavalla. Käytön aikana tuotantolaitoksen

komponentit altistuvat rasitukselle, joka johtaa kulumiseen ja huolto- ja vaihtotarpeeseen tuotannon ylläpitämiseksi (Joronen 2007, 29).

### **3.1 Voimalaitosautomaation kehitys**

Voimalaitosten ohjausjärjestelmät ovat kehittyneet yksinkertaisista PLC-pohjaisista järjestelmistä monimutkaisempiin DCS-järjestelmiin. Nämä järjestelmät keräävät dataa voimalaitoksille strategisesti sijoitetuista antureista. Valvomohenkilöstö voi seurata laitteiden tehokkuutta, energiankulutusta ja päästöjä reaaliajassa. Reaaliaikainen seuranta mahdollistaa toiminnan optimoinnin tehokkuuden maksimoimiseksi ja ympäristömääräysten noudattamisen. Mikäli ongelmia havaitaan, järjestelmät pystyvät lähettämään hälytyksiä nopeasti, pienentäen kalliiden vikojen tai sammutustien riskiä. (Tribulant 2023).

Automaatiojärjestelmien rooli voimalaitostoiminnassa on laajentunut ohjausprosessien ulkopuolelle. Tekniikan kehityksen ansiosta, automaatiojärjestelmien odotetaan tarjoavan reaaliaikaista tietoa kaikille laitoksen toimintaan osallistuville, mukaan lukien kunnossapito, omistajat ja asiantuntijat. (Leimbach 2009).

Uusiutuvan energian infrastruktuurissa, kuten voimalaitoksissa, laitteiden ylläpito on elintärkeää pitkäaikaiselle toiminnalle. Esimerkiksi SPIC, vesivoima-alan johtava toimija, on ottanut käyttöön innovatiivisia työkaluja toimintojensa modernisoimiseksi Kiinassa "Hydropower Smart Remote O&M System" -järjestelmän avulla. Tämä järjestelmä koostuu useista patentoiduista innovaatioista ja ohjelmistoratkaisuista, ja sitä käytetään aktiivisesti Wuqiangxin vesivoimalaitoksessa. Robotit ja dronet keräävät tietoja, jotka käsitellään etäyhteydellä, ja järjestelmän tekoäly pystyy tarjoamaan ylläpitoehdotuksia ja optimoimaan toimintastrategioita.

### **3.2 Voimalaitosten automaatiojärjestelmien haasteita**

Voimalaitosten rakentaminen ja automaatio perustuu usein testattuihin perinteisiin sovelluksiin, eikä uusia järjestelmiä ole haluttu kokeilla. Esimerkiksi kenttäväyläratkaisujen käyttöönotto on ollut voimalaitoksissa huomattavasti hitaampaa verrattuna muihin prosessiteollisuuteen, erityisesti uudempiin teollisuusvoimalaitoksiin, joissa taajuusmuuttajat ja/tai moottoriohjaimet on kytketty

järjestelmään Profibus DP -väylän kautta. Voimalaitosautomaatio vaatii suhteellisen nopean prosessin, jolla voidaan muuttaa tehoa vastaamaan kulutustarvetta nopeasti. Lisäksi voimalaitoksen käynnistys- ja sammutusaikojen tulee olla nopeita. Voimalaitosprosessi sisältää useita suorien ja epäsuorien ohjausten välisiä vuorovaikutuksia, jotka muodostavat monimutkaisen järjestelmän. Jotkut voimalaitoksissa käytetyt kiinteät polttoaineet tuottavat haasteita hallinnassa.

Edellä mainittujen lisäksi voimalaitosten automaatioon vaikuttavat muut tekijät, kuten järjestelmältä vaadittava vikasietoisuus, prosessinohjaus minimaalisella henkilömäärällä, etäohjaus, sekä suuri määrä erilaisia käyttötapoja erityisesti sähköä ja kaukolämpöä tuottavissa sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitoksissa. Osa haasteista koskee voimalaitoksia, kun taas toiset ovat tyypillisiä kaikille automaatiota käyttäville prosesseille (Joronen 2007, 184–185).

Voimalaitoksissa korostuu redundanssi, joka kattaa sekä prosessit että automaation. Polttoainelinjat moninkertaistetaan, syöttövesipumput tuplataan ja automaatiojärjestelmissä käytetään redundanssia prosessiasemissa, mittauksissa ja toimilaitteissa. Redundantit järjestelmät toimivat varajärjestelminä, jäljitellen pääjärjestelmää tai ottamalla ohjat virhetilanteessa. Näin varmistetaan jatkuvuus ja luotettavuus häiriöissä. Voimalaitosten yhteydessä ne luovat turvaverkkoja suojaen vikojen varalta ja ylläpitäen toimintaa poikkeuksellisissa tilanteissa (Redundant Systems 2022).

### **3.3 Turva-automaatio**

Voimalaitosten automaationjärjestelmien haasteet johtuvat voimantuotannon luotettavuusvaatimuksista, tarvittavasta korkeasta automaatioasteesta sekä kyvystä hallita prosessien häiriöitä ja vaaroja. Vaikka voimalaitokset käyttävät samanlaisia automaatiojärjestelmiä kuin muillakin toimialoilla, toteutukseen vaikuttavat voimakkaasti voimalaitosvaatimukset, jotka ovat perinteisesti rajoittaneet joidenkin järjestelmien käyttöä korkeiden vasteaikavaatimusten vuoksi. Teollisuusvoimalaitoksissa käytetään tyypillisesti prosessiteollisuuden kaltaisia automaatoratkaisuja. (Joronen 2007, 184–185).

Nykyään voimalaitokset ovat yhä enemmän yhteydessä toisiinsa ja riippuvaisempia digitaalisista teknologioista, mikä lisää kyberhyökkäysten vaaraa. Kehittyneet valvonta- ja puolustusmekanismit, joita automaatio mahdollistaa, kykenevät havaitsemaan ja torjumaan uhkia reaaliajassa. Lisäksi

automatisoidut järjestelmät voivat murtuessa eristää voimalaitoksen vaikutusalueet, minimoiden mahdolliset vahingot ja varmistaa olennaisten järjestelmien jatkuvan toiminnan (Tribulant 2023).

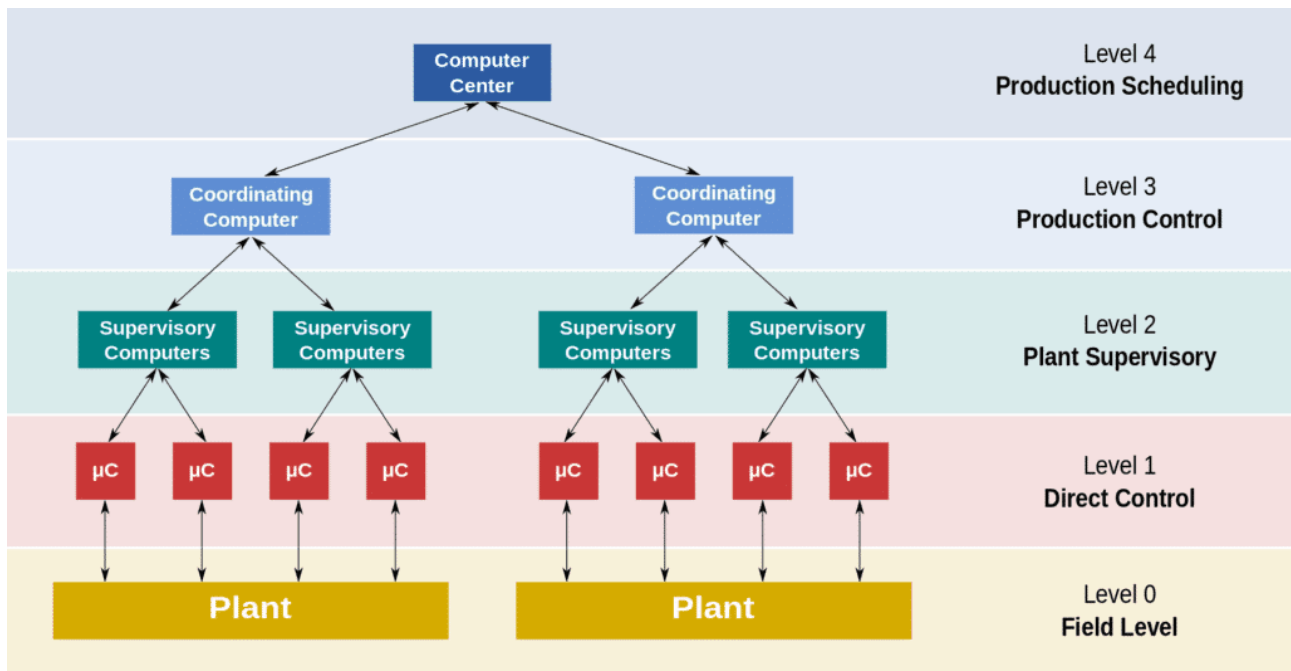
Turva-automaation tavoitteena on varmistaa turvallinen toiminta ja vähentää onnettomuuksien riskiä. Säädökset, kuten Kemikaaliturvallisuuslaki, Painelaitelaki ja Valtioneuvoston asetus vaarallisten kemikaalien teollisen käsittelyn ja varastoinnin turvallisuusvaatimuksista, asettavat velvoitteita turvallisuuden varmistamiseksi (Kemikaaliturvallisuuslaki 390/2005; Painelaitelaki 1144/2016; Valtioneuvoston asetus 856/2012). Turva-automaation suunnittelussa on otettava huomioon riippumattomuus käyttöautomaatiosta, turvatoimintojen luotettavuus sekä järjestelmän käytettävissä olo myös onnettomuustilanteissa (Valtioneuvoston asetus 856/2012) (Tukes 2021).

Toiminnanharjoittaja voi osoittaa säädösten noudattamisen turva-automaation osalta noudattamalla standardia IEC 61511-1, joka määrittelee vaatimukset turva-automaation elinkaaren eri vaiheisiin (IEC 61511-1). Tämän avulla turva-automaatioon liittyviä toimenpiteitä voidaan käsitellä järjestelmällisesti ja varmistaa suunnitelmallinen ja määräystenmukainen toiminta (Tukes 2021).

### **3.4 Hajautettu ohjausjärjestelmä**

Hajautettu ohjausjärjestelmä (Distributed Control System, DCS) on automaatio-ohjausjärjestelmä, jota käytetään teollisuuslaitoksissa tai valvonta-alueilla. Toisin kuin keskitetyssä ohjausjärjestelmässä, jossa yksi ohjain hallitsee ohjaustoimintoja, DCS käyttää useita erillisiä ohjaimia, jotka on jaettu koko laitokseen tai ohjausalueelle. Nämä ohjaimet on kytketty nopean tietoliikenneverkon kautta toisiinsa. DCS:ssä tiedonkeruu- ja ohjaustoiminnot suorittavat mikroprosessoripohjaiset ohjaimet, jotka sijaitsevat strategisesti lähellä ohjaus- tai tiedonkeruualueita. Nämä ohjaimet kommunikoivat keskenään ja muiden laitteiden, kuten valvontapäätteiden, käyttöpäätteiden ja tietokantojen kanssa. Hajautetut ohjaimet on kytketty kenttälaitteisiin, kuten antureihin ja toimilaitteisiin. Ne keräävät tietoja näistä laitteista ja jakavat sen muiden hierarkkisten ohjainten kanssa erilaisten kenttäväylien tai tietoliikenneprotokollien, kuten Profibus, HART, arcnet, Modbus ja muiden, kautta (What is Distributed Control System (DCS)? n.d).

Kuviossa 4 esitellään DCS-järjestelmän neljä eri tasoa: field, direct control, plant supervisory ja production control. Nämä tasot kuvaavat järjestelmän hierarkkista rakennetta ja toimintojen jakautumista eri tasoille.



Kuvio 4. Hajautetun ohjausjärjestelmän neljä tasoa (Control Station, 2018).

DCS-järjestelmät soveltuvat erityisen hyvin suuriin jalostus- tai tuotantolaitoksiin, jotka vaativat useiden jatkuvien ohjaussilmukoiden valvontaa ja ohjausta. Eräs merkittävä etu hajautettujen ohjainten käytössä on, että vaikka osa DCS:stä epäonnistuisi, laitos voi jatkaa toimintaansa, sillä muut osat ovat edelleen toiminnassa. Tämä lisää järjestelmän luotettavuutta ja vähentää mahdollisten vikojen tai häiriöiden vaikutuksia. DCS-järjestelmien avulla voidaan toteuttaa valvontatehtäviä ja tehokkaasti hallita laitoksen prosesseja. Niiden avulla voidaan kerätä reaaliaikaista tietoa eri laitteista ja suorittaa tarvittavat säätötoimenpiteet optimaalisen toiminnan varmistamiseksi (What is Distributed Control System (DCS)? n.d).

## 4 Tulokset

Hankkeen ensisijaisena tavoitteena oli suunnitella alustava dokumentaatio, joka tukee voimalaitosautomaatiojärjestelmien perussuunnittelua. Tämä dokumentaatio toimisi perustana koko projektille, missä tehtäisiin kaikki mallidokumentit ja kattava symbolikirjasto voimalaitosautomaation suunnitteluun tueksi.

### 4.1 Toiminta- ja sekvenssikaaviot

Tämä projekti sisälsi toiminta- ja sekvenssikaavioiden luomisen. Näissä pohjakuissa kuului olla otsikkotaulu ja signaaleille rivejä, mihin voidaan kertoa signaalin tiedot. Pohjat sisältävät olennaiset komponentit, kuten PID-säätimen, mittauksen, venttiilin ja moottorin. Sekvenssipohjat sisältävät ohjaustoimilaitteen, säätimen, ryhmäohjauksen, moottorin sekä sekvenssin aloitus- ja askelpohjan. Näillä valmiilla pohjilla on helppo aloittaa kaavioiden työstäminen. Pohjiin on jätetty tilaa logikalle, mitä voidaan suunnitteluvaiheessa rakentaa. Liitteenä 3 PID-pohjakuva ja Liitteenä 4 Askel-sekvenssipohjakuva.

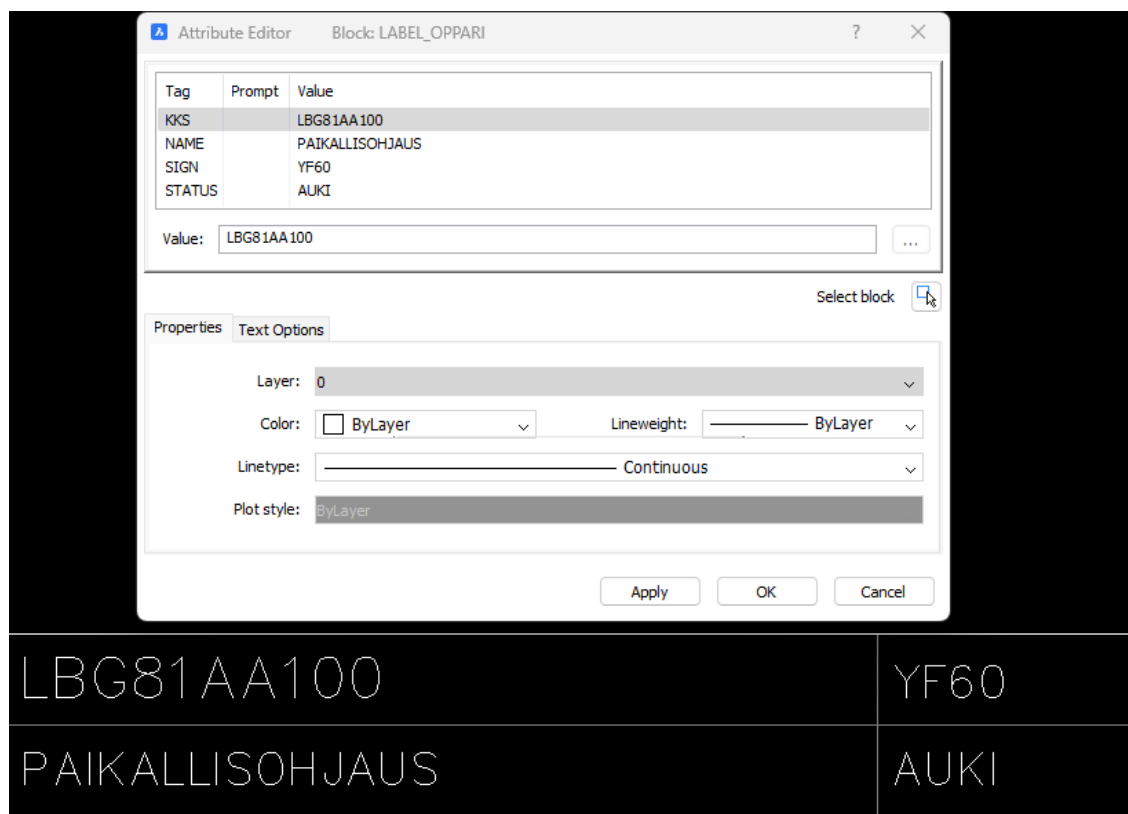
Otsikkotaulu on keskeisessä asemassa pohjakuissa, toimien raamina koko kuvalle. Otsikkotaulun alalaidassa on yleensä taulukko tai ruutu, joka sisältää keskeiset tiedot piirustuksesta. Sen on oltava erillinen, jotta se voidaan tarpeen mukaan vaihtaa helposti asiakkaan omaan otsikkotauluun. Otsikkotaulun sisälle sijoitetaan kaikki muut projektiin liittyvät elementit, kuten attribuuttilohkot.

Kuviossa 5 on esimerkki otsikkotaulusta, johon ei ole vielä lisätty mitään muuta.

REVISION	REV1 DATE	REV1 NAME					KKS ID	Drawing number	
REVISION	REV2 DATE	REV2 NAME					KKS_ID	DRAWING_NUMBER	
REVISION	REV3 DATE	REV3 NAME							
		DRAWN DATE	DRAWN	Customer	Department	Long tag	Name	Page 1 / 1	
		CHECK DATE	CHECK	CUST_1	DEPARTMENT	TAG	NAME		
		APPR DATE	APPR						

Kuvio 5. Otsikkotaulu

Otsikkotaulun sisällä on attribuutilohkoja, jotka on suunniteltu signaalien esittämiseen. Attribuutilohkossa on neljä riviä eri tiedolle. Kuviossa 6 on avattu yksi attribuutilohko, jossa näkyvät eri rivit. Näitä lohkoja on sijoitettu useita päällekkäin, jotta on mahdollista esittää useita eri signaaleita. Otsikkotaulun vasemmalla puolella esitellään tulot, toisin sanoen input-signaalit, kun taas oikealla puolella kuvataan lähdöt eli output-signaalit. Attribuutilohkot ovat tyypillisiä CAD-järjestelmissä ja tarjoavat selkeän sekä yhdenmukaisen tavan esittää erilaisia tietoja piirustuksissa. Otsikkotaulusta ja sen sisäisistä attribuutilohkoista saa paremman käsityksen kuviossa 7.



### Kuvio 6. Attribuuttilohko

[illegible]

Kuvio 7. Otsikkotaulu ja attribuuttilohkot

Lisäksi projektin aikana laadittiin yksityiskohtainen luettelo, joka selventää komponenttien lyhenteiden merkitykset. Tämä luettelo tekee työstä entistä nopeampaa auttamalla dokumentaation lukijaa seuraamaan ja ymmärtämään projektin eri osia. Tämä luettelo löytyy liitteestä 1.

## 4.2 Symbolien luominen ja lisäys

Tein myös yleisimmät symbolit, joita logiikkaa tehdessä voi tarvita. Tämä ei ollut ihan niin yksinkertaista tehdä BricsCadiin kuin esimerkiksi AutoCAD ohjelmistolla, joka on hieman kehittyneempi tässä suhteessa. Tämän takia tein ohjeet, joissa opastetaan käyttäjiä symbolivalikon luomiseen BricsCADissa ja lisäsymbolien lisäämisessä. Tämän ohjeen avulla symbolien lisäys sujuu nopeasti, mikä tehostaa projektin edistymistä. Ohje ja tehty symbolivalikko löytyy liitteestä 2.

## 4.3 CAD-attribuuttien hallinta

Tehokas CAD-attribuuttien hallinta on keskeisessä roolissa projektin edetessä, koska se mahdollistaa pohjien automaattisen täyttämisen tietokannoista. Projektin alkuvaiheessa kuitenkin pohjien tiedot ja logiikkaa täytetään manuaalisesti. Kohtasin ongelman, kun yritin liittää soluja Excelistä Briscadin eri lohkoihin: tiedot liittyivät aina lohkon ensimmäiseen attribuuttiin, vaikka kopioin useita eri soluja Excelistä. Tavoitteena oli saada tiedot liittymään lohkon useisiin attribuutteihin, joten täytyi pyytää Fimpecin Briscad-asiantuntijan apua. Hän kehitti Attrs-komennon, jonka avulla nyt pystymme kopioida soluja Excelistä ja liittämään ne sujuvasti Briscadin lohkoihin.

Projektin myöhemmässä vaiheessa pohjakuvia voidaan päivittää suoraan tietokannasta. Esimerkiksi Fimpecin käytössä olevaa DXF-convert -ohjelmaa käyttämällä voidaan Microsoft Access -tietokannasta peräisin oleva data integroida ja sovittaa olemassa oleviin pohjakuviin niitä hieman muokkaamalla. Lisätietoja tästä löytyy Fimpecillä tehdystä opinnäytetyöstä (Rauhala, P. 2018).

## 5 Pohdinta

Fimpecillä aikaisemmin tehtyjen opinnäytetöiden hyödyntäminen oli arvokasta minulle, sillä se tarjosi minulle hyvän pohjan työskentelyyni. On tärkeää, että vanhoja opinnäytetöitä pystyttäisiin

hyödyntämään, jotta ne eivät jää käyttämättömäksi. Toimintakaaviopohjien ja sekvenssikaaviopohjien laatiminen sekä BricsCAD-ohjelmalle tarkoitetun kirjaston kehittäminen olivat tärkeimpiä konkreettisia tavoitteitani, mutta näiden tavoitteiden määrittelyyn kului aikaa.

Projektin alkaessa törmäsin useisiin haasteisiin. Eräs keskeinen haaste oli suunnittelun teoreettinen luonne, joka vaikeutti tavoitteiden selkeää määrittämistä. Oli tarpeellista käydä useita neuvotteluja ja keskustelutilaisuuksia, jotta voisimme määrittää selkeät odotukset. Lisäksi, koska fimpeillä ei ole aikaisemmin tehty voimalaitosautomaatio suunnittelua niin esimerkkimallien löytäminen oli vaikeata. Lisäksi ajantasaisen tiedon löytäminen voimalaitosautomaation suunnittelusta koitui yllättävän haastavaksi, mikä toi lisähaasteita työhöni.

Työprosessin aikana kohtasin myös muutoksia siinä, mitä minulta odotettiin. Tämä vaati joustavuutta, uudelleenarviointia ja kykyä mukautua muuttuviin vaatimuksiin ja odotuksiin.

## **5.1 Opinnäytetyön luotettavuus**

Tämän opinnäytetyön tietoperustan luotettavuuden takaamiseksi olen hyödyntänyt sekä kotimaisia että ulkomaisia lähteitä. Erityisesti olen painottanut lähteiden laadukkuutta ja niiden arvostettua asemaa alalla. Olen valinnut tarkkaan, mistä lähteistä tiedon hankin ja olen pyrkinyt käyttämään luotettavia kirjallisia sekä digitaalisia lähteitä. Jokainen lähde oli se sitten painettu tai verkosta saatava, on huolellisesti arvioitu sen relevanssin ja luotettavuuden näkökulmasta.

## Lähteet

Bricsys. N.d. Bricscad-lite. (kuva). Haettu 18.9.2023 [2D CAD Software for Drawing & Drafting - Free 30-day Trial \(bricsys.com\)](https://bricsys.com/2D-CAD-Software-for-Drawing-Drafting-Free-30-day-Trial)

Control Station. 2018. What is a Distributed Control System? (Kuva). Haettu 16.6.2023, <https://controlstation.com/blog/what-is-a-distributed-control-system/>

Creately. 2022. Sequence Diagram Tutorial – Complete Guide with Examples. viitattu 19.5.2023. [https://creately.com/guides/sequence-diagram-tutorial/?utm\\_source=pinterest&utm\\_medium=social&utm\\_campaign=pintutorial](https://creately.com/guides/sequence-diagram-tutorial/?utm_source=pinterest&utm_medium=social&utm_campaign=pintutorial)

Dexon Systems. 2022. Redundant Systems. Viitattu 8.8.2023, <https://dexonsystems.com/blog/redundant-systems>

Electrical technology (DCS)? N.d. What is Distributed Control System. Viitattu 19.5.2023 <https://www.electricaltechnology.org/2016/08/distributed-control-system-dcs.html>

Energy Education. N.d. Power Plant. Viitattu 8.8.2023, [https://energyeducation.ca/encyclopedia/Power\\_plant](https://energyeducation.ca/encyclopedia/Power_plant)

Energy Education. N.d. Primary Energy. Viitattu 8.8.2023, [https://energyeducation.ca/encyclopedia/Primary\\_energy](https://energyeducation.ca/encyclopedia/Primary_energy)

Fimpec Engineering Oy. 2012. Menettelyohje automaatio suunnittelu. Fimpec Engineering Oy:n automaatio suunnittelun opas Fimpecin Intrassa.

Fimpec Group. 2023. Fimpec-Group\_yritysesittely. PowerPoint-esitys. 27.6.2023 Fimpecin intranet. Viitattu 12.9.2023

Hirvonen J, Hukki K, Strömman M, Tommila T. 2010. Automaatiosuunnittelun prosessimalli. Viitattu 4.5.2023. [https://www.automaatioseura.fi/site/assets/files/1426/automaatiosuunnittelun\\_prosessimalli.pdf](https://www.automaatioseura.fi/site/assets/files/1426/automaatiosuunnittelun_prosessimalli.pdf)

Joronen T, Kovács J, Majanne Y. 2007. Voimalaitosautomaatio. Perustietoa voimalaitosten toiminnasta.

Leimbach, R. 2009. Power Plant Automation: Where We Are and Where We're Headed. Viitattu 4.5.2023. <https://www.powermag.com/power-plant-automation-where-we-are-and-where-were-headed/>

Lucidchart. N.d. Process Flow Diagrams. Viitattu 19.5.2023. <https://www.lucidchart.com/pages/process-flow-diagrams>

National Institute of Standards and Technology. N.d. Control loop. Viitattu 16.6.2023, [https://csrc.nist.gov/glossary/term/control\\_loop#:~:text=Definition\(s\)%3A,the%20controller%20from%20the%20sensors.](https://csrc.nist.gov/glossary/term/control_loop#:~:text=Definition(s)%3A,the%20controller%20from%20the%20sensors.)

Rauhala, P. 2018. Automaatiosuunnittelun dokumenttipohjien luonti tietokantapohjaista tuottamista varten. Opinnäytetyö. AMK. Jyväskylän ammattikorkeakoulu, sähkö ja automaatiotekniikka. <https://www.theseus.fi/handle/10024/158222>

Realpars? N.d. What is an Interlock. Viitattu 19.5.2023. <https://realpars.com/interlock/>

Sap help. N.d. Measuring point. Viitattu 12.9.2023, [https://help.sap.com/docs/SAP\\_S4HANA\\_ON-PREMISE/e72f747389b340229f7fa343975bfa57/606cb65334e6b54ce10000000a174cb4.html?locale=en-US&version=2022.001](https://help.sap.com/docs/SAP_S4HANA_ON-PREMISE/e72f747389b340229f7fa343975bfa57/606cb65334e6b54ce10000000a174cb4.html?locale=en-US&version=2022.001)

Spic. 2020. Chinese operators are using AI to inspect their power plants. Viitattu 21.9.2023 [Chinese operators are using AI to inspect their power plants \(hydropower.org\)](https://www.hydropower.org/chinese-operators-are-using-ai-to-inspect-their-power-plants)

Syste. N.d. Automaatiosuunnittelu. Yleistä tietoa automaatiosuunnittelusta. Viitattu 4.5.2023. <https://syste.fi/automaatiosuunnittelu>

Techtarget. N.d. CAD (computer-aided design). Viitattu 18.9.2023 <https://www.techtarget.com/whatis/definition/CAD-computer-aided-design>

Tek-trol. N.d. Boiler house instrumentation process controls. (Kuva). Haettu 12.9.2023, <https://tek-trol.com/markets/boiler-house-instrumentation-and-controls/>

Thermodyne Boilers. N.d. What is Boiler. <https://www.thermodyneboilers.com/what-is-boiler/>

Tommila, T. (Toim.) 2001. Laatu automaatiossa – Parhaat käytännöt. Automaatioseura. Julkaistu verkossa 2012. <https://www.automaatioseura.fi/site/assets/files/1426/laatuautomaatiossa.pdf>

Tribulant. 2023. What Are the Advantages of Implementing Automation in Power Plants? Viitattu 8.8.2023, <https://tribulant.com/blog/business/what-are-the-advantages-of-implementing-automation-in-power-plants/>

Tukes. 2021. Turva-automaatio prosessiteollisuudessa. Viitattu 16.6.2023. <https://tukes.fi/turva-automaatio-prosessiteollisuudessa#turva-automaatio-osana-onnettomuuksien-ehkaisy>

Vuorenmaa A. 2016. Miten hoitaa laitoshankkeet luotettavasti maaliin asti? – Askelmerkit sujuvaan toteutukseen. Viitattu 4.5.2023. <https://blog.elomatic.com/fi/miten-hoitaa-laitoshankkeet-luotettavasti-maaliin-asti-askelmerkit-sujuvaan-toteutukseen/>

## **Liitteet**

### **Liite 1. Toiminnallisten lohkojen lyhenneopas (salassa pidettävä)**





**Liite 2. Symbolivalikon ja symbolien lisäysohje (salassa pidettävä)**











**Liite 3. PID-pohjakuva (salassa pidettävä)**

**Liite 4. Step-sekvenssipohja (salassa pidettävä)**