

Otto Ceder

SÄHKÖ- JA LOGIIKKAKESKUSTEN SUUNNITTELU KAHDELLE  
ERI KONEELLE JA NIIDEN YHTEISILLE LAITTEILLE

Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutusohjelma  
2020

# SÄHKÖ- JA LOGIIKKAKESKUSTEN SUUNNITTELU KAHDELLE ERI KONEELLE JA NIIDEN YHTEISILLE LAITTEILLE

Ceder, Otto  
Satakunnan ammattikorkeakoulu  
Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutusohjelma  
Helmikuu 2020  
Sivumäärä: 39  
Liitteitä: 0

Asiasanat: teollisuusautomaatio, ohjelmoitavat logiikat, sähkösuunnittelu, taajuusmuuttajat

---

Opinnäytetyössä suunniteltiin kolme sähkö- ja logiikkakeskusta, joista kaksi tulivat samanlaisille koneille ja yksi tuli kyseisten koneiden yhteisille laitteille. Suunnittelun lisäksi tutkittiin releohjauksen muutosta logiikkaohjaukseksi ja taajuusmuuttajan momenttiohjetta kelauskäytöissä.

Sähkö- ja logiikkakeskukset suunniteltiin, koska tilaajayritys oli suunnitellut hankkivansa uuden vastaavanlaisen koneen, joka heillä oli ennestään. Koska uuteen koneeseen suunniteltiin sähkö- ja logiikkakeskus, päivitettiin samalla vanhan koneen sähkökeskus. Opinnäytetyön toimeksiantajan puolesta haluttiin selvittää ohjaustapojen eroja ja sopivuutta projektin koneiden ohjaukseen sekä millaista momenttiohjetta projektin taajuusmuuttajissa kannattaa käyttää.

Sähkösuunnittelu toteutettiin CADs electric -suunnitteluohjelmalla ja projektin komponenteiksi pyrittiin valitsemaan toimeksiantajalle ennestään tuttuja laitteita. Tutkittaessa tietoa etsittiin eri lähteistä sekä työstiin tutkimusta omalla ajattelulla.

Sähkösuunnittelun tuloksena syntyivät toisiinsa yhteydessä olevat sähkö- ja logiikkakeskukset, jotka ovat asiakkaan tarpeiden mukaiset. Toimivien sähkö- ja logiikkakeskusten ansiosta tilaajayritys pystyy jatkamaan kyseistä liiketoimintaansa entistä tuottavammin. Tutkimuksissa todettiin logiikkaohjauksen olevan yleisesti parempi vaihtoehto projektissa ja projektin taajuusmuuttajien momenttiohjeen muuttuvan tilanteen sekä kelaimen mukaan.

# DESIGN OF SWITCHBOARDS WITH PROGRAMMABLE LOGIC FOR TWO DIFFERENT MACHINES AND SHARED DEVICES

Ceder, Otto

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Electrical and Automation Engineering

February 2020

Number of pages: 39

Appendices: 0

Keywords: industrial automation, programmable logics, electrical designing, frequency converters

---

The purpose of this thesis was to design three switchboards with programmable logic control (PLC) which two of those was designed for similar machines and one was designed for shared devices. In addition to electrical designing the change of relay logic to programmable logic and torque reference of frequency converter in winder was studied.

Switchboards with PLC was designed because the company account was planned to purchase another similar machinery as they had. Because switchboard with PLC was planned for the new machinery, the old switchboard was also updated. The employer also wanted to study differences and suitability between control actions and what sort of torque reference should be used in frequency converters.

Electrical designing was done by using CADS electric engineering software and the aim was to choose appliances which were used in previous projects of the employer. Information was sought from different sources and processed by logical reflection.

As a result of electrical designing was the communicating switchboards with PLC which meet the needs of client. Well-functioning switchboards with PLC help the client to increase productivity. This thesis showed that in this project PLC is superior to relay logic and torque references of the frequency converters changes according to situation and winder.

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	6
2	PROJEKTIN OSAPUOLET .....	8
2.1	Toimittajayritys Provendora Oy .....	8
2.2	Tilajayritys Tupler Oy .....	8
3	RELEOHJAUksesta LOGIkkAOHJAUS .....	9
3.1	Nykyinen releohjausjärjestelmä .....	9
3.2	Muutos logiikkajärjestelmäksi .....	10
4	MOMENTTIOHJE KELAUSKÄYtÖISSÄ .....	12
4.1	Kelainsovellukset .....	12
4.2	Momenttiohje .....	12
5	TUPLER LINJA 8 SÄHKÖ- JA LOGIkkAKESKUKSEN SUUNNITTELU... 14	
5.1	Pääkaavioiden esisuunnittelu .....	14
5.1.1	Pääkytkin, virtakiskosto ja suojalaitteet .....	14
5.1.2	Sähkölaitteet .....	16
5.1.3	Pääkaavioiden esisuunnitelman jälkeiset muutokset .....	17
5.2	Taajuusmuuttajat .....	17
5.2.1	Taajuusmuuttajien esisuunnitelma .....	18
5.2.2	Taajuusmuuttajien esisuunnitelman muutokset .....	19
5.3	Logiikka .....	19
5.3.1	Turvakorttien esisuunnitelma .....	19
5.3.2	Turvakorttien esisuunnitelman muutokset .....	21
5.3.3	Analogiakorttien esisuunnitelma .....	22
5.3.4	Analogiakorttien esisuunnitelman muutokset .....	22
5.3.5	Digitaalikorttien esisuunnitelma .....	23
5.3.6	Digitaalikorttien esisuunnitelman muutokset .....	24
5.3.7	Switch -kenttäväylä .....	24
5.4	Magneettiventtiilitukit .....	25
5.5	Ohjauspaneelien lay-outit .....	26
5.6	Keskuksen lay-out .....	27
6	TUPLER LINJA 7 & 8 YHTEISTEN LAITTEIDEN SÄHKÖ- JA LOGIkkAKESKUKSEN SUUNNITTELU .....	29
6.1	Pääkaaviot .....	29
6.1.1	Pääkaavioiden esisuunnittelu .....	29
6.1.2	Pääkaavioiden esisuunnittelun jälkeiset muutokset .....	30
6.2	Taajuusmuuttaja .....	30
6.3	Logiikka .....	31

6.3.1 Turvakorttien suunnittelu .....	31
6.3.2 Analogiakorttien suunnittelu .....	31
6.3.3 Digitaalikorttien esisuunnittelu.....	31
6.3.4 Digitaalikorttien esisuunnittelun muutokset.....	32
6.3.5 Uuden vesileikkurin logiikkakytkentä .....	32
6.3.6 Switch -kenttäväylän valinta sekä ohjauspaneeli.....	33
6.4 Magneettiventtiilitukki .....	33
6.5 Keskus lay-out .....	33
7 TUPLER LINJA 7 SÄHKÖ- JA LOGIIKKAKESKUKSEN SUUNNITTELU...	35
8 KESKUKSIEN TESTAUS.....	36
8.1 Kytkentöjen oikeellisuuden todentaminen yleismittarilla .....	36
8.2 Keskuksien käyttöönotot .....	37
9 PROJEKTIN YHTEENVETO.....	38
LÄHTEET .....	39
LIITTEET	

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön keskeisempänä osana on suunnitella tilaajayrityksen eli Tupler Oy:n kahdelle samanlaiselle koneelle sekä niiden yhteisille laitteille sähkö- ja logiikkakeskukset. Sähkö- ja logiikkakeskusten tarkoituksena on jakaa syötettävä sähkö toimilaitteille turvallisesti sekä loogisesti, jotta koneita olisi turvallista käyttää sekä keskusten korjaaminen olisi helppoa. Opinnäytetyössä keskitytään keskuksien valmistamiseen ja suunnitteluun eikä oteta huomioon keskuksien lopullisia kytkentöjä koneisiin sekä logiikkaohjelmien muodostamista ja asennusta. Koneiden toiminnan yksityiskohtaista kuvailua ei opinnäytetyössä esitetä, koska tilaajayritys ei halua prosessia julkiseen jakoon. Keskuksien käyttöönotot toteutetaan tilaajan puolesta. Sähkö- ja logiikkakeskusten suunnittelu toteutetaan CADS Electric ohjelmalla.

Opinnäytetyö toteutetaan projektiluonteisesti, jossa tilaaja kertoo tarpeensa keskuksien toiminnoista ja tuotteiden toimittajan eli Provendor Oy:n tehtävä on suunnitella tarpeita vastaava kokonaisuus. Projektissa tilaajayrityksellä on jo ennestään toimiva kone, jonka nimi on Tupler linja 7. Edellä mainitun koneen sähkökeskuksen tilalle suunnitellaan uusi sähkö- ja logiikkakeskus, jonka ohjaus toteutetaan Siemens logiikalla. Nykyinen keskus on toteutettu releohjauksella. Lisäksi tilaajayritys on hankkinut uuden samanlaisen koneen kuin Tupler linja 7 on, joten kyseiselle koneelle valmistetaan myös samanlainen sähkö- ja logiikkakeskus. Tämän uuden koneen nimi on Tupler linja 8. Molempien linjastojen koneissa on kaksi ohjauspaneelia, joissa kaikissa on samanlaiset ohjauspaneelit. Osa vanhan linja 7 koneen laitteista tarvitaan uuden linja 8 koneen tuotannossa, jonka vuoksi näille linjojen yhteisille laitteille suunnitellaan oma sähkö- ja logiikkakeskus. Kaikki kolme logiikkaa kytketään toisiinsa Profinet -kaapelilla, jotta ne pystyvät kommunikoimaan keskenään.

Aluksi työssä esitellään sen osapuolet, jonka jälkeen pohditaan releohjauksen muuttamista logiikkaohjaukseksi sekä taajuusmuuttajien momenttiohjeen toteutusta kelauskäytöissä. Tämän jälkeen kuvataan keskuksen suunnittelun etenemistä valmiiseen keskukseen asti. Keskukset valmistetaan siten, että ensin valmistetaan linja 8:n keskus ja

sen jälkeen yhteisille laitteille suunniteltu keskus, koska silloin uusi kone voidaan ottaa käyttöön ja aloittaa osittainen tuotanto. Viimeisenä valmistetaan linja 7:lle uusi keskus. Keskuksien suunnittelu osioiden jälkeen varmennetaan kytkentöjen oikeellisuudet ja kuvaillaan keskuksien käyttöönottoja. Lopuksi projektista muodostetaan yhteenveto, jossa pohditaan projektin onnistumista sekä sen tuomaa ammatillista kokemusta.

Projektin onnistumisen kannalta tärkeimpiä asioita ovat tiivis yhteistyö asiakkaan ja Provendora Oy:n henkilöstön kanssa. Projektin tavoitteena puolestaan on saada luotua toimiva ja kestävä kokonaisuus sekä kasvaa ammatillisesti.

## 2 PROJEKTIN OSAPUOLET

### 2.1 Toimittajayritys Provendör Oy

Provendör Oy on automaatioalan yritys, joka on perustettu vuonna 2002. Yrityksen toimialoja ovat automaatiotekninen suunnittelu ja projektointi teollisuuteen, automaatiokeskusten valmistaminen sekä tekninen kauppa. Erilaisia automaatioratkaisuja toimitetaan kotimaan lisäksi myös ulkomaille. Provendör Oy on Array Electronicsin sekä Heytec Antriebstechnik GmbH:n tuotteiden virallinen maahantuoja ja edustaja. Tekniikkavalinnoissa yritys keskittyy Mitsubishin sekä Siemensin teknologiaan ja tämän lisäksi yritys myy, toimittaa ja soveltaa edellä mainittujen toimittajien tekniikkaa. Työntekijöitä yrityksellä on yhdeksän ja nykyiset toimitilat sijaitsevat Porin Harmaalinnaissa, jossa on toimistotilat sekä keskusvalmistukselle soveltuva työpajapuoli. (Provendör Oy 2019.) Liikevaihtoa yrityksellä vuonna 2018 oli 1,2 miljoonaa euroa (Kauppalehti 2019). Provendör Oy on myös opinnäytetyön toimeksiantaja.

### 2.2 Tilaajayritys Tupler Oy

Tupler Oy on vuonna 2010 perustettu yritys, joka on keskittynyt erilaisten tekstiili- ja muovituotteiden valmistukseen. Liikevaihtoa yrityksellä oli 3,2 miljoonaa euroa vuonna 2016. (Kauppalehti 2019.) Yrityksen tuotteita ovat Tuplex, Tuplex White HB ja Tuprotec. Suunniteltavat kesukset sijoitetaan yrityksen tiloihin, jossa valmistetaan Tuplex tuotetta. Tuplex on lattian aluskate tuote (Kuva 1), joka on suunniteltu levitettäväksi lattian pintamateriaalin alle. (Tupler Oy 2019.)



Kuva 1. Tuplex aluskate (Tupler Oy:n www-sivut 2020)



### 3 RELEOHJAUKSESTA LOGIIKKAOHJAUS

Tupler linja 7 nykyinen sähkökeskus on toteutettu releohjauksella eli relelogiikalla. Releohjaus on releistä ja muista yksinkertaisista komponenteista koostuva kokonaisuus, jossa yksittäiset releet ohjaavat sähkövirtaa toisilleen eli voidaan käytännössä muodostaa binäärilogiikkaa. Releohjausta on hankala muuttaa jälkikäteen, koska se on suunniteltu toimimaan yhden tietyn sovelluksen mukaan. Nykyään releohjausta ei käytetä muuta kuin yksinkertaisissa ja pienissä ohjaussovelluksissa, sen hankalan muunneltavuuden ja mekaanisen käyttöiän rajallisuuden vuoksi. Nykyään releohjausta ei toteuteta, jos sovellukseen tarvitaan releitä yli kymmenen. (Kotamäki & Nyberg 1992, 87.)

Ohjelmoitava logiikka eli PLC (Programmable logic controller) luotiin alun perin korvaamaan releohjaus sen hankalan muunneltavuuden vuoksi. Nykyään ohjelmoitavat logiikat ovat yleisimpiä ohjauslaitteita. Niitä käytetään varsinkin toistuvien työstöjaksosten sovelluksissa, koska ohjelmoitava logiikka ei tarvitse kestävyydeltään rajallisia mekaanisia kytkimiä vaan logiikkaohjelman. Esimerkiksi erilaiset kokoonpanolinjat tai pakkaus- ja lajittelukoneet ovat työstöjakso sovelluksia. Ohjelmoitava logiikka koostuu tehonlähteestä, keskusyksiköstä eli CPU:sta sekä tuloista ja lähdöistä. (Fonselius, Pekkola, Selosmaa, Ström & Välimaa 1999, 102-108.)

#### 3.1 Nykyinen releohjausjärjestelmä

Nykyistä linja 7 (Kuva 2) konetta ohjataan kytkinten, potentiometriä ja releiden avulla. Kyseisiä laitteita on nykyisessä sähkökeskuksessa useita, joten keskuksen tila on käynyt ajan saatossa ahtaaksi. Nykyisessä keskuksessa lämpötilasäätimet ovat asennettu pieneen tilaan, jolloin voi olla vaarana, ettei ilma pääse vaihtumaan tarpeeksi. Myös linjaston poistoimurin potentiometri on asennettu keskuksen sisäisivuseinään, joka on myös osoitus tilan puutteesta. Keskuksen sähkökuvat ovat suurelta osin helppoa luettavaa, mutta jälkikäteen lisättyjen potentiometriä kytkennät ovat lisätty käsin piirtämällä ja ovat tulkinnan varaisia. Koska kukaan ei oikein tiedä miten potentiometrit ovat lisätty keskukseseen, olisi paikan päällä tutkiminen ainoa tapa selvittää

niiden kytkennät. Tästä syystä nykyisen releohjausjärjestelmän tulkitseminen ei ollut kovin syvällistä.



Kuva 2. Vanha linja 7 sähkökeskus (Tupler Oy:n tuotantotilat 2019)

### 3.2 Muutos logiikkajärjestelmäksi

Vanha releohjaus korvataan Siemensin Simatic ET 200 SP –logiikalla. Toimittaja yrityksen useissa projekteissa on käytetty Siemensin logiikoita, joten tässäkin projektissa luotetaan siihen. Edellä mainittu logiikka muodostuu erillisestä tehonlähteestä, keskusyksiköstä (Kuva 3) sekä valituista kortteista ja korttipohjista, joten valittu logiikka on todella muuntautumiskykyinen. Kortit sekä korttipohjat ovat helposti vaihdetta-

vissa uusiin samanlaisiin tai erilaisiin. Kortteja on monenlaisia, esimerkiksi valikoimasta löytyy turva-, digitaali- ja analogiakortteja eri ominaisuuksilla. Kaikkien tulo- ja lähtökortit ovat kuitenkin erikseen myytäviä. Korttipohjiakin on laaja valikoima, joita on suunniteltu eri tarkoituksiin. Uudessa logiikkaohjauksessa ei tarvita johdotusta niin paljoa, kuin vanhassa releohjauksessa. Tuleva 'johdotus' luodaan ohjelmaan, joka ladataan logiikkaan.



Kuva 3. ET 200 SP CPU -moduuli (Siemens www-sivut 2020)

## 4 MOMENTTIOHJE KELAUSKÄYTOISSÄ

Projektin molemmissa koneissa on paljon kelainlaitteita. Kelaimet kelaavat, taikka ohjaavat, koneessa valmistettavaa Tuplex tuotetta eri työvaiheissa sopivalla kireydellä. Kutakin kelainlaitetta ohjaa taajuusmuuttaja. Taajuusmuuttajalle ladataan erilaisia parametreja, jotka auttavat konetta toimimaan halutulla tavalla sekä tehokkaasti. Osa näistä parametreista kuuluu valitun taajuusmuuttajan parametriryhmään 3.1 moottorin asetukset, josta löytyy momenttiohjeen parametrit.

### 4.1 Kelainsovellukset

Kelainsovelluksissa käytettäviltä moottoreilta vaaditaan vakaata toimintaa sekä suuren momentin kestävyyskykyä. Vakaa toiminta on erittäin tärkeää, koska silloin kelauksesta tulee mahdollisimman tasainen ja samalla tuote pysyy sopivalla kireydellä. Jos kelainlaite ei toimi vakaasti, niin kelattavan tuotteen kireys muuttuu ja tuotteessa esiintyy todennäköisemmin virheitä. Suurella momentilla puolestaan taataan vakaa toiminta, kun kelataan painavia kuormia. Yksi kelaimista on päällystyskelain, jossa kaksi, omilla moottoreilla varustettua, kelainlaitetta kelaavat tuotetta kelaimien välistä. Näin yläpuolella sijaitsevan kelainlaitteen tuote puristuu alemmalla olevan tuotteen päälle. Kyseiset kelaimet ovat suhteellisen harvinaisia. Loput projektin linjastoissa käytettävistä kelainlaitteista ovat keskiökelaimia, jotka ohjaavat tuotetta eteenpäin. Ne ovat toiminnaltaan yksinkertaisin kelainlaiteryhmä. Valmis lopputuote puolestaan kelataan kartonkihylsulle, joka pyörii kahden keskiökelaimen välissä. Kartonkihylsyn sisällä on metallitanko, joka pitää kelauksen vakaana. Tällä tavalla lopputuote kelautuu kuin itsestään kartonkihylsyn ympärille. (Good & Roisum, 2008, 6-11.)

### 4.2 Momenttiohje

Valitsemissamme VACON 100 taajuusmuuttajissa voidaan moottoria ohjata momenttiohjeen avulla. Moottoria ajetaan momenttiohjeen avulla momenttiohjaustilassa (Torque Control open loop), jonka voi halutessaan valita parametrin P3.1.2.1 kohdasta. Tässä ohjaustilassa moottorin nopeutta muutetaan niin kauan, kunnes moottori saavuttaa momenttiohjeelle asetetun arvon. Momenttiohje on siis ohjeellinen momenttiarvo

moottorin nimellismomentista, jolla taajuusmuuttajalla ohjattavaa moottoria pyöritetään. Arvon antaminen riippuu siitä, käytetäänkö projektissa kenttäväyläprotokollaa eli Profinet -kaapelia taikka vastaavaa tuotetta, jonka avulla laitteet pystyvät viestimään keskenään. Tällöin momenttiohje voidaan antaa newtonmetreinä, mutta muulloin ohje annetaan prosenttilukuna. Ohjauspaneelille voidaan asettaa erillinen momenttiohje, jos momenttiohjaus on toteutettu kenttäväylän avulla. (VACON 100 industrial sovelluskäsikirja 2016, 223-224.)

Momenttiohjeella on myös muita parametrejä momenttiohjeen syöttöarvon valinnan sekä ohjauspaneelin momenttiohjeen lisäksi. Momenttiohjeelle voidaan asettaa minimi- sekä maksimiohje, joiden avulla momenttiohjesignaali skaalataan annetulle välille. Momenttiohjeen suodatusaikaa voidaan myös säätää parametrivalikossa. Tämän avulla suodatetaan tulosignaalin häiriöitä, jotta signaali olisi mahdollisimman tasainen. Pitkä suodatusaika hidastaa vasteaikaa ohjauksessa. Kuollut alue parametrin avulla voidaan ohittaa momenttisignaalin pienet arvot eli voidaan asettaa momenttiohje pois päältä, kun momenttisignaali on alle asetetun arvon. Momenttiohjeen taajuusraja, jonka avulla muutetaan taajuusmuuttajan lähtötaajuutta, voidaan myös määrittää. Taajuusrajaksi voidaan valita joko negatiivinen/positiivinen taajuusraja tai taajuusohje. Ensin mainitulla taajuusrajalla ohjataan lähtötaajuus minimi- sekä maksimiohjeen väliin, kun taas taajuusohjeella ohjataan lähtötaajuus ensin taajuusmuuttajan rampin avulla, kunnes momentti vastaa momenttiohjetta. Lopuksi voidaan muokata Open loop- sekä anturittoman Open loop- ohjaustavan lisäasetuksia omissa parametrivalikoissa. (VACON 100 industrial sovelluskäsikirja 2016, 224-226.)

## 5 TUPLER LINJA 8 SÄHKÖ- JA LOGIIKKAKESKUKSEN SUUNNITTELU

Keskuksien suunnittelu aloitettiin linja 8:sta eli uudelle koneelle tulevasta keskuksesta. Suunnittelu aloitettiin selvittämällä koneelle tulevien moottoreiden kilpiarvot, jotka on kirjattu vanhoihin sähkökuviin. Lisäksi tutkittiin, miten sähkön syötöt on jaettu toimilaitteille vanhassa linja 7 keskuksessa. Seuraavaksi voidaan valita moottoreille sopivat taajuusmuuttajat ja suunnitella niille kytkennät. Sen jälkeen voidaan valita logiikalle sopivat tulo- ja lähtökortit, koska siinä vaiheessa tiedetään kaikki sähkölaitteet, jotka kytketään logiikkaan. Lopuksi kerrotaan magneettiventtiilitukeista sekä suunnitellaan keskuksen ja ohjauspaneelien lay-outit. Uudet sähkölaitteet nimettiin siten, että kukin moottori pystytään yhdistämään sen toimintaan tai suojaukseen kuuluvaan yksittäiseen sähkölaitteeseen. Kaikissa suunnitteluosioissa laadittiin ensin esisuunnitelma, jonka jälkeen sitä muokattiin tarpeen vaatiessa.

### 5.1 Pääkaavioiden esisuunnittelu

Vanhoista linja 7 sähkökuvista sai paljon helpotusta piirroksiin. Kyseisistä kuvista löytyi tarvittavien moottorien, puhaltimien ja infrapunalämmittimien eli IR-lämmittimien kytkennät sekä tarvittavat tiedot. Vanhoista kuvista uusiksi suunniteltiin vain keskuksen valojen ja lämpöpuhaltimen sekä jännitelähteiden kytkennät. Muita kuvia muokattiin sopivimmiksi sekä selkeämmiksi.

#### 5.1.1 Pääkytkin, virtakiskosto ja suojalaitteet

Pääkytkimeksi valittiin toimittajalle tuttu ABB:n OT160EVS03 (Kuva 4). Pääkytkin on sopivan kokoinen, koska virtakiskoston varoke-erottimet tarvitsevat vähintään 133 A virtaa, jotta niiden suojaamat sähkölaitteet toimivat. Kyseinen pääkytkin pystyy katkaisemaan sitä syötettävällä 400 V:lla 160 A, joka on sopivasti.



Kuva 4. ABB:n OT160EVS03 pääkytkin (ABB:n www-sivut 2020)

Päälämpöpuhaltimia sekä IR-lämmittimiä syöttävien varoke-erottimien syöttäminen toteutettiin Rittal Oy:n Mini-PLS 250 A virtakiskostolla. Molemmille päälämpöpuhaltimille sekä IR-lämmittimille on omat varoke-erottimet, mutta myös muiden laitteiden etukojeeksi tarvitaan yksi varoke-erotin. Näin saadaan muille laitteille tarpeeksi suuri katkaisukyky. Virtakiskostossa ei tarvita erillistä kiinnitystä tai sormisuojausjaaksia vaan kaikki on valmiina, mitä esimerkiksi kahvasulakkeissa täytyisi ottaa huomioon. Johdotusta ei myöskään tarvita vaan sähkö syötetään kiskostoa pitkin varoke-erottimille, jolloin asennuskin on vaivattomampaa. Kiskostoon asennettavien laiteadapterien maksimivirrat riittävät kattamaan varoke-erottimien tarvitsemat virrat, joten kaikille valitaan samanlainen laiteadapteri.

Muut toimilaitteet suojattiin sulakeautomaateilla, paitsi styreenin siirtopuhallin, joka suojattiin moottorisuojakytkimellä, koska sen moottoria ei ohjata taajuusmuuttajalla vaan kontaktorilla. Vanhassa keskuksessa kaikki toimilaitteet oli suojattu moottorisuojakytkimillä, koska niillä on suurempi katkaisukyky, mutta ne vaativat paljon johdotusta. Levitys- sekä puristustelojen moottoreiden syöttöihin lisätään moottorisuojakytkimet taajuusmuuttajien perään, koska niiden taajuusmuuttajilla ohjataan kahta moot-

toria kerralla. Tämän lisäksi telojen taajuusmuuttajien suojaksi valitaan ampeeri määrältään yhtä kokoa suurempi kolmivaiheautomaatti, koska tällöin saadaan katkaisukyky kasvamaan tarpeeksi suureksi.

Jännitelähteet syöttävät yhteensä 24 sulakeautomaattia. Sulakeautomaatit ovat jaettu siten, että toisen jännitelähteen eli GO2:n perässä on 10 automaattia ja ensimmäisen jännitelähteen eli GO1:n perässä 14 automaattia. GO2:n perään on laitettu vähemmän tärkeämpien laitteiden sulakeautomaatit, kuten esimerkiksi magneettiventtiilitukit. GO1:n perään on puolestaan laitettu tärkeämpien laitteiden sulakeautomaatit, kuten esimerkiksi ohjauspaneelin, logiikkakorttien sekä taajuusmuuttajien automaattit.

Koneen valoja syöttävä sulakeautomaatti muutettiin vikavirtakatkaisijaksi, koska konetta saattaa käyttää henkilö, joka ei ole sähköalan ammattilainen (SFS 6000-4-44:2017, 31). Myös pistorasialle sekä kaapin valaistukselle laitettiin vikavirtakatkaisijat, samasta syystä. Lopuksi lisättiin jännitelähteille sekä kaapin puhaltimelle omat sulakeautomaatit.

### 5.1.2 Sähkölaitteet

Vanhan keskuksen ohjausjännitemuuntaja korvattiin Phoenix Contactin jännitelähteillä, koska valittu ohjelmoitava logiikka toimii tasajännitteellä eikä vaihtojännitteellä. Toimittaja on ennenkin käyttänyt samanlaisia jännitelähteitä, joten tässäkin projektissa käytettiin sellaisia. Jännitelähteiden miinus navat tuotiin yhteiselle riviliitinryhmälle, josta lähtee yhteensä 26 tarvittavaa miinus johdinta. Näistä 22 otettiin alustavasti käyttöön.

Kontaktoreita tarvitaan päälämpöpuhaltimille, IR-lämmittimille sekä styreenin siirtopuhaltimelle eli yhteensä viisi kappaletta. Kontaktoreiksi valittiin pykälää suuremmat kontaktorit, koska ei tiedetty tarvitaanko joskus puhaltimen ja lämmittimen moottoreille enemmän virtaa. Tällä tavalla saatiin ennakoitua kyseistä tilannetta.



Vanha vesileikkuri sekä jätteen siirtopuhallin siirrettiin vanhan keskuksen laitteista yhteisten laitteiden keskukselle, joten ne suunnitellaan myöhemmin. Kolmivaihe lämpötilansäätimet korvattiin uusilla samanlaisilla, mitkä olivat vanhassa keskuksessa, koska ne oli todettu tilaajan puolesta toimivan hyvin vanhassa linja 7 koneessa.

### 5.1.3 Pääkaavioiden esisuunnitelman jälkeiset muutokset

Esisuunnittelun jälkeen lisättiin automaattitoiminto IR-lämmittimien yllämpösuojiin, koska matalammista yllämmöistä ei ole vakavia seurauksia, joten ne voidaan automaatti kuitata logiikalla. Käsikuittaus säilyi suurempien yllämpöjen varalta.

Pistorasian sekä kaapin valaistuksen vikavirtakatkaisijat yhdistettiin, joten sen koko kasvoi pykälää isommaksi. Lisäksi lisättiin myös riviliitinryhmä vikavirtasuojan perään, josta on helppo poistaa sekä pistorasia että valaistus, jos ne halutaan vaihtaa. Kaapin lämpöpuhaltimelle lisättiin myös riviliitinryhmä termostaatin ja puhaltimen väliin, jotta lämpöpuhaltimen vaihto olisi helpompaa.

Magneettiventtiilitukkien automaattit puolestaan siirrettiin GO1:n puolelle tilaajan puolesta. Periaatteessa olisi tarvinnut siirtää vain tukkien häiriön syöttöjohto, koska tukeilta voidaan huoletta katkaista virrat hätäseis-painikkeilla. Tämän lisäksi GO1:n perään lisättiin sulakeautomaatit ensimmäiselle ohjauspaneelille eli OP1:lle sekä toiselle ohjauspaneelille eli OP2:lle. Jännitelähteiden yhteisessä riviliitinryhmässä liittimet 13 ja 26 yhdistettiin, koska riviliitinryhmä on kaksikerroksinen ja näin saadaan molemmat kerrokset yhdistettyä miinukseksi.

## 5.2 Taajuusmuuttajat

Releohjauksen ja logiikkaohjauksen välillä näkyi selvästi ero, kun suunniteltiin taajuusmuuttajien johdotusta. Projektin taajuusmuuttajiksi valikoitui VACON 100 taajuusmuuttajat (Kuva 5), koska tilaajayritys toivoi kyseisten tuotteiden käyttöä. Valintaa puolsi myös se, että edellä mainituista taajuusmuuttajista löytyi tarvittavat turva-

ominaisuudet, joita halvemmissa malleissa ei löydy. Vanhoille taajuusmuuttajille täytyi hankkia filteri erikseen, kun taas nykyisissä taajuusmuuttajissa filteri on laitteessa itsessään.

Osa projektin taajuusmuuttajista ohjaa puhaltimien moottoreita. Kyseiset taajuusmuuttajat ovat teho määrältään yhden pykälän normaalia pienempiä, kuin muutoin valitut taajuusmuuttajat. Näin voidaan tehdä, koska puhallin- sekä pumppukäytöt ovat kevytkäyttöjä eli ottavat vähemmän virtaa kuin muut käytöt. Kyseisissä käytöissä moottoreiden ei tarvitse heti käynnistyessään käydä suurella teholla, vaan ne voivat käynnistyä rauhassa, jolloin taajuusmuuttajan muodostama ramppi, eli tässä tapauksessa kiihdytyskäyrä, voi olla hyvinkin loiva. Muista käytöistä käytetään nimitystä raskaskäyttö.



Kuva 5. VACON 100 taajuusmuuttaja (VACON www-sivut 2020)

### 5.2.1 Taajuusmuuttajien esisuunnitelma

Taajuusmuuttajia tarvittiin ohjaamaan sykloni puhaltimen, liiman levitystelojen, puristustelan, kelaimen, siroittimen sekä lämpöpuhaltimien moottoreita. Vanhassa keskuksessa kaikilla muilla moottoreilla oli ollut ennestään taajuusmuuttaja, paitsi sykloni puhaltimella. Taajuusmuuttaja lisättiin kuitenkin ohjaamaan puhallinta, koska puhall-

lusta haluttiin hallita muiden koneiden pyörimisnopeuden suhteen. Liiman levitysteiloille tarvitaan kaksi relettä ohjaamaan taajuusmuuttajaa, koska sen moottoria ohjataan molempiin suuntiin. Muille taajuusmuuttajille riittää vain yksi rele. Kaikki releet ja niiden kosketin tiedot kytkettiin logiikkaan, jotta voidaan ohjata taajuusmuuttajaa sekä lukea häiriötietoja. Taajuusmuuttajien syöttö on ketjutettu lähimmältä taajuusmuuttajalta toiselle.

### 5.2.2 Taajuusmuuttajien esisuunnitelman muutokset

Muutoksia taajuusmuuttajissa ja niiden kytkennöissä tapahtui hyvin vähän. Taajuusmuuttajien releiden kosketinten ketjutus aloitettiin vastakkaisesta suunnasta kuin esisuunnitelmassa oli tehty. Kyseisellä asialla ei ole mitään merkitystä keskuksen toiminnan näkökulmasta, mutta sähkökuviin asia korjattiin oikeanlaiseksi.

## 5.3 Logiikka

Vanhoista sähkökuvista ei ollut paljoa hyötyä logiikan suunnittelussa, koska kuviin oli jälkikäteen lisätty kytkentöjä, jotka olivat tulkinnan varaisia. Pääasiat löytyivät kuitenkin selkeästi. Vanhat ohjauskontaktorit korvataan logiikalla, joka edistää etenkin koneen turvallisuutta, koska ei tarvitse olla kovin riippuvainen yhden releen tai kontaktorin toiminnasta. Logiikan suunnittelu aloitetaan turvakorteista, jonka jälkeen suunnitellaan analogiakortit. Lopuksi suunnitellaan digitaalikortit, joita tarvitaan monta, koska taajuusmuuttajia sekä niiden releitä on paljon. Kaikille korteille yritetään jättää vapaata tilaa tulevaisuuden kytkentöjen varalta. Kaikki logiikkaan liitettävät toimilaitteet, jotka sijaitsevat kentällä, kytketään riviliittimien kautta kytkentöjen helpottamiseksi paikan päällä.

### 5.3.1 Turvakorttien esisuunnitelma

Vanhassa Linja 7 koneessa käytettiin ohjauskontaktoreita, jotka katkoivat muiden syöttöjä tarpeen vaatiessa. Myös hätäseis-, turvaraja- sekä vaijerirajakytkimet olivat

toteutettu releohjauksella. Turvarajakytkimet ovat kytkimiä, jotka vapautuvat, kun niiden päälle asennettu suoja avataan. Suojan alta voidaan nähdä koneen sisälle. Osa turvarajakytkimistä voidaan kytkeä sarjaan, koska ne sijaitsevat saman kannen alla. Tällöin kyseiset turvarajakytkimet toimivat yhdessä. Vaijerirajakytkimet (Kuva 6) toimivat samalla periaatteella, paitsi kytkimen sijaista ne ohjautuvat vaijerin avulla.



Kuva 6. Vaijerirajakytkin (Tupler Oy:n tuotantotilat 2020)

Jokaiselta turvatulokortilta lähtee yhteensä neljä johdinta jokaista turvalaitetta kohden, kaksi syöttävää johdinta sekä kaksi tilatietojohdinta eli miinusjohdinta. Näin tekemällä saadaan yksilöllistä tilatietoa logiikalle jokaiselta turvarajakytkimeltä, jolloin voidaan paikantaa helposti mikä turvarajakytkin on auki. Vaijerirajakytkimiä on neljä ja turva-

rajakytkimiä 12 kappaletta, joista neljä on sarjassa eli voidaan laskea niitä olevan kahdeksan. Jokaiselle ohjauspaneelille kytketään hätäseispainikkeet, joten niitä on yhteensä kolme kappaletta. Edellä mainituista ehdoista voidaan päätellä, että turvatulokortteja tarvitaan yhteensä neljä kappaletta, koska yksittäiseen turvatulokorttiin mahtuu yhteensä kahdeksan syöttöä ja kahdeksan tilatietoa.

Pääohjauspaneelille eli OP10:lle lisättiin pesukytkin. Pesukytkin mahdollistaa linjan ajamisen normaalilla nopeudella, vaikka vaijeri- sekä turvarajakytkimet olisivat auki. Tällöin linjastoa voidaan helposti pestä sekä tutkia sen toimintaa. Pääohjauspaneelille asennetaan hätäseiskuittauspainike, koska pääohjauspaneelista nähdään virhekoodit. Hätäseiskuittauspainikkeen kytkin kytketään digitaalituloihin, kun taas kuittauksen merkkivalo kytketään analogiakorteille.

Toisen jännitelähteen eli GO2:sen sekä taajuusmuuttajien syöttöjen eteen laitetaan turvareleet. Turvareleen tehtävä on pitää syötettävät laitteet päällä, vaikka niille syötettävät tulot se katkaisee. Näin tekemällä ei tarvitse esimerkiksi parametroida taajuusmuuttajia uudestaan. GO2:sen syötön eteen valikoitui Schneider Electricin turvarele sekä puolestaan taajuusmuuttajien syötölle valikoitui Omronin turvarele. Molemmat turvareleet täyttivät tarvittavat turvavaatimukset, joten ne olivat helppo valita. Turvareleet kytketään turvalähtökorttiin, joten tässä tapauksessa riittää vain yksi turvalähtökortti.

### 5.3.2 Turvakorttien esisuunnitelman muutokset

Varsinaisia muutoksia ei esisuunnitelmaan tehty, vaan lisättiin tarvittavat toiminnot. Pesukytkin vaihdettiin kolmiasentoiseksi kytkimeksi, jolloin pesuasennon lisäksi lisättiin nolla- sekä ajoasennot. Nolla-asennossa tuotantolinja pysähtyy. Kyseistä asentoa on suunniteltu käytettäväksi varsinkin koneen huollon aikana. Ajoasentoa käytetään normaalin tuotannon aikana, jolloin linja toimii normaaliin tapaan.

### 5.3.3 Analogiakorttien esisuunnitelma

Analogiakorteille kytketään paljon erilaisia analogisella viestinnällä varustettuja antureita, joita esiintyi vanhassakin keskuksessa. Anturitiedoilla saadaan tietoa logiikalle, jonka avulla pystytään ohjaamaan toimilaitteita halutulla tavalla. Päälämpöpuhaltimien ja IR-lämmittimien lämpötila-anturit sekä molempien liiman levitystelojen ultraäänianturit kytketään analogiatulokorttiin. Ultraäänianturit mittaavat liiman pinnan korkeutta säiliössä. Näiden lisäksi tulokorttiin kytketään pääohjauspaneelin potentiometri, joka ohjaa koko linjaston moottoreiden pyörimisnopeuksia. Tulokorttiin lisättiin vielä verkon painetta mittaava painelähetin, jonka tärkein tehtävä on kertoa paineen poistumisesta linjastosta, jolloin magneettitukit voivat sulkeutua, kun hätäseispainiketta on painettu. Yhteen analogiatulokorttiin voidaan liittää neljä analogista laitetta, joten kortteja tarvitaan kaksi.

Analogianlähtökorteille kytketään päälämpöpuhaltimien ja IR-lämmittimien kolmi-vaihelämpötilansäätimet sekä taajuusmuuttajat. Lämpötilasäätimet kytkemällä logiikkaan saadaan helposti ohjattua edellä mainittujen toimilaitteiden lämpötiloja. Logiikalta pystytään lähettämään taajuusmuuttajille nopeusohjeita, jolloin taajuusmuuttaja tietää pyörittää moottoreita tietyllä nopeudella. Nopeusohjeita voidaan viestiä analogisesti. Lämpötilasäätimiä tarvitaan neljä sekä taajuusmuuttajia on yhteensä kahdeksan, joten lähtökortteja tarvitaan kolme, koska yhteen lähtökorttiin mahtuu neljä analogista laitetta.

### 5.3.4 Analogiakorttien esisuunnitelman muutokset

Ultraäänianturit osoittautuivat toisenlaisiksi kuin alussa luultiin. Antureiden luultiin toimivan kahdella johtimella, jolloin miinusnavalta saataisiin logiikkaan tietoa. Anturit tarvitsivatkin erillisen syötön, miinusjohtimen sekä logiikkaan kytkettävän johtimen eli yhteensä kolme johdinta. Tilanne ratkaistiin ottamalla analogiatulokorttien syöttävästä automaatista jännite syöttäville riviliittimille sekä samojen korttien miinusliittimeltä miinus tarvittaville riviliittimille. Tämän lisäksi potentiometri vaihdettiin ominaisuuksiltaan sopivampaan, koska keskuksen tilaaja epäili laitteen toimivuutta linjastossa.

### 5.3.5 Digitaalikorttien esisuunnitelma

Digitaalikortteja tiedettiin jo ennakolta tarvittavan monta, koska digitaalikorttien avulla luetaan sähkölaitteiden apukoskettimia sekä ohjataan kontaktoreita ja releitä päälle. Projektissa on myös erilaisia antureita, jotka vaativat digitaalista viestintää. Digitaalisella viestinnällä toimivia antureita kutsutaan älykkäiksi antureiksi.

Digitaalitulokorteille kytketään monia antureita, kuten esimerkiksi sirottimen pintakytkimet. Pintakytkimet pyörittävät lapaa, josta saadaan tietoa, onko sirottimessa tarpeeksi tavaraa. Lavan pyöriessä vapaasti tiedetään, ettei ainetta ole kyseisen lavan ulottuvilla, jolloin tiedetään, kuinka paljon ainetta on. Myös nauhavahti kytkettiin digitaalitulokortille. Nauhavahtiin kuuluu lähetin ja vastaanotin, jotka vahtivat, ettei sen vahtima tuote ole loppumassa, jolloin leveä laser viiva pääsisi vastaanottimelle.

Digitaalitulokorttien avulla luetaan antureiden lisäksi moottorisuojien sekä turvakytinten apukoskettimia, jolloin saadaan logiikalle tietoa, jos jotakin tapahtuu. Tämän lisäksi taajuusmuuttajia ohjaavien releiden kosketin tietoja luetaan tulokorteilla, jolloin tiedetään milloin taajuusmuuttaja käy tai siinä on häiriö. Häiriötietoja luetaan taajuusmuuttajien lisäksi jännitelähteiden apukoskettimilta, jotta vian paikannus olisi mahdollisimman helppoa. Lopuksi tulokorteille kytkettiin ensimmäisen ja toisen ohjauspaneelin kytkimet, joista saadaan ohjaustietoa. Yhdelle tulokortille jätettiin neljä tyhjää paikkaa, koska ei tiedetty aluksi käytetäänkö päälämpöpuhaltimilla sekä IR-lämmittimillä kahvasulakkeita vai moottorisuojia. Moottorisuojien tilatietoja voisi hyödyntää logiikalla, mutta kahvasulakkeissa ei ole apukoskettimia.

Taajuusmuuttajien, sykloni puhaltimen, styreeni puhaltimen, lämpöpuhaltimien sekä kaapin ääni- ja valotornin kontaktoreita ja releitä ohjataan päälle digitaalilähtökorttien välityksellä. Kontaktoreiden ja releiden lisäksi lisätään loppuille tyhjille lähtökortin paikoille releet, jotta tulevaisuudessa ei niitä tarvitsisi lisätä.

### 5.3.6 Digitaalikorttien esisuunnitelman muutokset

Esisuunnittelussa valittuja antureita muutettiin sekä lisättiin uusia antureita. Esisuunnittelussa valittu nauhavahti vaihdettiin pistemäiseen laser tunnistukseen. Vanha nauhavahti ei tunnistanut tuotetta kunnolla, koska tuote pyöri niin kovalla nopeudella. Pistemäinen laser tunnistus havaitsee nauhan paremmin. Tämän lisäksi puristustelojen kiinni oleminen haluttiin varmistaa asiakkaan puolesta, jolloin tulokorttiin lisättiin kaksi rajakytkintä. Tilaa näiden lisäämiselle oli hyvin, koska päälämpöpuhaltimien sekä IR-lämmittimien suojaksi valittiin moottorisuojien sijasta varoke-erottimet, joita ei voi logiikalla lukea. Varoke-erottimet valittiin, koska ampeeri määrältään suuret varoke-erottimet tulivat halvemmiksi kuin moottorisuojat.

Myös apukoskettimien tietoja haluttiin lisätä sekä poistaa. Digitaalitulokorteille lisättiin kaksi kosketin tietoa. Toisen avulla luetaan, että puristustela on ajettu ylös ja suorittaa telanvaihto helpommin. Toisen koskettimen avulla tiedetään, koska vesileikkurin paine päästetään tyhjäksi. Toisen jännitelähteen eli GO2:n häiriö tietoja ei tarvitse lukea, koska sen edessä oleva turvarele katkaisee jännitteen häiriön sattuessa. Lopuksi huomattiin, ettei kaikkia moottorisuojia ollut kytketty tulokorteille. Ainoaksi vaihtoehdoksi jäi lisätä yksi tulokortti, joka on hyvä asia tulevaisuutta ajatellen. Yhdellä digitaalikortilla voi vastaan ottaa kahdeksan tilatietoa, joten kortteja tarvittiin yhteensä seitsemän.

Lähtökorttejakin piti loppujen lopuksi lisätä yhdellä, koska päälämpöpuhaltimien sekä IR-lämmittimien kontaktorit oli unohdettu lisätä lähtökorteille. Ensimmäisen ja toisen ohjauspaneelin vilkut lisättiin myös lähtökortille. Lähtökortille mahtuu yhteensä kahdeksan lähtöä, joten lähtökortteja tarvittiin yhteensä neljä.

### 5.3.7 Switch -kenttäväylä

Keskuksen logiikka kytketään Switch -kenttäväylään, jonka avulla se viestii muiden logiikoiden kanssa. Nyt suunniteltavaan linja 8 keskuksen kenttäväylään liitetään myös sen laitteita ohjaavat magneettiventtiilitukit. Jokainen magneettiventtiilitukki



kytketään sen laitteita ohjaavan logiikan kenttäväylään. Kahden magneettiventtiilitukin lisäksi kenttäväylään kytketään muiden keskuksien logiikat sekä pääohjauspaneelin paneeli, joten kenttäväyläksi valitaan kahdeksan paikkainen väylä. Myös kuusi paikkainen olisi riittänyt, mutta on hyvä olla vapaita paikkoja lisäasennuksille. Kenttäväylän ansiosta ei tarvitse tehdä erilaisia asennuskaapeli viritelmiä, joiden avulla saataisiin tietoa toiselta logiikalta. Projektiin valittiin toimittajalle ennestään tuttu Phoenix Contact Switch –kenttäväylä, joka näkyy kuvassa 7.



Kuva 7. Phoenix Contact Switch -kenttäväylä (Phoenix Contact www-sivut 2020)

#### 5.4 Magneettiventtiilitukit

Magneettiventtiilitukkien tehtävä on ohjata magneettiventtiileitä, jotka ohjaavat paineilmaa. Näin paineilma saadaan ohjattua haluttuun paikkaan. Tilaaja hankki itse keskukselle kytkettävät magneettiventtiilitukit, joita tarvittiin kolme. Tilaaja valitsi Feston tukkien toimittajiksi, koska ne ovat Suomessa suosittuja sekä toiminnoiltaan päteviä. Kyseiset magneettiventtiilitukit voidaan kytkeä logiikkaan Profinet -kaapelilla, joten niiden ohjaaminenkin on helppoa. Tukeille tehtiin omat riviliitinryhmät, joihin on helppo kytkeä tukkien syöttökaapelit. Vanhassa keskuksessa magneettiventtiilit olivat irrallaan keskuksen piiristä, joten nyt tilanteeseen saatiin selkeyttä.

Esisuunnittelun jälkeen todettiin, että yksi magneettiventtiilitukeista voidaan siirtää yhteisten laitteiden keskukselle. Siirtäminen tehtiin, koska kyseinen tukki ohjasi yhteisten laitteiden keskukselle kytkettävien koneiden paineilmaa.

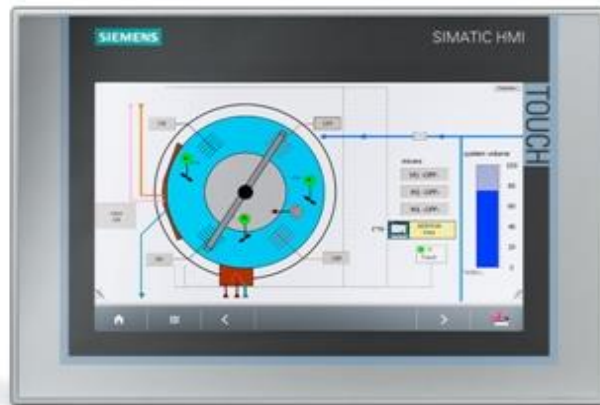
## 5.5 Ohjauspaneelien lay-outit

Vanhoille ohjauspaneelille kuuluvat kytkennät löytyivät helposti vanhoista sähkökuvista. Paneeleita käytiin katsomassa paikan päällä, koska ohjauspaneelista pyrittiin tekemään mahdollisimman saman näköiset kuin vanhat ohjauspaneelit olivat.

Molemmista ensimmäisestä ohjauspaneelistä eli OP1:stä sekä toisesta ohjauspaneelistä eli OP2:sta poistetaan paineensäätö potentiometri ja mittari sekä liimapumpun potentiometri sekä kytkin. Edellä mainitut komponentit siirrettiin pääohjauspaneelille eli OP10:lle, jossa on käyttöliittymäpaneeli. OP1:lle sekä OP2:lle lisättiin hätäseispainikkeet, koska niitä ei ollut vanhoissa paneeleissa. Kyseisissä paneeleissa olevat vilkut asennetaan samaan kohtaan, missä vanhassa ohjauspaneelissa se sijaitti. Pääohjauspaneelille tulee käyttöliittymäpaneelin ja hätäseispainikkeen lisäksi edellisissä luvuissa olleet potentiometri, hätäseiskuittaus sekä pesukytkin.

Keskuksen käyttöliittymäpaneeliksi valittiin Siemensin Simatic TP 900 Comfort ohjauspaneeli (Kuva 8). Kyseinen käyttöliittymäpaneeli on ominaisuuksiltaan kuin tietokone, jolla voidaan ohjata prosessia halutulla tavalla sekä luetaan virhekoodeja. Comfort ohjauspaneelilla on useita liitäntä mahdollisuuksia, verrattuna saman tuotesarjan Basic malliin, jossa on vain USB -liitäntä. Comfort mallissa on muistikortin käyttö mahdollisuus. Muistikortin voi halutessaan irrottaa ja liittää toiseen samanlaisen Comfort käyttöliittymään. Vika tilanteessa erilliselle muistikortille tallennettu paneelin ohjelma voi pelastaa korjaajan pahemmalta päänvaivalta sekä yrityksen kalliilta uudelleen ohjelmoinnilta. Comfort malli maksaa kuitenkin noin kaksi kertaa enemmän kuin Basic malli.

Muutoksia esisuunnitelmaan tehtiin vain pääohjauspaneelin kytkimiin. Kuten jo turvakorteissa kerrottiin, vaihdettiin pesukytkin kolmiasentoiseksi.



Kuva 8. TP 900 Comfort ohjauspaneeli (Siemens www-sivut 2020)

## 5.6 Keskuksen lay-out

Keskuksen suunnittelussa ensin arvioitiin tarvittavan kaapin mitat. Keskuksen sijoitettavien sähkölaitteiden lisäksi haluttiin, että siihen jäisi tilaa myös tulevaisuuden laitteille. Lopulta päätettiin yhdistää kaksi kaappia yhdeksi isoksi kaapiksi, josta molemmat olivat kaksi metriä korkeita ja 80 senttimetriä leveitä. Kaapiston jatkoksi oikeaan päättyyn laitettiin oma kaappi, joka on leveydeltään puolet pienempi kuin edellä mainitut. Oikean puoleisimman kaapin tarkoituksena on olla keskuksen kaapelikuilu. Kaapeleista voi tippua erilaisia nesteitä, jotka eivät tällä tapaa valu suoraan keskuksen sähkölaitteiden päälle vaan kaapelikuilun pohjalle. Kaapiston vasemmalle sivulle asennettiin pääkytkimen väännin sekä kaapin tuloilmatuuletin. Oikealle sivulle ylälaitaan puolestaan asennettiin poistoilmasuodatin.

Keskus pyrittiin kalustamaan mahdollisimman selkeäksi. Vasemmalta alhaalta tulee pääsyöttö pääkytkimelle, josta jatketaan keskuksen vasemmassa yläreunassa olevalle kiskostolle. Pääkytkimen vipu sijoitetaan keskuksen kylkeen, koska oveen sijoitettavan vivun kohdistuspiste saattaa muuttua ajan saatossa. Kiskosto on vasemmassa yläreunassa, koska silloin kiskoston päälle ei pääse putoamaan mitään. Keskuksen sisältö jaettiin siten, että vasemmalla puolella keskusta on 400 voltin sähkölaitteet, kuten kolmivaihesulakkeet ja lämpötilansäätimet. Oikealla puolella on puolestaan 24 voltin sähkölaitteet, kuten esimerkiksi logiikka ja turvareleet. Taajuusmuuttajat sijoitettiin levyn

alareunaan, koska silloin taajuusmuuttajiin on helppo kytkeä moottorikaapelit eikä kaapeleita tarvitse kuoria suurta määrää. Lämpötilasäätimet puolestaan sijoitettiin kaapiston keskivaiheille, jolloin ilmanvaihto pääsee vaikuttamaan niihin mahdollisimman tehokkaasti, jotta ne eivät pääse ylikuumentumaan. Moottoreille kytkettävät riviliittimet ovat oikealla alhaalla taajuusmuuttajien yläpuolella, josta on helppo lähteä kentälle kaapelikuilua pitkin. Logiikka ja kenttäväylä sijoitetaan oikealle ylös, josta on helppo lähteä keskuksen laitteille ja ovat mahdollisimman kaukana taajuusmuuttajista häiriön sattuessa. Keskus on esitetty kuvassa 9.



Kuva 9. LK1 eli linja 8 sähkö- ja logiikkakeskus (Tupler Oy:n tuotantotilat 2020)

## 6 TUPLER LINJA 7 & 8 YHTEISTEN LAITTEIDEN SÄHKÖ- JA LOGIIKKAKESKUKSEN SUUNNITTELU

Seuraavaksi suunnitellaan molempien linjojen yhteisille laitteille tuleva keskus. Yhteisille laitteille suunniteltava keskus pyrittiin suunnittelemaan mahdollisimman samankaltaiseksi kuin edellisen keskuksen loppu tuotos. Suunnittelu toteutettiin samantyyppisessä järjestyksessä sekä pyrittiin käyttämään mahdollisimman paljon samoja laitteita kuin edellisessä keskuksessa.

### 6.1 Pääkaaviot

Suunnittelussa jäljiteltiin samaa piirustustyyliä sekä logiikkaa kuin edellisessä keskuksessa. Monet laitteet oli suunniteltu erikseen, joten niille toteutettiin vain sähkön syöttäminen sekä suojalaitteiden valinta.

#### 6.1.1 Pääkaavioiden esisuunnittelu

Yhteisille laitteille tulevaa keskusta syöttää pääkeskus. Pääkeskuksella jaetaan sähköverkosta tuleva sähkö alakeskuksille, kuten esimerkiksi nyt suunniteltavalle keskukselle. Pääkeskuksesta tulee virtaa yhteisten laitteiden keskukselle noin 500 A. Tästä syystä voidaan valita pääkytkimeksi pykälää suurempi pääkytkin eli 630A. Pääkytkimen toimittaja on sama kuin edellisessä keskuksessa eli ABB.

Keskukselle tulee myös samankaltainen virtakiskosto kuin edellisessä keskuksessa. Ainoa ero näillä kiskostoilla on vain niiden virransietokyky. Keskukselle olisi riittänyt 630 A virtakiskosto, mutta sen sijaan valittiin 800 A virtakiskosto. Rittal suositteli suurempaa kiskostoa, koska siihen saa enemmän lisävarusteita.

Keskukselle kytketään paljon kentällä sijaitsevia toimilaitteita, joille tarvitaan vain sähkön syöttö. Syöttö on toteutettu samaan tapaan kuin edellisessä keskuksessa. Virtakiskostolla sijaitsevien varoke-erottimien lisäksi toimilaitteiden edessä on vielä omat kolmivaihe sulakeautomaatit. Kaikki suojalaitteet kytketään riviliittimille, jotka on ni-

metty edessä olevan suojalaitteen mukaan. Näin kenttälaitteelta on helppo kytkeä kaapeli oikealle paikalle. Jotkut laitteet ovat puolestaan moottorisuojan takana, koska niitä ohjataan keskuksessa sijaitsevilla kontaktoreilla. Jätekonttien syöttöille lisätään vikavirtasuojia, koska niihin voivat työntekijät kytkeä omia laitteitaan. Myös yksivaiheisia sulakeautomaatteja sisältyy keskuksen laitteisiin, joskin aika suuria, koska valittavat automaattit ovat 10 A ja 16 A. Yksi- ja kolmivaiheisia automaatteja sekä vikavirta- ja moottorilähtöjä laitetaan myös varalle, jotta kytkentöjä ei tarvitsisi muuttaa lähitulevaisuudessa. Keskuksen valaistus sekä pistorasia on toteutettu samalla tavalla kuin edellisessä keskuksessa.

Jännitelähteet ovat samanlaisia kuin edellisessä keskuksessa, mutta syöttävien automaattien määrä on kuitenkin eri. Ensimmäisen jännitelähteen takana on 12 yhden ampeerin automaattia, kun taas toisen jännitelähteen takana niitä on kuusi kuuden ampeerin automaattia. Jännitelähteiden syöttävien automaattien jako tehtiin samalla periaatteella, kuin edellisessä keskuksessa.

### 6.1.2 Pääkaavioiden esisuunnittelun jälkeiset muutokset

Esisuunnittelusta ei poikettua paljoa. Vanhan vesileikkurin magneettiventtiilille lisättiin oma syöttö sekä automaatin jälkeen lisättiin rele, jolla ohjataan kyseistä magneettiventtiiliä. Syöttö otettiin varalla olevasta yksivaihe automaatista, joten niitä on yksi vähemmän.

### 6.2 Taajuusmuuttaja

Tilaaja halusi ohjata murskaimen moottoria taajuusmuuttajan avulla, koska sen ei tarvinnut pyöriä koko ajan täydellä teholla. Muita moottoreita ei tarvitse säätää, vaan niille riittää päälle-pois -ohjaus. Syöttö sekä turvareleen kytkentä toteutettiin samalla tavalla kuin edellisessä keskuksessa. Kyseistä moottoria ei tarvitse ajaa taaksepäin, joten ohjaukseen riittää yksi rele.

## 6.3 Logiikka

Keskukseen ei kytketä montaa toimilaitetta edelliseen keskukseen verrattuna. Moottorisuojia sekä turvakytkimiä on kuitenkin enemmän kuin edellisessä keskuksessa, joten ainakin digitaalikortteja tarvitaan jonkin verran.

### 6.3.1 Turvakorttien suunnittelu

Turvatulot- sekä turvalähtökortteja kumpaakin tarvittiin vain yksi kappale. Turvatuloon kytketään keskuksen ovelta sijaitseva hätäseis-painike. Keskuksen oveen tulee myös hätäseis-kuitausnappi sekä -merkkivalo, jotka kytketään logiikkaan edellisen keskuksen tapaan. Turvalähtökortteille kytketään samanlaiset turvareleet kuin edellisessä keskuksessa, joilla molemmilla on sama tarkoitus myös tässäkin keskuksessa. Vaijeri- sekä turvarajakytkimiä ei keskuksen laitteissa tarvita.

### 6.3.2 Analogiakorttien suunnittelu

Vanhan vesileikkurin lämpötila-anturi toimii analogisen viestinnän avulla. Muita analogiatulokorttiin liitettäviä laitteita ei yhteisiltä laitteilta löydy, joten kyseisiä kortteja tarvitaan vain yksi kappale. Analogialähtökorttejakin tarvitaan vain yksi kappale, koska taajuusmuuttajan nopeusohjeen lisäksi ei ole muita analogiaa tarvitsevia laitteita.

### 6.3.3 Digitaalikorttien esisuunnittelu

Kuten edellä jo mainitsin, moottoreiden turvakytkimiä sekä moottorisuojia on jonkin verran. Näiden suojalaitteiden sekä kontaktorien kosketintietojen lisäksi luetaan taajuusmuuttajan releen käymis- sekä häiriötietoja sen koskettimilta. Tuloilmapuhaltimien turvakytkimiä ei tarvitse lukea logiikalla, koska kyseiset laitteet eivät ole niin tärkeitä. Tilaaja ei ollut varma, halutaanko uuden vesileikkurin turvakytkintä lukea, joten esisuunnittelussa sille jätettiin valmis kytkentä varmuuden vuoksi. Näiden lisäksi seulotun raaka-aineen siilon etäisyysanturi kytketään digitaalikortteille. Etäisyys anturi

ilmoittaa logiikalle, milloin raaka-ainetta on liikaa taikka liian vähän. Myös tämän keskuksen ensimmäisen jännitelähteen häiriökosketinta luetaan. Etäisyysanturin ja neljän tarvittavan turvakytkimen lisäksi on moottoreita, joissa on sekä moottorisuoja sekä kontaktori, joita on yhteensä viisi kappaletta, joten tulokortteja tarvitaan yhteensä kolme.

Lähtökorteilla puolestaan ohjataan moottoreiden kontaktoreita sekä taajuusmuuttajan ja uuden vesileikkurin releitä päälle. Kontaktoreita sekä releitä on yhteensä yhdeksän, joten lähtökortteja tarvitaan kaksi.

#### 6.3.4 Digitaalikäyttöjen esisuunnittelun muutokset

Logiikalle haluttiin tuoda tieto jätekonttien täyttymisestä, koska tilaaja ei halunnut jätelavoista tulevan liian painavia. Näin olleen jätekonttien täyttymisestä kertovien releiden kosketin tiedot tuotiin logiikkaan. Kosketin tietoja ei tarvitsisi tuoda erikseen, jos jätekontit olisivat yhteydessä logiikoihin Profinet -kaapelilla. Edellisen keskuksen tavoin lisättiin myös seulotun raaka-aineen pintakytkin logiikkaan. Pintakytkin toimii samalla periaatteella kuin toisen keskuksen pintakytkin, mutta tämän keskuksen pintakytkimellä pystytään lukea ylä- sekä alaraja yhdellä pintakytkin laitteella. Laitteeseen lisättiin kaksi apurelettä, joiden avulla toiminta voidaan toteuttaa.

#### 6.3.5 Uuden vesileikkurin logiikkakytkentä

Logiikan korteille kytketään kaksi relettä sekä kaksi releen kosketinta. Releet, joiden koskettimia luetaan ovat eri releitä kuin ne kaksi, jotka kytketään logiikkaan. Kyseisiltä releen koskettimilta luetaan häiriö sekä päällä olotila uudelta vesileikkurilta. Logiikkaan suoraan kytkettävillä releillä puolestaan kauko-ohjataan uusi vesileikkuri joko päälle taikka pois päältä, jolloin sen ohjaaminen helpottuu. Kosketin tiedot luetaan digitaalitulokortilla ja kauko-ohjaus releitä ohjataan digitaalilähtökorteilla. Näin ollen digitaalitulokortteja tarvitaan yksi lisää, mutta lähtökortteja ei tarvitse lisätä. Kaikki releet kytketään yhteisellä kaapelilla uuden vesileikkurin keskukseen. Näin pitää tehdä, koska uusi vesileikkuri ei ole Profinet -kaapelilla yhteydessä logiikoihin.



### 6.3.6 Switch -kenttäväylän valinta sekä ohjauspaneeli

Kenttäväyläksi valittiin hieman erilainen väylä kuin edellisessä keskuksessa. Kahdeksan paikkaisen sijasta valittiin viisi paikkainen, koska liitettäviä laitteita on vähemmän. Logiikan CPU:n lisäksi kenttäväylään kytketään keskuksen ohjauspaneeli, magneettiventtiilitukki sekä edellisen keskuksen logiikka. Näin ollen yksi paikka jää siis varalle. Ohjauspaneeli on samanlainen kuin edellisen keskuksen pääohjauspaneelissa ja se asennetaan keskuksen oveen hätäseiskytkimen sekä -kuittausnapin viereen.

### 6.4 Magneettiventtiilitukki

Kuten jo edellisessä keskuksessa tehtiin, siirrettiin yksi magneettiventtiilitukki yhteisille laitteille kuuluvaan keskukseseen. Kyseinen magneettiventtiilitukki on samanlainen kuin muut edellisessä keskuksessa olevat tukit. Muutoinkin tukki kytketään samalla tavalla kuin edellisessä keskuksessa.

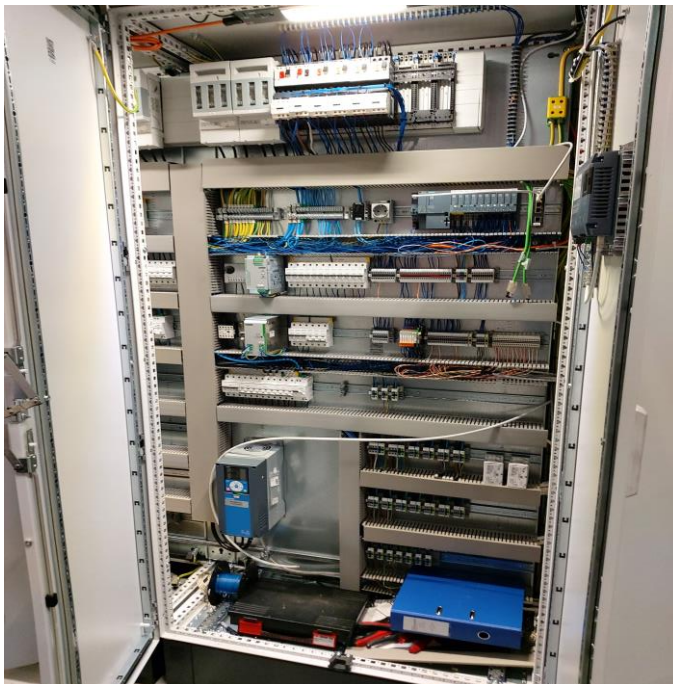
### 6.5 Keskus lay-out

Keskus pyrittiin tekemään mahdollisimman samankaltaiseksi sekä samaa jännitteenjakoa toteuttaen kuin edellinen keskus. Riviliittimiä asennetaan keskukseseen enemmän kuin edelliseen keskukseseen, joten keskimmäisen kaapin leveyttä kasvatettiin 20 senttimetrillä. Toisen asennuskaapin sekä kaapelikuilun kaapin mitat pysyvät samoina kuin edellisessä keskuksessa. Keskuksen oveen sijoitetaan ohjauspaneelin lisäksi hätäseispainike sekä hätäseiskuittausnappi. Vasemmalta alhaalta tulevat syöttökaapelit olivat kooltaan todella paksuja, joten paksuja kouruja olisi tarvittu ainakin kaksi kappaletta. Tästä syystä niiden tilalle asennettiin asennuskiskot, johon mahtuu enemmän johtoja pienempään tilaan. Kiskoilta edetään pääkytkimelle, josta mennään ylös virtakiskostolle. Virtakiskosto on pidempi kuin edellisessä keskuksessa, koska varoke-erotimia tarvitaan enemmän. Myös moottorisuojat asennetaan kiskostolle liitäntäadapterin avulla. Moottorisuojien jälkeiset kontaktorit voidaan asentaa suoraan kiinni moottorisuojiin laiteadapterin avulla, jolla säästytään johdotukselta. Moottoreille lähtevät riviliittimet ovat oikealla alhaalla taajuusmuuttajan vieressä, josta on kaapelikuiluun

lyhyt matka. Kaapissa on myös runsaasti tilaa tulevaisuuden asennuksille. Kuvissa 10 ja 11 keskus on sijoitettuna Tupler Oy:n tuotantotiloihin.



Kuva 10. LK2 sähkö- ja logiikkakeskuksen syöttö (Tupler Oy:n tuotantotilat 2020)



Kuva 11. LK2 sähkö- ja logiikkakeskuksen ohjaus (Tupler Oy:n tuotantotilat 2020)

## 7 TUPLER LINJA 7 SÄHKÖ- JA LOGIIKKAKESKUKSEN SUUNNITTELU

Tupler linja 7 keskuksen suunnitelma kopioitiin suoraan valmiista linja 8 keskuksen suunnitelmasta. Vaikka keskuksista tehtiin täysin samanlaisia, osa toimilaitteista nimettiin kuitenkin eri tavalla kuin linja 8 keskuksessa, jotta niiden syötön sijainti pystyttiin helpommin tunnistamaan. Ohjauspaneelien nimet muutettiin siten, että OP1:stä tuli OP31 ja OP2:sta tuli OP32. Pääohjauspaneelin nimi puolestaan muutettiin OP10:stä OP30:een. Myös magneettiventtiilitukkien nimet vaihdettiin siten, että ykkösestä tuli nelonen ja kakkosesta tuli vitonen. Kenttäväylä pysyi myös kahdeksan paikkaisena, vaikka käytössä niistä on vain viisi, koska yhteisten laitteiden keskus on jo kytketty linja 8 keskukseseen, jolloin linja 7 sekä yhteisten laitteiden keskuksset voivat viestiä keskenään linja 8 väylän kautta.

Ainoa muutos mitä tehtiin linja 8 keskuksesta linja 7:ään oli valomajakan paikan vaihto. Majakan paikkaa vaihdettiin, koska majakan valot nähdään paremmin pääohjauspaneelin eli OP30 päältä kuin keskuksen päältä. Vaihto tehtiin ennen ohjauspaneelien sekä keskuksen lähettämistä. Tilaaja yritys harkitsee myös linja 8 keskuksen valomajakan siirtämistä kyseisen pääohjauspaneelin eli OP10 päälle.

## 8 KESKUKSIEN TESTAUS

Aina keskuksen valmistuessa keskuksen toiminta sekä sen sähkölaitteiden kytkennät testataan, jotta voidaan varmistua keskuksen turvallisesta toiminnasta. Keskuksen logiikalle ladataan myös niissä käytettävä ohjelma, ennen keskuksen lopullista luovutusta tilaajalle. Sähkö- ja logiikkakeskusten lisäksi tarkistetaan myös projektin ohjauspaneelista sen kytkennät sekä toiminta. Käyttöönotto suoritetaan, kun keskuksat ovat tilaajayrityksen toiminta tiloissa oikeilla paikoilla sekä niihin on kytketty tarvittavat kenttälaitteet.

### 8.1 Kytkentöjen oikeellisuuden todentaminen yleismittarilla

Keskuksien kytkennät todetaan oikeanlaisiksi yleismittarin jatkuvuusmittauksen avulla. Jatkuvuusmittaus on resistanssimittaus, jossa yleismittari tunnistaa onko sen väliin jäävä sähköpiiri avoin taikka suljettu. Suljetussa piirissä sähkö pääsee kiertämään mittarin kautta, jolloin yleismittarin merkinantolaite alkaa pitää kimeää ääntä. Tällöin voidaan helposti todeta, onko jokin kytkentä oikein. Kyseinen mittaus voidaan toteuttaa helpoiten digitaalisella yleismittarilla, jolloin mittaus tapahtuu nopeasti sekä vaivattomasti. (Opetushallitus 2019.)

Maadoitusten oikeellisuus testataan ensimmäiseksi yleismittarilla, jotta voidaan varmistua suojalaitteiden oikeanlaisesta toiminnasta. Maadoitus todetaan myös kaapin rakennesilta ja sen asennuslevyiltä sekä keskuksen maadoituskiskostosta. Tämän jälkeen johdotus tarkistetaan sähköpiirustuksista sivu kerrallaan ja tarpeen vaatiessa ne korjataan oikeanlaiseksi. Tässä vaiheessa asentaja kertoo, jos toteaa jotakin epäkohtia keskuksen toiminnasta.

Kytkentöjen tarkistamisen jälkeen keskuksen toiminta testataan sekä sen mekaaniset osat tarkistetaan. Tarkistuksesta laaditaan tarkastuspöytäkirja, joka toimitetaan asiakkaalle. Tarkastuspöytäkirjan ensimmäiseltä sivulta selviää keskuksen tunnuksat sekä arvokilven arvot. Seuraavalta sivulta selviää keskukselle tehdyt kokeet sekä sen tiedot. Kyseiset kokeet ja tiedot ovat keskuksen rakenne, mekaaniset ja sähköiset toimintakokeet, keskukselle tehdyt mittaukset, maadoituksen testaukset, lähetettävät dokumentit

sekä keskuksen valmistusstandardi. Viimeisellä sivulla löytyy mittauksissa käytetyn mittalaitteen tiedot sekä vaiheiden ja nollan eristysresistanssi arvot. Tämän lisäksi mittauksista löytyy PE -johtimen jatkuvuus sekä vikavirtasuojien laukaisuaajat sekä -virrat. (Provendo Oy LK1 tarkastuspöytäkirja 24.9.2019.)

## 8.2 Keskuksien käyttöönotot

Projektin keskuksien käyttöönotot toteutettiin tilaajayrityksen puolesta. Tilaajayritys oli suunnitellut käyttöönoton toimintavaiheet ja heidän antamien tietojen mukaan ne toteutuivat pääosin hyvin. Ainoastaan yksi analogiantulo oli kytketty väärään kohtaan kuin sähkökuivissa oli piirretty, mutta kyseinen epäkohta korjattiin käyttöönotossa. Projektin käyttöönotoissa oli monia eri vaiheita, kuten esimerkiksi moottorien säätö oikealle nopeudelle sekä turvalaitteiden ja antureiden testaus.

## 9 PROJEKTIN YHTEENVETO

Opinnäytetyön projekti toteutui pääosin suunnitelmien mukaisesti. Lähtökohtaisesti opinnäytetyön sähkösuunnittelua ei aloitettu tyhjästä, vaan suunnittelun tukena käytettiin vanhan linja 7 koneen sähkökuvia. Osaan esisuunnittelussa laadittuihin suunnitelmiin sekä laitevalintoihin tehtiin muutoksia erinäisistä syistä. Kokonaisuudessa laitevalinnat osoittautuivat soveltuvan projektiin hyvin. Linja 8 keskuksen valmistuttua muut keskuksat pyrittiin toteuttamaan samaa piirrustustekniikkaa hyödyntäen. Keskuksien testauksissa sekä käyttöönotoissa ei tapahtunut mitään poikkeuksellista, joten kokonaisuudessaan projekti oli erittäin onnistunut.

Logiikkaohjaus toimii projektin kelainsovelluksessa mallikkaasti. Erilaiset automaattiset hidastukset ja turvatoiminnot reagoivat nopeasti muutoksiin ja ohjauspaneelista voidaan kontrolloida koneen toimintoja helposti. Releohjauksessa käytetyt painikkeet ja kytkimet vähentyivät noin kolmannekseen vanhasta linja 7 sähkökeskuksesta. Hinta-laatusuhteeltaan logiikkaohjaus on lähes mihin tahansa projektiin parempi valinta kuin releohjaus, koska ohjelmoitava logiikka on erittäin muuntautumiskykyinen.

Projektin kelainlaitteissa käytetyt momenttiohjeet ovat lähes samankaltaisia. Tuote ei ole kovinkaan painavaa, joten lopputuote saadaan kelattua erilliselle hylsulle. Jos lopputuotetta kelattaisiin akselinsa ympäri, pitäisi momenttiohjeen muuttua kelauksen aikana jatkuvasti. Ohjaavien kelainlaitteiden momenttiohje pysyy vakaana ja muuttumattomana. Momenttiohje muuttuu vain, kun pesukytkin asetetaan pesuasentoon, jolloin linjan ajonopeus hidastuu.

Opinnäytetyön projektin aikana kokemus sekä tietotaito karttuivat sähkö- ja automaatiotekniikan alalta runsaasti. Virtakiskoston sekä laiteadapterien käyttö ja valinta olivat asioita, joita ei ole ennen tullut edes ajatelleeksi. Sähkönsyötön suunnittelun lisäksi projektin keskuksat sisälsivät ohjelmoitavan logiikan, jonka toimintaan tarvittavat laitteet tulivat hyvinkin tutuiksi. Lisäksi tiedonhankintataito kehittyi roimasti. Kokonaisuudessaan opinnäytetyö antoi hyvät avaimet alkavalle sähkö- ja automaatioinsinöörin työuralle.

## LÄHTEET

ABB:n www-sivut. Viitattu 2.2.2020. <https://new.abb.com/>

Fonselius, J., Pekkola, K., Selosmaa, S., Ström, M. & Välimaa, T. 1999. Koneautomaatio automaatiolaitteet. 2. uud. p. Helsinki: Edita.

Good, J. K. & Roisum, D. R., 2008. Winding machines: Mechanics and measurements. Lancaster: DEStech Publications. Viitattu: 23.11.2019. <http://books.google.fi>

Kauppalehti. 2019. Yrityshaku. Viitattu 3.11.2019. <https://www.kauppalehti.fi/yritykset/yritys/tupler+oy/23419672>

Kauppalehti. 2019. Yrityshaku. Viitattu 3.11.2019. <https://www.kauppalehti.fi/yritykset/yritys/provender+oy/17647732>

Kotamäki, M. & Nyberg, T. 1992. Koneautomaatio 2000. Helsinki: VAPK-kustannus.

Opetushallitus. 2019. Yleismittarit ja niiden käyttö. Viitattu 3.12.2019. [http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/mekaniikka\\_y1\\_yleismittarit\\_ja\\_niiden\\_kaytto.html](http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/mekaniikka_y1_yleismittarit_ja_niiden_kaytto.html)

Phoenix Contact www-sivut. Viitattu 2.2.2020. <https://www.phoenixcontact.com/online/portal/pc>

Provender Oy LK1 tarkastuspöytäkirja 24.9.2019.

Provender Oy. 2019. Yritys. Viitattu 3.11.2019. <http://www.provender.fi/index.php?page=yritys>

SFS 6000-4-41:2017. Pienjännitesähköasennukset Osa 4-41. Suojausmenetelmät. 2017. Finnish Standards Association SFS. Helsinki: SFS. Viitattu 12.11.2019. [www.sfs.fi](http://www.sfs.fi)

Siemens www-sivut. Viitattu 2.2.2020. <https://new.siemens.com/global/en.html>

Suvanto, K. 2003. Tekniikan fysiikka 1. Helsinki: Edita.

Tupler Oy. 2019. Company info. Viitattu 3.11.2019. <https://tuplex.fi/company/>

Tupler Oy. Viitattu 2.2.2020. Tupler Oy:n tuotantotilat.

Tupler Oy:n www-sivut. Viitattu 2.2.2020. <https://tuplex.fi/>

VACON 100 industrial sovelluskäsikirja. 2016. Vaasa: Vacon Ltd.

VACON www-sivut. Viitattu 2.2.2020. <https://www.danfoss.com/e>