



Rasiointilinjan modernisointi

Petri Nieminen

OPINNÄYTETYÖ
Maaliskuu 2020

Sähkö- ja automaatiotekniikka
Älykkäät koneet

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Sähkö- ja automaatiotekniikka
Älykkäät koneet

NIEMINEN, PETRI:
Rasiointilinjan modernisointi

Opinnäytetyö 46 sivua, joista liitteitä 2 sivua
Maaliskuu 2020

Pirkanmaalaisen asiakkaan tuotteen kysyntä on kasvanut huomattavasti vuosien saatossa. Asiakas tahtoo kaksinkertaistaa tuotteensa rasiointikapasiteetin, joten asiakkaalle rakennetaan uudistettu versio vanhasta rasiointilinjasta, joka asennetaan toimimaan vanhan linjan rinnalle.

Tässä opinnäytetyössä raportoidaan uuden rasiointikoneen sähkösuunnittelun vaiheet. Työ käsittelee, mitä kaikkia asioita koneiden sähkösuunnittelussa tulee ottaa huomioon, standardit huomioiden. Työtä tehdessä noudatettiin standardia ”SFS-EN 60204-1 Koneiden sähkölaitteisto”. Työssä esitellään myös, kuinka haasteellisen asennusympäristön tuomat haasteet huomioidaan. Suunnitteluprosessiin kuului erilaisiin liittintyyppihin ja sähkökeskuksiin tutustuminen ja valinta, pitäen asennusolosuhteet mielessä. Komponenttivalinnoissa haluttu ominaisuus oli pölytiiviyys, sillä laitteen asennusympäristö oli hyvin pölyinen.

Tärkeänä osana laitetta on rasioita liikuttavat kuljettimet. Työn kirjoittaja osallistui myös hihnakuljettimien ja niitä liikuttavien moottorien valintaan yhteistyössä mekaniikkasuunnittelijan kanssa. Työssä tutustutaan lyhyesti myös taajuusmuuttajaohjattuihin moottoreihin sekä niiden eroihin verrattuna suoriin moottorilähtöihin.

Työn lopputuloksena asiakkaalle jää toimiva rasiointilinja, sekä kirjoittajan työnantajalle Wisematic Oy:lle jää työskentelymalli, jonka mukaan tulevien projektien sähkösuunnittelua voidaan tehdä.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Electrical Engineering
Intelligent Machines

NIEMINEN, PETRI:
Renewal of Packaging Line

Bachelor's thesis 46 pages, appendices 2 pages
March 2020

The demand for the product of a certain manufacturer located in Pirkanmaa has grown significantly over the past years. Now the manufacturer wants to double its capacity to package this product. The purpose of this thesis was is to build a renewed version of the client's old packaging line to be installed alongside the old line.

This thesis reports the steps taken in electrical design of said packaging line. The goal of this report is to shed light to all the things which need to be considered whilst designing the electrification of a machine, especially from the perspective of the essential standards concerning machine building. During the project the standard "SFS-EN 60204-1 Electrical equipment of machines" was followed. Another objective of the thesis is also to explain how to take difficult installation environments into consideration in the progress of designing a machine. Different types of connectors and electrical cabinets were explored, keeping the harsh environment in mind. An important part of the machine are the conveyor belts which move the packages. The author took part in choosing the conveyor belts and the electric motors for the conveyors alongside with a mechanical engineer. Inverter-driven motor circuits are also examined shortly in this thesis, and they are compared to direct-driven motor circuits.

The end product of this thesis will leave the end customer with a working boxing line. Also the employer of the author, Wisematic Oy, will be left with a "design-mold" which can be used for electrical design in future projects.

Key words: electric cabinet design, electrical design

SISÄLLYS

1	OPINNÄYTETYÖN ESITTELY	5
2	RAKENNE JA TOIMINTA	6
3	SÄHKÖSUUNNITTELUN OHJENUORANA SFS-EN 60204-1	10
	3.1 Fyysinen ympäristö ja käyttöolosuhteet	10
	3.2 Syöttöjohtimien liitännät	12
	3.3 Suojaus sähköiskulta	12
	3.4 Laitteiston suojaaminen	14
	3.4.1 Virtapiirien ylivirtasuojaus	14
	3.4.2 Muiden komponenttien suojaaminen	15
	3.5 Häätätoiminnot	17
	3.6 Käyttäjän rajapinta	18
	3.7 Johtimet ja kaapelit	18
	3.8 Johdotuskäytännöt	19
	3.9 EMC-yhteensopivuus	21
4	KULJETTIMET	22
	4.1 Vaaratekijät	22
	4.1.1 Mekaaniset vaaratekijät	22
	4.1.2 Sähköiset vaaratekijät	23
	4.1.3 Sähkömagneettisesta säteilystä johtuvat vaaratekijät	24
	4.2 Suorien moottorilähtöjen mitoitus	24
	4.3 Taajuusmuuttajaohjatut moottorilähdöt	27
5	OHJAUKSEN SUUNNITTELU	28
	5.1 PLC – järjestelmän aivot	28
	5.2 Anturointi	31
6	OHJAUSKESKUSTEN SUUNNITTELU	33
	6.1 Koteloiden valinta	33
	6.2 Läpivientien valinta	34
	6.3 Piirikaavion piirtäminen	37
7	KAPELOINTI	39
8	YHTEENVETO	41
	LÄHTEET	43
	LIITTEET	45
	Liite 1. Keskuslayout	45
	Liite 2. Ohjauskeskus	46

1 OPINNÄYTETYÖN ESITTELY

Opinnäytetyön tavoitteena oli rakentaa opinnäytetyön tilaajan Wisematic Oy:n asiakkaalle rasiointilinja. Markkinoilla valitsevan kilpailutilanteen vuoksi loppuasiakas on pyytänyt, ettei opinnäytetyössä mainita heidän tai rasioitavan tuotteen nimeä. Kyseessä on ympyrämäinen, noin 300 mm halkaisijaltaan ja noin 10 mm paksu tuote. Asiakkaalla on jo yksi rasiointilinja, mutta he haluavat kaksinkertaistaa rasiointikapasiteettinsa. Nykyinen rasiointilinja on myös yli 20 vuotta vanha, joten laitteiston päivitys on ajankohtaista. Asiakkaalla tarkoituksena on myös vanhan linjaston korvaaminen uudella, mikäli Wisematicin toimittamaan paketoitulinjaan ollaan tyytyväisiä. Asiakkaan toiveen ollessa nykyisen linjaston ”kloonaus”, konetta suunniteltaessa ja rakennettaessa otetaan mallia vanhasta linjastosta. Lisähaastetta koneen suunnitteluun tuo se, että asennusympäristö on erittäin pölyinen. Kaikkien komponenttien tulee siis olla riittävän pölytiiviitä.

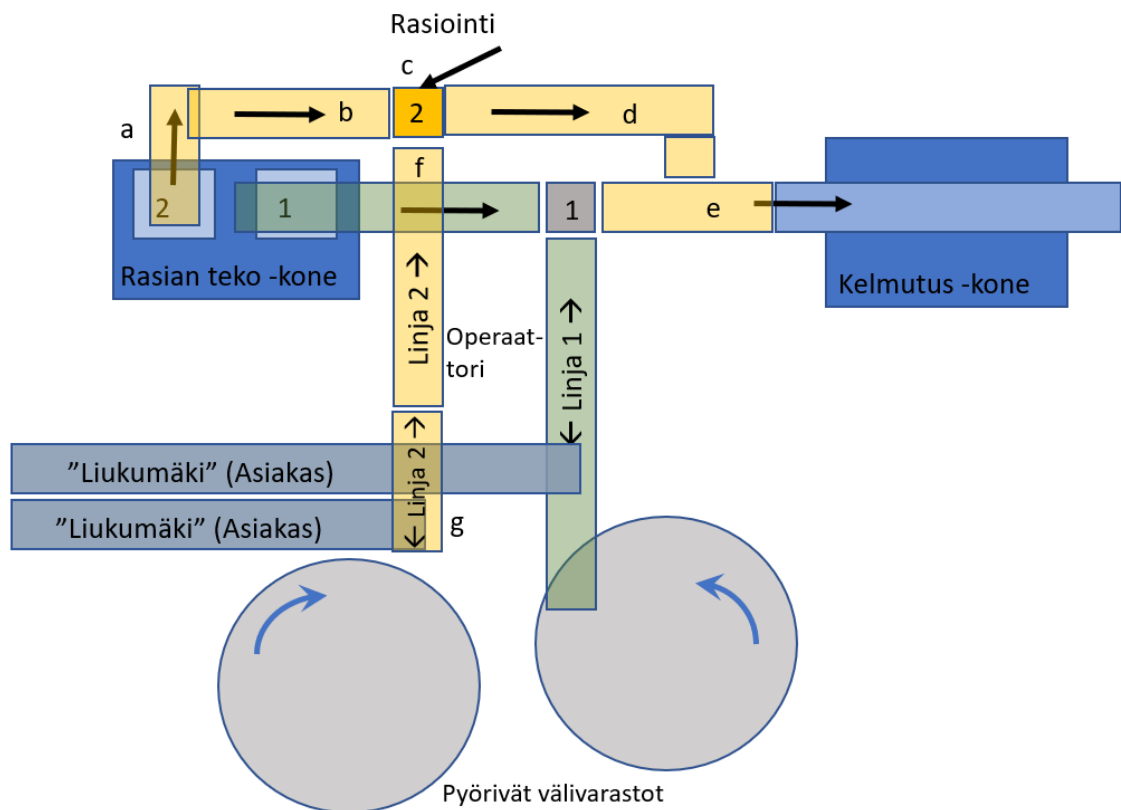
Koneen suunnittelun yhteydessä työssä pyrittiin lisäksi kehittämään järkeviä, standardien mukaisia ja kustannustehokkaita sähkösuunnittelutapoja, joita voitaisiin käyttää Wisematicin tulevilla projekteilla. Tästä esimerkkinä piirikaavioissa käytettävät laitetunnukset. Valitsemalla selkeitä ja yleisesti käytettyjä piirrosmerkkejä sekä laitetunnuksia, helpottuu tulevien sähkösuunnittelijoiden liittyminen mukaan sähkösuunnittelutiimiin. Valitsemalla helposti saatavilla olevia ja monikäyttöisiä kaapelien merkintävälineitä, voidaan tulevissakin projekteilla käyttää samoja merkintävälineitä, eikä uusien välineiden valintaan tarvitse käyttää paljoa työaikaa.

Kone tilattiin elokuun 2019 alussa, tarkoituksena oli saada se valmiiksi asennusta varten seuraavan lokakuun aikana. Projektin nopean edistymisen vuoksi oli siis tärkeää suunnitella koneen toiminta ja fyysinen asettelu mahdollisimman tarkasti ja nopeasti. Tosin, tavarantoimittajalla oli viivästyä komponenttien toimituksissa, joten asennus siirtyi loppuvuoteen. Laitteiston asennus ja käyttöönotto on rajattu tämän opinnäytetyön ulkopuolelle.

2 RAKENNE JA TOIMINTA

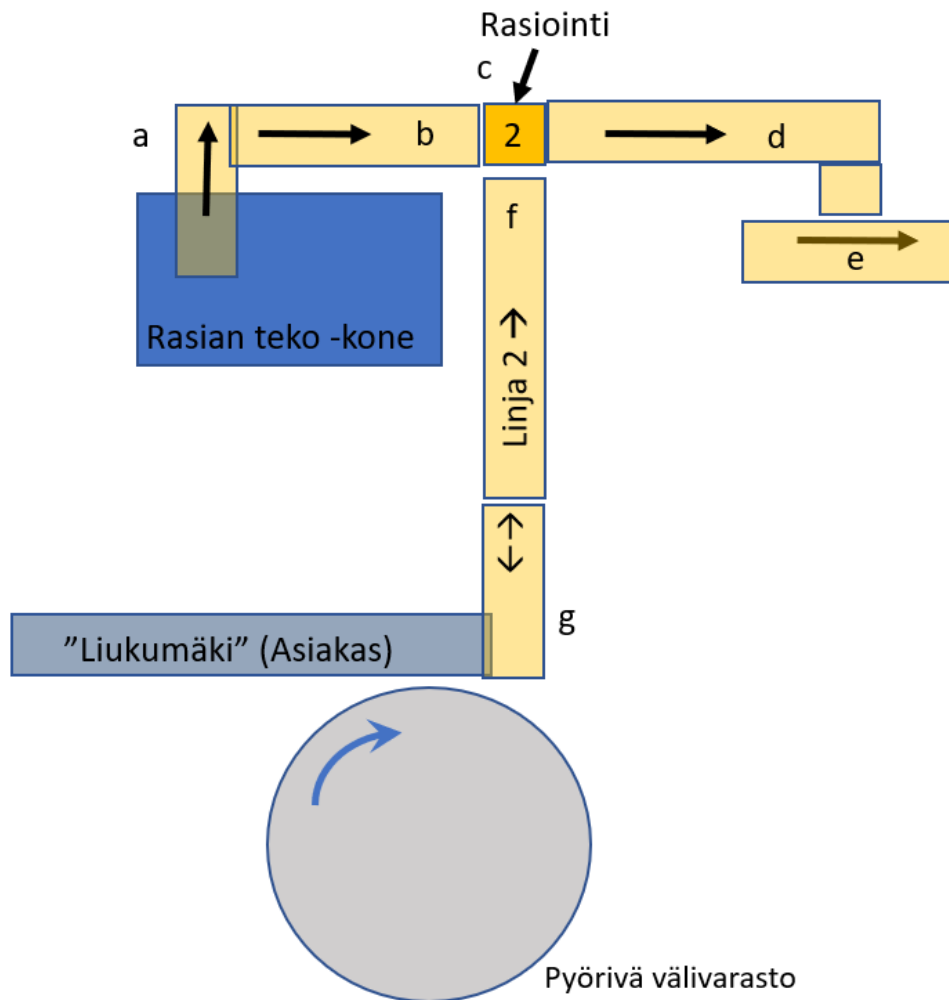
Koneen asettelun suunnittelu alkoi jo asiakkaalle tarjouta tehtäessä. Wisemati-
cin automaatio- ja mekaniikkainsinöörit kävivät vierailemassa asiakkaan teh-
taalla. Nykyistä tuotantolinjaa tutkittiin tarkoin, jotta uusi rasiointilinja saataisiin
rakennettua sen rinnalle kajoamatta liikaa nykyiseen järjestelmään. Ideaalisessa
tilanteessa nykyisen järjestelmän ohjaukseen ei tarvitsisi koskea lainkaan, eikä
mitään komponenttia tarvitsisi siirtää.

Kuviossa 1 keltaisilla sävyillä olevat osat ovat osa toimitettavaa rasiointikonetta,
muut osat ovat joko vanhaa järjestelmää tai asiakkaan itse toimittamia osia.



Kuvio 1. Asennusympäristön periaatteellinen asettelu

Kuviossa 2 selkeytetään rasiointikoneen asettelua esittämällä vain uuden linjaston osat.

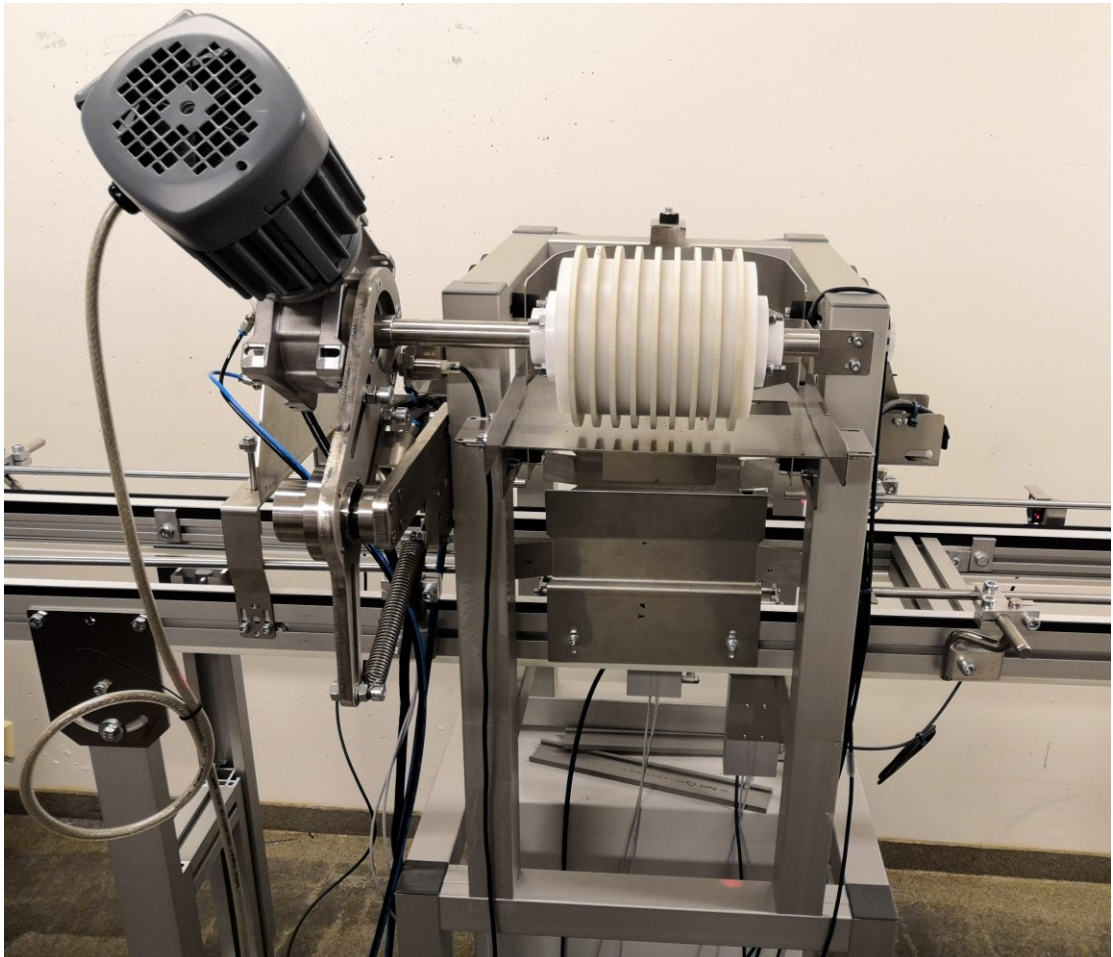


Kuvio 2. Uuden linjaston periaatteellinen asettelu

Rasiointiprosessi toimii seuraavasti:

- Rasiointi alkaa kartonkirasian prässäyksellä Rasian teko -koneella. Asiakkaalla oli jo Rasian teko -kone nykyisessä linjastossa.
- Rasian teko -koneen sisälle sijoitettiin kuljetin a. Tätä kuljetinta pitkin rasia viedään kuljettimelle b.
- Rasia työnnetään kuljettimelta a kuljettimelle b pneumaattisella sylinterillä.
- Kuljettimella b rasia kuljetetaan rasiointipisteelle c.

- Rasiointipisteellä c kuljetin on keskeltä avoin kaksinauhainen kuljetin. Rasia pysäytetään pneumaattisella sylinterillä, jonka mäntä työntyy nauhojen välistä c-kuljettimen alapuolelta (kuva 1).



Kuva 1. Rasiointipiste c, jossa keskeltä avoin kaksinauhainen kuljetin (kuljetin f ei paikallaan)

- Rasioitava tuote on herkkä iskuille, joten se täytyy laskea rasiaan mahdollisimman hellästi. Tämän vuoksi rasiaa nostetaan pneumaattisen sylinterin avulla ylöspäin keskeltä avonaisen kuljettimen keskiosasta.
- Kuljettimet f ja g ovat korkeammalla kuin rasiointikuljetin c. Tuote putoaa f-kuljettimelta lyhyen matkan kahden "siepparin" päälle.

- Nämä siepparit ovat pneumaattisia sylintereitä, jotka vetäytyvät pois, kun niiden päällä on oikea kappalemäärä tuotetta. Tuotepino putoaa jälleen lyhyen matkan nostettuun rasiaan, joka odottaa sieppareiden alla.
- Kun tuotepino on pudotettu rasiaan, lasketaan rasia takaisin c-kuljettimen tasolle ja stoppari siirtyy pois rasian tieltä.
- Rasia jatkaa matkaa d-kuljetinta pitkin, jonka päässä se siirretään vanhan ja uuden linjan rasiat yhdistävälle kuljettimelle e. Tämä siirto tehdään pneumaattisella sylinterillä, aivan kuten siirto a-kuljettimelta b-kuljettimelle.
- E-kuljetinta pitkin rasiat kulkevat Kelmutus-koneeseen, jossa rasian ympärille kääritään kelmua.
- Rasioitava tuote tulee asiakkaan tuotantolinjaa pitkin rasiointikoneelle. Asiakkaan kuljettimelta tuote lasketaan "liukumäkeä" pitkin rasiointikoneen kuljettimelle g. Tämä kuljetin on taajuusmuuttajakäyttöinen, joten sen nopeus ja suunta ovat helposti säädettävissä.
- Mikäli anturilla havaitaan, että seuraavalla kuljettimella f on ruuhkaa, pyöritetään kuljetinta g pyörivää välivarastoa kohti. Tästä välivarastosta operaattori voi siirtää tuotteita käsin takaisin kuljettimelle g, kun tuotevirtaus asiakkaan tuotantolinjalta taukoaa. Kun ruuhka rasiointipisteellä c helpottaa, pyöritetään kuljetinta g jälleen kohti rasiointipistettä. PLC pääättelee ruuhkan helpottaneen, kun rasiointipisteellä odottanut täysi rasia pääsee jatkamaan eteenpäin linjastolla ja rasiointipiste jatkaa toimintaansa.

3 SÄHKÖSUUNNITTELUN OHJENUORANA SFS-EN 60204-1

Ei-kannettavien koneiden sähköisiin, elektronisiin ja ohjelmitaviin elektronisiin laitteisiin ja järjestelmiin sovelletaan standardia nimeltä ”SFS-EN 60204-1 Koneiturvallisuus. Koneiden sähkölaitteisto. Osa 1: Yleiset vaatimukset”. Kyseinen standardi määrittelee koneiden sähkölaitteistolle vaatimuksia ja suosituksia, joiden tarkoituksena on edistää henkilöiden ja omaisuuden turvallisuutta, kuin myös käytön ja huollon helppoutta. Tässä luvussa esitellään kyseisessä standardissa esiintyviä rasiointikoneen sähkösuunnittelun kannalta olennaisia asioita.

3.1 Fyysinen ympäristö ja käyttöolosuhteet

Standardin SFS-EN 60204-1 neljännessä luvussa esitellään yleisvaatimuksia koneiden sähkölaitteistoille. Tämä luku asettaa hyvät perusvaatimukset, joita sähkösuunnittelussa tulee tavoitella. Rasiointikoneen kannalta tärkeitä kohtia olivat:

4.4.6 Ympäristön epäpuhtaudet

Sähkölaitteisto on suojattava riittävästi kiinteiden aineiden ja nesteiden sisäänpääsystä (ks. 11.3). Sähkölaitteisto on riittävästi suojattava sähkölaitteiston fyysisessä asennusympäristössä esiintyviltä epäpuhtauksilta (esimerkiksi pölyt, hapot, syövyttävät kaasut, suolat).

...

4.4.8 Tärinä, isku ja törmäys

Tärinän, iskujen ja törmäysten (mukaan luettuna koneen tai sen apulaitteen sekä käyttöympäristön aiheuttamat) haitallinen vaikutus on vältettävä valitsemalla sopivat laitteet, asentamalla laitteet erilleen koneesta tai käyttämällä tärinää vaimentavaa asennustapaa. (SFS-EN 60204-1:2018, 25.)

Rasiointikoneen tapauksessa ympäristön epäpuhtautena on suuri hienojakoisen pölyn määrä. Koska ympäristö on hyvin pölyinen, täytyy toimilaitteiden ja koteloiden olla kotelointiluokaltaan riittävän hyviä. Samoja asioita sivutaan SFS-EN 60204-1 standardin luvussa 11 "Ohjauslaitteisto: sijoitus, asennus ja kotelointi".

Kyseinen asennuskohde vaati kotelointiluokan IP6X tai parempi. Standardi SFS-EN 60259 + A1 esittelee sähkölaitteiden kotelointiluokitus-järjestelmän. (SFS-EN 60259 + A1:2000, 30.). Alla oleva taulukko 1 esittelee, mitä vaatimuksia kotelointiluokan ensimmäinen tunnusnumero asettaa kotelolle.

Ensimmäinen tunnusnumero	Suojausominaisuus		Testausehdot, ks.
	Lyhyt kuvaus	Määritelmä	
0	Suojaamaton	–	
1	Suojaamaton halkaisijaltaan yli 50 mm vierailta esineiltä	Pallomainen halkaisijaltaan 50 mm esinekoetin ei saa tunkeutua kokonaan sisään ¹⁾	13.2
2	Suojaamaton halkaisijaltaan yli 12,5 mm vierailta esineiltä	Pallomainen halkaisijaltaan 12,5 mm esinekoetin ei saa tunkeutua kokonaan sisään ¹⁾	13.2
3	Suojaamaton halkaisijaltaan yli 2,5 mm vierailta esineiltä	Halkaisijaltaan 2,5 mm esinekoetin ei saa tunkeutua lainkaan sisään ¹⁾	13.2
4	Suojaamaton halkaisijaltaan yli 1,0 mm vierailta esineiltä	Halkaisijaltaan 1,0 mm esinekoetin ei saa tunkeutua lainkaan sisään ¹⁾	13.2
5	Pölysuojattu	Pölyn sisääntunkeutumista ei ole kokonaan estetty, mutta sitä ei saa tunkeutua haitaksi laitteen tyydyttävälle toiminnalle tai haitaksi turvallisuudelle	13.4 13.5
6	Pölytiivis	Pölyä ei saa tunkeutua sisään	13.4 ja 13.6

¹⁾ Esinekoettimen koko halkaisija ei saa päästä koteloinnin aukon läpi.

Taulukko 1. IP-luokituksen ensimmäisen tunnusnumeron asettamat vaatimukset (SFS-EN 60259 + A1:2000, 30)

Koneessa on paljon kuljettimia, jotka aiheuttavat tärinää. Komponenttien tulee siis sietää jonkin verran tärinän aiheuttamaa mekaanista rasitusta. Erityisesti tärinä pitää ottaa huomioon sähköisten komponenttien kytkentäpisteissä. Perinteiset ruuviliitokset voivat päästä löystymään, mikäli niitä ei ole kiristetty oikeaan momenttiin. Laitetta kokoonpantaessa varmistettiin ruuvien riittävä kiristys. Monissa komponenteissa, kuten riviliittimissä ja logiikkakorteissa kytkennät tehtiin jousiliittimillä.

3.2 Syöttöjohtimien liitännät

Standardin SFS-EN 60204-1 viidennessä luvussa mainitaan seuraavasti:

Koneen sähkölaitteisto suositellaan yhdistettäväksi yhteen syöttöön, mikäli se on käytännössä mahdollista. Kun laitteiston tietyille osille (esim. eri jännitteellä toimivalle elektroniikkalaitteistolle) on tarpeen käyttää toista syöttöä, se tulisi mikäli mahdollista syöttää laitteesta (esim. muuntajasta, suuntaajasta), joka muodostaa osan koneen sähkölaitteistosta. Useista saman ohjauksen alaisena toimivista koneista koostuvassa laajassa koneyhdistelmässä saattaa sijoituspaikan syötön järjestelyistä johtuen olla tarpeen käyttää useampaa kuin yhtä syöttöä (ks. 5.3.1). (SFS-EN 60204-1:2018, 26.)

Tämä on varsinkin huoltotoimenpiteiden kannalta turvallisuutta parantava seikka, tällä vältytään laitteen tahattomilta käynnistyksiltä huollon aikana. Standardista poiketen, rasiointikoneeseen tulee kiinteistöstä kaksi syöttökaapelia. Tämä johtuu siitä, että opinnäytetyössä rakennettava rasiointikone yhdistetään asiakkaan nykyiseen tuotantolinjaan. Luvussa 2 esitelty ”e-kuljetin”, joka yhdistää molempien rasiointipisteiden tuotevirrat, tarvitsee oman sähkösyöttönsä. E-kuljetin pitää pystyä käynnistämään, vaikka uusi rasiointilinja olisi sammutettu tai vikaantunut. E-kuljetinta ohjaavaan keskukseseen tuodaan siis sähkönsyöttö sekä koneen sähköpääkeskuksesta että asiakkaan kiinteistöstä. Jälkimmäiseen ei vaikuta rasiointikoneen pääkytkin. Tämän vuoksi äsken mainittuun keskukseseen lisätään varoitustarra, joka varoittaa ulkoisesta jännitteestä koneen ollessa sammuksissa. Ulkoisen jännitteen johtimet merkitään helposti havaittavalla keltaisella kutistesukalla, kuten SFS-EN 60204-1 standardin luvussa 13.2 kehoitetaan. (SFS-EN 60204-1:2018, 76.)

3.3 Suojaus sähköiskulta

Standardin SFS-EN 60204-1 kuudennessa luvussa luetellaan tapoja estää tahaton kosketus jännitteisiin osiin. Luvussa mainitaan muun muassa seuraavaa:

6.2.2 Suojaus koteloinnilla

Jännitteiset osat on sijoitettava koteloiden sisälle, jotka toteuttavat IP2X tai IPXXB mukaisen suojauksen (ks. IEC 60529). Jos koteloiden yläpinnat ovat helposti luokse päästäviä, jännitteisiä osia suojaavien yläpintojen kotelointiluokka on oltava vähintään IP4X tai IPXXD. Kotelon avaaminen (ts. oven, kannen, luukun tai vastaavan avaaminen) saa olla mahdollista ainoastaan, kun joku seuraavista ehdoista on täytetty:

- a) Pääsyyn pitää käyttää avainta tai työkalua. (SFS-EN 60204-1:2018, 31.)

Yllä mainittu tapa on todennäköisesti tehokkain estämään tahaton kosketus jännitteiseen osaan. Rasiointikoneeseen tulevat keskukset valittiin siten, että ne ovat varustettu sähkökaapeissa yleisesti käytettävällä lukolla, joka vaatii kaksikärkisen avaimen. Tämän lisäksi keskusten sisälle sijoitettavat komponentit valittiin siten, että jännitteiset osat ovat sormisuojuja (vähintään suojausluokka IP2x, suojaus kappaleita vastaan, joiden halkaisija on 12,5 mm tai suurempi, kuten taulukossa 1 esitetään).

3.4 Laitteiston suojaaminen

Standardin SFS-EN 60204-1 seitsemännessä luvussa esitellään tapoja laitteiston suojaamiseksi muun muassa oikosuluilta ja ylikuormitukselta.

3.4.1 Virtapiirien ylivirtasuojaus

Standardi SFS-EN 60204-1 kertoo ylivirtasuojauksesta seuraavasti:

7.2.1 Yleistä

Koneen kaikki virtapiirit, joissa virta voi ylittää joko komponentin mitoitusvirran tai johtimen kuormitettavuuden, sen mukaisesti kumpi on pienempi, on varustettava ylivirtasuojauksella. Ylivirtasuojan mitoitus- ja asetteluarvot on annettu kohdassa 7.2.10.

...

7.2.10 Ylivirtasuojien mitoitus ja asettelu

Sulakkeiden mitoitusvirrat tai muun ylivirtasuojien asetteluarvot on valittava mahdollisimman alhaiseksi, mutta kuitenkin vastaamaan odotettavissa olevia ylivirtoja (esim. moottorin käynnistysvirtaa tai muuntajan kytkentävirtaa). Suojalaitteita valittaessa on otettava huomioon ohjauspiirien kytkinlaitteiden suojaus ylivirtojen aiheuttamilta vaurioilta. (SFS-EN 60204-1:2018, 36-38.)

Koneen kaikki 24 V teholähteet sekä moottorilähdöt on suojattu johdonsuojakatkaisijoilla. Moottorilähtöjen johdonsuojakatkaisijat mitoitettiin siten, että ne kestävät kuljettimissa olevien moottorien hetkelliset (1 – 2 sekuntia) suuret käynnistysvirrat. Kyseisille johdonsuojakatkaisijoille valittiin myös C-käyrä, joka ei ole yhtä aggressiivinen laukeamaan kuin teholähteiden suojaukseen käytetyt B-käyrällä varustetut johdonsuojakatkaisijat (katso kuvio 3).

SFS-EN 60204-1 standardin seitsemännessä luvussa selvennettiin myös laitteiston toimittajan ja käyttäjän velvollisuuksia:

7.2.2 Syöttöjohtimet

Ellei käyttäjä ole asiaa määritellyt muuten, sähkölaitteiston toimittaja ei vastaa sähkölaitteiston syöttöjohtimien ja niiden ylivirtasuojien toimittamisesta. Sähkölaitteiston toimittajan on ilmoitettava asennusohjeissaan johtimen ja ylivirtasuojauksen mitoittamiseen tarvittavat tiedot (mukaan luettuna liittimiin liitettävien syöttöjohtimien suurin poikkipinta) (ks. 7.2.10 ja 17). (SFS-EN 60204-1:2018, 36.)

Suunnitteluprosessin aikana rasiointikoneen tarvitsema kokonaisvirta laskettiin ja kyseinen lukema ilmoitettiin loppuasiakkaalle (käyttäjä), kuten myös suositus soveltuvasta syöttökaapelista sekä sen johdonsuojakatkaisijan suuruudesta.

3.4.2 Muiden komponenttien suojaaminen

SFS-EN60204-1 ohjeistaa muun muassa sähkömoottorien suojauksesta seuraavaa:

7.3.1 Yleistä

Mitoitusteholtaan yli 0,5 kW moottorit on suojattava ylikuumenemiseltä.

Poikkeus: Sovelluksissa (esim. palopumput), joissa moottorin toiminnan automaattinen keskeyttäminen ei ole sallittua, ilmaisen on annettava koneen käyttäjälle havaittava varoitussignaali.

Moottorien suojaaminen ylikuumenemiseltä voidaan toteuttaa:

- ylikuormitussuojauksella (7.3.2) HUOM. 1 Ylikuormitussuojat havaitsevat virtapiirissä ajan ja virran suhteen (I^2t) ylityksen täyden mitoituskuorman arvosta sekä saavat aikaan tarvittavan ohjauksen.
- ylikämpösuojauksella (7.3.3), tai HUOM. 2 Lämpötilan ilmaisulaitteet havaitsevat ylikämpötilan ja saavat aikaan tarvittavan ohjauksen
- virtaa rajoittavalla suojauksella.

Moottorin automaattinen uudelleen käynnistyminen yllämpenemissuojauksen toimimisen jälkeen on estettävä, jos se voi aiheuttaa vaaratilanteen tai vaurion koneelle tai käynnissä olevalle työlle. (SFS-EN 60204-1:2018, 38.)

Kaikki koneessa olevat oikosulkumoottorit eivät ole teholtaan yli 0,5 kW, mutta varmuuden vuoksi kaikkiin moottorilähtöihin mitoitettiin yllämpösuojaksi lämpörele. Valitut releet ovat fyysisesti kuitattavia, jotta kuljettimet eivät käynnisty itseseen.

Standardissa ohjeistetaan myös vaihejärjestyssuojauksesta:

7.8 Vaihejärjestyssuojaus

Jos syöttöjännitteen väärä vaihejärjestys voi aiheuttaa vaaratilanteen tai koneen vaurioitumisen, on käytettävä vaihejärjestyssuojauksia. HUOM. Käyttöolosuhteita, jotka voivat aiheuttaa väärän vaihejärjestyksen ovat mm.:

- syötöstä toiseen siirrettävät koneet
- liikkuvat koneet, jotka voidaan kytkeä ulkoiseen verkkoon. (SFS-EN 60204-1:2018, 40.)

Markkinoilla on saatavilla niin kutsuttuja vaihevahteja, viralliselta nimeltään valvontareleitä (monitoring relay), jotka tarkastavat vaihejärjestyksen olevan oikea, ennen kuin 3-vaihesyöttö kytketään muulle laitteistolle. Kyseisiä releitä valmistaa muun muassa Phoenix Contact. (Phoenix Contact A) Rasiointikoneessa vaihevahti ei ole tarpeellinen, sillä koneen käyttöpaikka ei tule siirtymään koneen elinkaaren aikana. Oikea vaihejärjestys todetaan asennustilanteessa. Mikäli vaihejärjestys on väärä, pyörivät kuljettimet väärään suuntaan. Tämä saadaan korjattua vaihtamalla koneen syöttökaapelin 2. ja 3. vaiheen johtimia keskenään.

3.5 Häätätoiminnot

Standardin SFS-EN 60204-1 luvussa 9 kerrotaan ohjauspiireistä. Erityisen tärkeä osio, johon tulee kiinnittää huomiota, on hätätoiminnoista kertova osio. Yhdeksännessä luvussa koneille määritellään pysäytysluokat:

9.2.2 Pysäytystoimintojen luokat (EN)

Pysäytystoiminnot jaetaan kolmeen luokkaan seuraavasti:

- pysäytysluokka 0: pysäyttäminen poistamalla välittömästi teho koneen toimilaitteilta (ts. valvoton pysäyttäminen – ks. 3.1.64);
- pysäytysluokka 1: valvottu pysäyttäminen (ks. 3.1.14) koneen toimilaitteilla on teho pysähtymisen aikaansaamiseksi ja pysähtymisen jälkeen teho poistetaan toimilaitteilta
- pysäytysluokka 2: valvottu pysäyttäminen, jossa teho säilytetään toimilaitteilla. (SFS-EN 60204-1:2018, 46.)

Rasiointikoneessa ei ole mitään syytä olla poistamatta tehoa koneiden toimilaitteilta, joten hätäpysäytykset suunniteltiin siten, että sähköisiltä ja pneumaattisilta toimilaitteilta katkaistaan käyttövoima välittömästi kun hätä-seis -nappia painetaan. Tämän lisäksi standardissakin ohjeistetaan, että koneen täytyy hätätilanteessa pysähtyä pysäytysluokan 0 tai 1 mukaan:

9.2.3.4.2 Hätäpysäytys

Hätäpysäytyslaitteiston suunnitteluperiaatteet ja toiminnalliset periaatteet on annettu standardissa ISO 13850.

Hätäpysäytyksen on tapahduttava joko pysäytysluokan 0 tai 1 mukaisesti (ks. 9.2.2). ...

... Pysäyttämislle asetettujen vaatimusten (9.2.5.3) lisäksi asetetaan hätäpysäytystoiminnolle seuraavat lisävaatimukset:

- sen on ohitettava kaikki muut toiminnot kaikissa toimintatavoissa
- sen on pysäytettävä vaarallinen liike mahdollisimman nopeasti aiheuttamatta muita vaaratekijöitä
- kuittaaminen ei saa aiheuttaa uudelleenkäynnistymistä. (SFS-EN 60204-1:2018, 47 – 48.)

Koneen käyttöliittymä suunniteltiin myös siten, että hätätilanteen jälkeen koneen uudelleenkäynnistämiseksi vaaditaan kuittauksen lisäksi käynnisty tai jatka -käsky. Häätä-seis -painikkeet kytkettiin turvalogiikkaan, jonka toiminnot ajavat normaalin logiikkaohjelman edelle, tällöin hätä-seis -painikkeen painaminen ohittaa kaikki koneen muut toiminnot. Häätä-seis -painikkeet sijoitettiin b- ja d-kuljettimien alapuolelle sijoitettujen ohjauskeskusten oviin (kuvio 1). Yksi hätä-seis -painike sijoitettiin myös operaattorin käyttöpaneeliin.

3.6 Käyttäjän rajapinta

Standardin SFS-EN 60204-1 kymmenennessä kappaleessa on paljon erinäisiä ohjeita koneen käyttöliittymän asetteluun ja toteutukseen. Käyttöliittymän tulee olla selkeä ja tahattoman toiminnan mahdollisuus täytyy minimoida. (SFS-EN 60204-1:2018, 61.) Koneessa käytettävä käyttöliittymä koostuu noin 20-tuumaisesta kosketusnäytöstä ja hätä-seis -napeista. Käyttöliittymä pyritään sijoittamaan sellaiselle korkeudelle, että kaikki operaattorit pääsevät siihen käsiksi. Työergonomia haluttiin kumminkin pitää mahdollisimman hyvänä, joten kosketusnäyttö pyrittiin sijoittamaan mahdollisimman korkealle operaattorin niskakipujen välttämiseksi.

3.7 Johtimet ja kaapelit

Standardin 12:a luvussa ohjeistetaan sopivien kaapelien valintaa ja mitoitus.

12.1 Yleiset vaatimukset

Johtimet ja kaapelit on valittava niin, että ne soveltuvat esiintyviin käyttöolosuhteisiin (esim. jännite, virta, suojaus sähköiskulta, kaapeleiden ryhmittely) ja ulkoisiin vaikutuksiin (esim. ympäristön lämpötila, veden tai korroosiota aiheuttavien aineiden esiintyminen, mekaaninen rasitus, mukaan lukien asennuksen aikaiset rasitukset). (SFS-EN 60204-1:2018, 69.)

Koneen kaapelit on valittu standardin ohjeistuksen mukaan. Käytettävät kaapelit on tehty koneen käyttämille jännitteille. Kaapelit eivät ole rasituksen alaisina, eikä ympäristössä esiinny öljyä tai muuta, joka asettaisi erityisvaatimuksia kaapeleille. Taajuusmuuttajaohjattujen moottorien kaapelit ovat suojattu sähköä johtavalla metallipunoksella, jolla kaapelien aiheuttamia EMC-häiriöitä saataisiin vähennettyä. Tästä puhutaan lisää standardin liitteessä H. (SFS-EN 60204-1:2018, 116.)

3.8 Johdotuskäytännöt

Standardin SFS-EN 60204-1 kappaleessa 13 ohjeistetaan käytännöllisiin ja turvallisiin johdotustapoihin. Johtimien tunnistamisesta standardi ohjeistaa seuraavaa:

13.2 Johtimien tunnistaminen

13.2.1 Yleiset vaatimukset

Kukin johdin on voitava tunnistaa jokaisessa liitoksessa teknisten asiakirjojen mukaisesti. Johtimien tunnistaminen on suositeltavaa (esim. kunnossapidon helpottamiseksi) käyttämällä numeroita, kirjaimia, väriä (joko yhtenäistä, yhdellä tai useammalla raidalla) tai värin ja numeron tai kirjaimen yhdistelmää. Numeroiden on oltava arabialasia ja kirjainten roomalaisia (joko isoja tai pieniä). (SFS-EN 60204-1:2018, 76.)

Johtimien ja niissä kulkevien jännitteiden tunnistaminen on erittäin tärkeää huoltotoimenpiteitä varten. Johtimen kytkentäpisteen merkitseminen johtimeen tekstillä on erinomainen tapa helpottaa ja nopeuttaa muun muassa komponenttien vaihtotoimenpiteitä. Mikäli esimerkiksi kontaktori täytyy vaihtaa, ei kytkennästä tarvitse välttämättä ottaa valokuvaa (varmuuden vuoksi tämä olisi silti hyvä tehdä) ennen vanhan kontaktorin pois ottamista. Johdinten merkintä suoritettiin käyttämällä tarrakirjoitinta, johon oli hankittu kutistesukkaa, johon pystyy tulostamaan tekstiä.

Myös johtimien merkitseminen väreillä on hyödyllistä. Usein vaihejohtimien merkitsemiseen käytetään ruskeaa, mustaa ja harmaata, nollan merkitsemiseen taas vaaleansinistä. Mikäli sähköalan koulutuksen saanut asentaja tietää komponenttien ominaisuuksista jotakin, osaa hän olla tarkkana esimerkiksi ettei 24 V kelalla varustettuun kontaktoriin kytketä yhtä 230 V vaihejohtimista. Koska johdinväreihin ei ole pakottavaa lakia ja asennuksissa käytetyt värit vaihtelevat asennuksia tekevästä yrityksestä riippuen, on hyvä tapa ilmaista kunkin johtimen tarkoitettu väri piirikaaviossa. Projektin sähkösuunnittelussa käytettiin Cadmaticin CADS ohjelmistoa, joka on tarkoitettu teollisuuden ja rakennusalan piirustusten tekoon. CADS Planner Piirikaaviot –sovelluksella johdinvärien merkintä on melko helppoa Johdotustoiminnot-työkalun avulla. (CADS Planner Electric) Johtimen värit voidaan CADSillä merkitä joko tekstinä tai johtimen viivan värin pystyy myös vaihtamaan, mikäli piirikaaviota tarkastellaan näytöllä tai tulostetaan väritulostimella.

3.9 EMC-yhteensopivuus

Standardin SFS-EN 60204-1 liite H kertoo menetelmistä sähkömagneettisten häiriöiden vaikutusten pienentämiseksi, eli EMC-yhteensopivuudesta. Liitteessä H esitellään muun muassa seuraavia tapoja EMC-häiriöiden aiheuttamien vaikutusten minimoimiseksi:

H.3.2 Toimenpiteet sähkömagneettisten häiriöiden pienentämiseksi

Seuraavat toimenpiteet pienentävät sähkömagneettisia häiriöitä:

- a) Sähkömagneettisille häiriöille herkille laitteille suositellaan asennettavaksi ylijännitesuojia ja/tai suodattimia parantamaan sähkömagneettista yhteensopivuutta johtuvia sähkömagneettisia ilmiöitä vastaan.
- b) Kaapelien johtavat metallivaipat (esim. armeeraukset, sähköiset verhoukset) olisi yhdistettävä suojaavan potentiaalintasauksen piiriin.
- c) Vältetään induktiivisia silmukoita käyttämällä teho-, signaali- ja tietoliikennekaapeleille samoja reittejä ja säilyttämällä kohdan H.4 mukainen piirien erotus.
- d) Tehokaapelit olisi pidettävä erillään signaali- tai tietoliikennekaapeleista.
- e) Jos teho-, signaali- tai tietoliikennekaapelien risteilyt ovat tarpeellisia, ne olisi tehtävä suorassa kulmassa

Kaikkien koneen kaapelien suojapunkokset maadoitettiin, kuin myös kaikkien mahdollisten komponenttien rungot kytkettiin suojamaahan. Koneessa ei ole erityisen herkkiä mittatietoa kuljettavia johtimia. Suunnitteluvaiheessa arvioitiin, että lähinnä Ethernet-kaapelit voivat kärsiä häiriöistä, mikäli ne kulkevat hyvin lähellä AC-kaapeleita. Liitteessä suositellaan lankahyllyjä käytettäessä teho- ja tietoliikennekaapelien etäisyydeksi 150 mm. Tämä etäisyys pyrittiin toteuttamaan kaikkialla missä mahdollista. (SFS-EN 60204-1:2018, 117.)

4 KULJETTIMET

Järjestelmässä on kuusi sähkömoottorikäyttöistä kuljetinta. Kaksi näistä kuljettimista on taajuusmuuttajaohjattuja, koska niiden nopeutta halutaan säätää, sillä kuljettimien lopullinen hyvä toimintanopeus saadaan säädettyä kohdilleen vasta koneen asennuksen jälkeen. Toisessa kuljettimessa myös suuntaa halutaan vaihtaa.

Koska hienojakoinen pöly pääsee joka paikkaan, kuljettimien piti olla telavetoisia, hammaspyörävetoiset kuljettimet eivät tulleet kysymykseen. Tämä asetti haasteita pisimpien kuljettimien valinnassa, sillä kuljetintoimittajan kanssa keskustellessa ilmeni, mitä pidempi kuljetin, sitä todennäköisemmin se on hammaspyörävetoinen. (Kettunen, 2019.)

4.1 Vaaratekijät

Kuljetinjärjestelmissä on paljon liikkuvia ja sähköisiä osia. Koneen suunnittelua ohjasivat eri koneturvallisuusstandardit, suurimmaksi osaksi kuljetinjärjestelmien turvallisuudesta kertova SFS-EN620 + A1 sekä koneiden sähkölaitteistoista kertova SFS-EN 60204-1.

4.1.1 Mekaaniset vaaratekijät

Standardin SFS-EN620 + A1 mukaan hihnakuljetinjärjestelmissä on muun muassa seuraavia mekaanisia vaaratekijöitä:

- Puristumis- ja leikkautumisvaarat
 - o liikkuvat osat, jotka kulkevat kulkutasoilla tai -teillä olevien esteiden ohi
 - o niveltävät osat tai liikkuvat osat, jos hinnan liike jatkuu, kun energiansyöttö on katkaistu
 - o ylitysliike, esim. lasku, nosto tai siirto
 - o vastapainon kiristyslaitteet.

- Viiltovaarat
 - o suojaamattomat terävät reunat
- Takertumis-, nieluunjoutumis- tai loukkuunjämisvaarat
 - o vetävien osien, kuten hammaspyörien, kytkinten, hihna- ja ketjukäyttöjen ympärillä
 - o kuljetettavan materiaalin ja kuljettimen kiinteiden rakenneosien välillä (SFS-EN 620 + A1:2011, 20, 22.)

Mekaanisia vaaratekijöitä pyrittiin vähentämään seuraavasti:

- pyörivät osat koteloitiin
- nielut pidettiin niin pieninä, ettei niihin mahtunut sormia tai muita vastaavia.
- peltiosat kantattiin pyrkien pitämään terävät kulmat ja reunat mahdollisimman vähäisinä
- terävät reunat hiottiin ja/tai suojattiin

4.1.2 Sähköiset vaaratekijät

Standardin SFS-EN 620 + A1 mukaan hihnakuljetinjärjestelmissä on muun muassa seuraavia sähköstä johtuvia vaaratekijöitä:

- o Vaaratekijöitä voi syntyä suorasta tai epäsuorasta kosketuksesta jännitteisiin osiin. Jännite voi johtua esimerkiksi:
 - eristyksen vahingoittumisesta
 - virheellisestä eristyksestä tai kytkennästä
 - materiaalin tai kosteuden joutumisesta osiin (SFS-EN 620 + A1:2011, 22.)

Sähköisiä vaaratekijöitä pyrittiin vähentämään seuraavasti:

- Kaapelit ja johtimet asennettiin siten, että ne eivät joudu liikkuvien osien vahingoittamaksi. Kaapeleita ei taivutettu enempää kuin valmistaja on tarkoittanut tai asennettu paikkaan, jossa ne joutuisivat puristuksiin
- Kytkennät suoritti vain sähköalan koulutuksen saanut asentaja

4.1.3 Sähkömagneettisesta säteilystä johtuvat vaaratekijät

Standardin SFS-EN 620 + A1 mukaan hihnakuljetinjärjestelmissä on muun muassa sähkömagneettisesta säteilystä johtuvia vaaratekijöitä:

- ulkoisen säteilyn aiheuttama elektronisen laitteen virhetoiminto (SFS-EN 620 + A1:2011, 24.)

Sähkömagneettisen säteilyn aiheuttamia vaaratekijöitä pyrittiin vähentämään kytkemällä kaikkiin mahdollisiin laitteisiin ja koteloiteihin suojamaadoitusjohdin. Myös taajuusmuuttajakäyttöjen syöttökaapeliin suojavaipat maadoitettiin.

4.2 Suorien moottorilähtöjen mitoitus

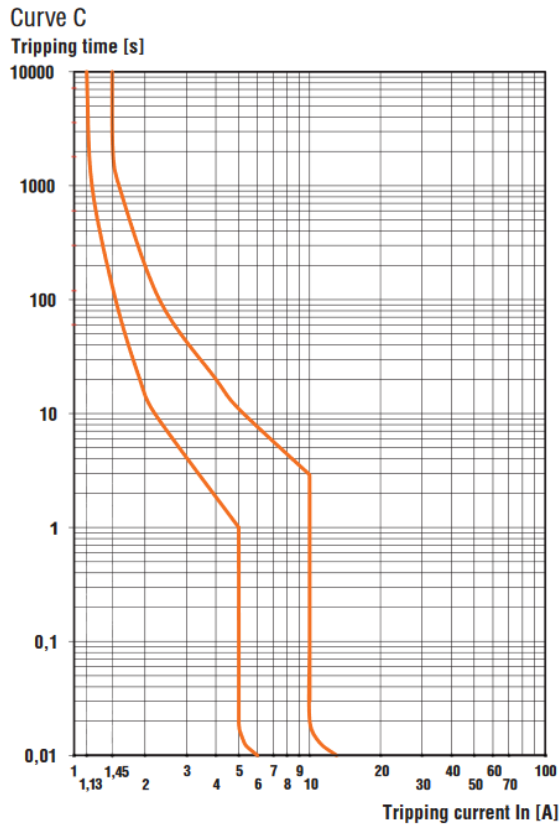
Suora moottorilähtö koostuu seuraavista komponenteista: ohjaus (PLC:n lähtö), erotin (kontaktori), oikosulkusuoja (johdonsuojakatkaisija), ylikuormitussuoja (lämpörele), turvakytkin ja moottori. Työnantajan mekaniikkainsinööri valitsi kuljettimet, joiden mukana kuljetinvalmistaja toimitti kuljettimen vaatimusten perusteella valitut sopivat oikosulkumoottorit. Tilausvahvistuksen yhteydessä kuljetinvalmistaja ei toimittanut juuri mitään tietoa kuljettimien moottoreista, joten kuljettimissa käytettyjen moottorien mallit piti selvittää itse. Kuljettimissa käytetyt moottorit ovat SEW Eurodriven valmistamia, moottorit ovat teholtaan 0,09 – 0,25 kW. Kyseisten moottorien tarvitsemat sähkövirrat ovat 0,295 – 0,68 A moottorista riippuen. (SEW Eurodrive.)

Moottorien tiedoista oleellista oli niiden tarvitsema virta ja sähköinen teho. Näitä tarvittiin sopivan kokoisten moottorilähdön komponenttien mitoittamiseksi. Kontaktorin mitoittamisessa riittää, että kontaktorin virrankatkaisukyky on riittävän suuri. Kelan jännitteeseen piti myös kiinnittää huomiota, kontaktoria haluttiin ohjata PLC:n lähdöllä, joka toimii 24 V jännitteellä. Tavarantoimittaja tuo maahan runsasta valikoimaa Lovato Electric -valmistajan tuotteita. Valikoimista löytyi kompaktin kokoinen minikontaktori, jonka katkaisukyky on 2,2 kW, eli noin 10-

kertainen moottorien tehonkulutukseen verrattuna. Kyseinen minikontaktori voitiin siis huoletta valita käyttöön. (Lovato Electric Kontaktorit.)

Lämpörelettä eli moottorinsuojakytkintä ei voi ylimitoittaa samalla tavalla kuin ohjaukskontaktoria. Lämpöreleessä on ruuvilla säädettävä virtaraja, mutta näin pienivirtaisissa lämpöreleissä säätöalue on hyvin pieni. Lämpörelettä ei siis voitu ylimitoittaa kovin paljoa, koska moottorin ylikuormitustilanteessa se ei toimisi oikein. Maahantuojalla, jolta lämpöreleet tilattiin, on hyvin laaja valikoima eri virroille sopivia Lovato Electricin lämpöreleitä, joten sopivan kokoisen lämpöreleen löytäminen ei ollut ongelma. Kaikille suorille moottorilähdöille valittiin 0,4 – 0,63 A virta-alueella varustettu lämpörele. Kyseinen virta-alue on sopiva suojaamaan kaikkia koneeseen tulevia moottoreita. (Lovato Electric SM1P.)

Lovato Electric valmistaa myös oikosulkusuojauksessa tarvittavia johdonsuojakatkaisijoita. Käyttötarkoitukseen tuli valita nimellisvirraltaan tarpeeksi pieni johdonsuojakatkaisija, joka reagoi oikosulkuun riittävän nopeasti. Täytyi siis valita laukaisukäyrältään ja nimellisvirraltaan sopiva johdonsuojakatkaisija. Kuviossa 3 esitetään C-käyrän mukaan toimivan johdonsuojakatkaisijan laukaisukäyrä.



Kuvio 3. Lovato Electricin johdonsuojakatkaisijan C-laukaisukäyrä (Lovato Electric)

Sähköiseltä teholtaan suurimman moottorin nimellisvirran ollessa 0,68 A, voidaan arvoida, että ”pahimmassa” tilanteessa käynnistysenaikainen virta on noin 6,8 A. Kuljetin on käynnistyshetkellä tyhjä, joten käynnistyminen on melko nopeaa. Kuljetin pääsee täyteen nopeuteensa arvioituna noin 1,5 sekunnissa. Mikäli valittaisiin nimellisvirraltaan 2 A johdonsuojakatkaisija, huonossa tilanteessa moottorin käynnistysenaikainen virta olisi noin 3,4-kertainen johdonsuojakatkaisijan nimellisvirtaan nähden. Tällaisen tilanteen tulisi kestää 3 – 30 sekuntia, jotta johdonsuojakatkaisija laukeaisi. Varmuuden vuoksi johdonsuojakatkaisija on mitoitettu pahimman tilanteen mukaan, jotta turhilta laukeamisilta vältyttäisiin.

4.3 Taajuusmuuttajaohjatut moottorilähdöt

Taajuusmuuttajaohjatuissa moottorilähdöissä on vähemmän komponentteja: PLC:ltä tulevat ohjaussignaalit, johdonsuojakatkaisija, taajuusmuuttaja, turvakytin ja moottori. Lämpörelettä ei tarvita, sillä taajuusmuuttaja hoitaa moottorin lämpötilan ja virrankulutuksen tarkkailun. Kuljetinvalmistaja valitsi itse kuljettimiin sopivan Siemensin taajuusmuuttajan annettujen vaatimusten mukaan. Taajuusmuuttajalta vaadittuja ominaisuuksia oli suunnanvaihto sekä etäohjaus logiikalta, nämä ominaisuudet löytyvät lähestulkoon kaikista nykypäivän taajuusmuuttajista. (Siemens.)

Taajuusmuuttajaohjattujen moottorien ollessa kovin pienitehoisia, taajuusmuuttajien AC-syöttö on yksivaiheinen. Kuljetinvalmistaja toimitti taajuusmuuttajat koteloituna ja käyttövalmiina, vain AC-syöttö täytyi lisätä. Taajuusmuuttajille ei siis tarvinnut mitoittaa sulaketta tai muita tarvikkeita.

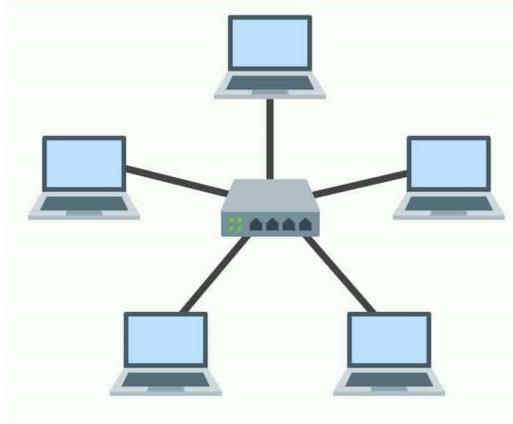
5 OHJAUKSEN SUUNNITTELU

Järjestelmässä ohjattavia toimilaitteita ovat sähkömoottorit ja pneumaattiset sylinterit. Tietoa rasioiden ja rasioitavien tuotteiden olinpaikoista antavat optiset anturit.

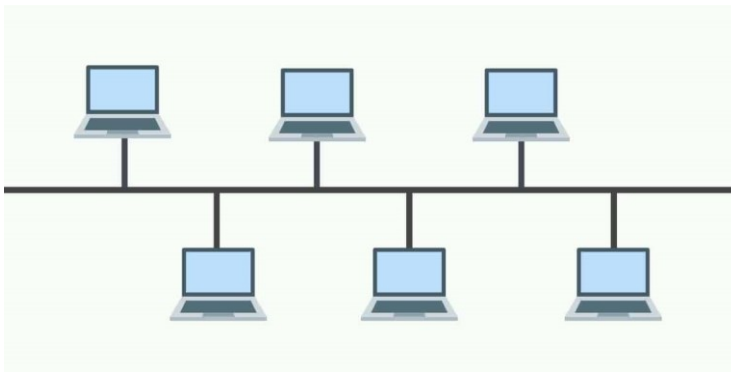
5.1 PLC – järjestelmän aivot

Ohjaus toteutettiin PLC-valmistaja Beckhoffin tuotteilla. Opinnäytetyön tilaaja käyttää pääasiallisesti Beckhoffin tuotteita automaatioprojektiansa ohjauksessa. Loppuasiakkaalta löytyy muidenkin logiikkavalmistajien tuotteita, mutta koska koneeseen tehtävät huolto- ja päivitystoimenpiteet suoritetaan työn tilaajan toimesta, on järkevintä käyttää yritykselle tutuimpia tuotteita. Beckhoffin logiikalla IO:t pystytään hajauttamaan, jolloin yksittäisten toimilaitteiden kaapelipituudet vähenevät. Hajautetun IO:n periaate toimii siten, että logiikkakortit jaetaan ”nodeihin”, eli eräänlaisiin solmupisteisiin. On olemassa yksi ”Masternode”, jossa loogiset päättelyt ja laskennan tekevä prosessori sijaitsee. Muissa nodeissa on vain EtherCAT-väyläkortti sekä IO-kortteja. Nodejen välinen kommunikaatio toimii siis EtherCAT-väylän välityksellä. Fyysisesti tämä tarkoittaa tavallista Ethernet-kaapelia. (EtherCAT.)

Järjestelmän verkkotopologia toteutetaan tähti-periaatteella. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että masternodelta vedetään yksi Ethernet-kaapeli jokaiselle nodelle.



Kuvio 4. Tähti-topologia (HM Hub)



Kuvio 5. Väylä-topologia (HM Hub)

Joissakin perinteisimmissä tiedonsiirtoväylissä kuten esimerkiksi Profibus-väylässä käytetään väylätopologiaa. Tähtitopologialla saavutetaan etua väylätopologiaan, sillä jos väyläkaapeli katkeaa, kaikki katkeamispisteen takana olevat nodet jäävät pois käytöstä. Tähtitopologiassa kaapelin katketessa vain yksi node jää pois käytöstä. Tällöin myös vikapaikan etsiminen helpottuu. (Profibus.)

Toinen hyvä puoli Beckhoffin logiikkakorteissa on modulaarisuus sekä niiden tarjoama räätälöitävyys. Kyseisessä käyttökohteessa tarvitaan yleisesti käytettyjä 24 VDC:n IO-kortteja. Näiden lisäksi hankittiin Cat 4, PL e turvaluokiteltuja TwinSAFE IO-kortteja. Häätä-seis -painikkeet kytkettiin TwinSAFE input-kortteihin ja moottorilähtöjä ohjaavat kontaktorit kytkettiin TwinSAFE output-kortteihin. Näihin turva-output-kortteihin kytkettiin myös paineilmajärjestelmän pääventtiili.

Hätä-seis -kytkimen aktivoituessa kaikki turva-output-kortteihin kytketyt moottorit pysäytetään ja sylinterien paineilmat katkaistaan. Kaikilta koneen liikkuvilta osilta poistetaan siis käyttövoima standardin SFS-EN 60204-1 mukaisesti. (SFS-EN 60204-1:2018, 46.)

Kuva 2 esittää tyypillistä Beckhoffin PLC:tä.



Kuva 2. Beckhoffin PLC- ja IO-kortteja (Beckhoff)

Tarvittavien logiikkakorttien valinta yhdessä logiikkaohjelmoijan kanssa oli yksi projektin ensimmäisistä tehtävistä. Kun koneen automatiikka ja toiminta oli suunniteltu ja sen toteuttamiseksi tarvittavat komponentit olivat tiedossa, oli aika laskea tarvittavat IO:t. Kunkin noden tarvitsemat tulo- ja lähtökanavat laskettiin. Lista tarvittavista IO:ista toimitettiin logiikkaohjelmoijalle, joka teki tarjouspyynnön Beckhoffin myyjälle. Yhdessä logiikkaohjelmoijan kanssa tarkastettiin, ettei Beckhoffin edustajan tekemässä tarjouksessa ollut virheitä ja tarjous hyväksyttiin.

5.2 Anturointi

Rasioiden ja rasioitavien tuotteiden havainnointiin käytettiin kohteesta heijastavaa valokennoanturia (reflective optical sensor). Jokaisessa rasiointiprosessin vaiheessa havainnointiin pystytään käyttämään samaa anturia. Tehtävään valittiin Panasonic CX-443-P. Kyseinen anturi valikoitui suhteellisen edullisen hintansa sekä hyvän säädettävyytensä vuoksi (Panasonic). Kuvassa 3 esitellään kyseinen anturi.



Kuva 3. Panasonic CX-443-P valokennoanturi (Panasonic)

Anturissa on potentiometri, jonka avulla kohteen havainnointietäisyyttä voidaan säätää välillä 20 – 50 mm. Testatessa anturin havainnointietäisyys ulottui noin 75 mm:iin, mutta toiminnan varmistamiseksi anturi pyritään sijoittamaan mahdollisimman lähelle havainnoitavaa kohdetta. Anturissa on myös valitsin, jolla valitaan toimintalogiikaksi joko LIGHT-ON tai DARK-ON. LIGHT-ON logiikka toimii siten, että kun kohteesta heijastuu valoa takaisin kohti anturin valokennoa, anturin lähtö kytkeytyy päälle. DARK-ON -logiikalla toimintaperiaate on päinvastainen. Kyseisessä anturissa on myös se hyvä puoli, että se ei vaadi vastakappaleeksi valonsäteitä heijastavaa peiliä. Ympäristön ollessa erittäin pölyinen, pölyntyvää peiliä pitäisi pyyhkiä säännöllisin väliajoin. Mitä vähemmän loppuasiakkaan työntekijöillä on puhdistettavia pintoja, sitä enemmän he voivat käyttää työaikaansa jo-

honkin tärkeämpään. Anturissa ei ole kiinteää kaapelia, vaan teollisuudessa yleisesti käytetty 4-napainen M8-pistoliitin. Mikäli anturissa ilmenee vika, sen vaihto on siis hyvin helppoa ja nopeaa, koska sitä ei tarvitse kaapeloida uudelleen.

6 OHJAUSKESKUSTEN SUUNNITTELU

Koneeseen rakennettiin myös neljä ohjauskeskusta. Jokaisessa ohjauskeskussa sijaitsee yksi logiikan node, sen tarvitsema 24 VDC virtalähde, moottori- lähtöjen kontaktorit, sulakkeet ja lämpöreleet sekä logiikan ohjaamat pneumatiikkaventtiilit. Masternoden keskukseen sijoitettiin myös pääsulake ja pääkytkin. Kyseinen keskus toimii siis myös sähköpääkeskuksena.

Sähköjärjestelmän komponenttivalintoja ohjasi standardi SFS-EN 60204-1, Koneiden sähkölaitteisto.

6.1 Koteloiden valinta

Ensimmäisenä ohjauskeskusten rakennuksessa täytyi suunnitella keskusten layout. Tässä käytettiin apuna CADS Planner -ohjelman Keskuslayout-työkalua. Valittujen komponenttien mitat syötettiin ohjelmaan ja komponentit aseteltiin johdotuksen kannalta loogiseen järjestykseen. Myös DC- ja AC-komponentit pyrittiin pitämään erillään. Samalla suunniteltiin kaapelikourujen paikkoja.

Kun keskusten layout oli saatu suunniteltua sopivaksi, otettiin ohjelmalla mitat tarvittavan asennuslevyn koosta, josta saatiin selville sopivan kokoisen kotelon minimimitat. Masternoden koteloksi valittiin Hoffmanin 400 x 400 x 210 mm (L x K x S) mittainen kotelo, ja muille nodeille 400 x 500 x 210 mm kotelo samalta valmistajalta. Koteloiden haluttiin olevan pölytiivitä, sillä niiden sisälle tulevat komponentit kuten logiikka sekä kontaktorit eivät ole pölyltä suojattuja. Valitut Hoffmanin kotelot ovatkin IP66-luokiteltuja. Toiveena oli myös että keskusten kotelot olisivat metallia, jotta ne kestäisivät ajan kulutusta ja pieniä kolhuja paremmin. Kotelot ovat 1,2 mm paksua vaaleanharmaaksi maalattua terästä. (Hoffman) Liitteinä 1 ja 2 on esitetty kuvat suunnitteluvaiheessa tehdystä keskuslayoutista, sekä kokoonpannusta keskuksesta.

6.2 Lämpivientien valinta

Koteloiden valinnan jälkeen vuorossa oli toimilaitteiden ja anturien kaapelien läpiviennit. Kone koostuu monesta kuljettimesta, joten kun se siirretään työnantajan tiloista asiakkaan tehtaalle, se puretaan kuljetusta varten moneen osaan. Jokainen kaapeli pitää siis kytkeä työnantajan tiloissa, irroittaa kuljetusta varten ja kytkeä uudelleen asiakkaalla. Kytöntöön helpottamiseksi ja nopeuttamiseksi ohjauskeskusten pohjiin sekä kaapelien päihin haluttiin pistoliittimet. Tällöin keskusten sisällä olevat johtimet johdotettiin vain kerran kokoonpanossa, jonka jälkeen kytkentä oli vain pistoliittimien kytkentää toisiinsa. Myös pneumatiikkaletkuille asennettiin Feston pikaliittimet (Festo).

Lämpivientireikiä tuli jokaiseen keskukseen noin 20 – 40. Jotta läpivientilaipan reiittämiseen ei tarvitsisi käyttää paljon työaikaa, teetettiin keskusten läpivientilaipat työn tilaajan alihankkijan laserleikkaamossa. Laipoista piirrettiin CADS Plannerilla DXF-formaatissa olevat kuvat, jotka lähetettiin alihankkijalle. DXF-kuvan tiedot syötetään CNC-ohjatulle laserille, joka leikkaa laipan reiät täysin kuvien mukaan, huomattavasti nopeammin kuin ihminen pystyisi. Laipat leikattiin 2 mm paksumasta alumiinista. Alumiinilaippaan on helppo tehdä myöhemmin lisää reikiä materiaalin helpon työstettävyyden vuoksi. Alumiininen laippa on myös huomattavasti kestävämpi korroosiota vastaan kuin teräksinen laippa. Asennuskohteessa laippaan ei kohdistu kemiallisia rasitteita.

Lämpivientejä valittaessa keskityttiin pölytiivyyteen. Haettiin siis IP-luokitusta IP6x. Tiiviimmät läpiviennit ovat luonnollisesti hieman hintavampia, mutta ne maksavat itsensä ajan kanssa takaisin, loppuasiakkaan työntekijöiden ei tarvitse käyttää työaikaa keskuksiin kertyvän pölyn poistamiseen. Pölyisten asennusympäristöjen ollessa melko yleisiä, pölytiivien läpivientiliittimien löytäminen ei ollut kovin hankalaa. Koska koneesta haluttiin mahdollisimman pitkäikäinen, haluttiin liittimienkin olevan mahdollisimman kestäviä. Tämän vuoksi valittiin aina metallinen liitin mikäli vain mahdollista. Suurin osa läpivientiliittimistä pyrittiin hankkimaan Phoenix Contactilta, sillä ostot pyrittiin keskittämään, jotta tavarantoimittajia olisi mahdollisimman vähän.

Pölytiivitä Ethernet-liittimiä löytyy CAT5e-luokituksella hyvinkin paljon. Periaatteessa CAT5e-luokka riittäisi, sillä Beckhoffin EtherCAT-väylän maksimisiirtonopeus valituilla komponenteilla on 100 Mbit/s (IEEE 802.3u). Paremman suorituskyvyn ja tulevaisuuden nopeampien komponenttien varalta läpivienniksi haluttiin vähintään CAT6-luokan läpiviennit. CAT6 Ethernet kykenee teoriassa parhaimmillaan 10 Gbit/s nopeuksiin, mutta tehdasympäristössä, jossa voi ilmetä häiriöitä, todellinen nopeus on todennäköisesti pienempi. (IEEE 802.3an.)

Vaihtosähkön siirtoon suunniteltuja liittimiä löytyy markkinoilta melko paljon. Phoenix Contactilla on valikoimassaan paljon eri mallisia ankariin olosuhteisiin sopivia vankkoja pistoliittimiä. Ohjauskeskusten välille piti johdottaa kaikki kolme vaihetta (L1, L2 ja L3), nolla (N), sekä suojamaa (PE). Tarvittiin siis vähintään 5-napainen liitin. Moottorien pistoliittimiksi riitti 4-napainen liitin, sillä perinteinen oikosulkumoottori ei tarvitse toimiakseen nollajohdinta. Phoenixilta löytyikin varsin kompaktin kokoinen D7-kokoluokan liitin, jonka mitat ovat vain n. 30 x 30 mm. Valualumiininen D7-runko kestää hyvin kulutusta. (Phoenix Contact B) Kuvassa 4 D7 liittimen liitinosa sekä alumiininen runko.



Kuva 4. 5-napainen uros-kosketinosa sekä sille sopiva D7-alumiinirunko (Phoenix Contact B)

Anturikaapeleita varten voitiin käyttää pienempiä pistoliittimiä, sillä anturien käyttämät jännitteet ja virrat ovat pienempiä (luokkaa 24 VDC, 30 mA). Tähän käyttötarkoitukseen valittiinkin samanlainen 4-napainen M8-pistoliitin, joka löytyy myös koneessa käytettävistä optisista antureista. Phoenix Contactilta löytyy myös kyseisiä liittimiä. Phoenix Contact tarjoaa valmiiksi johdotettuja M8-läpivientipistoliittimiä sekä itse juotettavia liittimiä. Valmiiksi johdotettujen liittimien johtimien pituus on 0,5 metriä, joka on hieman liian vähän käyttötarkoitukseen. Matka läpivientilaipalta kaapelikouruja pitkin logiikan korteille on noin 0,75 metriä. Phoenix Contact pystyy toimittamaan myös valmiiksi johdotettuja liittimiä, joissa johtimet ovat 1 metrin pituisia, mutta kyseisten liittimien toimitusajat olivat varsin pitkiä. Jotta ohjauskeskukset saatiin koottua mahdollisimman pian, valittiin juotettavat M8-liittimet, joihin juotettiin sopivan pituiset johtimet. (Phoenix Contact C.)

Kuva 5 esittää projektissa käytettyä juotettavaa pistoliitintä



Kuva 5. 4-napainen juotettava M8-pistoliitin (Phoenix Contact C)

Taajuusmuuttajan ja logiikan välillä kulkee seuraavat signaalit:

- start (moottorin halutaan pyörivän)
- taajuusmuuttajan virheen kuittaus
- 0 V, taajuusmuuttaja vertaa muita signaaleja tähän
- taajuusmuuttajan oma lähtö, joka ilmoittaa virhetilasta
- suunnanvaihto

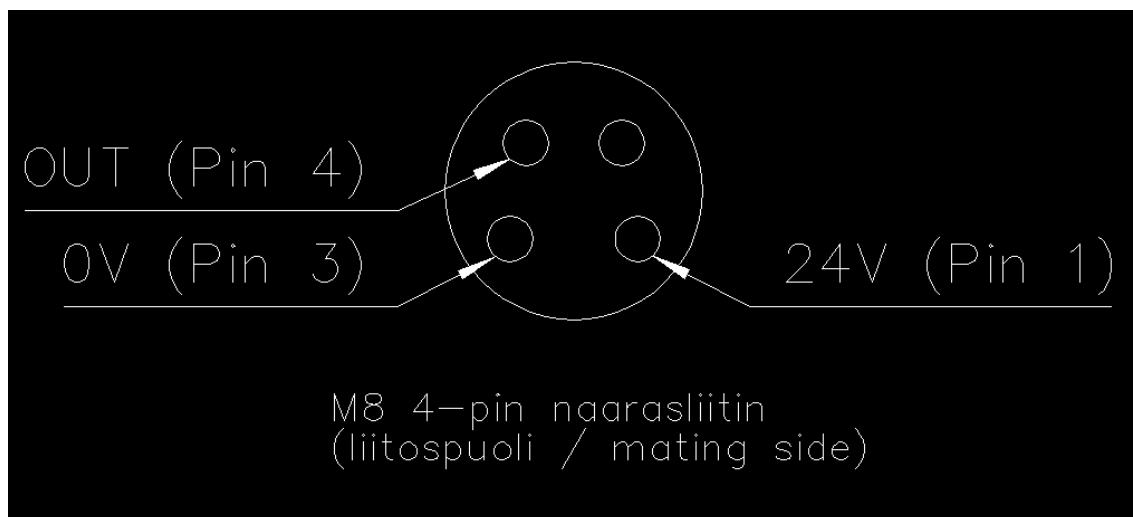
Tarvittiin siis ainakin 5-napainen liitin. Tähän käyttötarkoitukseen valittiin yleisesti käytetty 8-napainen M12-liitin. Kyseisiä liittimiä löytyi myös Phoenix Contactilta.

Phoenix Contactilta on saatavilla samanlaisia juotettavia versioita kuin M8-pisto-liittimessä, mutta niiden toimitusajat olivat hyvin pitkät. Valittiin siis M12-liitin 0,5 metrin valmiilla johdoilla. Näitä johtoja jouduttiin jatkamaan juottamalla. Lopputulos jäi kumminkin siistiksi, sillä liitoskohdat jäivät ohjauskeskusten kouruihin piiloon.

6.3 Piirikaavion piirtäminen

Rasiointikoneen piirikaavio piirrettiin CADS Plannerin Piirikaaviot-työkalulla. Piirikaavion tavoitteena on saada mahdollisimman paljon hyödyllistä informaatiota tiiviiseen pakettiin. Jotta piirikaaviota tutkaillessa ei tarvitsisi hyppiä eri sivujen välillä kovin paljoa, on koko virtapiiri pyritty piirtämään samalle sivulle. Tämä tarkoittaa sitä, että samalta sivulta löytyy kaikki virtapiirin komponentit, aina logiikkakortista toimilaitteelle saakka. Joissakin virtapiireissä komponentteja ja erilaisia liittimiä on niin paljon, että kaikki ei yksinkertaisesti mahdu samalle sivulle. Tällöin virtapiirin komponentit pyritään piirtämään mahdollisimman läheisille sivuille, jotta piirikaaviota tutkiva henkilö välttyisi turhalta paperien selaamiselta.

CADSin piirrosmerkkikirjasto ei ole kovin laaja. Ohjelmiston vahvuus tulee esiin omien piirrosmerkkien luonnissa. Omien piirrosmerkkien luominen on suoraviivaista ja suhteellisen nopeaa. Tallentamalla oma piirrosmerkki kirjastoon, voi sitä käyttää seuraavassa projektissakin, joka taas nopeuttaa tulevien projektien piirikaavioiden piirtämistä. Tähänkin projektiin piti luoda yksi uusi piirrosmerkki. Keskuksen läpivientilaipoissa oleviin 4-napaisille M8-liittimille luotiin oma piirrosmerkki kytkentätöön selventämiseksi. Piirrosmerkki oli hyvin yksinkertainen, siinä ei ollut edes kytkentäpisteitä, joihin voitaisiin piirtää johtimia. Piirrosmerkin tarkoitus olikin helpottaa keskuksessa tehtävää kytkentätöitä. Kuvio 6 esittää projektia varten luotua piirrosmerkkiä.



Kuvio 6. 4-napaisen M8-liittimen itse luotu piirrosmerkki CADS Plannerissa

7 KAAPELOINTI

Projektissa on runsaasti toimilaitteita ja antureita, joten luonnollisesti myös kaapeleita on paljon. Hajautetun IO-järjestelmän ansiosta kaapelivedot ovat suhteellisen lyhyitä, lähestulkoon kaikkien kaapelien pituus on 3 metriä tai alle. Lyhyiden kaapelien ansiosta häiriöiden aiheuttamat ongelmat jäivät vähäisiksi. Tavallisten anturikaapelien digitaaliset signaalit ovat hyvin häiriöitä sietäviä. Lähinnä Ethernetin välityksellä siirrettävät signaalit saattaisivat kärsiä häiriöistä, mikäli kaapeli sijoitettaisiin AC-kaapelien läheisyyteen. Jotta AC-kaapelien aiheuttamien häiriöiden vaikutukset saataisiin minimoitua, pidetään kyseisten kaapelien etäisyys muihin kaapeleihin mahdollisimman suurena. Kustannusteknisistä syistä johtuen kuljettimien jalkoihin asennettiin 40 mm leveä lankahylly kaikille kaapeleille. Mikäli AC-kaapeleille olisi asennettu oma lankahylly, olisi kyseisellä lankahyllyllä kulkenut pääasiassa yksi tai kaksi kaapelia vierekkäin.

Kaapelointityön vähentämiseksi käytettiin Phoenix Contactin valmiskaapeleita. Valmiskaapeleissa toinen kaapelin pää on valmiiksi päätelty haluttuun liittimeen, toisessa päässä on avonaiset johdot. Asennettaessa kaapeli katkaistaan sopivaan pituuteen ja kytketään keskukseen, tai kuten tässä tapauksessa, päätellään haluttuun liittimeen. Kuvassa 6 projektissa käytetyt M8-valmiskaapeli ja M8-liitin.



Kuva 6. M8-valmiskaapeli ja 4-napainen liitin kaapelin toiseen päähän (Phoenix Contact D)

Tilatessa kaapeleita tarvittavien kaapelien pituudet arvioitiin mekaniikkaosaston tekemästä koneen 3D-mallista. Tarvittavien kaapelien pituudet ylimitoitettiin, jotta

asennustilanteessa ei tarvitsisi todeta jonkin kaapelin olevan liian lyhyt. Toimilaitteen tai anturin päähän on hyvien asennustapojen mukaista jättää niin kutsuttu ”huoltokieppi”, eli hieman ylimääräistä kaapelia, mikäli toimilaitteen kaapeli jouduttaisiin joskus myöhemmin päättelemään uudelleen.

Kaapelointityön ja vianhaun helpottamiseksi keskusten ja toimilaitteiden väliset kaapelit merkittiin. Tätä tarkoitusta varten tilattiin Phoenix Contactilta kuvan mukaisia muovisia kaapelimerkkejä. Kaapelit nimettiin juoksevin numeroin. Keskusten liittimeen X32 tuleva toimilaittekaapeli sai nimekseen W32. Näin asennustyö asiakkaalla nopeutui huomattavasti, kun kaapelien paikkoja ei tarvinnut tarkastaa piirikaaviosta, vaan ne voitiin kytkeä läpivientilaipoissa ja kaapeleissa näkyvien merkintöjen avulla. Kuvassa 7 Phoenix Contactin valmistamia KMK kaapelimerkkejä.



Kuva 7. KMK kaapelimerkki (Phoenix Contact E)

8 YHTEENVETO

Komponenttien pitkien toimitusaikojen aiheuttamat ongelmat viivästyttivät koneen valmistumista. Opinnäytetyön valmistumishetkellä laite on ollut loppuasiakkaan tiloissa käytössä noin kaksi kuukautta. Laitteen mekaaninen ja sähköinen asennus saatiin kahden työntekijän voimin valmiiksi vajaassa kahdessa työpäivässä. Laitteen sähköistyksen modulaarinen suunnittelu nopeutti asennustyötä huomattavasti. Laite on toiminut asiakkaalla kuten pitääkin, projektin voidaan siis todeta onnistuneen, varsinkin sähkösuunnittelun osalta.

Vaikka hajautetun IO:n periaate onkin hyvin käyttökelpoinen teollisuusautomaatiossa, voidaan hajautetun IO-järjestelmän kannattavuutta kyseenalaistaa hieinan rasiointilinjan tapauksessa. Pakkauslinja on mitoiltaan noin 4 x 5 metriä, joten toimilaitteiden ja anturien kaapelivedot olisivat jääneet kohtuullisen lyhyiksi, vaikka kaikki sähkökeskuskomponentit olisivatkin asennettu yhteen keskukseseen. Tulevaisuutta ajatellen tällainen yhden keskuksen malli on vähemmän työläs vianhaku- ja huoltotilanteissa, sillä kaikki mahdollisesti vikaantuvat komponentit ovat kerralla nähtävissä samassa tilassa. Tosin yhden suuren sähkökeskuksen tapauksessa saattaa mahdollisesti syntyä ongelma, mihin keskus sijoitetaan. Tapauskohtaisesti voi olla helpompaa ripotella useampi pieni keskus ympäri koneistoa, kuin yksi suuri keskus.

Tämä opinnäytetyö todistaa hajautetun IO-järjestelmän toiminnan konseptitasolla. Myös mahdollisten tulevien laajennusten kannalta hajautettu IO on erinomainen vaihtoehto. Mikäli tulevien laajennusten määrää ei pystytä arvioimaan tarkasti, on sähkökeskukseen jätettävän tyhjän laajennustilan määrää hankala arvioida. Tällöin käy helposti siten, että puutteellisen tiedon vuoksi keskus alimitoitetaan, ja tulevaisuudessa todetaan, ettei keskuksessa ole tarpeeksi tilaa laajennuksille. Hajautetun IO:n sähkökeskuksiin ei tarvitse jättää suuria määriä tyhjää tilaa tulevaisuutta varten, sillä isommat laajennukset toteutetaan omina keskuksinaan.

Opinnäytetyötä tehdessä kirjoittajan osaaminen hajautetuista IO-järjestelmistä karttui ja osaamista kyetään soveltamaan tulevaisuudessa fyysisesti suurempien

laitteistojen kanssa, joissa hajautetun IO-järjestelmän hyödyt ovat vielä suuremmat.

LÄHTEET

Beckhoff. Luettu 18.2.2019.

<https://www.beckhoff.com/>

EtherCAT organisaatio. Luettu 18.2.2019.

<https://www.ethercat.org/default.htm>

Festo. 2019. Push-in fittings QSS-8. Luettu 20.2.2019.

https://www.festo.com/cat/fi_fi/products_QS?CurrentIDCode1=qss-8&Current-PartNo=153159

HM Hub. 2019. Star topology. Luettu 18.2.2019

<https://hmhub.me/star-topology/>

Hoffman. 2019. M400400210GE. Luettu 18.2.2019.

<https://hoffman.nvent.com/en/emea/gl66-mild-steel-400-x-400-x-210-hinge-cover-m400400210ge>

IEEE. 2019. 802.3an-2006. 10 Gb/s Ethernet standardi. Luettu 18.2.2019.

<https://ieeexplore.ieee.org/document/1700008>

IEEE. 2019. 802.3u-1995 – 100 Mb/s Ethernet standardi. Luettu 18.2.2019.

<https://ieeexplore.ieee.org/document/7974916>

Kettunen. Kuljetinmyyjä. 2019. Pitkien kuljettimien mekaaniset ominaisuudet. Myyntikokous.

Lovato Electric. Kontaktorit. Tuotekatalogi. Luettu 4.12.2019.

<https://www.oem.fi/ui/product-resources/oem/lovato-electric---kontaktorit-2018-137455.pdf?att=False&hash=F015A89025FF897AE80E1505CE389027>

Lovato Electric. Moottorinsuojakytkin SM1P0063. Nettisivut. Luettu 18.2.2019.

<https://www.oem.fi/tuotteet/keskus/moottoril%C3%A4ht%C3%B6komponentit/moottorinsuojakytkimet-604902/moottorinsuojakytkimet-0-1-40-a-273313>

Panasonic. 2020. CX-443-P. Luettu 18.2.2019.

https://www3.panasonic.biz/ac/e/search_num/index.jsp?c=detail&part_no=CX-443-P

Phoenix Contact A. 2020. Monitoring relay. Luettu 20.2.2020.

<https://www.phoenixcontact.com/online/myportal/fi/?uri=pxc-oc-itemdetail:pid=2903528&library=fifi&pcck=P-14-14-04-01-03&tab=1&selectedCategory=ALL>

Phoenix Contact B. 2020. Sleeve housing D7. Luettu 20.2.2020.

<https://www.phoenixcontact.com/online/myportal/fi/?uri=pxc-oc-itemdetail:pid=1419231&library=fifi&pcck=P-20-08-02-09-01&tab=1&selectedCategory=ALL>

Phoenix Contact C. 2020. Flush-type connector. Luettu 20.2.2020.
<https://www.phoenixcontact.com/online/myportal/fi/?uri=pxc-oc-itemdetail:pid=1694376&library=fifi&pcck=P-20-07-04-01&tab=1&selectedCategory=ALL>

Phoenix Contact D. 2020. Sensor/actuator cable. Luettu 20.2.2020.
<https://www.phoenixcontact.com/online/myportal/fi/?uri=pxc-oc-itemdetail:pid=1522215&library=fifi&pcck=P-18-01-01&tab=1&selectedCategory=ALL>

Phoenix Contact E. 2020. Plastic cable markers. Luettu 20.2.2020.
<https://www.phoenixcontact.com/online/myportal/fi/?uri=pxc-oc-itemdetail:pid=1005266&library=fifi&pcck=P-12-04-01&tab=1&selectedCategory=ALL>

Profibus. Nettisivut. Luettu 18.2.2019
<https://www.profibus.com/technology/profibus/>

SEW Eurodrive. Nettisivut. Luettu 18.2.2019.
https://www.sew-eurodrive.fi/products/motors/ac_motors/ac_motors_dr_and_dt56_1_speed/ac_motors_dr_and_dt56_1_speed-2.html

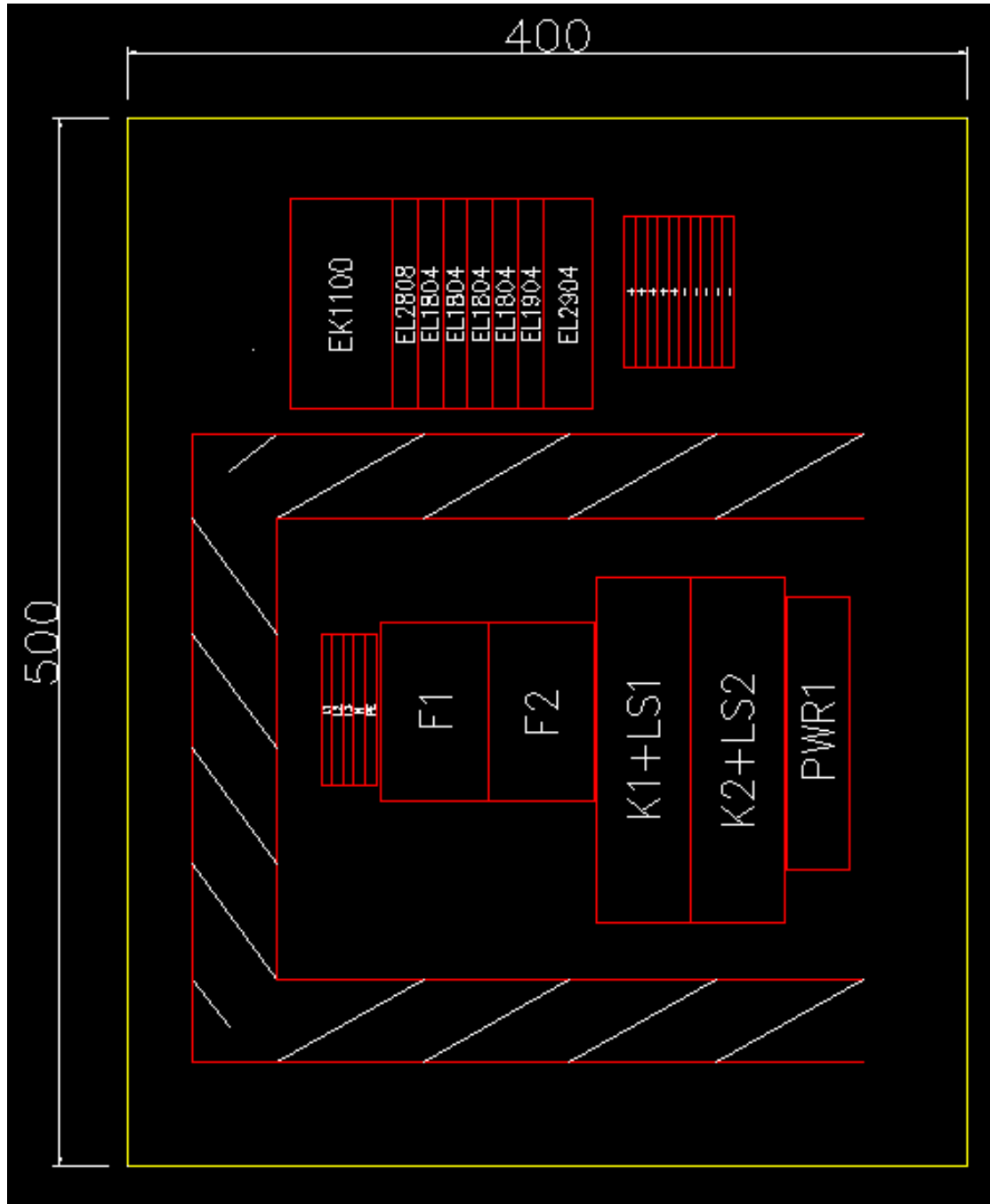
SFS-EN 60204-1. 2018. Koneturvallisuus. Koneiden sähkölaitteisto. Osa 1: Yleiset Vaatimukset. 4. painos. 269 sivua.

SFS-EN 620 + A1. 2011. Kuljetinlaitteet ja -järjestelmät. Turvallisuusvaatimukset ja sähkömagneettista yhteensopivuutta koskevat vaatimukset. Massatavaran kuljetuksessa käytettävät kiinteät hihnakuljettimet. 2. painos. 98 sivua.

Siemens. 2019. Sinamics taajuusmuuttajat. Luettu 18.2.2019.
<https://new.siemens.com/global/en/products/drives/sinamics.html>

LIITTEET

Liite 1. Keskuslayout



Liite 2. Ohjauskeskus

