



# Teollisuusautomaation ohjauskeskuksen suunnittelun perusta

Joonatan Jäntti

Opinnäytetyö, AMK

Tammikuu 2023

Insinööri (AMK), sähkö- ja automaatiotekniikka

**Joonatan, Jäntti**

## **Teollisuusautomaation ohjauskeskuksen suunnittelu**

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Tammikuu 2023, 40 sivua.

Tekniikan ala. Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö AMK.

Julkaisun kieli: suomi

Julkaisulupa avoimessa verkossa: kyllä

### **Tiivistelmä**

Tarkoituksena on suunnitella ja toteuttaa Siparila Oy:n uudelle tehtaalle ohjauskeskus, ja luoda suunnitteluprosessista ja sen vaiheista ohjeistava kertomus toimeksiantajalle, Vaajakosken Sähkösepät Oy:lle.

Teollisuudessa hyödynnetään automatiikkaa avustamaan ja korvaamaan työntekijöitä varsinkin vaarallisissa tai yksinkertaisissa työtehtävissä.

Automaatiikan hyötyinä automatiikka kasvattaa tuotantoa, lisää turvallisuutta ja työpaikan viihtyvyyttä sekä vähentää työvoiman tarvetta.

Teollisuusautomaatiossa automatiikka ohjaa erilaisia koneita ja tuotantoprosessia, jonka tuloksena tuotetaan valmiita tuotteita. Suunnittelussa huomioitavia seikkoja ovat turvallisuus, käyttäjien toiveet, tehokkuus, pitkän aikajakson kehitys ja tuki.

Kaiken tämän keskeisin asia on ohjauskeskus, joka vastaa prosessin kontrolloimisesta. Ohjauskeskusten suunnittelusta on hyvin rajallisesti aineistoa ja opinnäytetyön tarkoituksena on luoda pohja, joka avustaa tulevaisuudessa tehtävien ohjauskeskusten suunnittelussa ja toteutuksessa.

Ohjauskeskusten suunnittelussa ja rakentamisessa on paljon huomioon otettavia asioita ja olemassa olevaa aineistoa aiheesta löytyy hyvin hajanaisesti. Opinnäytetyön tarkoituksena on tuoda suunnittelussa hyödyksi käytettäviä asioita yhteen, jolloin ne palvelevat tulevaisuudessa keskuksien suunnittelussa paremmin.

### **Avainsanat (asiasanat)**

Ohjelmoitavat logiikat, sähkösuunnittelu, automaatio suunnittelu, teollisuusautomaatio

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

**Joonatan, Jäntti**

### **Industry automation control centre design**

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, September 2020, 40 pages.

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

Permission for open access publication: Yes

Language of publication: Finnish

### **Abstract**

The purpose is to design and implement a control center for Siparila Oy's new factory and create an instructive report on the design process and its stages for the client, Vaajakosken sähkösepat Oy.

Automation is used in industry to assist and replace workers, especially in dangerous or simple tasks. As benefits of automation, automation increases production, increases safety and workplace comfort, and reduces the need for manpower.

In industrial automation, automation controls various machines and the production process, which results in the production of finished products. Factors to be considered in planning are safety, user wishes, efficiency, long-term development and support.

The most important thing in all of this is the control center, which is responsible for controlling the process. There is very limited material on the design of control centers and the purpose of the thesis is to create a foundation that will assist in the planning and implementation of control centers in the future.

There are a lot of things to take into account when planning and building control centers, and the existing material on the subject is very scattered. The purpose of the thesis is to bring things that are useful in planning together, so that they will serve better in the future in the planning of centers.

### **Keywords/tags (subjects)**

Programmable logics, electrical design, automation design, industrial automation

### **Miscellaneous (Confidential information)**

## Sisältö

<b>1</b>	<b>Johdanto</b> .....	<b>3</b>
1.1	Toimeksiantaja – Vaajakosken Sähkösepät Oy .....	3
<b>2</b>	<b>Projektin vaiheet</b> .....	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Ohjelmistot</b> .....	<b>4</b>
3.1	CADMATIC Electrical .....	4
3.2	Microsoft EXCEL .....	5
<b>4</b>	<b>Komponenttien valinta ja mitoittaminen</b> .....	<b>5</b>
4.1	Johdonsuojakatkaisija .....	6
4.2	Rele.....	6
4.2.1	Releiden tyypit.....	7
4.3	Kontaktori.....	8
4.4	Moottorinsuojakatkaisija .....	9
4.5	Taajuusmuuttaja .....	11
4.6	Virtalähde.....	13
4.7	Ohjelmoitava logiikka.....	14
4.8	Turvaominaisuudet .....	15
4.9	Keskuksen johtimet.....	17
4.10	Kenttälaitteet .....	18
<b>5</b>	<b>Keskuksen suunnittelu</b> .....	<b>21</b>
5.1	Layout.....	21
5.2	Kytkenäkaaviot.....	23
5.3	Riviliitinluettelot.....	26
5.4	Kaapeliluettelo .....	27
5.5	käyttöönotto .....	28
<b>6</b>	<b>Pohdinta</b> .....	<b>28</b>
	<b>Lähteet</b> .....	<b>30</b>
	<b>Liitteet</b> .....	<b>32</b>
	Liite 1. Ohjauskeskuksen sähkökuvat.....	32

## Kuviot

Kuvio 1.	Cadmatic-kuva johdonsuojakatkaisijan piirrosmerkistä .....	6
Kuvio 2.	Cadmatic-ohjelman releen piirrosmerkki .....	7

Kuvio 3. Cadmatic-ohjelmalla piirretty kontaktorin piirrosmerkki .....	9
Kuvio 4. Cadmatic-ohjelmalla piirretty moottorinsuojan piirrosmerkki.....	10
Kuvio 5. Schneider electric kontaktori ja lämpösuoja -kokonaisuus .....	11
Kuvio 6. Cadmatic-ohjelmalla piirretty taajuusmuuttajan piirrosmerkki. ....	12
Kuvio 7. Danfoss taajuusmuuttajia .....	12
Kuvio 8. Cadmatic-ohjelmalla piirretty virtalähteen piirrosmerkki .....	13
Kuvio 9. Virtalähde .....	14
Kuvio 10. Ohjauskeskukseen asennettu Siemens-logiikkakokonaisuus .....	15
Kuvio 11. Häätä-seis painike .....	16
Kuvio 12. Keltainen hätäseis-rele ohjauskeskuksessa .....	17
Kuvio 13. Kuljettimen oikosulkumoottori .....	19
Kuvio 14. Puutavaran pakkauslinjasto .....	19
Kuvio 15. 5/2 venttiili ohjaamassa paineilmasyylinteriä .....	20
Kuvio 16. Cadmatic-ohjelmalla piirretty kuva keskuksesta .....	21
Kuvio 17. Layout-kuvan pohjalta rakennettu ohjauskeskus. ....	23
Kuvio 18. Cadmatic-ohjelmalla piirretty ohjauskeskuksen jännitteenjako .....	24
Kuvio 19. Cadmatic-ohjelmalla piirretty moottoripiirin kytkentä. ....	25
Kuvio 20. Microsoft Excel-ohjelmistolla luotu riviliitinluettelo .....	26
Kuvio 21. X20 Riviliitinkisko.....	27
Kuvio 22. Kaapeliluettelo .....	28

## **Taulukot**

Taulukko 1. Johtimen koko eri sulakelähdöissä.....	18
--	----

# 1 Johdanto

Siparila Oy on suomalainen puupaneeleita valmistava yritys, joka rakennuttaa uutta tehdasta Laukaan kuntaan. Toimeksiantajana toimiva Vaajakosken Sähkösepät Oy vastaa osasta tehtaan tuotantolinjastoihin kohdistuvasta sähköistyksestä ja automatiikasta.

Toimeksiantajalla ei ole linjastojen ohjauskeskusten suunnittelusta minkäänlaista apumateriaalia, joten opinnäytetyön tavoitteena on tehdä ohjeistus ja kerronta, jotka tukevat tulevaisuudessa ohjauskeskusten suunnittelu- ja toteutusvaiheessa tekijää. Suunnitteluvaiheessa komponenttien valinnasta on hyvin hajanaisesti materiaalia ja tietoa on vaikea löytää. Keskuksen dokumenteista ei myöskään ole yrityksessä minkäänlaista pohjaa ja tulevaisuudessa uusien projektien dokumentoinnille saadaan jonkinlainen pohja, mitä tekijä voi seurata.

Opinnäytetyön aikana suunniteltu ohjauskeskus tulee vastaamaan puutavaran pakkauslinjaston toiminnasta. Ohjauskeskus pääsääntöisesti vastaa siitä, että linjastot toimivat suunnitellusti, turvallisesti, ja tehokkaasti sekä käyttäjien tarpeet huomioiden. Hyvän keskuksen piirteisiin kuuluukin se, että keskukselta on olemassa hyvät ja ajankohtaiset dokumentit, jolloin keskus palvelee tulevaisuudessa laajennus- tai vikatilanteissa käyttäjää.

## 1.1 Toimeksiantaja – Vaajakosken Sähkösepät Oy

Vaajakosken Sähkösepät Oy on jyvaskyläläinen 2012 vuonna perustettu sähkö- ja automaatioasennuksia toteuttava yritys. Yritys toteuttaa pääsääntöisesti teollisuuden sähkö- ja automaatio toteutuksia. Yrityksessä työskentelee n. 10 sähkö- ja automaatioalan ammattilaista. (Kauppalehti 2022.)

## 2 Projektin vaiheet

Automaatioprojektin tarkoituksena on toteuttaa tehtaalle automaatiojärjestelmä ja tarvittavat tiedot sen toteuttamiseen, käyttämiseen, ja ylläpitoon. (Hinttala 2007, 8.)

Ohjauskeskuksen suunnitteluvaiheessa keskeisenä asiana on varmistaa, että suunnittelijalle on toimitettu tarvittava määrä tietoa prosessin kokonaisuudesta ja laajuudesta. Yleensä tämä toteutetaan tilaajan, ja muiden projektiin kuuluvien kanssa kokouksessa.

Suunnittelijan vastuulla on tutustua laitteistoon ja sen dokumentteihin sekä luoda lista kenttälaitteista. Kenttälaiteluetteloon merkitään kaikki sähkökomponentit, jotka ovat yhteydessä ohjauskeskukseen.

Keskuksen suunnittelu aloitetaan mitoittamalla toimilaitteet ja luomalla lista keskuksen sisälle tulevista komponenteista kenttälaiteluettelon avulla. Komponenttien ollessa tiedossa, luodaan layout-kuva ja tilataan komponentit, sekä keskus.

Kun tiedossa on keskuksen sisälle tuleva sisältö, voidaan aloittaa keskuksen sisäisen johdotuksen suunnittelu, eli kytkentäkaavioiden piirtäminen. Kytkentäkaavioiden tarkoituksena on kuvata komponenttien väliset yhteydet keskenään. Kytkentäkaavioiden lisäksi luodaan kaapelointiluettelo, ja riviliitinluettelo. Kaapeliluettelosta selviää kenttälaitteiden ja keskuksen väliset yhteydet, ja riviliitinluettelosta kaapeleiden kytkentä keskukseen.

Keskuksen kokoonpano tapahtuu layout-kuvan ja kytkentäkaavioiden pohjalta, jonka jälkeen keskus siirretään käyttöönottopaikalleen. Keskus on tarkoitus sijoittaa ohjattavan prosessin kannalta keskeiselle paikalle. Keskuksen sijoittamisen jälkeen kenttälaitteet kaapeloidaan ja kytketään kaapelointiluettelon ja riviliitinluettelon perusteella.

## **3 Ohjelmistot**

### **3.1 CADMATIC Electrical**

CADMATIC Oy on suomalainen ohjelmistoyhtiö, joka on osa Elomatic-konsernia. CADMATIC-liiketoiminta on jaettu kolmeen osaan: meri-, prosessi- ja rakennusteollisuuteen. CADMATIC Electrical on rakennusteollisuuden ohjelmisto, jota käytetään sähkö- ja automaatio suunnitteluun ja dokumentointiin. CADMATIC Electrical on monipuolinen suunnitteluohjelma, jolla on mahdollista luoda sähkö- ja automaatio suunnitelmat ja dokumentoinnit tietomallipohjaisesta (BIM) suunnittelusta projektin loppudokumentointiin. (Cadmatic 2022.)

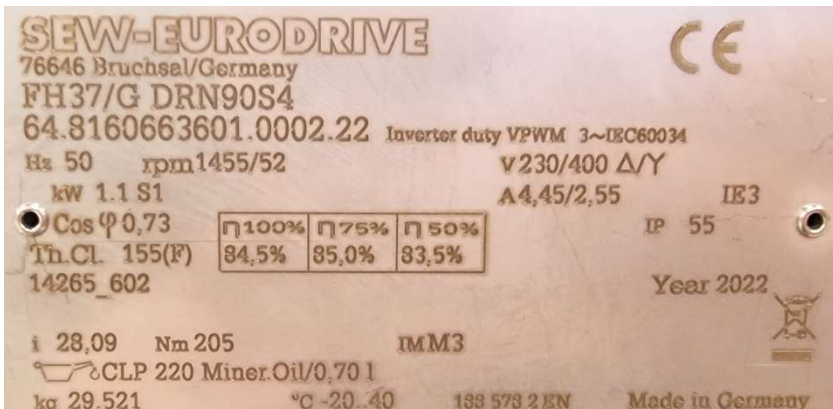
### 3.2 Microsoft EXCEL

Microsoft Excel on maailman suosituin toimistokäyttöön suunniteltu taulukkolaskentaohjelma. Excel on suunniteltu toteuttamaan kaikki tarvittavat laskentaa ja tilastointia vaativat tehtävät kätevästi. Ohjelmalla on helppo tehdä erilaisia kuvaajia ja taulukoita ja Excel on helposti saavutettavissa kaikilla laitteilla. (Salonen 2019).

## 4 Komponenttien valinta ja mitoittaminen

Komponenttien valinnassa ja mitoittamisessa on useita huomioitavia asioita. Keskuksen sisällä komponentit jaotellaan omiin ryhmiinsä, joilla jokaisella on oma johdonsuojansa. Johdonsuojan taakse tulevan virtapiirin käyttämä nimellisvirta tulee laskea. Yleensä sähkölaitteissa on ilmoitettu niiden käyttämä virta, tai teho. Nimellisvirran mukaan piiriin valitaan siihen sopiva johdonsuojakatkaisija. Johdonsuoja taas vuorostaan vaikuttaa valittavaan johtimeen.

Oikosulkumoottoripiiri suunnitellaan moottorin tietojen mukaan. Moottorin tyyppikilvessä ilmoitetaan sen nimellisvirta, jonka keskuksen tulee pystyä siirtämään turvallisesti. Nimellisvirran perusteella valitaan piiriin komponentit, joiden mitoitusvirta on nimellisvirtaa suurempi.



Kuvio 1. Oikosulkumoottorin tyyppikilpi

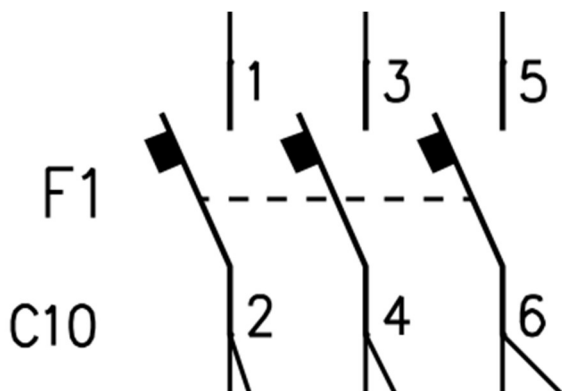
Tyyppikilvessä esitetty moottorin nimellisvirta 3-vaihe kytkennällä on 2,55 A ja teho 1.1 kW. Taa-juusmuuttajien koko ilmoitetaan tehona.

## 4.1 Johdonsuojakatkaisija

Kansankielellä sulakkeena tunnettu keskuskomponentti on virtapiirissä oleva turvalaite, joka suo-  
jaa komponentteja ja käyttäjää ylikuormitus ja oikosulkutilanteissa.

Johdonsuojakatkaisija valitaan aina sen suojaaman komponentin ominaisuuksien mukaan. Myös  
Jokinen (2018, 1) kertoo että, johdonsuojat on jaoteltu kirjainten perusteella eri ryhmiin niiden  
ominaisuuksien mukaan. Yleisimmittain käytössä on C-käyrän sulake. D-käyrän sulaketta käytetään  
isojen moottorien kanssa, ja B-käyrää herkempien komponenttien, esim. logiikan kanssa. (Jokinen  
2018.)

Johdonsuojien luokat jakautuvat B-, C-, D-, K-, Z- ja A-Tyypin suojiin. (Jokinen. 2018, 1). Johdon-  
suojakatkaisijan koon määrittämiseksi tulee selvittää laiteen nimellisvirta.



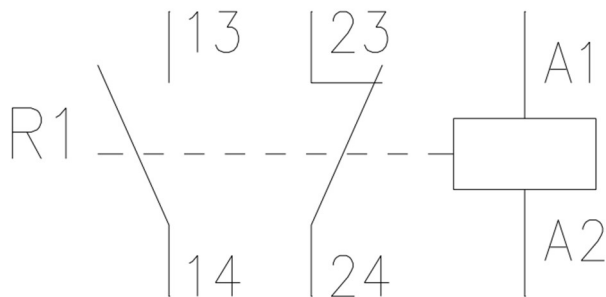
Kuvio 2. Cadmatic-kuva johdonsuojakatkaisijan piirrosmerkistä

Johdonsuojakatkaisijan piirrosmerkistä selviää sulakkeen toimintatapa, sen merkintä "F1" sekä su-  
lakkeen tyyppi ja koko.

## 4.2 Rele

Releitä käytetään ohjauskeskuksessa eri jännitteellisten piirien ohjaamiseen. Esim. Taajuusmuun-  
tajien käyntilupa vaatii sen, että taajuusmuuntajaa ohjataan taajuusmuuntajan sisäisellä 10 V jän-  
nitteellä. Kun käyntilupa kierrätetään releen kautta, sitä voidaan ohjata logiikalta 24 VDC-  
jännitteellä. Releiden rakenteesta löytyy useimmiten NO (normaalisti aukinainen virtapiiri) ja NC

(normaalisti kytketty virtapiiri) kytkentämahdollisuudet. Releitä käytetään yleensä pienivirtaisissa (alle 10 A nimellisvirran) ohjaustoiminnoissa (Tuominen 2019). Alla esitettyä releen piirrosmerkkiä.



Kuvio 3. Cadmatic-ohjelman releen piirrosmerkki

Releen piirrosmerkissä numeroiden 23-24 välissä on esitetty NC-piiri, 13-14 välissä NO-piiri, ja A1-A2 välissä ohjauspiiri.

#### 4.2.1 Releiden tyypit

Releet on yleisesti jaettu kahteen ryhmään, sähkömekaanisiin releisiin, ja puolijohdereleisiin. Sähkömekaaninen rele on sähkömekaaninen kytkin, joka sähkömagneettisesti kytkkee virtapiirin. Sähkömekaaninen rele on yleisimmin käytetty reletyyppi, sen hinnan, käyttökohteiden, ja yksinkertaisuuden takia. (Ahoranta 2013.)

Sähkömekaanisen releen lisäksi saatavilla on myös puolijohdereleitä, joissa piirin kytkentä tapahtuu sähkömagnetismin sijaan transistoripiirillä. Puolijohdereleiden elinikä on huomattavasti pidempi ja tällöin ne soveltuvat hyvin kohteisiin, jossa releen toiminnallinen tila muuttuu usein.

Releiden valinnassa jännitetyyppi ja virrankesto ovat vaikuttavia tekijöitä releen tyyppin lisäksi. Releitä valittaessa pitääkin tietää onko ohjattava piiri 24 VDC, vai 230 VAC käyttöjännitteen alainen, ja millaisella jännitteellä relettä halutaan ohjata. Releiden virrankesto pitää mitoittaa toimilaitteen nimellisvirran mukaan. (Kärhä 2009.)

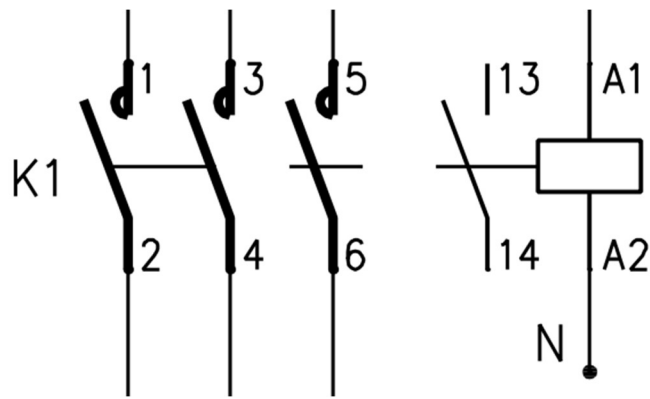
### 4.3 Kontaktori

Kontaktori on sähkömekaaninen kytkin, jonka avulla ohjataan raskaan sähkökuorman omaavia laitteita kuten sähkömoottoreita. Kontaktorin toimintaperiaate on samanlainen kuin sähkömekaanisessa releessä. Myös releiden tapaisesti puolijohdekontaktoreita on saatavilla.

Kontaktori valitaan moottorin kuorman tai käyttökohteen mukaan. Valinnassa pitää huomioida samat asiat kuin releen valinnassa. Kontaktorin ohjaustavat vaihtelevat 230 VAC ja 24 VDC välillä. Kontaktorin virrankesto valitaan käytön mukaan. Yleensä kontaktori kannattaa mitoittaa yhtä koluokkaa suuremmaksi kuin ohjattava moottori, näin kontaktorin elinikä on parempi. (Hietalahti 2013)

Kontaktoreista löytyy myös apukoskettimet. Apukoskettimet toimivat releen kaltaisesti NO/NC tavalla, ja apukoskettimia käytetään kontaktorin tilatiedon ja turvaominaisuuksien toteuttamiseksi.

Kontaktorin valinnassa on huomioitava, että kontaktorin käyttöluokka valitaan kohdelaitteen mukaan. Kontaktorin arvokilvestä käy ilmi apukoskettimien toiminta, tehonkesto, jännitealueet yms. Pitää myös selvittää onko kontaktori tarkoitettu 230 V 50 Hz jännitteelle vai pienemmälle ohjausjännitteelle. (Parviainen 2017, 16.). Kontaktorin piirrosmerkistä selviää kontaktorin toiminnot (kuvio 4).



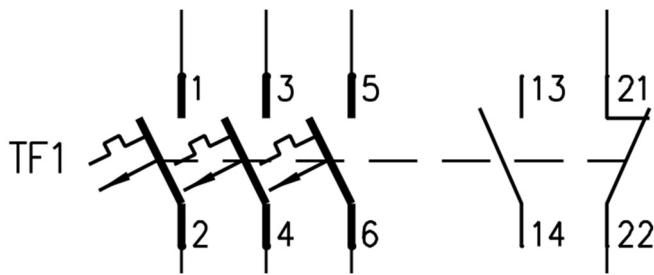
Kuvio 4. Cadmatic-ohjelmalla piirretty kontaktorin piirrosmerkki

Piirrosmerkistä selviää kontaktorin tunnus (K1), apukoskettimien määrät ja toiminnot, ja ohjaustapa. Kontaktorit nimetään "K"-merkinnällä, kasvavalla numeroinnilla.

#### 4.4 Moottorinsuojakatkaisija

Moottorinsuojakatkaisija on kontaktorin lisäosa, joka suojaa moottoria ylikuormitus ja oikosulkutilanteissa. Moottorinsuoja säädetään aina moottorin arvojen mukaisesti ja oikein säädettyinä moottorin elinikä kasvaa huomattavasti. Moottorinsuoja valitaan moottorin virrankulutuksen mukaan ja yleensä valitaan moottorinsuoja, mikä on yhteensopiva käytettävän kontaktorin kanssa.

Moottorinsuoja mitoitetaan ja säädetään moottorin tyyppikilvestä löytyvän ominaisvirta-arvon mukaiseen lukemaan. Tällöin moottorinsuoja laukeaa, jos moottori alkaa käyttämään sallittua arvoa enemmän virtaa, esim. ylikuormitus -tilanteessa.



Kuvio 5. Cadmatic-ohjelmalla piirretty moottorinsuojan piirrosmerkki

Moottorinsuojakatkaisijan tunnuksena toimii "TF", joka tulee englannin kielestä "thermal fuse" eli lämpörele. Moottorinsuojakatkaisijasta löytyy kontaktorin tavoin apukoskettimet, joilla voidaan kertoa muille laitteille moottorinsuojan toiminnallinen tila.

Moottorinsuoja on yleensä integroitu kontaktoriin. Tällöinen asennus säästää tilaa, ja vähentää johdotuksen tarvetta (kuvio 6).

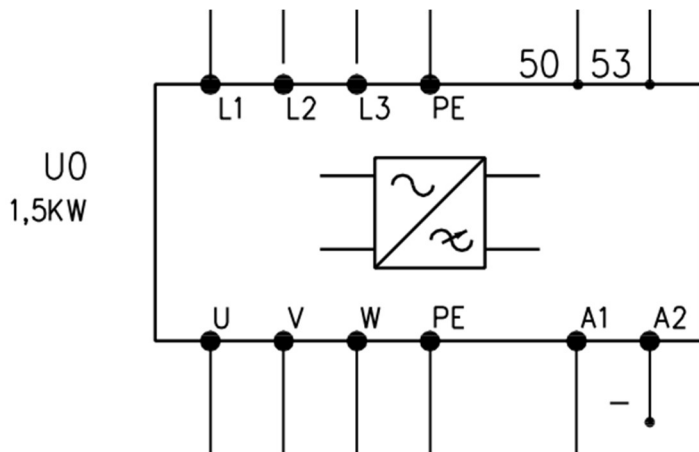


Kuvio 6. Schneider electric kontaktori ja lämpösuoja -kokonaisuus

## 4.5 Taajuusmuuttaja

Taajuusmuuttajaa käytetään tilanteissa, joissa moottorin ominaisuuksia halutaan säädellä käytön mukaan. Taajuusmuuttaja korvaa kontaktorin ja moottorinsuojakytkimen, niiden tarjoamat moottorinsuojaominaisuudet ovat sisäänrakennettuina taajuusmuuttajiin.

Taajuusmuuttaja on yleinen taajuuden säätöön tarkoitettu laite, jolla saadaan ohjattua moottoreita, ja optimoitua niiden käyttö energiatehokkaasti. Taajuusmuuttaja mahdollistaa moottorien portaattoman nopeudensäädön, jota käytetään usein kuljettimien nopeuksien säätämiseen. Taajuusmuuttajat myös mahdollistavat moottorien suunnanvaihdon, ja erinäiset pehmoikäynnistykset sekä muut toiminnot, joiden avulla moottorien elinikä kasvaa ja ohjaustavat lisääntyvät. (Lumijärvi 2019.)



Kuvio 7. Cadmatic-ohjelmalla piirretty taajuusmuuttajan piirrosmerkki.

Taajuusmuuttajiin kytketään moottorien kaapelit suoraan kiinni ilman erillisiä keskuksen sisäisiä riviliittimiä häiriösuojauksen takia, samaisesta syystä myös moottorin kaapelointi tulee toteuttaa häiriösuojatulla kaapelilla. Taajuusmuuttajat ovat hyvin koteloituja kokonaisuuksia (Kuvio 8.) ja tehokkaasti häiriöiltä suojattuja, josta syystä taajuusmuuttajan ja moottorin välinen kaapelointi on häiriöiden kannalta kriittinen. (Lehtilä 2017.)

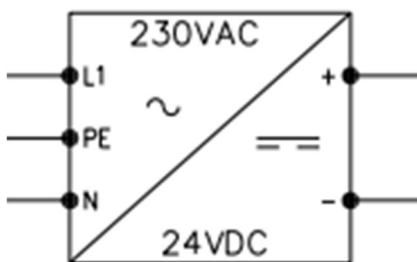


Kuvio 8. Danfoss taajuusmuuttajia

Laitteiston valinnassa taajuusmuuttaja on aina teknisesti kontaktoria parempi vaihtoehto oikosulkumoottorin ohjaukseen. Suurimpana syynä kontaktorin valinnalle on sen, ja taajuusmuuttajan välinen hintaero. Kontaktori on myös toiminnaltaan erittäin yksinkertainen, kun vuorostaan taajuusmuuttajan käyttöönotto on aikaa vievä prosessi.

#### 4.6 Virtalähde

Virtalähteellä muunnetaan keskukseen tuleva 230-voltin vaihtojännite (230 VAC) ohjauskomponenteilla sopivaksi 24-voltin tasajännitteeksi (24 VDC).



Kuvio 9. Cadmatic-ohjelmalla piirretty virtalähteen piirrosmerkki

Virtalähde mitoitetaan 24 VDC-piirin virrankulutuksen mukaan siten että se pystyy muuntamaan riittävän määrän virtaa kuorman suhteessa. Alimitoitettuna virtalähteen jännite voi pudota, ja vahingoittaa pienjännitekomponentteja. Virtalähteen taakse isommissa keskuskokoonpanoissa pienjännite järjestelmän eri osa-alueet eritellään sulakkeilla. Virtalähteen piirrosmerkissä on esitettyinä jännitetyypit, ja niiden kytkennät.



Kuvio 10. Virtalähde

Ohjauskeskukseen valittu virtalähde, joka pystyy tuottamaan maksimissaan 10 A virtaa, 24 voltin piiriin. Valintaan päädyttiin logiikkakokonaisuuden ja relemäärän perusteella.

## 4.7 Ohjelmoitava logiikka

Ohjelmoitava logiikka on tietokone, joka on optimoitu käytettäväksi automaatioprosessien ohjauksessa. Logiikka vastaa kaikesta keskuksessa tapahtuvasta toiminnasta ja pystyy käsittelemään useita prosesseja samanaikaisesti. (Boisset 2018.)

Logiikka kokonaisuus koostuu prosessorimoduulista, virtalähteestä, ja tulo-/lähtömoduuleista (Hagman, J. 2018). Logiikoiden moduuleita on saatavilla useita erilaisia ja joissain logiikoissa moduulien ominaisuuksia on integroitu prosessorimoduuliin.

Logiikoita on saatavissa useilta valmistajilta ja näiden suurimpana erona on ohjelmointiympäristö, täten logiikkaa valittaessa on tärkeässä roolissa se, että logiikan ohjelmoinnista vastaava henkilö osaa käyttää kyseistä ohjelmointiympäristöä. Osa ohjelmista on käyttäjälle ilmaisia, mutta useimmiten tarvitsevat maksullisen lisenssin. Lisenssien hinnat vaihtelevat kymmenistä euroista tuhansiin.

Logiikan valinnassa kannattaa huomioida ohjattavan järjestelmän laajuus, logiikoissa on rajallinen määrä ominaisuuksia mallista ja merkistä riippuen. Ison järjestelmän ohjaus tulee vaikeaksi, jos logiikassa ei riitä ominaisuudet haluttujen toimintojen suorittamiseen, ja toisinpäin on resurssien tuhlaamista hankkia logiikka, jonka ominaisuuksilla ei tee mitään.



Kuvio 11. Ohjauskeskukseen asennettu Siemens-logiikkakokonaisuus

Ohjauskeskuksen logiikkakokonaisuus on mitoitettu järjestelmän tarpeiden mukaan. Kokonaisuuteen kuuluu Siemens S7-1200 -sarjan ohjelmoitava logiikka, johon on lisätty digitaalisia ja analogisia lisämoduuleita (Kuvio 11). Logiikkaa mitoitettaessa on huomioitava, että logiikan laskentateho, ja muut ominaisuudet riittävät koko prosessin ohjaamiseen, ja että logiikkaa on mahdollista laajentaa tarvittaessa.

## 4.8 Turvaominaisuudet

Yksi ohjauskeskuksen suunnittelun tärkeimmistä asioista on varmistaa, että prosessi on turvallinen käyttäjälle. Turvallisuudesta ohjauskeskuksissa vastaa nykypäivänä joko turvalogiikka, taikka turvale. Turvapiirien komponentit on yleensä merkitty keltaiseksi, muusta laitteistosta erottamisen helpottamiseksi. (Nurro 2016.)

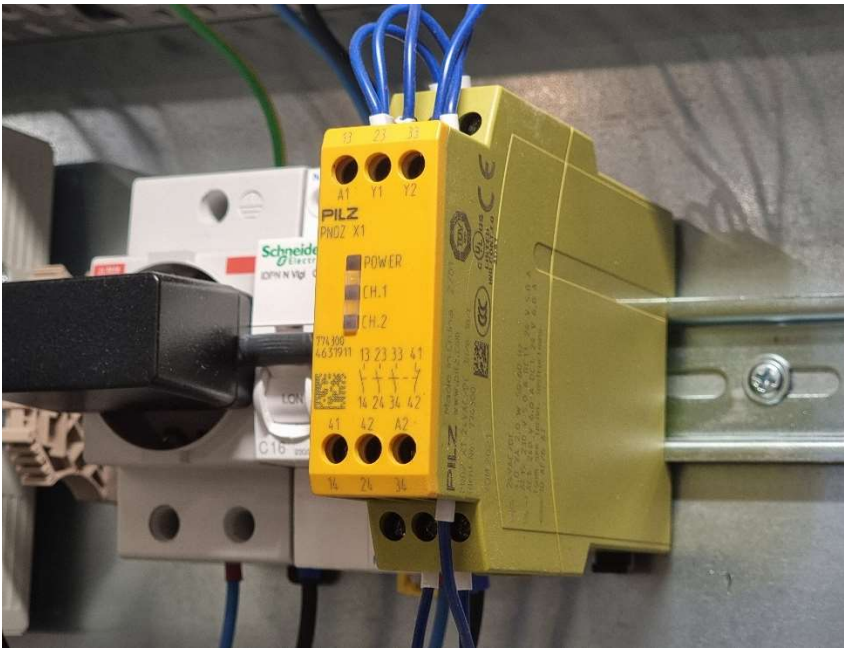


Kuvio 12. Häätä-seis painike

Turvalogiikat ovat yleensä osa muuta logiikkakokonaisuutta, jotka mahdollistavat laajemmat valvonta ominaisuudet järjestelmän valvontaan. Turvalogiikat vaativat omat ohjelmallisenssit, ja niiden ohjelmointi luo omat haasteensa. (Malm & Kivipuro 2004.)

Turvareleet ovat releiden tapaisia turvapiiristä vastaavia komponentteja, jotka eivät sisällä älyä, vaan toimivat tehokkaasti osana turvapiiriä esim. valoverhojen ohjaamiseen käytetään niille tarkoitettuja turvareleitä, ja niitä voi olla useita samassa keskuksessa. Yleensä turvallisuutta on lisätty häätäseis-painikkeilla, ja valoverhoilla, joiden laukaisu pysäyttää prosessin toiminnat turvallisesti ja estää tahattoman käynnistyksen. (Tukes 2021.)

Sähkölaitteiden riittävän turvallisuuden toteutumisesta vastaa lähtökohtaisesti suunnittelija. Turvallisuuteen liittyen on useita standardeja ja valmiita prosessikokonaisuuksia tehtäessä ne vaativat vaatimuksenmukaisuusvakuutuksen.



Kuvio 13. Keltainen hätäseis-rele ohjauskeskuksessa

Ohjauskeskuksessa turvallisuudesta vastaa hätäseis-rele, joka hätätilanteessa katkaisee moottoreille menevän virtapiirin kontaktorin avulla, ja kertoo logiikalle hätäseis-piirin launneen, jolloin logiikka pysäyttää prosessit. Hätäseis-rele laukeaa hätäseis-painiketta painaessa, ja uudelleen aktivoituu hätäseis-piirin kuittauspainikkeella.

#### 4.9 Keskuksen johtimet

Automaatiokeskuksissa keskuksen sisäisessä johdotuksessa kaapelien värityksillä ilmaistaan kaapelissa kulkevan jännitteen määrä ja tyyppi. Johdotusten värien tarkoitukset voivat vaihdella eri yritysten tekemien keskusten välillä, mutta yleisimmissä kokoonpanoissa väritykset menevät niin että pienjännitepiireissä tummasinisessä johtimessa kulkee +24 VDC jännite, valkoisessa johtimessa 0-VDC jännite, ja oranssissa johtimessa +24 VDC vierasjännite. Vaihtovirtapiireissä musta johdin on +240 VAC, sininen 0 VAC, punainen 240 VAC vierasjännite, ja keltavihreä johdin on maadoitus.

Johtimien poikkipinta-ala mitoitetaan kuorman eli nimellisvirran mukaan. Hyvänä nyrkkisääntönä on se, että pienjännitteiset ohjauspiirit (24 VDC), kaapeloidaan 0,5 mm<sup>2</sup> johtimella, vaihtovirta (240 VAC) jonka etukojeena 10A sulake, kaapeloidaan 1,5 mm<sup>2</sup> johtimella, 16 A sulakkeen kanssa käytetään 2,5 mm<sup>2</sup> johdinta, ja 32 A sulakkeeseen asti 6 mm<sup>2</sup> johdinta.

Taulukko 1. Johtimen koko suhteessa johdonsuojaan

Johdin	Jännite	Sulakekoko
0,5 mm <sup>2</sup>	24V	2-10A
0,75 mm <sup>2</sup>	24V	2-10A
1,5 mm <sup>2</sup>	240V	10,0 A
2,5 mm <sup>2</sup>	240V	16,0 A
4 mm <sup>2</sup>	240V	20,0 A
6 mm <sup>2</sup>	240V	25-32 A
10 mm <sup>2</sup>	240V	32-35 A
16 mm <sup>2</sup>	240V	50 A

Taulukossa esitetty jännitetyypin, ja kuorman mukaan mitoitettun sulakkeen vaikutus johtimen koon.

#### 4.10 Kenttälaitteet

Kenttälaitteet ovat kaikesta toiminnallisista liikkeistä vastaavia komponentteja, joita ohjauskeskus ohjaa. Kenttälaitteisiin sisältyy moottorit, sylinterit, venttiilit, anturit ja turvaverhot.



Kuvio 14. Kuljettimen oikosulkumoottori

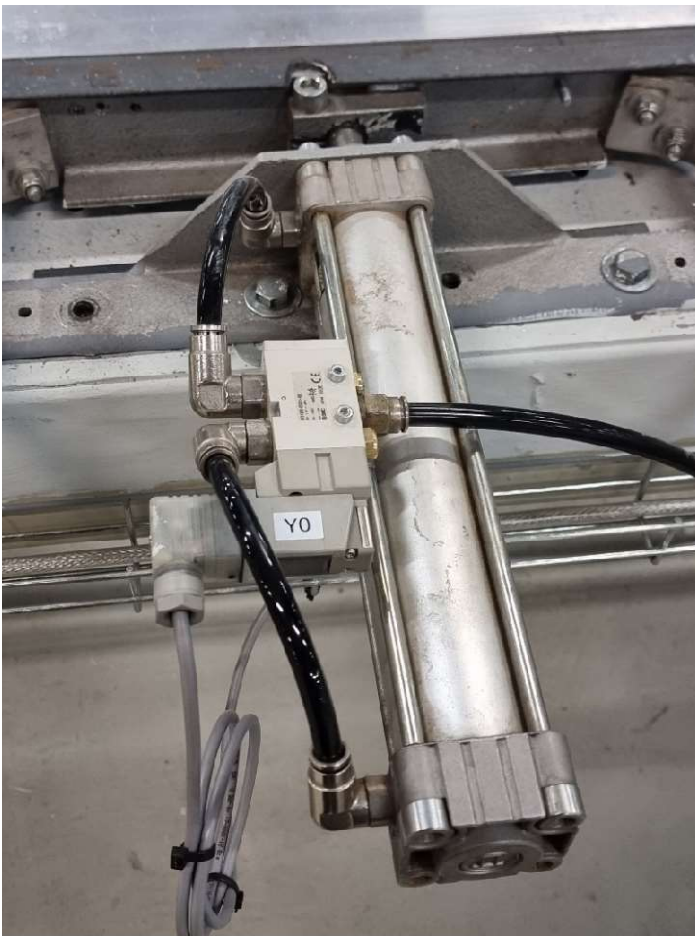
Moottoreita on useita erilaisia, useaan eri käyttötarkoitukseen tarkoitettuna. Moottoreita ohjataan aina joko taajuusmuuntajalla, tai kontaktorilla käyttötarkoituksen mukaan. Moottorit vastaavat opinnäytetyön projektissa erilaisten kappaletavarakuljettimien käytöstä.



Kuvio 15. Puutavaran pakkauslinjasto

Pakkauslinjastolla moottorit ovat taajuusmuuntajakäytössä, mahdollistaen kuljettimien nopeuden säädön, ja prosessin nopeuden optimoimisen käyttäjälle sopivaksi.

Moottorisoitujen kuljettimien lisäksi pakkauslinjastolla on paineilmasyntereitä vastaamassa erilaisista liikeradoista. Sylinterien liikkeitä ohjataan sähköisillä paineilmaventtiileillä, joiden toimintatapa valitaan käytön mukaan. Yleisimmin käytössä on jousipalautteinen 5/2-venttiili, jolla luodaan yhdensuuntainen sylinterin liike pelkällä "on/off" -jänniteohjauksella. (Hulkkonen 2008.)



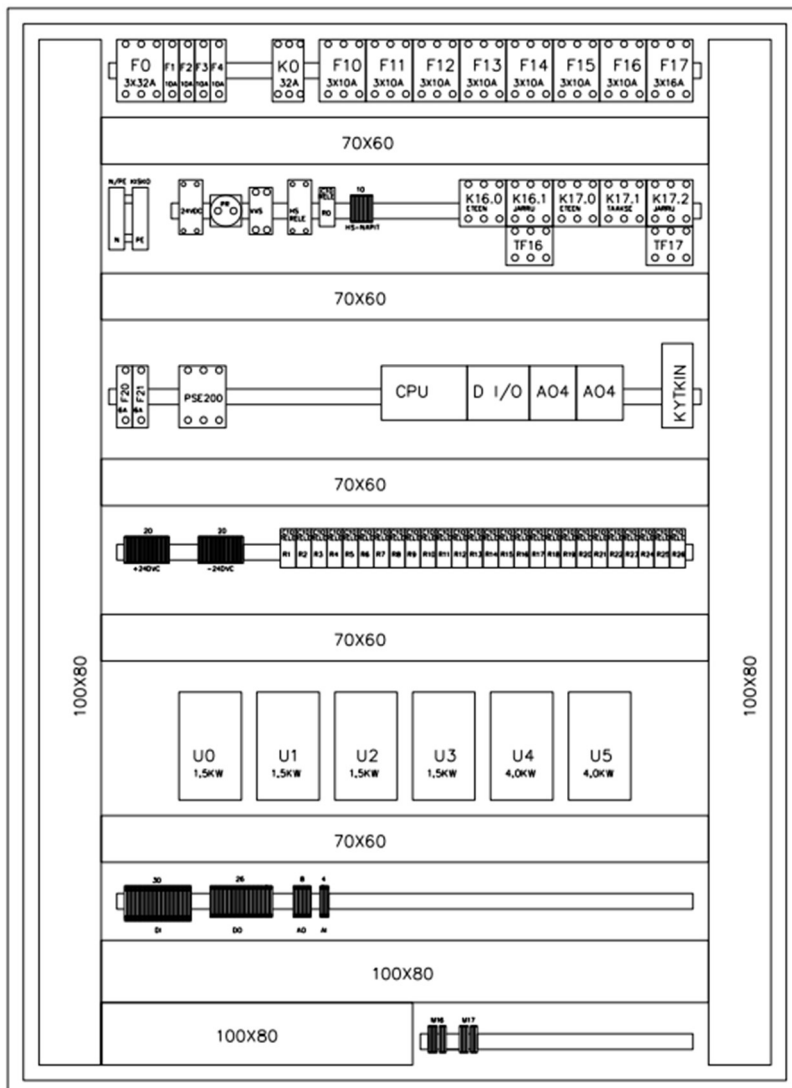
Kuvio 16. 5/2-venttiili ohjaamassa paineilmasynteriä

## 5 Keskuksen suunnittelu

### 5.1 Layout

Layout on cad-sovelluksella piirretty kuva keskuksen pääkomponenttien sijoittelusta, joka tehdään suunnittelun alkuvaiheilla, kun tarvittavista komponenteista on tieto. Layout-kuvassa mittasuhteita käyttämällä voidaan mitoittaa keskuksen koko, ja sen sisäisten komponenttien sijoittelu.

Alla olevassa kuvassa on Siparila Oy:lle suunnitellun ohjauskeskuksen layout-kuva. Kyseisessä kuvassa on esitetty komponenttien paikat, johdonsuojien sulakekoot, taajuusmuuntajien tehot, sekä komponenttien merkinnät.



Kuvio 17. Cadmatic-ohjelmalla piirretty kuva keskuksesta

Layout kuvaa suunnitellessa komponenttien fyysisten kokojen avulla voidaan valita keskus, jonka sisään komponentit mahtuvat. Komponenttien koko löytyy usein valmistajan sivuilta. Keskusta valittaessa tulee huomioida mahdolliset tulevaisuuden lisäykset, ja valita keskus, johon on mahdollista jälkikäteen lisätä erilaisia ohjauspiirejä, esim. moottoreille.

Komponenttien sijoittelu keskuksen sisällä tulee toteuttaa siten, että virta kulkee ns. ylhäältä alaspäin, tällöin laitteiden johdotukset voidaan tehdä loogisesti ja lyhintä mahdollista reittiä. Keskukseen tuleville johdotuksille on lisätty keskuksen alapäähän läpivientireitit ja riviliittimet, tällöin minimoidaan keskuksen sisällä kulkevien kaapeleiden määrä, ja kaapelivarat saadaan keskuksen välipohjaan piiloon.

Keskukseen on myös suositeltavaa lisätä jonkinlainen ilmanvaihto. Sähkökomponenteista tulee hukkalämpöä, mikä voi tuulettumattomassa tilassa huonossa tapauksessa lämmittää keskusta, ja täten huonontaa komponenttien toimintaa. Myös hyvin toteutettu ilmanvaihto pitää pölyn ja lian pois keskuksen sisältä, täten myös parantaen keskuksen turvallisuutta.

Suunniteltuun ohjauskeskukseen lisättiin keskuksen alalaitaan 230 voltin puhallin suodattimella, joka puhaltaa ilmaa keskuksen sisälle. Keskuksen ylälaitaan lisättiin suodatin, jonka kautta likainen ilma pääsee pois keskuksen sisältä. Tällöin keskuksen sisällä pitäisi olla pieni paine, jolloin kaikki keskuksen sisään menevä ilma menee suodattimen läpi johon epäpuhtaudet jäävät (Kuvio 17).

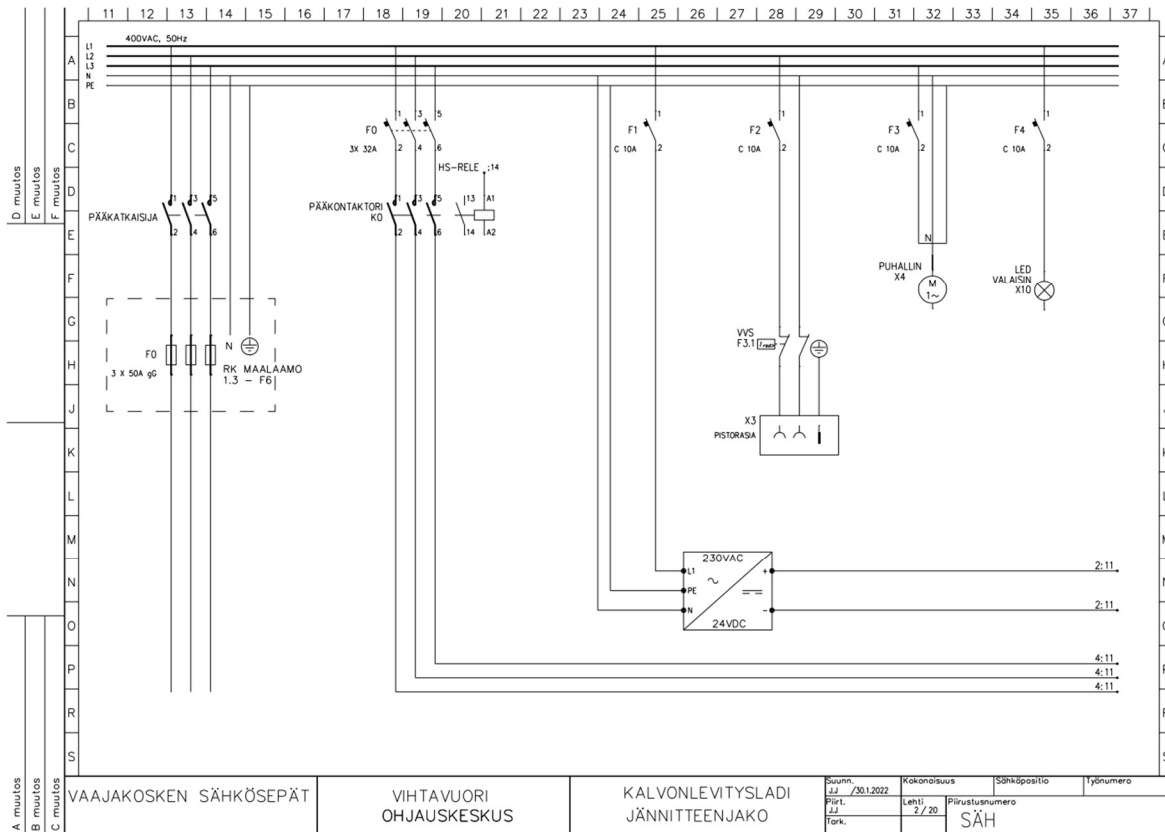


Kuvio 18. Layout-kuvan pohjalta rakennettu ohjauskeskus.

Keskuksen suunnittelussa sattuneen mittasuhteivirheen takia kasattuun ohjauskeskukseen tuli suunniteltua enemmän varoja, mutta parempi niin päin.

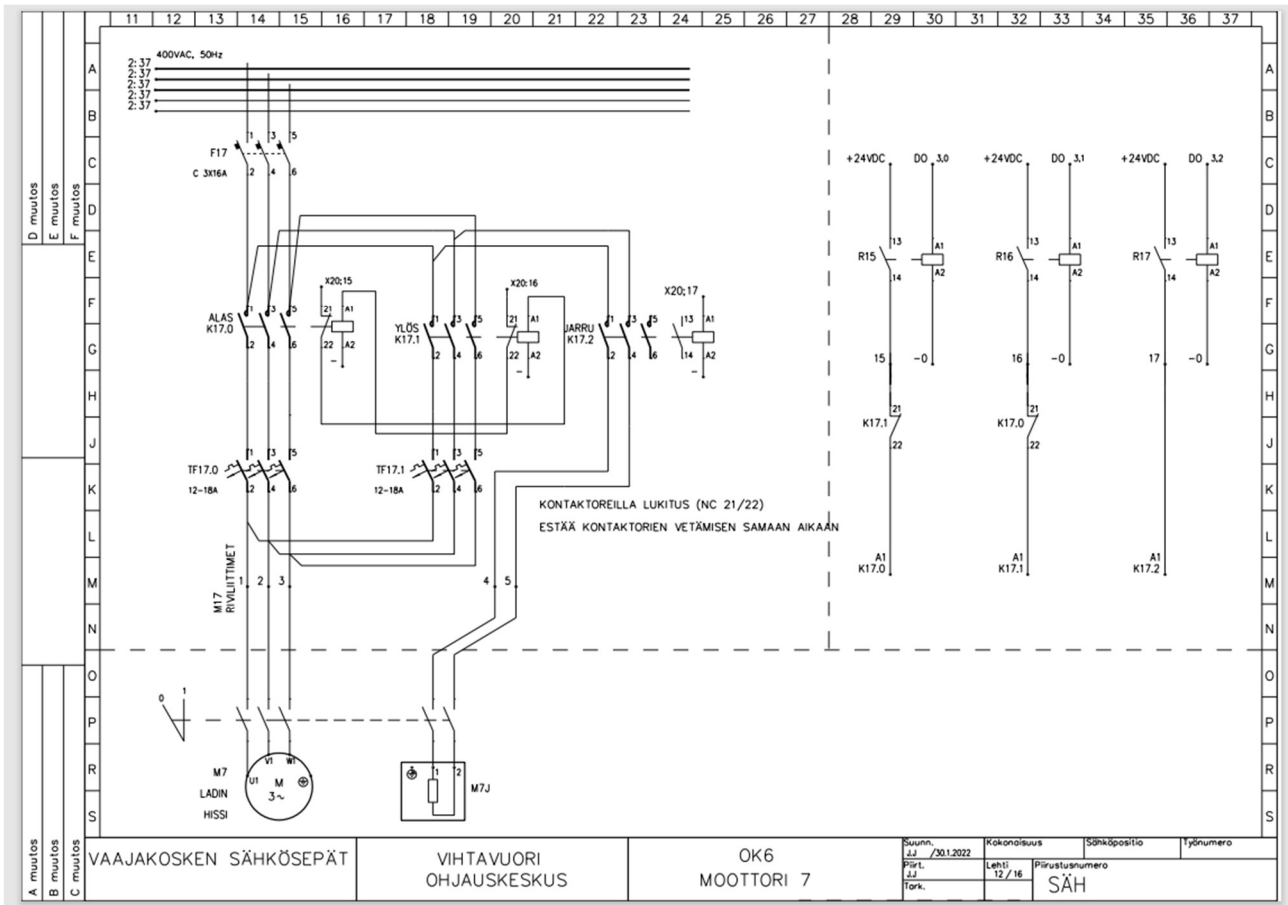
## 5.2 Kytöntäkaaviot

Toiselta nimeltään piirikaavio on kuva, josta selviää komponenttien väliset kytkennät. Kytöntäkaavioiden avulla asentaja kaapeloi keskuksen, ja tulevaisuudessa huoltomies, tai muu ammattilainen pystyy ymmärtämään keskuksen toiminnan. Kytöntäkaaviot on jaoteltu lohkoittain, joissa esitellään eri keskuksen osa-alueet. Alla esitettyssä kuviossa ohjauskeskuksen päävirtapiirin jännitteenjako.



Kuvio 19. Cadmatic-ohjelmalla piirretty ohjauskeskuksen jännitteenjako

Kuviosta selviää keskuksen päävirtapiiri, ja sen jakautuminen eri sulakkeiden kautta laitteille. vasemmassa reunassa katkoviivojen sisällä on pääkeskuksessa sijaitsevien sulakkeiden tiedot. Sivujen väliset yhteydet kerrotaan kytkentäpisteiden avulla, jossa viitataan numeroin sivuun, ja sen yläreunassa olevaan koordinaatistoon. Numerointi helpottaa sivujen välisten yhteyksien selvittämisessä.



Kuvio 20. Cadmatic-ohjelmalla piirretty moottoripiirin kytkentä.

Moottoripiirin kuvassa on kontaktoriohjatun oikosulkumoottorin ohjaus, joka sisältää suunnanvaihdon, ja moottorijarrun. Kuviosta ilmenee moottorin ohjaustapa. Katkoviivoilla on eroteltu keskuksen ulkopuolinen, kentällä tapahtuva kytkentä, sekä ohjauspiiri.

Kytkentäkuvissa tärkeää on se, että esitetty kytkentä on esitetty selkeästi, ja viittaukset ovat oikein. Kytkentäkuvien piirtämiseen on monia eri tapoja ja ohjeistuksia, joillain suunnittelua toteuttavilla yrityksillä on omat käytäntönsä. Myös sovellusten välillä on eroja mitkä voivat vaikuttaa lopputulokseen.

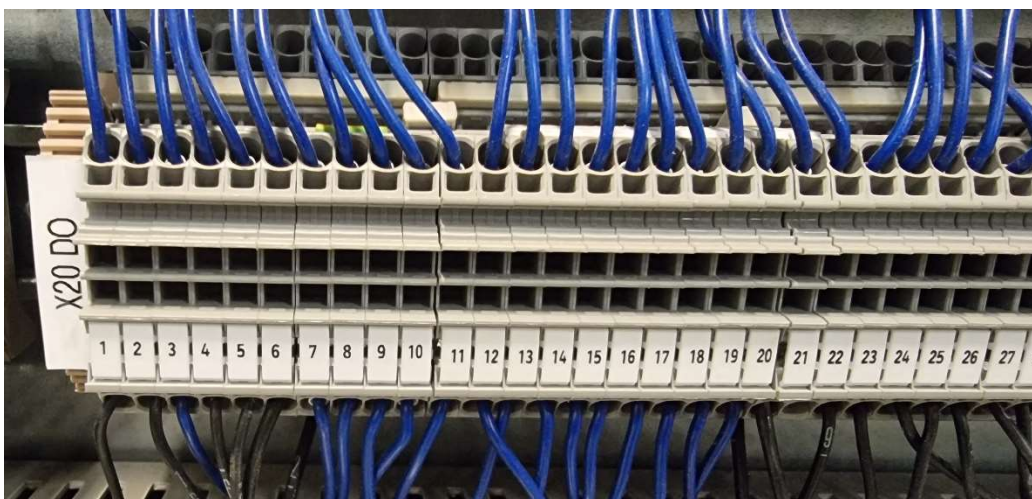
### 5.3 Riviliitinluettelot

Riviliitinluettelossa kerrotaan kaikkien riviliittimiin tulevien kaapeleiden positiot ja toimintaperiaatteet. Riviliitinluettelon voi tehdä piirtosovelluksella esimerkiksi Cadmatic'n avulla, taikka Exceliä hyödyntäen. Itse suosin Exceliä sen helpon saavutettavuuden takia. Alla esitetystä kuviossa Microsoft Excelillä tehty riviliitinluettelo.

OK6 RIVILIITINLUETTELO					
	DO		Positiotunnus	Selite	
Q1	0,0	1	Käynnissä OP6.0	merkkivalo	
Q2	0,1	2	Hätäseis on OP6.0	merkkivalo	
Q3	0,2	3	Hätäseis reset	tilatieto	HS RELE
Q4	0,3	4	Käynnissä OP6.1	merkkivalo	
Q5	0,4	5	Hätäseis on OP6.1	merkkivalo	
Q6	0,5	6	Sidontakone		sidontakone ohjaus
Q7	2,0	7	U0	käyntilupa	ladin yläkuljettimen sisäänheitto
Q8	2,1	8	U1	käyntilupa	ladin yläkuljetinmoottori
Q9	2,2	9	U2	käyntilupa	kalvonlevitys etukuljetin
Q10	2,3	10	U3	käyntilupa	kalvonlevitys välikuljettimet
Q11	2,4	11	U4.0	käyntilupa	kalvonlevitys eteen
Q12	2,5	12	U4.1	käyntilupa	kalvonlevitys taakse
Q13	2,6	13	U5	käyntilupa	kuljetin ladille
Q14	2,7	14	K16.0	käyntilupa	ladin eteen
Q15	3,0	15	K17.0	käyntilupa	ladin hissi alas
Q16	3,1	16	K17.1	käyntilupa	ladin hissi ylös
Q17	3,2	17	K17.2	käyntilupa	ladin jarru
Q18	3,3	18	U6	käyntilupa	kuljetin pannoitukselle
Q19	3,4	19	K16.1	käyntilupa	ladin taakse
Q20	3,5	20	K16.2	käyntilupa	ladin jarru
Q21	3,6	21	HS kättely foliokone in		NC

Kuvio 21. Microsoft Excel-ohjelmistolla luotu riviliitinluettelo

Riviliitinluettelossa vasemmalla puolella on kerrottuna logiikan positio, keskellä vihreällä riviliittimen numero. Oikealla puolella on riviliittimen toinen puoli, jossa on nimettynä yhdistetty laite, ja perässä selitettynä toiminto. Luettelon avulla riviliittimistä saa selville niihin tulevien johdotusten yhteydet (kuvio 20).



Kuvio 22. X20 Riviliitinkisko

Riviliitinkisko on selkeästi nimettynä ja liittimet numeroituna, tällöin riviliitinluettelon avulla on helposti selvitetävissä johdotuksen reitit. Hyvä riviliitinluettelo on tärkeä työkalu takaamaan keskukselle pitkän, ja huoltoystävällisen käytön.

## 5.4 Kaapeliluettelo

Kaapeliluettelon idea on sama kuin riviliitinluettelolla. Kaapeliluettelossa on merkitty kaikki keskukseseen tulevat kaapelit, mistä ne tulevat, millä, ja mihin ne menevät.

OK6 KAAPELILUETTELO						
Mistä		Mihin		Millä		Kaapelitunnus
		OK6		MMJ5X6S 3X32A		OK6_W1 syöttökaapeli
<b>ladin ohjauspulpetti</b>						
OK6		OP6.0	ölflex classic 110	18G 0.75	OP6.0	ladin ohjauspulpetti
OK6		OP6.0		CAT 5	OP6.0 HMI	Ethernet kaapeli
<b>ladin ohjauskeskus</b>						
OK6		X6.0	ölflex classic 110	16G 0.75	OK6_X6.0_W1	riviliitinkaapelointi
<b>Kalvonlevitys</b>						
OK6		OPX6.1	ölflex classic 110	18G 0.75	OK6_OPX6.1_W1	anturointi
OK6		OPX6.1	ölflex classic 110	18G 0.75	OK6_OPX6.1_W2	ja ohjaukset
		OPX6.1		CAT 5	OP6.1 HMI	Ethernet kaapeli
<b>moottorit</b>						
OK6	U0	M0		CY 4 G 1.5	OK6_M0_W1	ladin yläkuljettimen sisäänheitto
OK6	U1	M1		CY 4 G 1.5	OK6_M1_W1	ladin yläkuljetinmoottori
OK6	U2	M2		CY 4 G 1.5	OK6_M2_W1	kalvonlevitys etukuljetin
OK6	U3	M3		CY 4 G 1.5	OK6_M3_W1	kalvonlevitys välikuljettimet

Kuvio 23. Kaapeliluettelo

Kaapeliluettelo on tehokas apuväline prosessin rakentamisessa. Jokainen kaapeli merkitään näkyvästi yksilöllisellä kaapelitunnuksella, josta selviää kaapelin yhdistämät laitteet.

## 5.5 käyttöönotto

Keskuksen käyttöönotossa vaiheittain kytketään johdonsuojapiirit päälle, taajuusmuuntajat ja la-dataan logiikkaan ohjelmistot sisään, tämän jälkeen anturit kalibroidaan ja kenttälaitteet testaan sekä säädetään yksi kerrallaan. Keskukseen tehdään myös käyttöönottotarkastus. Tarkastukseen sisältyy laitteiston silmämääräinen tarkastus, sekä erilaisia mittauksia ja testauksia (Tukes N.d.)

## 6 Pohdinta

Opinnäytetyön ideana oli luoda materiaalia toimeksiantajalle teollisuuden ohjauskeskusten suunnittelusta, ja sivutuotteena suunnitella käyttöön tuleva ohjauskeskus. Suunnittelutyössä on paljon huomioitavia asioita ja opinnäytetyön haasteena oli aiheen rajaaminen, sillä jokaisesta keskuksen osa-alueesta voisi kirjoittaa oman opinnäytetyönsä. Lopputuloksesi tulikin hyvä määrä yleispätevää tietoa aiheesta, jota on mahdollista hyödyntää tulevaisuudessa.

Toimivan ohjauskeskuksen rakentaminen kustannustehokkaasti on mielenkiintoinen projekti ja käyttöönotettuna on hieno nähdä, kuinka ns. tyhjästä luotu kokonaisuus toimii osana järjestelmää. Suunnittelu itsessään on monimuotoinen prosessi, johon mahtuu paljon tutkimista, pohtimista ja asiaan perehtymistä. Keskuksen suunnittelu on toimivan linjaston automatisoinnissa vasta ensimmäinen vaihe, jonka jälkeen uusiin haasteisiin törmääminen on lähes väistämätöntä, tällöin hyvin suunniteltu keskus edesauttaa ongelman kanssa, ja huonosti suunniteltu keskus aiheuttaa uusia ongelmia.

Opinnäytetyön tekeminen oli pitkä, melkein vuoden mittainen projekti, mutta valmistuessaan hyvin antoisa. Rakennettu ohjauskeskus on käytössä tehdasympäristössä ja on hienoa nähdä sen toimivan. Toivottavasti myös opinnäytetyö tulee tulevaisuudessa tukemaan suunnitteluprosessissa.

## Lähteet

1. Ahoranta, J. 2013. Sähköasennustekniikka. Helsinki: Sanoma Pro
2. Boisset, F. 2018. What's a PLC (programmable logic controller). Association for advancing automation. Yhteisön verkkojulkaisu. Viitattu 18.9.2022. <https://www.automate.org/editorials/what-s-a-plc-programmable-logic-controller>
3. Cadmatic, 2022. Tuotetiedot Cadmatic Electrical-työkalusta Cadmaticin verkkosivuilla. Viitattu 13.09.2022. <https://www.cadmatic.com/fi/construction/ohjelmistoratkaisut/cadmatic-electrical/>
4. Hagman, J. 2018. Ohjelmakomponentteihin perustuva ohjelmointitapa logiikkaohjelmointiin Siemens TIA-Portal -ohjelmointiympäristössä. Opinnäytetyö, AMK. Oulun Ammattikorkeakoulu. Teknologialiiketoiminta. Viitattu 3.10.2022. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2018111617272>
5. Hietalahti, L. 2013. Teollisuuden sähkökäytöt. Vantaa: AMK-Kustannus.
6. Hinttala, H. 2007. Automaatiosuunnittelun prosessimalli. Helsinki: Suomen automaatioseura.
7. Hulkkonen, J. 2008. Fluidfinlandin artikkeli pneumatiikka venttiileistä. Viitattu 22.12.2022. <https://asiakas.kotisivukone.com/files/fluidfinland.kotisivukone.com/FluidKlinikat/7.pai-neventtiilit.pdf>
8. Jokinen, M. 2018. Automaattisulakkeet. Sähkösuunnittelua. Viitattu 20.9.2022. <https://www.sahkosuunnittelua.com/blogimme/category/sulake>
9. Kauppalehti. 2022. yrityksen tiedot. Viitattu 26.9.2022. <https://www.kauppalehti.fi/yritykset/yritys/vaajakosken+sahkosepat+oy/25150881>,
10. Kärhä, J. 2009. Relekoestuslaitteisto freja rts21. Insinöörityö. AMK. Metropolia ammattikorkeakoulu. Sähkövoimatekniikka. Viitattu 10.12.2022. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-200908254171>
11. Lehtilä, J-P. 2017. Sähkökäyttöjen suunnittelu ja taajuusmuuttajien asentaminen norelcon kennokeskuksiin. Diplomityö, LUT. Tampereen teknillinen yliopisto. Sähkötekniikan diplominsinöörin tutkinto-ohjelma. Viitattu 22.12.2022. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:tty-201704261346>
12. Lehtosalo, A. 2019. Servojärjestelmän ja ohjelmoitavan logiikan yhteensopivuus. Opinnäytetyö, AMK. Metropolia Ammattikorkeakoulu. sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma. Viitattu 15.09.2022. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2019053113860>

13. Lumijärvi, J. 2019 Taajuusmuuttajien käyttöönotto ja parametointi. Opinnäytetyö, AMK. Oulun ammattikorkeakoulu. Automaatiotekniikan opinto-ohjelma. Viitattu 22.12.2022. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201905109113>
14. Malm, T & Kivipuro, M. 2004. Turvallisuuden liittyvät ohjausjärjestelmät konesovelluksissa. Espoo: Otamedia. <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/tiedotteet/2004/T2264.pdf>
15. Nurro, J. 2016. Turvalogiikan käyttöönotto. Insinöörityö, AMK. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma. Viitattu 22.12.2022. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201603173288>
16. Parviainen, E. 2017. Oikosulkumoottorin valinta ja mitoitus. Opinnäytetyö, AMK. Hämeen ammattikorkeakoulu. Automaatiotekniikan koulutusohjelma. Viitattu 20.9.2022. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201703223588>
17. Salonen, R. V. 2019. Artikkelit Microsoft Excel-taulukkolaskenta ja sisällöntuotanto-ohjelmasta. Viitattu 15.09.2022. <https://oppiva.omnia.fi/excel/>
18. Sobrino, D., Ružarovský, R., Holubek, R. & Velíšek, K. 2019. Into the early steps of Virtual Commissioning in Tecnomatix Plant Simulation using S7-PLCSIM Advanced and STEP 7 TIA Portal. Viitattu 15.09.2022. [https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/pdf/2019/48/mateconf\\_mtem2019\\_02005.pdf](https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/pdf/2019/48/mateconf_mtem2019_02005.pdf)
19. Taajuusmuuttajat. N.d. Blogi taajuusmuuttajista Gradian oppimistehtävä-verkkosivuilta. Viitattu 16.09.2022. <https://blogit.gradia.fi/sahkonet/sahko-ja-automaatioasennukset/oppimistehtavat/teollisuuden-sahkoasennukset/moottori-kaytot/taajuusmuuttajat/>
20. Tukes. 2021. Turvallisuus- ja kemikaaliviraston opas turva-automaatiosta prosessiteollisuudessa. Viitattu 22.12.2022. <https://tukes.fi/turva-automaatio-prosessiteollisuudessa>
21. Tukes. N.d. Sähköasennusten käyttöönottovaiheen tarkastukset. Viitattu 4.1.2023. <https://tukes.fi/sahko/sahkoasennusten-kayttoonottovaiheen-tarkastukset>
22. Tuominen, V. 2019. Kontaktori, rele, lämpörele ja moottorinsuojakytkin osana sähkölaitteiston paloturvallisuutta. Opinnäytetyö, AMK. Tampereen ammattikorkeakoulu. Sähkötekniikan koulutusohjelma. Viitattu 10.12.2022. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2019062617540>

# Liitteet

## Liite 1. Ohjauskeskuksen sähkökuvat

