



# Sähkökeskuksen suunnitte- luohjeistus

Teemu Järvinen

OPINNÄYTETYÖ  
Huhtikuu 2020

Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma  
Automaatiotekniikka

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma  
Automaatiotekniikka

JÄRVINEN, TEEMU:  
Sähkökeskuksen suunnitteluohjeistus

Opinnäytetyö 62 sivua, joista liitteitä 18 sivua  
Huhtikuu 2020

---

Opinnäytetyön tehtävänä oli luoda layout-suunnitteluohjeistus, jonka koeprojektina käytettiin WC100- ja WC500-hitsaustornien sähkökeskuksia. Työn tavoitteena oli luoda hitsaus- ja automaatiotekniikan tuottavalle Pemamek Oy:lle layout-suunnitteluun säännöt ja ehdot, joiden avulla pystyttäisiin yhtenäistämään sähkösuunnittelua ja -asennusta, lyhentämään tuotannon läpimenoaikaa sekä parantamaan sähkösuunnittelusta syntyvää dokumentaatiota.

Työssä tutkittiin vaihtoehtoja WC100- ja WC500-sähkökeskusten asennuslevyn, oven ja päätylevyn vakiointiin. Opinnäytetyö tutki myös Pemamekin mahdollisuuksia 3D-suunnitteluun sähkökeskuksen rakentamisessa sekä alihankinnan mahdollisuuksia valmiiksi rei'itetyille sähkökeskuksille.

Opinnäytetyön tuloksena koeprojektin sähkökeskuksiin vakioitiin layoutit, asennuslevy, ovi sekä päätylevy. Koeprojektin myötä sekä sähkösuunnitteluun että sähköasennukseen luotiin ohjeistukset. Vakioinnin seurauksena sähkökeskuksen layout-sivulle pystyttiin tuottamaan enemmän tietoa ja parantamaan syntyvää suunnitteludataa. Vakiointi tehosti myös sähkösuunnittelijoiden ja -asentajien työtä sekä odotetusti lyhensi myös läpimenoaikaa ja tehosti projektin etenemistä edelleen. 3D-suunnittelun käyttöönotto Pemamekillä ei kuitenkaan ole vielä ajankohtaista, sillä yrityksen laaja osatietokanta on 3D-suunnittelun osalta puutteellinen, ja sen käyttöönotto vaatisi merkittävät päivitykset nykyiseen osatietokantaan. Yrityksellä ei myöskään ole vielä käytössä johdotuskonetta tai rei'ityskonetta, joka osaltaan vaikuttaa 3D-suunnittelun käyttöönoton mahdollisuuksiin.

Pemamekin hyödyt alihankinnasta ovat merkittävimmät suurissa projekteissa, sillä ajallinen hyöty lyhentää merkittävästi projektin läpimenoaikaa tuotantokapasiteetin ollessa kuormittunut. Pienemmissä projekteissa merkittäviä hyötyjä alihankinnasta ei ole mahdollista saada. Projektin koko vaikuttaa siis merkittävästi alihankinnan hyötyihin.

Tämän opinnäytetyön tuloksena Pemamekillä on erinomaiset mahdollisuudet kehittää vakiointia myös muihin sähkökeskuksiin, joita yritys valmistaa. Tulevaisuudessa yrityksen on hyvä punnita alihankintaketjun hyödyntämistä sähkökeskuksen rakentamiseen. Kehityskohteenä voidaan pohtia myös EPLAN-makrokirjaston hyödyntämistä muiden projektien layout-suunnittelussa. Opinnäytetyö sisältää luottamuksellisia liitteitä, jotka on poistettu julkaistavasta opinnäytetyöstä.

---

Asiasanat: sähkökeskus, vakiointi, layout

## ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Electrical and Automation Engineering  
Automation Engineering

JÄRVINEN, TEEMU:  
Switchboard Design Guide

Bachelor's thesis 62 pages, appendices 18 pages  
April 2020

---

The objective of this thesis was to create instructions for layout planning for an example project which utilized WC100 and WC500 welding towers' switchboards. The aim of this thesis was to create instructions for layout planning for Pemamek Oy to standardize electrical engineering and electrical installations and also to shorten production lead time and improve the documentation of electrical engineering.

The thesis examined the options for standardization of the mounting plate, door and side panel for WC100 and WC500 welding towers' switchboards. Additionally, Pemamek's capabilities to benefit from 3D planning in building switchboards and utilizing subcontracting in switchboards, were also examined.

As a result, standard layouts were created for the switchboards in the welding towers, and the switchboard's mounting plate, door, and side panel were standardized. Moreover, instructions for their designers and installation were created. The radiator on the side panel was standardized considering the challenges involved. Switchboard standardization improved design data by bringing more information to the switchboard layout-page. This made the work of electrical design and installers more efficient and diminished the production lead time of the switchboards. However, utilizing 3D planning is not topical for Pemamek now due to the inadequate part database and lack of wiring and perforating machine which are required in 3D planning.

The benefits of subcontracting in building switchboards are the most considerable in greater projects due to the temporal benefit that the corporation can receive. In smaller projects, the advantages of using subcontracting were not that notable. Therefore, the size of the project is a major factor when considering subcontracting of switchboards.

As a result of this thesis, Pemamek Oy has good opportunities to develop the standardization of the other switchboards that the corporation manufactures. Utilizing the subcontracting chain to build switchboards can be considered as a future development idea. Another potential target for development would be to utilize the EPLAN macro library in layout design for other projects. The confidential material of this thesis is eliminated from the public version.

---

Key words: switchboard, standardization, layout

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
2	PEMAMEK YRITYKSENÄ .....	8
	2.1 Toimiala .....	8
	2.2 PEMA-tuotteet.....	9
3	HITSAUSTORNIEN ESITTELY .....	11
	3.1 Weldcontrol 100 -ohjausjärjestelmä .....	11
	3.2 Weldcontrol 500 -ohjausjärjestelmä .....	12
	3.3 Ohjausjärjestelmien erot .....	13
4	SUUNNITTELUOHJELMISTOT .....	14
	4.1 EPLAN-suunnitteluohjelmisto.....	14
	4.2 EPLAN Electric P8 -ohjelmisto .....	15
	4.3 EPLAN Pro Panel -ohjelma .....	15
5	SÄHKÖKESKUS.....	16
	5.1 Sähkökeskuksen rakenne .....	16
	5.2 Standardin vaatimukset.....	17
6	SÄHKÖKESKUKSEN JÄÄHDYTYS .....	23
	6.1 Jäähdytyksen vakiointi .....	24
	6.2 Jäähdyttimen valinta .....	26
	6.3 Päätylevyn vakiointi.....	27
7	KESKUSLAYOUTIN VAKIOINTI.....	28
	7.1 Sähkösuunnittelun parantaminen .....	28
	7.2 Komponenttien sijoittelu .....	29
	7.3 3D-suunnittelu keskuslayoutissa .....	31
8	OVEN VAKIOINTI.....	34
	8.1 Sähkösuunnittelun parantaminen .....	35
	8.2 3D-suunnittelu ovessa.....	37
9	ALIHANKINNAN MAHDOLLISUUDET.....	38
10	POHDINTA.....	40
	LÄHTEET .....	42
	LIITTEET .....	44
	Liite 1. Kondensaattorin datalehti.....	44
	Liite 2. Virtalähteen datalehti.....	45
	Liite 3. Beckhoff datalehdet.....	46
	Liite 4. Lenze datalehdet.....	49
	Liite 5. Muuntaja datalehti.....	51
	Liite 6. Päätylevyn rei'ityskuva .....	52

Liite 7. Therm yhteenveto .....	53
Liite 8. Asennuslevyn rei'ityskuva .....	55
Liite 9. Oven rei'ityskuva .....	56
Liite 10. Perusohjauksen ohjauspiirikaavion makro .....	57
Liite 11. Penkkimallin ohjauspiirikaavion makro .....	58
Liite 12. Laser-ohjauspiirikaavion makro .....	59
Liite 13. Kustannusvertailu .....	60
Liite 14. Suunnitteluohje.....	61
Liite 15. Asennusohje .....	62

**LYHENTEET JA TERMIT**

AI	Analoginen signaalitulo (Analog Input)
AO	Analoginen signaalilähtö (Analog Output)
CAE	Tietokoneavusteinen tekniikka (Computer-Aided Engineering)
DI	Digitaalinen signaalitulo (Digital Input)
DO	Digitaalinen signaalilähtö (Digital Output)
EMC	Sähkömagneettinen yhteensopivuus (Electromagnetic Compatibility)
IEC	Kansainvälinen sähköalan standardointiorganisaatio (International Electrotechnical Commission)
Kenttä	Sähkökeskuksen ulkoiset kytkennät ja asennukset
Layout	Sähkökeskuksen komponenttien sijoittelukuva
SFS	Suomen Standardisoimisliitto
UPS	Keskeytymätön virransyöttö (Uninterruptible Power Supply)
WC	Ohjausjärjestelmä (Weldcontrol)

## 1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö on tehty Pemamek Oy:n toimeksiantona. Pemamek Oy on suomalainen perheyrittys ja yksi maailman johtavista hitsaus- ja automaatiotratkaisuja raskaaseen metalliteollisuuteen tuottavista yrityksistä. Opinnäytetyö sai alkunsa tarpeesta yhtenäistää Pemamekin sähkösuunnittelua luomalla layout-suunnitteluun säännöt ja ehdot. Aiemmin sähkökeskuksen layout-kuva on tehty erikseen jokaiselle sähkökeskukselle, joka on kuluttanut enemmän aikaa niin suunnittelun kuin myös tuotannonkin puolella. Kun layout-kuva tehdään erikseen jokaiselle projektille, sähköasentajat joutuvat jokaisen sähkökeskuksen kohdalla mittaamaan erikseen johtokourut ja DIN-kiskot, sekä osittain myös sijoittamaan komponentit oikeille paikoilleen.

Opinnäytetyön tarkoituksena on luoda säännöt ja ehdot sähkökeskuksen layout-sivulle, sekä sähkösuunnitteluun että -asennukseen. Koeprojektiin valittiin Weldcontrol 100- ja Weldcontrol 500-hitsaustornien sähkökeskukset, joiden asennuslevy, ovi ja päätylevy vakioitaisiin. Työssä tutkitaan eri vaihtoehtoja vakiointiin ja työ rajataan keskittymällä komponenttien sijoitteluun sähkökeskuksessa. Layout-sivulle saadaan tämän työn myötä tuotua muun muassa johtokourujen ja DIN-kiskojen mitat, joita ei aiemmin layout-sivulta ilmennyt.

Työn tavoitteena on yhtenäistää sähkösuunnittelua, parantaa sähkösuunnittelusta syntyvää dokumentaatiota, lyhentää tuotannon läpimenoaikaa sähkösuunnittelun keinoilla ja vähentää inhimillisten virheiden määrää. Tämän lisäksi työssä vertaillaan kustannuksia valmiiksi reiätettyjen asennuslevyjen, ovien ja päätylevyjen osalta Pemamekin oman tuotannon ja alihankinnan välillä. Työssä tutkitaan myös 3D-suunnittelun hyödyntämismahdollisuuksia komponenttien sijoittelussa.

Työn tuloksena syntyvää vakiointia ja ohjeistusta voidaan käyttää kaikissa hitsaustornien sähkökeskuksissa, joka vähentää päällekkäisiä työtehtäviä. Jatkossa vakiointia ja ohjeistusta voidaan käyttää myös muidenkin projektien sähkökeskuksiin, joita Pemamekillä valmistetaan.

## 2 PEMAMEK YRITYKSENÄ

### 2.1 Toimiala

Pemamek Oy on vuonna 1970 perustettu suomalainen perheyritys, joka on erikoistunut automatisoidun hitsaamisen ja tuotantojärjestelmien suunnitteluun sekä valmistamiseen. Yritys on yksi maailman johtavista hitsausautomaattioratkaisujen toimittajista, joka pystyy tarjoamaan asiakkailleen ratkaisun kilpailukykyyn nostamiseen tehokkuuden, laadun ja turvallisuuden osalta. Yrityksen laajaan asiakaskuntaan kuuluvat konepajat, työkonetehtaat ja muut asiakkaat telakka-, rakennus-, ja tuulivoimateollisuudesta ympäri maailmaa. (Pemamek Tietoa yrityksestä 2020.) Yrityksen liikevaihto oli vuonna 2019 78,2 miljoonaa euroa ja se työllisti samana vuonna 212 työntekijää. Pemamekin liiketoiminta on voimakkaassa kasvussa, sillä vielä vuonna 2017 liikevaihto oli noin 35 miljoonaa euroa. (Suomen Asiakastieto 2020.)

Pemamekin tuotteista yli 90 % suuntautuu kansainvälisille markkinoille yli 50:een maahan. Vahvan kansainvälisyyden vuoksi yrityksellä on myyntitoimistot Venäjällä, Yhdysvalloissa, Brasiliassa ja Puolassa. Pemamek on toimittanut viimeisen kolmen vuoden aikana maailmanlaajuisesti yhteensä 294 laitetta. Yrityksen tavoitteena on olla tulevaisuudessa maailman paras hitsaus- ja tuotantoautomaattioratkaisuja tarjoava yritys. (Pemamek Tietoa yrityksestä 2020.)

Tuotantoautomaattioratkaisuja tarjotaan raskaan metalliteollisuuden yrityksille. Aiemmin manuaalisesti tehty hitsaustyö voidaan toteuttaa automatisoidusti, esimerkiksi robotilla. Pemamekin tuoteratkaisut toteutetaan asiakkaiden tarpeiden mukaan. Räätelöityjen laitteiden ja koneiden avulla voidaan asiakkaan tuotantokapasiteettia tehostaa, mahdollistaa asiakkaan tuottamien tuotteiden korkeampi laatu ja kohottaa asiakkaan tuotannon turvallisuutta. Jokainen räätelöity laite noudattaa kuitenkin samankaltaisia pohjarakenteita ja automaattioratkaisuja. (Pemamek Missio & visio 2020.)

## 2.2 PEMA-tuotteet

Pemamekin valmistamien laitteiden tuotenimenä käytetään lyhennettä PEMA. Yrityksen automatisoidut hitsaus- ja tuotantoratkaisut sekä räätälöidyt laitekoko-  
naisuudet on suunniteltu yksilöllisesti jokaisen asiakkaan tarpeisiin. Huolellisesti  
testatut tuotantoprosessit ovat täysin integroitavissa PEMA-hitsauslaitteisiin.  
(PEMA Tuotteet ja ratkaisut 2018.)

Pemamekin tuotteista ensimmäisenä kehitettiin yksinkertainen käsittelypöytä hit-  
saukseen (kuva 1). Käsittelypöytä on automaatiolaite, joka erottui yrityksen alku-  
vaiheessa markkinoilla tehokkuudellaan. Käsittelypöydän tehtävänä on kääntää,  
pyörittää tai nostaa pöydässä kiinni olevaa kappaletta parhaimpaan mahdolliseen  
hitsausasentoon. Käsittelypöydän liikkeitä voidaan ohjata turvallisesti langalli-  
sella PEMA-kaukosäätimellä. Käsittelypöydän ansiosta hitsaustuottavuus voi  
nousta jopa 70 %. PEMA käsittelypöytien kapasiteetti vaihtelee 250 kg:sta jopa  
70 000 kg:aan saakka, joten laajan valikoiman ansiosta jokainen asiakas pystyy  
löytämään omiin tarpeisiinsa sopivan käsittelypöydän. (PEMA Käsittelypöydät  
2018.)



KUVA 1. Käsittelypöytä (Vesterinen 2018)

Yrityksen toinen suosittu tuote on hitsaustorni, joka mahdollistaa laadukkaan ja tehokkaan hitsausjäljen raskaaseen metalliteollisuuteen. Kokonaisuudessaan torni liikkuu kiskojen päällä ja sen hitsauspää liikkuu x- ja y-suunnissa. PEMA-hitsaustornien koot vaihtelevat aina 3 x 3 m:sta jopa 10 x 10 m:iin saakka. Tornit voidaan helposti integroida kaikkiin PEMA-käsittelypöytiin ja pyöritysrullastoihin. Tornien ohjaus tapahtuu edistyneellä ohjauspaneelilla ja käyttöliittymällä. (PEMA Hitsaustornit 2018.)



KUVA 2. Hitsaustorni (Vesterinen 2018)

PEMA-tuotteista voidaan koota kokonaisia linjastoja, joita tarjotaan telakoille, konepajoille, prosessi-, tuulivoima-, ja kattilateollisuudelle. Linjastojen automatisoidut ratkaisut ja koot vaihtelevat asiakkaan tarpeiden mukaan, jolloin asiakkaiden käsiteltävät kappaleet tai materiaalit muuttuvat. Suurimpiin linjastoihin voidaan yhdistää jopa 30 PEMA-laitetta.

### 3 HITSAUSTORNIEN ESITTELY

Pemamek valmistaa kolmea eri hitsaustornisarjaa, jotka ovat jaettu kokoluokan ja hitsauskyvyn mukaan. MD-sarjan hitsaustornit on tehty keskiraskaaseen automaatiohitsaukseen. Vakaan rakenteen ja lineaaristen kiskoliikkeiden ansiosta PEMA MD:n liikkuvuus ja hitsaus on tasaista. PEMA MD -hitsaustornilla voidaan toteuttaa etenkin yksi- ja monilankajauhekaarihitsausta, mutta sitä voidaan käyttää myös MIG/MAG- ja TIG-hitsausprosesseille. HD-sarjan tornit on suunniteltu vaativimpiin automaatiohitsausratkaisuihin, kuten tuulivoimaloiden rungon hitsaukseen. PEMA HD -tornit ovat ratkaisuja raskaaseen SAW-hitsaukseen tarkoitetuissa automaatioosoluissa. EHD-sarjan tornit ovat kooltaan suurimpia ja ne ovat tarkoitettu raskaimpiin teollisiin hitsauksiin esim. merituulivoimaloihin, jossa mereen sijoitettavan rungon pituus ja halkaisija ovat huomattavasti suurempia. (PEMA Hitsaustornit 2018.)

Tässä opinnäytetyössä käytetään koeprojektina kahta HD-sarjan hitsaustornia, joissa ensimmäisessä on Weldcontrol 100-ohjausjärjestelmän ominaisuudet ja toisessa Weldcontrol 500-ohjausjärjestelmän ominaisuudet.

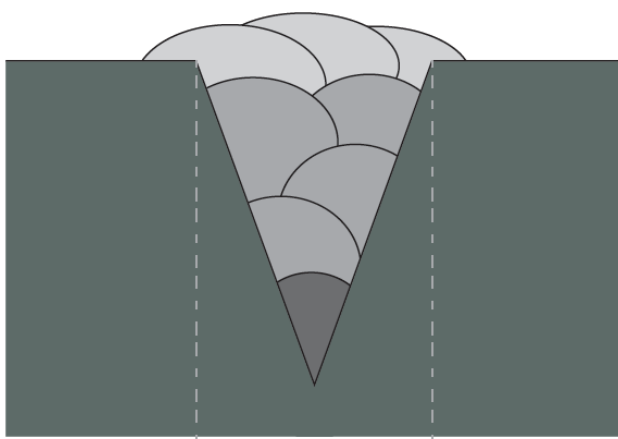
#### 3.1 Weldcontrol 100 -ohjausjärjestelmä

Weldcontrol-ohjausjärjestelmästä käytetään lyhennettä WC. WC100-ohjausjärjestelmä on hitsaustornin liikkeiden hallitsemiseen ja hitsausparametrien säätämiseen tarkoitettu järjestelmä. Weldcontrol-ohjelmisto on kehitetty kokonaisuudessaan Pemamekilla. Liikkeitä ja hitsausta ohjataan täysväriseltä kosketusnäytöltä, joka on myös muokattavissa asiakkaan tarpeisiin sopivaksi. Hitsaussaumaa seurataan mekaanisella kytkimellä ja hitsausparametreja voidaan helposti valvoa graafisten suuntauslinjojen avulla. WC100-ohjausjärjestelmä voidaan yhdistää myös tehdasverkkoon, joka mahdollistaa muun muassa etäyhteyden oton järjestelmään. Etäyhteys sallii asiakkaan laitteen keskitetyn ylläpidon ja etähallinnan, joka takaa nopean vasteajan huoltotoimille. Nopea vasteaika tuo myös asiakkaalle säästöjä, sillä asiakkaan tuotantoprosessin pysähtyminen ei vaadi huoltomiehen saapumista paikan päälle, vaan ongelma voidaan ratkaista nopeasti

etänä. Etäyhteydellä voidaan saada tietoa esimerkiksi rikkoutuneesta taajuusmuuttajasta. Viat voidaan tunnistaa nopeasti ripeiden jatkotoimenpiteiden tekemistä varten ja näin minimoidaan aika, jolloin asiakkaan laite ei ole käytettävissä. (Pemamek 2019.)

### 3.2 Weldcontrol 500 -ohjausjärjestelmä

WC500-ohjausjärjestelmä sisältää kaikki WC100-järjestelmän tarjoamat ominaisuudet, jonka lisäksi se sisältää muutamia kehittyneempiä ominaisuuksia, kuten palkokartan (kuva 3.). Hitsauksen palkokartta voidaan määrittellä täysin käyttäjän syöttämien arvojen mukaisesti. Käyttäjä voi määrittää palkokarttaan jokaiseen kerrokseen hitsauskerroksien ja palkojen määrän. Hitsauskerroksien määrällä tarkoitetaan yhden tai useamman vierekkäisen palon muodostamaa hitsiainekerrosta. Hitsauspalko on hitsiaine, joka muodostuu yhdellä kerralla hitsattaessa työkappaleen päästä päähän. (Lukkari 2002, 26.)



KUVA 3. Hitsauksen palkokartta (Pemamek 2019.)

WC500-ohjausjärjestelmää käytetään yhdessä paneeli-PC:n kanssa, joka on suunniteltu teollisia olosuhteita varten. Ohjausjärjestelmässä on ohjelmoitava logiikka, jonka avulla ohjataan hitsaustornin päätoimintoja. Hitsaussauman seuranta on toteutettu laserilla. Laserin tehtävänä on seurata hitsattavan railon korkeutta ja leveyttä sekä kohdistaa samalla hitsauspoltin oikeaan kohtaan suhteessa railoon. Laserseurantaan tarkoitettu anturi on valmistettu erikseen PEM-

hitaustornien vaatimuksiin. Laseranturin keräämä tieto saadaan näkyviin ohjauspaneelille ja nämä laseranturista tulleet tiedot hyödynnetään parhaan hitsaussauman löytämiseksi. (Pemamek 2019.)

### 3.3 Ohjausjärjestelmien erot

WC100- ja WC500-ohjausjärjestelmien suurimpana eroavaisuutena voidaan pitää palkokarttaa, joka on käytössä vain WC500-järjestelmässä. Hitsaussauman seuranta toteutetaan WC100-järjestelmässä mekaanisesti ja WC500:ssa laserilla. Käyttäjäystävällisempi WC500-ohjausjärjestelmä pystyy myös näyttämään käyttäjälle työkierron, josta nähdään missä vaiheessa työtä edetään.

Järjestelmien merkittävänä erona voidaan pitää myös ohjauspaneelin näytön monipuolisempaa graafista näkyvyyttä. WC500-ohjausjärjestelmän ohjauspaneelin graafinen osuus on siis kehittyneempää, jolloin edellä mainituista palkokartasta ja hitsauskerroksista saadaan tarkemmat tiedot. WC500-järjestelmän päivittäminen ja muuttaminen on kuitenkin huomattavasti haastavampaa kuin WC100:n, sillä järjestelmän visuaalinen näyttö on tehty täysin eri PLC-suunnitteluohjelmalla. WC100-ohjausjärjestelmän päivittäminen ja muokkaaminen on yksinkertaisempaa, sillä järjestelmä on toteutettu kokonaan Beckhoffin TwinCat-ohjelmalla. Käyttäjän halutessa päivittää tai muuttaa WC500-ohjausjärjestelmää, vaatii se käyttäjältä kahden ohjelman täydellistä osaamista. (Huitti 2020.)

WC500-ohjausjärjestelmä on siis ominaisuuksiltaan WC100-ohjausjärjestelmää kehittyneempi ja se sisältää enemmän komponentteja sähkökeskuksessa. Näin ollen Pemamekin sähkösuunnittelun näkökulmasta ohjausjärjestelmän valinta vaikuttaa myös komponenttien valintaan. WC500-ohjausjärjestelmässä sähkökeskukseen lisätään servosäätimet, joilla ohjataan puomin vaakaliikkeen servomootoria ja hitsauspään ristiluistinta. Beckhoffin valmistamien servomootoreiden avulla saadaan tarkka paikkatieto esimerkiksi hitsauspään kulkemasta matkasta ja asennosta. Vaakapuomin pystyliikkeen paikkaa valvotaan taas SICK:n valmistamalla absoluuttianturilla. (Huitti 2020.)

## 4 SUUNNITTELUOHJELMISTOT

### 4.1 EPLAN-suunnitteluohjelmisto

EPLAN-suunnitteluohjelmiston tarjoamia moduuleita käytettiin layoutin, asennuslevyn, oven ja päätylevyn vakioinnissa. Ohjelmisto perustuu tietokantapohjaiseen suunnittelujärjestelmään, jota voidaan käyttää sähkö- ja automaatio suunnittelun ja mekaanisen suunnittelun osa-alueilla. EPLAN-ohjelmisto perustuu Computer Aided Engineering eli CAE-suunnittelujärjestelmään. CAE on prosessi, jossa tekniset ongelmat ratkaistaan käyttämällä kehittyneitä interaktiivisia ja graafisia ohjelmistoja. (EPLAN Tietoja meistä. n.d.)

EPLAN tarjoaa seuraavia ohjelmia eri suunnittelutarpeisiin:

- EPLAN Electric P8 - Sähkö- ja automaatio suunnittelu
- EPLAN Fluid - Hydraulikka- ja pneumatiikkasuunnittelu
- EPLAN Harness ProD – Johdinsarjojen sekä nail board-esitysten suunnittelu ja dokumentointi
- EPLAN Pro Panel – Kytchentäkaappien ja kojeistojen 3D-suunnittelu
- EPLAN PrePlanning - Esisuunnittelu, prosessi- ja laitossuunnittelu
- EPLAN Data Portal - Osatietokanta
- EPLAN Cogineer - Suunnittelukonfiguraattoreiden määrittely ja generointityökalu

(EPLAN Ratkaisut n.d.)

Seuraavissa luvuissa on esitetty, mitä edellisen listan moduuleita tässä työssä käytetään.

## 4.2 EPLAN Electric P8 -ohjelmisto

EPLAN Electric P8 -suunnitteluohjelmistoa käytetään sähkö- ja automaatiojärjestelmien suunnitteluun. Ohjelmisto tarjoaa hyvät mahdollisuudet suunnitteluun, dokumentointiin ja hallintaan automaatioprojekteissa. EPLAN Electric P8 sisältää useita automatisoituja toimintoja kuten makrot, jotka nopeuttavat sähkösuunnittelun eri vaiheita. Makroilla tarkoitetaan valmiita piirustuksia, joiden avulla on mahdollista toistaa kuva- tai piirikokonaisuuksia. Makrot voidaan jakaa kolmeen kategoriaan: symbol-, window- ja page-makroiin. (EPLAN Electric P8 n.d.) Tässä työssä käytetään page-makroa, johon tallennetaan koko sivun tiedot ja piirikaaviot. Esimerkiksi ohjauspaneelien makroissa tuodaan kaksi makrosivu-kokonaisuutta, joista toinen makrosivuista on ohjauspaneelikalvo ja toinen on sen ohjauspiirikaavio.

## 4.3 EPLAN Pro Panel -ohjelma

Työssä tutkitaan myös 3D-suunnittelun mahdollisuuksia EPLAN Pro Panel -suunnitteluohjelmalla. Pro Panel-lisäosa toimii integroidun EPLAN-tietokannan avulla täysin yhteistyössä Electric P8:n kanssa. Electric P8:lla tehdyn projektin pohjalta voidaan piirikaavioon lisättyjen komponenttien avulla luoda kolmiulotteinen keskuskokoonpano. (EPLAN Pro Panel n.d.)

Tietokannasta löytyvien 3D-makrojen avulla voidaan helposti ja nopeasti luoda toimivia keskuskokoonpanoja. 3D-mallien avulla voidaan havainnollistaa komponenttien sijoittelu keskuksessa paremmin, sillä komponentit ovat oikeissa mitoissaan ja keskuksen tilan hyödyntäminen tehostuu. Pro Panel-ohjelman avulla voidaan myös mitoittaa keskuksen johdotukset ja suunnitella niiden reitit eri komponenteille. (EPLAN Pro Panel n.d.)

## 5 SÄHKÖKESKUS

Pemamek käyttää Rittal GmbH & Co:n valmistamia sähkökeskuksia, joihin sijoitetaan sähkökomponentteja ja -laitteita koneen ohjauksen toteuttamiseksi. Sijoitettavien komponenttien ja sähkökeskusten määrät vaihtelevat Pemamekilla valmistuneiden koneiden mukaan. Koneen sähkökeskukset voidaan jakaa kolmeen kategoriaan: pääkeskukset, ohjauskeskukset ja kytkentäkotelot. Tässä osiossa keskitytään hitsaustornin pääkeskukseen.

### 5.1 Sähkökeskuksen rakenne

Tämän työn sähkökeskuksena käytetään Rittalin valmistamaa VX25-rivikaappijärjestelmän peruskaappia, joka on valmistajan uusimpia malleja. Kaappi on leveydeltään 800 mm, korkeudeltaan 1800 mm ja syvyydeltään 400 mm. Rakenteellisten mittojen puolesta hitsaustorneihin ei voi asentaa isompaa keskusta tilaputteen vuoksi. (Rittal Rivikaappijärjestelmä VX25 Peruskaappi n.d.)

Kaappi on materiaaliltaan teräslevyä ja sen kotelointiluokka on IP55. IP-luokitus arvioi kansainvälisellä kotelointiluokituksella (International Protection) sähkölaitteen vesisuojauksen ja vieraiden esineiden ja pölyn sisäänpääsyn. IP-luokitus 55 viittaa siihen, että kotelointi on pölysuojattu ja suojattu vesisuihkulta jokaisesta suunnasta. (STEK n.d.) Valmistaja ilmoittaa K-arvoksi 5,5, joka kertoo kaapin lämmönjohtokyvyn (Rittal Rivikaappijärjestelmä VX25 Peruskaappi n.d.). Kaapin materiaalin ja kotelointiluokan ansiosta samaa keskusta voidaan käyttää useassa eri asiakaskohteessa, jonne Pemamek niitä asentaa. Kaapin asettelussa on otettu myös huomioon mahdolliset tulevat muutokset. Tämän vuoksi kaappiin pyritään jättämään 20 % vapaata tilaa näitä optioita varten.

Hitsaustornin sähkökeskus sisältää seuraavia komponentteja:

- Kondensaattori
- 24 V virtalähde
- Servosäätimet AX5103 ja AX5203
- Invertterit 400 V/0,75 kW ja 400 V/3 kW
- Moottorisuodin
- Muuntaja
- Etäyhteysreititin
- Automaattivarokkeet
- Riviliittimet
- Ethernet-kytkin
- Kontaktorit
- Releet
- Sulakeriviliittimet
- Ohjelmoitava logiikka
- Akku
- Tietokone
- Vikavirtasuojakytkin

## 5.2 Standardin vaatimukset

### Sähkökeskus ja komponentit

Pemamekilla valmistuneiden koneiden sähkökeskukset määritellään sähkökoneiden osaksi, jolloin Pemamek käyttää koneturvallisuusstandardin SFS-EN 60204 mukaisia ehtoja koneiden sähkölaitteistolle. Standardi ei ota kantaa sähkökeskuksen sisällä oleviin laitteisiin, vaan keskittyy enemmän sähkökeskuksen ulkopuolisiin asioihin. Kyseinen standardi ei määrittele kovinkaan tarkkaan vaatimuksia sähkökeskuksen rakentamiseen. Standardisarja SFS-EN 60204 määrittelee kaikki tärkeät vaatimukset Pemamekilla valmistuneiden koneiden turvallisuuden ja toiminnan takaamiseksi. Pemamek toteuttaa standardin SFS-EN 60204 vaatimuksia ja pienjännitekeskusten standardin SFS-EN 61439 hyviä toimintatapoja sähkökeskuksen valmistuksessa.

SFS-EN 60204:n mukaan sähkökomponenttien ja -laitteiden on oltava sopivia niiden tarkoitettuun käyttöön. Komponenttien on oltava myös olemassa olevan IEC-standardin mukaisia. Kaikkien laitteiden ja komponenttien kohdalla tulee noudattaa valmistajan ohjeita. (SFS-EN 60204 2018, 23.) Pemamek on ottanut huomioon standardin asettamat vaatimukset komponenttien valinnassa ja sähkökeskuksen rakentamisessa.

Sähkökeskuksille SFS-EN 60204 standardi määrittelee, että ohjauslaitteiston suojausten on oltava riittävä vieraiden esineiden ja nesteiden sisään tunkeutumisista vastaan. Suojauksessa tulee huomioida ne ulkoiset olosuhteet ja olosuhteiden vaikutus, joille altistettuna kone on tarkoitettu toimimaan. Koteloinnin on annettava riittävä suoja mm. pölyä, jäähdytysaineita, voiteluaineita ja metallilastuja vastaan. (SFS-EN 60204 2018, 68.) Hitsaustornien sähkökeskukset ovat IP-luokitukseltaan 55, joka on riittävä niihin olosuhteisiin, minne Pemamek hitsaustornien sähkökeskuksia asentaa.

### **Johtimet ja johdinkourut**

Kotelon sisäiset johtimet on tarvittaessa tuettava niiden paikallaan pitämiseksi. Standardi SFS-EN 60204 suosittelee, että kotelon sisään asennetut sähkölaitteet suunnitellaan ja asennetaan niin, että johdotusta voidaan muuttaa kotelon etupuolelta. Jos tämä ei ole mahdollista ja ohjauslaitteita liitetään kotelon takaa, on pääsy järjestettävä käyttämällä ovia tai uloskäänntyviä paneeleja. Oviin tai muihin liikkuviin osiin asennetut laitteet on liitettävä taipuisilla johtimilla niin, että osan toistuva liikuttaminen on mahdollista. Johtimet on kiinnitettävä kiinteään ja liikkuvaan osaan sähköisistä liitännöistä riippumattomalla tavalla. Johtimet ja kaapelit, joita ei asenneta johdinkanaviin, on tuettava riittävästi. (SFS-EN 60204 2018, 78.)

Pemamekin kaikki sähkökeskukset varustetaan johtokouruilla, joiden sisälle johtimet asennetaan. Näin taataan yksinkertainen ja turvallinen johtimien asennus komponentilta toiselle. Laitteet ja komponentit sijoitetaan keskuksessa pääsääntöisesti asennuslevylle, joka mahdollistaa yksinkertaiset asennus- ja huoltotyöt. Mikäli asennuslevy on täynnä, muutamia komponentteja voidaan asentaa myös sivuseinille.

Keskuksen sisällä käytettävät johtimet ovat MKEM-tyyppisiä. Johtimet ovat taipuisia, joka mahdollistaa muun muassa oveen tulevien komponenttien kytkemisen kyseisillä johtimilla. Johtimet asennetaan johtokourujen sisään ja kiinnitetään kourun pohjasta, jolloin johtimien mahdollinen liike keskuksen sisällä on mahdollisimman pieni. Keskuksen ja ulkopuolisten johtimien liittäminen toteutetaan rivi-liittimillä, jotka sijaitsevat keskuksen alareunassa.

### **EMC-suojaus**

SFS-EN 60204 -standardin mukaan sähkölaite ei saa synnyttää sähkömagneettisia häiriöitä, jotka ylittävät sen aiotulle käyttöympäristölle sopivan tason. Laitteella tulee olla myös riittävä sietotaso sähkömagneettisia häiriöitä vastaan, jotta se voi toimia oikein sille tarkoitettussa ympäristössä. (SFS-EN 60204 2018, 24.)

EMC-suojaus huomioidaan hitsaustornien sähkökeskuksessa sijoittamalla AC- ja DC-piirit eri puolille kaappia ja käyttämällä häiriösuojattuja kaapeleita. Sijoittelu toteutetaan käytännössä niin, että 400 voltin ja 24 voltin kaapelit sekä komponentit sijoitetaan mahdollisimman etäälle toisistaan. Häiriösuojattuja kaapeleita käytetään taajuusmuuttajille, servosäätimille ja moottorisuotimille. Häiriösuojatut kaapelit viedään vaippoineen mahdollisimman lähelle laitteen kytkentäpistettä, joka vähentää häiriöitä keskuksen sisällä. Taajuusmuuttajien alapuolelle sijoitetaan EMC-suojan kiinnike, joka kiinnittyy kaapelin ympärille kokonaisuudessaan eli 360°, poistaen tehokkaasti lisää häiriöitä kaapelista kiinnitystapansa ansiosta. Samoja kiinnikkeitä sijoitetaan ennen komponentin kytkentäpistettä myös kaikkiin väyläkaapeleihin, jotka kytketään sähkökeskukseen. Tämä vähentää häiriöitä keskuksen sisällä.

Servokaapeleiden kohdalla EMC-suojaus on otettu hyvin huomioon jo itse kaapelissa. Beckhoffin tehtaalta tulevat kaapelit ovat valmiiksi määrämittäisiä ja niissä on valmiiksi asennetut liittimet. Häiriösuojaus on myös tuotu kaapelin liittimen juureen asti. Mikäli servokaapeleiden pituus ylittää 25 metriä, ovat ne herkempiä häiriöille. Häiriöiden vähentämiseksi voidaan käyttää Beckhoff-moottorisuodinta, jonka tehtävänä on ehkäistä kaapelien häiriöitä. Kaapeli kytketään moottorisuotimelle, josta se kytketään edelleen servosäätimelle. (Beckhoff n.d.) Jos EMC:n edellyttäviä asennustapoja ei oteta huomioon kentän puolella, sähkö-

keskuksessa tehty EMC-suojauksen hyöty on näin ollen pienempi. Kentän puoleiset kytkennät voivat esimerkiksi olla erilaisten väyläliittimien kytkeminen häiriösuojattuun kaapeliin. Liittimien mukana valmistaja toimittaa tarkat EMC-suojauksen kytkentäohjeet, joita asentajan tulee noudattaa.

### **Ilma- ja pintavälit**

Laitteita paikoilleen sijoitettaessa on säilytettävä valmistajan niille edellyttämät ilma- ja pintavälit ottaen huomioon ulkoiset vaikutukset tai fyysisen ympäristön olosuhteet (SFS-EN 60204 2018, 67). Standardin ja valmistajan asettamat vaatimukset laitteiden ilma- ja pintaväleille pyritään ottamaan mahdollisuuksien mukaan huomioon hitsaustornin sähkökeskuksessa.

### **Sähkökeskuksen pääkytkin**

Sähkökeskuksen oveen sijoitettavalle pääkytkimelle SFS-EN 60204 antaa vaatimuksen, että pääkytkimen pitää erottaa sähkölaitteiston sähkön syöttö ja sisältää yksi AUKI- ja yksi KIINNI-asento, jotka on merkitty tunnuksilla "O" ja "I". Syötön erotuslaite sisältää näkyvän koskettimen avausvälin tai asennonosoituksen, joka ei voi osoittaa AUKI-asentoa ennen kuin kaikki koskettimet ovat avautuneet ja erottamisen edellyttämät vaatimukset ovat toteutuneet. Sähkökeskuksen pääkytkimen pitää olla varustettuna AUKI-asennon lukitusmahdollisuudella, esimerkiksi riippulukolla. Lukituksen on estettävä paikallis- ja kauko-ohjauksella tapahtuva sulkeminen ja erottaa kaikki jännitteiset syöttöjohdot. TN-syöttöjärjestelmän mahdollisen nollajohtimen kytkentä ei kuitenkaan ole pakollista. (SFS-EN 60204 2018, 27.)

Syötön erotuslaitteen käyttölaite, eli sähkökeskuksen pääkytkin on sijoitettava sähkölaitteen kotelon ulkopuolelle. Pääkytkimen on oltava helposti luokse päästävissä paikassa. Sen korkeuden on oltava huoltotasosta 0,6 - 1,9 m. Korkeimmaksi korkeudeksi suositellaan 1,7 m. Pääkytkimen väriksi suositellaan mustaa tai harmaata. (SFS-EN 60204 2018, 28.)

Hitsaustornien sähkökeskuksen ovissa standardin vaatimukset on otettu huomioon. Muun muassa pääkytkin asennetaan helposti saatavaan paikkaan ja huoltotasosta mitattuna noin 1,2 metrin korkeuteen. Pääkytkimen AUKI- ja KIINNI-

asennot on merkitty tunnuksilla "O" ja "I" ja se sisältää lukitusmahdollisuuden. Pääkytkin on myös väriltään musta.

Standardi määrittelee ohjaimille omat värikoodinsa, jotka nähdään taulukossa 1. Taulukosta nähdään myös hitsaustornien ohjainten värikoodaus Pemamekilla.

Taulukko 1. Värikoodaukset (SFS-EN 60204 2018, 62.)

<b>Kytkimen tehtävä</b>	<b>Standardin suositellut värit</b>	<b>Pemamek</b>
KÄYNNISTYS/PÄÄLLE	Valkoinen, harmaa, musta tai vihreä	Musta
Hätäpysäytys	Punainen	Punainen
SEIS/POIS	Musta, harmaa tai valkoinen	Musta
KÄYNNISTYS/PÄÄLLE, SEIS/POIS-yhdistelmä	Valkoinen, harmaa ja musta	Musta
Ohjaimille, jotka käynnistävät toiminnon niihin vaikuttaessa ja pysäyttävät vapautettaessa	Valkoinen, harmaa tai musta	Valkoinen
Toiminnon kuittaus	Sininen, valkoinen, harmaa tai musta	Sininen
Epänormaalit toiminnot	Keltainen	Keltainen

Taulukosta 1 voidaan huomata, että standardin mukaiset suositellut värikoodaukset toteutuvat hitsaustornien sähkökeskuksissa.

Oveen tulevien merkkivalojen värit ja merkitykset koneen tilan mukaan on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Merkkivalojen värit ja niiden merkitys koneen tilan mukaan (SFS-EN 60204 2018, 64.)

Väri	Merkitys	Selitys	Käyttäjän toimenpide
Punainen	Hätä	Vaarallinen tila	Vaarallisen tilanteen edellyttämä välitön toiminta (esim. koneen syötön pois kytkeminen, vaarallisen tilan huomauttaminen, koneesta erillään pysyminen)
Keltainen	Pakollinen	Normaalista poikkeava tila	Valvonta tai toimintaan puuttuminen (esim. tarkoitetun toiminnon uudelleen asettelu)
Sininen	Pakollinen	Käyttäjän toimintaa vaativan tilan ilmaisu	Pakollinen toiminta
Vihreä	Normaali	Normaali tila	Vaihtoehtoinen
Valkoinen	Neutraali	Muut tilat: voidaan käyttää, kun punaisen, keltaisen, vihreän tai sinisen soveltuvuus on epäselvä	Valvonta

Hitsaustornien sähkökeskuksissa oveen tulevien merkkivalojen värit toteutetaan standardin vaatimusten mukaisesti. Virran ollessa päällä, käyttäjälle ilmoitetaan koneen tila vihreällä merkkivalolla. Kun UPS-virransyöttö on aktiivinen, käyttäjä näkee sen keltaisesta merkkivalosta. Jos hätäseis-painiketta joudutaan painamaan, kuitataan se sinisellä merkkivalolla varustetulla painikkeella.

## 6 SÄHKÖKESKUKSEN JÄÄHDYTYS

Hitsaustornien sähkökeskusten jäähdytys toteutetaan Rittalin jäähdyttimillä. Jäähdyttimen valinnassa tulee huomioida laitteen tulevan kohdemaan ilmastoon liittyvät piirteet, sillä mm. kohdemaan ilmankosteus ja lämpötila vaikuttavat olennaisesti sopivan jäähdyttimen valintaan. Rittalin tuotepäällikkö Ella Bromanin (2018) mukaan jäähdyttimen valinnassa on syytä ottaa huomioon ympäristön lämpötila ja tavoitelämpötila, kaapin sijoittelu, kotelon materiaali, ilman kierto kaapin sisällä ja ympäröivän ilman puhtaus.

Sähkökeskuksen jäähdytysratkaisua valittaessa tulee aluksi pohtia tavoitelämpötilaa: mikä on laitekaapin sisälle tulevien komponenttien kannalta optimaalinen lämpötila? Kuinka paljon lämpöä laitteet itse tuottavat? Onko ilma kaapin ulkopuolella niin viileää, että sitä voidaan hyödyntää jäähdyttämiseen? (Broman 2018.)

Kaapin sijoittelussa otetaan huomioon, onko keskus seinän vieressä vai upotettu, jolloin kaapin jäähdytystarve on erilainen kuin vapaassa tilassa seisovien. Kaapin materiaalin valinnan kohdalla tulee huomioida kaapin käyttötarkoitus ja ympäristö, minne kaappi tullaan sijoittamaan. Esimerkiksi ympäristön ollessa lämmin, vaatii se enemmän jäähdytystehoa. Kaapin valmistajan tulisi ilmoittaa niin sanottu K-arvo, joka kertoo kaapin lämmönjohtokyvystä. Eri materiaalit päästävät eri tavalla lämpöä lävitseen, joka tulee ottaa huomioon jäähdytinvalinnassa. (Broman 2018.)

Sähkökeskuksen komponenttien suuri määrä ja ahdas sijoittelu voi estää ilman kierron kaapin sisällä ja komponenttien tasaisen viilennyksen. Ilmanohjauksen huomiointi suunnittelussa tuottaa kustannuksellisia säästöjä, sillä tällöin laitteet eivät vaurioidu ylikuumenemisen seurauksena. (Broman 2018.)

Viimeiseksi jäähdyttimen valinnassa tarkastetaan asennuskohteen ilman puhtaus. Teollisuuskohteiden sisäilma on usein pölyistä, sisältäen palamistuotteita ja muita toiminnan luonteesta johtuvia epäpuhtauksia. Tämä tarkoittaa, että tässä

tapauksessa keskuksen jäähdyttämiseen ei voida hyödyntää tuuletinta sen puhaltaessa epäpuhtauksia kaapin sisälle. (Broman 2018.)

## 6.1 Jäähdytyksen vakiointi

Hitsaustornien jäähdytyksen vakioinnissa voidaan keskuksen tavoitelämpötilaksi asettaa joko määräävimmän komponentin käyttöaste- tai lämpötila. Taulukosta 3 nähdään, että käyttölämpötilan mukaan määräävin komponentti on muuntaja, jonka korkein käyttölämpötila on +40°C. Käyttöasteen mukaan määräävin komponentti on taas servosäädin. Pemamekilla määräävin komponentti valitaan käyttöasteen mukaan, jolloin tässä tilanteessa se on servosäädin. Taulukosta 3 nähdään myös määräävimpien komponenttien tuottamat kokonaishäviöt. Määräävimmat komponentit viittaavat eniten lämpöä tuottaviin komponentteihin. Taulukko 3 on tehty WC500-ohjausjärjestelmän perusteella, jolloin komponentteja tulee keskuksen enemmän ja jäähdytyksen tarve on tällöin suurempi.

Taulukko 3. Määräävimpien komponenttien kokonaishäviöt (Liitteet 1-5)

Komponentti	Käyttölämpötila (°C)	Kokonaishäviö (W)
Kondensaattori	+60	6
Virtalähde	+70	38
Servosäädin, AX5103	+50	50
Servosäädin, AX5203	+50	85
Invertteri, 400 V/0,75 kW	+55	40
Invertteri, 400 V/0,75 kW	+55	40
Invertteri, 400 V/3 kW	+55	110
Moottorisuodin 1	+50	35
Moottorisuodin 2	+50	35
Muuntaja	+40	36
Tietokone	+55	60

Kaikkien komponenttien laskennallinen kokonaishäviö on 535 W, mikä tarkoittaisi, että kaikki komponentit olisivat samaan aikaan käytössä ja tuottaisivat kyseisen kokonaishäviön. Tällainen tilanne kuitenkin käytännössä on lähes mahdoton, sillä kaikki komponentit eivät voi olla samaan aikaan aktiivisena. Keskuksen

ideaalinen kokonaishäviö on 440 W, jolloin komponenteista käytössä ovat kondensaattori, virtalähde, yksi invertteri, servosäätimet, moottorisuotimet ja tietokone.

Keskus tullaan sijoittamaan hitsaustornissa vapaaseen tilaan, jolloin kaapin jäähdytystä saadaan entistä tehokkaammaksi ja vaikuttaen jäähdyttimen valintaan positiivisesti. Tällöin keskus jäähdyttää itseään vapaassa tilassa, jolloin jäähdyttimen tuottamaa jäähdytystehoa voidaan pudottaa ja valita kustannustehokkaampi vaihtoehto.

Jäähdyttimen valintaan vaikuttaa oleellisesti ilman puhtaus, sillä hitsaustorneja sijoitetaan sekä uusiin että vanhoihin tehtaisiin, joiden ilmanlaadut voivat erota merkittävästi. Jäähdyttimen tulee pystyä pyörittämään ja viilentämään keskuksen sisäilmaa. Ulkoilmaa jäähdytin käyttää vain omaan koneelliseen jäähdytykseen. Ilmankierto havainnollistettu kuvassa 4.



KUVA 4. Keskuksen ilmankierto (Rittal Seinäasennettava TopTherm-jäähdytin n.d.)

## 6.2 Jäähdyttimen valinta

Pemamekin kokemuksen kautta sähkökeskuksen määritelty maksimilämpötila on  $+40^{\circ}\text{C}$ . Maksimilämpötila on otettu servosäätimen käyttölämpötilan mukaan, sillä servosäädin on keskuksen määräävin komponentti sen korkean käyttöasteen ansiosta, sillä servosäädin on aktiivisena koko hitsauksen ajan. Servosäätimen korkein käyttölämpötila on  $+50^{\circ}\text{C}$ , mutta Pemamek on halunnut tuoda keskuksen maksimilämpötilan reilusti tämän alapuolelle. Vaikka taulukon 1 mukaan käyttölämpötilan suhteen määräävin komponentti on muuntaja, on sen käyttöaste kyseisessä keskuksessa todella pieni. Muuntajan tehtävänä on ainoastaan muuntaa jännite 230 voltiksi keskuksen sisällä olevalle pistorasialle. Pistorasiaa käytetään esim. kannettavan tietokoneen lataamiseen.

Tilan haasteellisuuden vuoksi jäähdytin tulee asentaa keskuksen sivuseinään, sillä muuta paikkaa jäähdyttimelle ei tilan puutteen vuoksi ole. Valinnassa tulee pohtia kustannus- ja toimintatehokkuutta. Myös optimaalisen jäähdyttimen pohdinnassa tulee huomioida kohdemaan ulkolämpötilan vaihtuvuudet, jotka voivat olla merkittäviä. Vertailuun valittiin kolme Rittalin seinäasennettavaa jäähdytintä, joiden jäähdytystehot olivat 100 W, 300 W ja 750 W. Vertailtaessa näitä jäähdytyslaitteita 100 watin jäähdytysteho on riittämätön huomioitaessa vaihtelevat ulkolämpötilat. 750 watin jäähdytin on vaihtoehtoista tehokkain, mutta myös kallein.

Tällöin voidaan todeta, että suotuisin valinta on Rittalin seinään asennettava TopTherm-jäähdytin, jonka kokonaisjäähdytysteho on 300 W. Jäähdytin on rakenteeltaan kompaktin kokoinen ja sen teholuokka riittää kattamaan suuretkin ulkolämpötilan vaihtelut. Jäähdytin on myös kolmesta vaihtoehtoista kustannustehokkain valinta. Keskus hoitaa kuitenkin osan jäähdytyksestä itsestään, sillä se on sijoitettuna vapaaseen tilaan ja lämmönsiirtoa pinnan läpi kulkeutuu 238,70 W. Kyseinen tulos on saatu Rittal Therm-laskentaohjelmalla. Ohjelmalla voidaan laskea kaapin ilmastointitarve sekä valita sopivat ja oikein mitoitetut jäähdytyskomponentit (Rittal Therm 2020).

### 6.3 Päätylevyn vakiointi

Jäähdyttimen valinnan myötä saadaan sähkökeskuksen päätylevy vakioitua. Päätylevyyn rei'itetään valitun jäähdyttimen kiinnitykset sekä jäähdytysaukot. Valmis päätylevy nähdään liitteessä 6 ja Therm-laskentaohjelman yhteenveto liitteessä 7. Päätylevyyn aukotetaan myös kolme liitintä. Liittimien avulla mahdollistetaan muiden PEMA-laitteiden liitettävyyden hitsaustorniin. Esimerkiksi hitsaustorniin liitetään usein rullasto, jonka päällä hitsattava kappale on. Tällöin rullaston ohjaus tapahtuu hitsaustornin ohjauspaneelista.

Liittimien yläpuolella sijaitsee kytkentäkotelo, joka kiinnitetään päätylevyyn. Kotelossa sijaitsee koko laitteiston pääkytkin. Kytkentäkotelon pääkytkimellä voidaan sammuttaa sähkökeskuksen jäähdytys ja hitsausjauhesäiliöiden lämmitys. Sähkökeskuksen ovessa sijaitsevalla pääkytkimellä mahdollistetaan muiden toimintojen pysäytys lukuun ottamatta jäähdytyksen ja lämmityksen pysäytystä. Näin pyritään varmistamaan siitä, että sähkökeskuksen jäähdytys pysyy päällä ja hitsausjauhe esilämmitettynä hitsausta varten.

## 7 KESKUSLAYOUTIN VAKIOINTI

Keskuslayoutin vakioinnin tärkeimpänä tavoitteena on sähkösuunnittelun yhtenäistäminen, sekä sähkösuunnittelusta syntyvän dokumentaation parantaminen. Keskuslayoutin vakioinnissa, komponentteja sijoittaessa huomioidaan mm. EMC-suojaus ja komponenttien piirteet, kuten lämpeneminen. Komponenteille määritellään vakiopaikat layoutissa. Vakioinnissa tulee huomioida myös edellytykset sähkösuunnittelun parantamiseksi sekä mahdollisuudet hyödyntää muita suunnittelutyökaluja vakioinnissa. Tavoitteena on luoda Pemamekille keskuslayoutin ohje, jota noudatetaan hitsaustornien ja myös muiden laitteiden sähkökeskusten valmistuksessa.

### 7.1 Sähkösuunnittelun parantaminen

Keskuslayout ei aiemmin sisältänyt kaikkea sähköasennukseen tarvittavia tietoja, kuten kiskojen ja kourujen mittatietoja sekä kaikkia keskuksessa olevia komponentteja ja laitteita. Tällöin sähköasentajalla on ollut myös rooli layoutin teossa määrittelemällä komponenttien tarkempia paikkoja. Tätä haluttiin kehittää Pemamekilla integroiden layout-suunnittelu kokonaisuudessaan sähkösuunnitteluun.

Vakioinnilla saavutetaan sähkökeskuksille sama asennuslevyn ratkaisu, jolloin keskuksista saadaan yhdenmukaisia. Vakioinnilla on myös tarkoitus helpottaa sähkösuunnittelijan ja asentajan työtä, jolloin layout toteutetaan aina samojen ehtojen ja sääntöjen mukaan. Vakioinnin myötä keskuslayoutiin tuodaan näkyviin myös DIN-kiskojen, johtokourujen ja komponenttien rei'itys tiedot. Nämä tiedot auttavat sähköasentajia rakentamaan sähkökeskuksen tehokkaammin, kun tarkat mitat ovat valmiiksi saatavilla.

Valmiista asennuslevystä luodaan EPLAN Electric P8 -ohjelmalla page-makro, jonka sähkösuunnittelija voi tuoda helposti makrokirjastosta omaan projektiinsa. Makrossa esiintyy vakioitu asennuslevy eli sähkökeskuksen layout, jossa komponentit on ennalta sijoitettu parhaaseen mahdolliseen paikkaan. Täten suunnittelijan ei tarvitse suunnitella erikseen sähkökeskuksen layoutia.

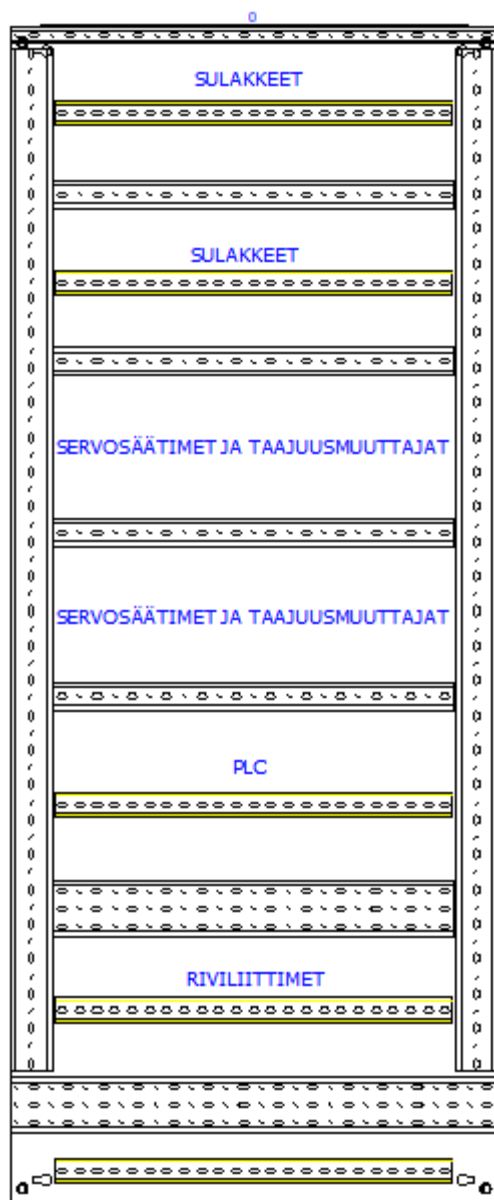
## 7.2 Komponenttien sijoittelu

Komponenttisijoittelun lähtökohtana sähkösuunnittelun kannalta voidaan todeta, että sähkökeskukseen tulisi jäädä 20 % tyhjää tilaa mahdollisia muutoksia ja komponenttien lisäyksiä varten. Tyhjän tilan jättäminen toteutuu aina mahdollisuuksien mukaan. Komponentit sijoitetaan AC- ja DC-piirien mukaan, jolloin eri piirien komponentit asetetaan mahdollisimman erilleen toisistaan. Näin voidaan välttää mahdolliset häiriöt, sillä Pemamekilla on havaittu jännitteiden sekoittumisen aiheuttavan häiriöitä. Komponenttien sijoittelu toteutetaan niin, että keskuksen vasemmalla puolella tulee olla 400 voltin komponentit ja oikealla puolella 24 voltin komponentit. Komponenttien ja laitteiden paikat vakioidaan, jolloin samoja rei'ityksiä käytetään molemmissa hitsaustornien sähkökeskuksissa.

Komponentit tulee asetella asennusteknisesti oikein. Komponentit sijoitetaan niin, että keskuksen alareunassa sijaitsee riviliittimet, joihin kytketään kentältä tulevat kaapelit. Tämä mahdollistaa kaapeleiden kytkennän suoraan keskuksen pohjan läpivienneistä. Riviliittimistä seuraavina komponentteina tulee olla ohjelmoitava logiikka ja siihen liittyvät erilaiset AI-, AO-, DI- ja DO-moduulit, jotka sijaitsivat aiemmin keskuksen yläreunassa. Myöhemmin havaittiin, että asennusteknisesti päästäisiin helpommalla tuomalla ohjelmoitava logiikka ja sen moduulit keskuksen alareunaan. Näin säästettäisiin keskuksen sisäisen johdotuksen määrää ja helpotettaisiin mahdollisia muutoksia.

Keskuksen keskiosaan asennetaan moottorisuotimet, servosäätimet ja taajuusmuuttajat. Johdotuksen kannalta keskiosa on parhain paikka, sillä näin kentältä tulevat kaapelit voidaan viedä suoraan laitteelle EMC-suojauksen saamiseksi. Tällöin kaapeleista tulevia häiriöitä saadaan pienennettyä mahdollisimman pieniksi, kun servokaapelit ja taajuusmuuttajien kaapelit pidetään keskuksen sisällä mahdollisimmat lyhyinä.

Keskuksen yläreunaan sijoitetaan kaikki sähkökeskuksessa käytettävät automaattivarokkeet ja kontaktorit. Automaattivarokkeet sijoitetaan vierekkäin, jotta varokkeet voidaan yhdistää toisiinsa yhdyskiskoilla. Kuvassa 5 nähdään hahmotelma komponenttien sijoittelusta



KUVA 5. Komponenttien sijoittelu

Komponenttien sijoittelussa voidaan pitää kolme vaihtoehtoa mahdollisena:

1. Asennuslevyllä kaikki komponentit paitsi PC (tietokone), ethernet-kytkin ja etäyhteysreititin
2. Asennuslevyllä kaikki komponentit
3. Riviliittimet siirrettäisiin sivuseinälle

Jos asennuslevylle vaihtoehtoon 2 mukaan asennettaisiin kaikki komponentit, ei komponentteja olisi mahdollista lisätä enää myöhemmin. Kolmas vaihtoehto, eli riviliittimien siirtäminen sivuseinälle olisi asennusteknisesti haastava, sillä asentajan tulisi tehdä enemmän johdotustyötä keskuksessa. Tässä tapauksessa kenttäkaapelit eivät myöskään olisi suoraan kytkettävissä riviliittimiin. Vaihtoehto 1 on asennusvaihtoehdoista toimivin, jossa kaikki komponentit sijoitetaan asennuslevylle lukuun ottamatta tietokonetta, ethernet-kytkintä ja etäyhteysreititintä. Niin kuin aiemmin todettiin, asennuslevyn ollessa täynnä, komponentteja voidaan asentaa myös sivuseinille jättäen tilaa asennuslevylle mahdollisia muutoksia varten. Tällöin tietokone, ethernet-kytkin ja etäyhteysreititintä asennetaan sivuseinälle.

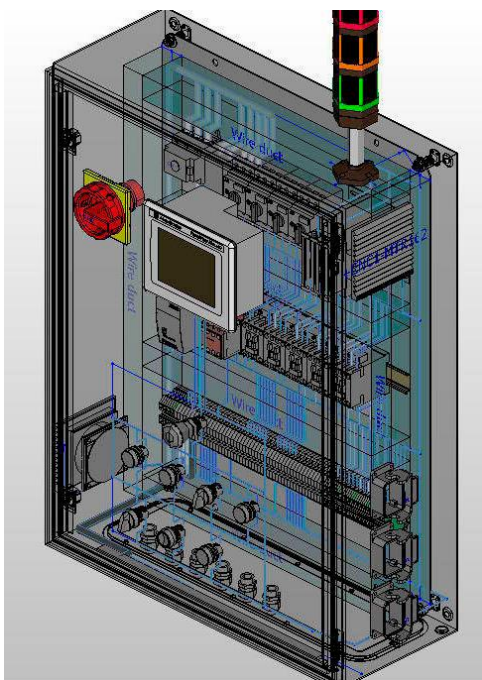
Kyseiset komponentit on valittu asennettavaksi sivuseinälle, koska kytkettävien johtimien määrä on pieni. Laitteisiin kytketään mm. väyläkaapeleita. Tämä asennustapa mahdollistaa väyläkaapelien pitämisen erillään muista häiriötä aiheuttavista kaapeleista. Laitteisiin kytkettävät kaapelit ovat myös vähäisiä verrattuna muihin asennuslevylle asennettaviin komponentteihin.

Valmis rei'ityskuva asennuslevystä, joka on toteutettu EPLAN Electric P8 -ohjelmistolla on liitteessä 8.

### **7.3 3D-suunnittelu keskuslayoutissa**

Keskuslayoutin vakioinnissa yhtenä työkaluna EPLAN Electric P8 -ohjelmiston lisäksi voidaan käyttää saman suunnittelujärjestelmän moduulia Pro Panelia. Kolmiulotteisen suunnittelun avulla keskuksen komponenttien sijoittelussa nähdään komponentit mm. syvyysuunnassa. Komponenttien näkeminen syvyysuunnassa voi olla tarpeen, jotta voidaan välttyä komponenttien päällekkäisyyksiltä keskuslayoutissa. Kun komponenttien ja laitteiden osatietokanta on kunnossa, saadaan Pro Panelin kautta asennuslevyn tarkempi rei'ityskuva. Osatietokannasta pitää löytyä käytettäville laitteille rei'itystiedot, minkä mukaan reiät asennuslevyyn tehdään. Esimerkkinä voidaan pitää Rittalin jäähdytintä, jolloin keskuksen sivuseinään jäähdytintä asetettaessa tulee valmiit rei'itykset jäähdyttimen osatietokannasta.

Kuvasta 6 nähdään Pro Panel:illa toteutettu esimerkkikuva sähkökeskuksesta. Kuvasta voidaan hyvin havaita kolmiulotteisen kuvan hyödyt, kuten komponenttien hahmottaminen syvyysuunnassa.



KUVA 6. Pro Panel-keskus (Direct Industry n.d.)

Sähkökeskuksen 3D-suunnittelun suurimmat hyödyt tulevat esille, kun osatietokanta on täydellinen. Osatietokannan ollessa täydellinen, komponenteista saatava data sisältää tiedot muun muassa johtimien ja kaapelien kytkentäpisteistä. Kytkentäpisteiden löydyttyä voidaan ohjelmiston avulla toteuttaa keskuksen johdotus. Kun tämä työ on tehty, voidaan tiedot syöttää suoraan johdotuskoneelle, joka katkaisee kaikista johdoista oikean mittaiset holkittaan ja merkatien johtimien päät.

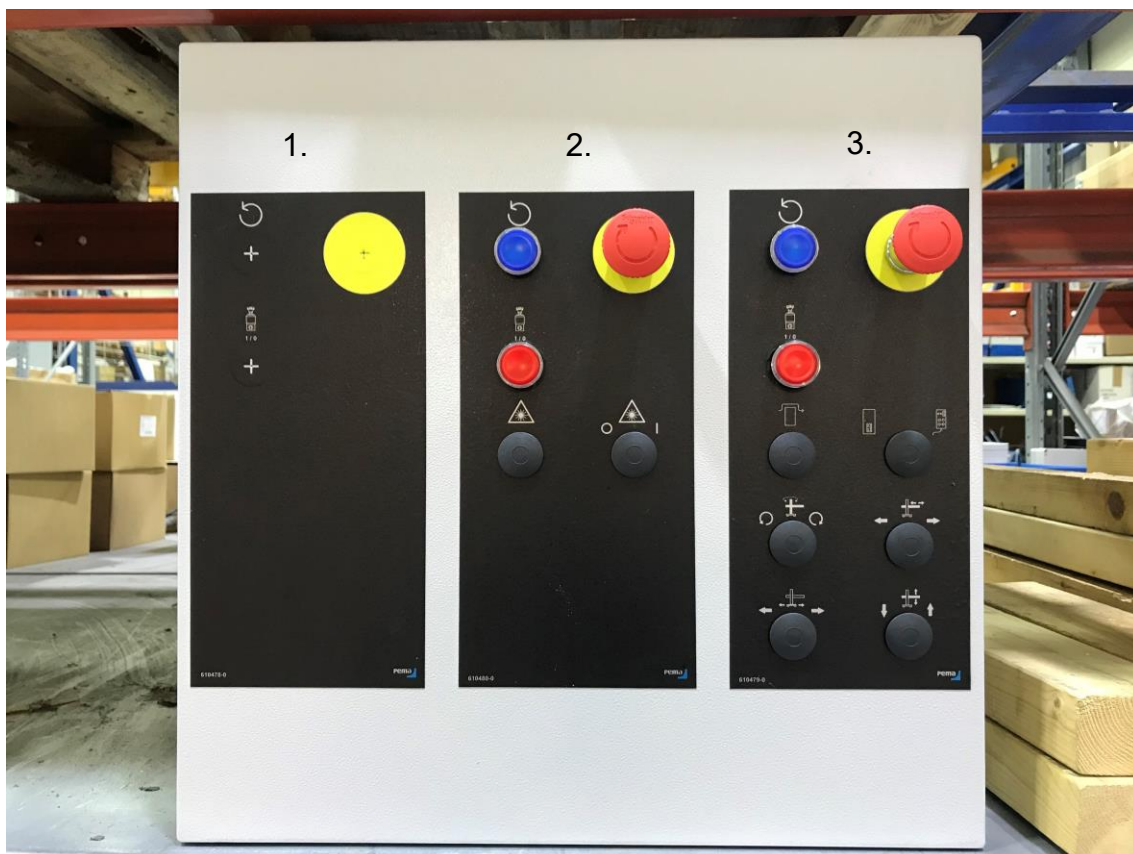
Pemamekilla ei ole käytössä johdotuskonetta eikä rei'ityskonetta, jolloin Pro Panelin tuomien ominaisuuksien hyödyntämisestä saatavat edut jäävät merkittävän pieniksi. Näin ollen voidaan todeta, että keskuslayoutit toteutetaan vielä tois- taiseksi 2D-kuvana. 2D-layoutsuunnittelu on tehokkaampaa ja koska Pemamekin osatietokanta on vielä puutteellinen, ei 3D-suunnittelun käyttöönotto ole vielä ajankohtaista.

Vaikka 3D-suunnittelun hyödyntäminen ei ole ajankohtaista, olisi tärkeää ottaa askelia kohti 3D-suunnittelun käyttöönottoa jo tässä vaiheessa, sillä sen hyödyntäminen tulevaisuudessa on hyvin todennäköistä. Tällöin komponenteista on tärkeää viedä päivittäisessä työssä kaikki tarvittava tieto osatietokantaan. Osatietokannan jatkuva päivittäminen jo tässä vaiheessa säästää huomattavasti aikaa, kun 3D-suunnittelun käyttöönotto on ajankohtaista.

## 8 OVEN VAKIOINTI

Oven vakioinnissa huomioidaan nappien ja kytkimien sijoittelu ja oveen tulevan kalvon eri mahdollisuudet. Ohjauspaneelikalvon toteuttamiseen on kolme vaihtoehtoa, joita käytettäisiin sähkökeskuksen oven vakiointiin. Ohjauspaneelikalvojen vaihtoehdot nähdään kuvassa 7:

1. Oven reiät ja kalvot tehdään hitsaustornin ominaisuuksien mukaan. Ylimääräiset symbolit ja reiät jätetään kokonaisuudessaan pois.
2. Ohjauspaneelille on asennettu ainoastaan hitsaustornissa käytettävät symbolit ja muut symbolit poistetaan tästä kalvosta.
3. Kytkimet ja napit sijoitettaisiin yhdelle ohjauspaneelikalvolle ja kalvolla olisi kaikki symbolit valmiina, jolloin oveen reiitetään kaikki kytkimet ja napit valmiiksi. Ylimääräiset oven reiät tulpataan.



KUVA 7. Ohjauspaneelikalvojen vaihtoehdot

Sähkösuunnittelun näkökulmasta vaihtoehto 3 olisi vakiointiin parhain, sillä näin syntyy ainoastaan yksi ohjauspaneelikalvo. Kalvossa on kaikki symbolit ja reiät valmiina ja ylimääräiset oven reiät tulppataisiin. Mikäli oveen halutaan tehdä muutoksia, optiot ovat valmiina ja muutos ei vaadi kuin tulpan poiston. Vaihtoehtoissa 1 ja 2 ei synny kalvon vakiointia ja muutoksen syntyessä kyseisissä vaihtoehtoissa ei olisi kaikkia optioita valmiina.

Kun oven vakiointia tarkastellaan sähkösuunnittelun sekä -asennuksen kannalta, vaihtoehto 3 ei ole enää parhain vaihtoehto, sillä riskinä on, että tulppaus ja käyttämättömät symbolit aiheuttavat liikaa ulkonäkökysymyksiä asiakkailta. Myös säästetty työmäärä koettiin asennuksessa liian pieneksi, jotta reiät kannattaisi teettää valmiina. Näin ollen valitaan vaihtoehto 1, jossa oven reiät ja kalvo tehdään hitsaustornin ominaisuuksien mukaan. Kuitenkin jokaiseen sähkökeskukseen oveen rei'itetään aina perusohjauksen, pääkytkimen ja virran merkkivalon reiät.

Valmis rei'ityskuva ovesta nähdään liitteessä 9.

## **8.1 Sähkösuunnittelun parantaminen**

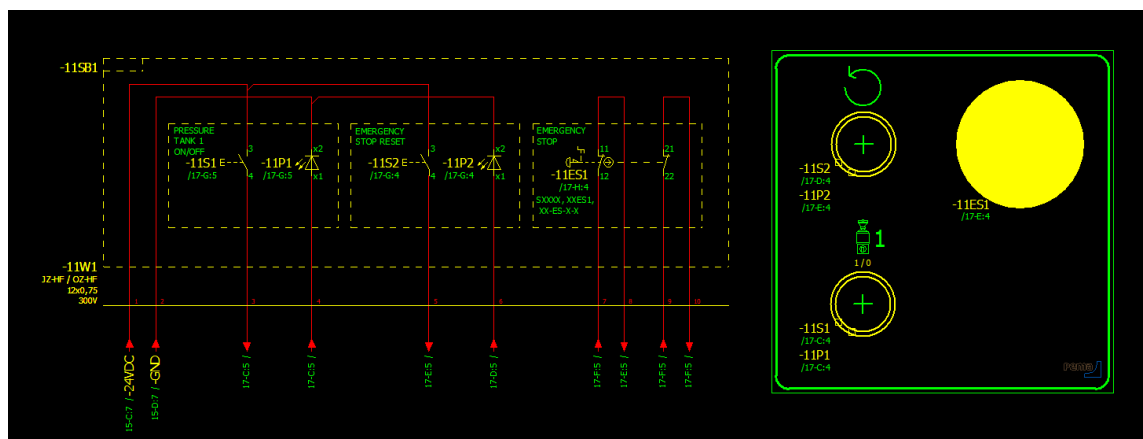
Kun oven reiät ja ohjauspaneelikalvo toteutetaan hitsaustornin ominaisuuksien mukaan, luodaan sähkösuunnitteluun kolme eri ominaisuuksiltaan olevaan ohjauspaneelikalvoa, joista luodaan page-makrot EPLAN Electric P8 -ohjelmalla. Hitsaustorni voi sisältää ominaisuudet, jossa operaattori eli hitsaustornin ohjaaja istuu hitsauspään vieressä penkillä, joka on kiinni tornin vaakapuomissa. Näin operaattori voi valita, ohjataanko hitsaustornia ohjauspaneelistä vai kaukosäätimestä. Hitsaustorni voi olla ominaisuuksiltaan ilman penkkiohjausta, jolloin tornin ohjaus tapahtuu ainoastaan kaukosäätimestä. Jos tornin hitsauspäässä on laser, lisätään ohjauspaneelikalvolle avainkytkin, jolla voidaan kytkeä laser pois päältä. Avainkytkimen lisäksi kalvossa on laserin merkkivalo, jolla ilmoitetaan käyttäjälle laserin ollessa aktiivinen.

Näiden ominaisuuksien pohjalta piirretään ja luodaan kolme erilaista kalvoa ja ohjauspiirikaaviota makroiksi. Kuvasta 8 nähdään perusohjauksen makro, joka

on tehty ilman hitsaustornin penkkiohjausta. Ohjaus tapahtuu ainoastaan kaukosäätimestä, jolloin sähkökeskuksen oveen sijoitetaan hätäseis-kytkin, sen kuitaus ja hitsausjauhesäiliön kytkin. Ohjauspiirikaavioille on luotu myös ohjauspaneelikalvo, joka on kuvan 8 oikeassa laidassa. Tämän kyseisen kokonaisuuden suunnittelija voi liittää projektiinsa ilman, että suunnittelijan tulisi piirtää ohjauspiirikaavio ja ohjauspaneelikalvo alusta loppuun asti. Lisäksi sähkösuunnittelijan ei tarvitse valita erikseen piirikaavioon tulevia komponentteja, vaan ne löytyvät makrosta valmiina.

Kun makrot on luotu, tallennetaan ne makrokirjastoon, josta sähkösuunnittelijan on helppo löytää haluttu makro. Sähkösuunnittelija voi tällöin tuoda makrokirjastosta haluamansa makron projektiinsa helposti ja nopeasti. Näin saadaan luotua sähkösuunnitteluun tehokkuutta ja yhtenäisyyttä.

Liitteessä 10 nähdään kyseinen ohjauspiirikaavio suurempana, sekä muut ohjauspiirikaaviot eri ominaisuuksilla liitteissä 11 ja 12.



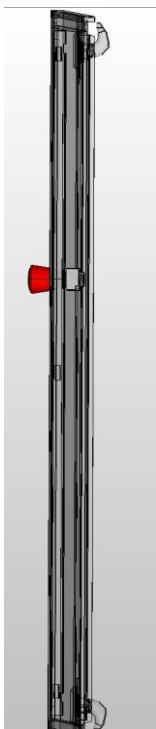
KUVA 8. Perusohjauksen makro

Jatkokehityksenä sähkösuunnittelussa olisi makrojen hyödyntäminen EPLAN Cogineer -ohjelmiston avulla, joka mahdollistaa vielä automatisoidumman sähkösuunnittelun. Cogineer-ohjelmalla luodaan erilaisia muuttujia konfiguraattoriin. Konfiguraattori viittaa ohjelmistoon, joka hallinnoi ohjauspiirikaavioihin liittyviä tietojoukkoja. Ohjelmisto voi kysyä suunnittelijalta esimerkiksi kumpaa ohjausjärjestelmää halutaan käyttää, WC100 vai WC500. Vastauksen perusteella Cogineer-ohjelma yhdistelee tarvittavat makrot automaattisesti, joiden perusteella syntyy oikeat ohjauspiirikaaviot sähkösuunnitelmaan. (EPLAN Cogineer n.d.)

## 8.2 3D-suunnittelu ovesa

3D-suunnittelun hyödyntäminen ovesa mahdollistaa samat hyödyt kuin asennuslevyissäkin. Lisäksi voidaan todeta, että oveen tulevien komponenttien lävistys nähdään Pro Panel-ohjelmassa kuvan 9 mukaisesti. Kuvassa 9 hätäseis-kytkin on sijoitettuna sähkökeskuksen oveen. Kuvasta voidaan todeta, ettei komponentti törmää sähkökeskuksen ovea kiinni laitettaessa mihinkään toiseen komponenttiin. Komponentteja sijoitettaessa oveen saadaan myös oven lävistyskuva suoraan Pro Panelista. Tämän edellytyksenä on kuitenkin jälleen täydellisen osatietokannan omaaminen, jota ei Pemamekilta tällä hetkellä löydy. Tällöin sähkökeskuksen ovet suunnitellaan käyttäen EPLAN Electric P8 -ohjelman tarjoamaa 2D-suunnittelua.

Niin kuin aiemmin todettiin, 3D-suunnittelun käyttöönotto ei vielä ole ajankoh- taista Pemamekilla puutteellisen osatietokannan vuoksi. Myös oven komponenttien osatietokantaa tulee päivittää, joten osatietokannan päivittäminen oven komponenteista päivittäisessä työssä on tärkeää.



KUVA 9. Hätäseis-kytkin ovesa

## 9 ALIHANKINNAN MAHDOLLISUUDET

Tämän opinnäytetyön yhtenä osa-alueena oli alihankinnan mahdollisuuksien kartoittaminen valmiiksi rei'itetylle asennuslevylle, ovelle ja päätylevylle parantuneen suunnitteludokumentation avulla. Vertailuna käytettiin alihankinnan tuomia kustannuksia asennuslevyjen, päätylevyjen sekä ovien rei'ittämiseksi vertaamalla niitä Pemamekin omiin kustannuksiin. Rei'ittämisen lisäksi vertailtiin myös valmistusaikaa.

Alihankinnassa hyödynnetään Rittalin palveluita. Alihankinnasta tehtävän tilauksen edellytyksenä on, että alihankkijalle lähetetään rei'ityskuvat sähkökeskuksesta. Kuviin merkitään halutut reiät, niiden koot ja mahdolliset kierteet. Valmiista rei'ityskuvasta tehdään DXF-tiedosto, joka lähetetään Rittalille. DXF-tiedoston avulla rei'itystiedot välitetään rei'ityskoneelle, joka tekee reiät asennuslevyyn, oveen ja päätylevyyn.

Valmiit asennuslevyt ja ovet tulisivat Rittalin päätehtaalta Saksasta, jossa rei'itys tapahtuu ennen kappaleiden maalausta. Vertailussa käytetään myös Rittalin pienempää tehdasta Suomessa, jossa rei'itys tehdään maalauksen jälkeen, sillä kaikki keskukset maalataan valmiiksi Saksassa. Mikäli rei'itys tehdään maalauksen jälkeen, on riskinä materiaalin ruostuminen ajan myötä, sillä Suomessa rei'itettyihin kappaleisiin tehdään vain kevyt paikkamaalaus. Suomessa valmistetun oven etuna voidaan kuitenkin pitää nopeampaa toimitusaikaa. Karkeasti voidaan todeta, että Suomen tehtaalta tilattu valmiiksi rei'itetty keskus saapuu puolet nopeammin.

Alihankinnan suurin hyöty toteutuu Pemamekin saadessa suuren projektitilauksen. Valmiiksi rei'itetyn keskuksen tilausprosessi etenisi niin, että Rittal valmistaisi esimerkiksi 20 rei'itettyä keskusta Saksassa ja toimittaisi ne Suomeen Rittalilä välivarastoon. Kun projektissa keskuksien tilaaminen olisi ajankohtaista, toimitettaisiin ne Rittalilä välivarastosta Pemamekin tuotantotiloihin. Sähkökeskuksen rei'ittämiseen kuluvan ajan myötä sähkökeskusvalmistuksen läpimenoaikaa saataisiin lyhennettyä.

Kun alihankinnan ja Pemamekin sähkökeskuksen osien rei'ityksen kuluja vertailaan keskenään, voidaan todeta, että taloudellisia hyötyjä voidaan saavuttaa Pemamekin tilatessa suurempia eriä Saksan tehtaalta. Tästä voi kuitenkin koitua kohonneita varastointikustannuksia, jotka pienentävät näitä saavutettuja taloudellisia hyötyjä. Suurimmat hyödyt alihankinnasta saavutetaan kuitenkin ajallisesti erityisesti suurissa projekteissa, kun työvoimaa vapautuu sähkökeskuksen osien rei'ittämisestä muihin tehtäviin. Alihankinnasta valmiiksi rei'itettyjen sähkökeskusten myötä valmistuvien sähkökeskusten läpimenoaika lyhenee.

Alihankinnan ja Rittalin kustannusvertailut sekä esimerkkilasku ajallisesta hyödyistä on liitteessä 13.

## 10 POHDINTA

Tässä opinnäytetyössä Pemamek Oy:lle vakioitiin hitsaustornien sähkökeskuksen layout, asennuslevy, päätylevy ja ovi erilaisten vaihtoehtojen ja tutkimusten perusteella. Sähkökeskuksen vakiointiin luotiin ohjeistukset sähkösuunnitteluun sekä -asennukseen, jotka voidaan ottaa suoraan käyttöön Pemamekilla.

Sähkökeskuksen vakiointi saatiin toteutettua suunnitelman mukaisesti. Sähkökeskuksen oveen rei'itetään aina perusohjauksen, pääkytkimen ja virran merkki-  
valon reiät. Muut reiät toteutetaan hitsaustornien ominaisuuksien mukaan. Ylimääräisten symbolien ja reikien jättäminen oveen olisi saattanut asiakkaan puolesta herättää liikaa avoimia kysymyksiä, jonka vuoksi ne jätettiin pois. Oven vakioinnissa tutkittiin myös ylimääräisten reikien tulppaamista.

Sähkösuunnittelun kannalta katsottuna tulppaus olisi ollut paras vaihtoehto, jolloin käyttöön olisi jäänyt vain yksi ohjauspaneelikalvo. Tulppaus kuitenkin vielä toistaiseksi hylättiin ulkonäöllisistä syistä. Oven ohjauspaneelikalvot suunnitellaan siis jatkossa aina hitsaustornin ominaisuuksien mukaan. Hitsaustornien ohjauspaneelikalvoissa voidaan siis tästä eteenpäin hyödyntää valmiiksi luotuja makroja ja niitä tilataan varastoon sopivaksi katsottu määrä.

Hitsaustornien sähkökeskukset saatiin vakioitua yhdeksi sähkökeskukseksi. Työn alussa ongelmaksi oli koitua WC500-hitsaustornin komponenttien suuri määrä, sillä asennuslevyyn tuli myös jättää 20 % tyhjää tilaa. Ongelma saatiin kuitenkin ratkaistua, kun sähkökeskuksen sivuseinät huomioitiin myös asennustiloiksi. Sivuseinälle sijoitettiin näin ollen tietokone, etäyhteysreititin sekä ethernet-kytkin. Näin asennuslevylle saatiin jätettyä tilaa mahdollisia tulevia muutoksia varten.

Asennuslevyn komponenttien sijoittelussa otettiin huomioon EMC-suojauksen toteutuminen. EMC-suojaus toteutettiin jakamalla 400 voltin ja 24 voltin komponentit eri puolille keskusta mahdollisten häiriöiden välttämiseksi. Huolimatta sähkökeskuksen ahtaasta tilasta, komponentit saatiin sijoiteltua toimivasti.

Hitsaustornin sähkökeskuksen tulevan kohdemaan ilmasto-olosuhteet tuottivat haasteita jäähdytyksen vakiointiin. Sähkökeskuksen jäähdytyksen tulee toimia kohteessa, jossa voi olla esimerkiksi +40 °C lämpöä ja ilmanpuhtaus vaihdella rajusti. Sähkökeskuksen maksimilämpötilaksi valittiin Pemamekin kokemuksen mukaan +40 °C. Rittalin laskentatyökalua hyödyntäen jäähdyttimeksi valikoitui 300 W:n jäähdytin. Jäähdytin sopii suurimpaan osaan kohdemaista, jonne Pemamek asentaa hitsaustorneja. Mikäli kohdemaan lämpötila poikkeaa merkittävästi vakioidun jäähdyttimen teholuokasta, voidaan jäähdytin vaihtaa esimerkiksi tehokkaammaksi. Tällöin sähkökeskuksessa ei kuitenkaan voida käyttää vakioitua päätylevyä, koska vakioidun päätylevyn asennusreikiä ei voida hyödyntää.

Lopputuloksena Pemamekille syntyi WC100- ja WC500-ohjausjärjestelmien hitsaustorneille vakioitu sähkökeskuksen layout. Sähkökeskuksiin vakioitiin asennuslevy, ovi sekä päätylevy. Vakioinnista syntyi ohjeistukset sähkösuunnitteluun ja sähköasennukseen. Sähkösuunnitteluun ohjeistuksessa (Liite 14) otetaan enemmän kantaa yleiseen layout-suunnitteluun. Ohjeistuksessa kerrotaan jokaisen komponentin sijainti ja perustelut tälle sijainnille joko viittaamalla standardiin tai asennusteknisiin asioihin. Ohjeistuksen myötä sähkösuunnittelu tarjoaa parempaa dokumentaatiota layout-sivulla sähköasennukselle, sillä layout-sivulta löytyy nyt esimerkiksi DIN-kiskojen sekä johtokourujen mitat, joita ei ennen ollut. Sähköasennuksen ohjeistuksessa (Liite 15) kerrotaan nyt tarkasti, miten DIN-kiskot sekä johtokourut tulee katkaista ja asettaa asennuslevylle hitsaustornien sähkökeskuksissa.

Jatkokehitysehdotuksena Pemamek Oy:lle tämän opinnäytetyön myötä on, että vakiointia voitaisiin hyödyntää myös muihin sähkökeskuksiin, joita Pemamekillä valmistetaan. Kehitysideana voidaan pitää myös alihankintaketjun hyödyntämistä sähkökeskusten rakentamiseen tuotantokapasiteetin ollessa täynnä. Lisäksi kehityskohteena olisi makrokirjaston hyödyntäminen layout-suunnittelussa, jolla saataisiin tehostettua sähkösuunnittelua. Jatkuvasti kehittyvän makrokirjaston ollessa entistä laajempi kattaen usean PEMA-laiteen, voidaan Pemamekillä harkita myös automatisoidumpaa sähkösuunnittelua.

## LÄHTEET

Beckhoff. n.d. Motor chokes AX2090-MD50. Luettu 21.2.2020. [https://infosys.beckhoff.com/english.php?content=../content/1033/ax5000\\_sys-tem\\_doku\\_hw2/9007202652697355.html&id=4617360951512938264](https://infosys.beckhoff.com/english.php?content=../content/1033/ax5000_sys-tem_doku_hw2/9007202652697355.html&id=4617360951512938264)

Broman, E. 2018. Jäähdytinalinnan sudenkuopat. Ahlsell. Luettu 21.1.2020. <https://www.ahlsell.fi/uutishuone/jaahdytinalinnan-sudenkuopat--ja-miten-valttaa-ne/>

Direct Industry. n.d. Virtual prototyping software. Luettu 16.3.2020. <https://www.directindustry.com/prod/eplan-software-service/product-27383-1190129.html>

EPLAN Cogineer. n.d. EPLAN Cogineer – sähkösuunnittelun dokumentaation automatisointiin. Luettu 21.1.2020. <https://www.eplan.fi/fi/ratkaisut/hydrauliikka-suunnittelu/eplan-cogineer/>

EPLAN Electric P8. n.d. Voimaa sähkösuunnitteluun ja insinööriyöhön. Luettu 21.1.2020. <https://www.eplan.fi/fi/ratkaisut/saehkoesuunnittelu/eplan-electric-p8/>

EPLAN Pro Panel. n.d. Keskuksen suunnittelu 3D-näkymässä. Luettu 21.1.2020. <https://www.eplan.fi/fi/ratkaisut/saehkoesuunnittelu/eplan-pro-panel/>

EPLAN Ratkaisut. n.d. Oikeat työkalut suunnittelutyönne vaatimuksiin. Luettu 19.2.2020. <https://www.eplan.fi/fi/ratkaisut/>

EPLAN Tietoja meistä. n.d. Efficient Engineering is when a PLAN becomes EPLAN. Luettu 21.1.2020. <https://www.eplan.fi/fi/yritys/tietoja-meistae/>

Huitti, K. automaatio suunnittelija. 2020. Haastattelu 17.1.2020. Haastattelija Järvinen, T. Loimaa.

Lukkari, J. 2002. Hitsaustekniikka: Perusteet ja kaarihitsaus. 4. painos. Helsinki: Edita Prima Oy

PEMA Hitsaustornit. 2018. Hitsaustornit – Lisää turvallisuutta ja tuottavuutta rasakaaseen tuotantoon. Luettu 15.1.2020. <https://pemamek.com/fi/ratkaisut/konepajateollisuus/hitsaustornit/>

PEMA Käsittelypöydät. 2018. Käsittelypöydät – Avain tuottavuuteen on tehokas kappaleenkäsittely. Luettu 15.1.2020. <https://pemamek.com/fi/ratkaisut/konepajateollisuus/hitsauskasittelypoydat/>

Pemamek Missio & visio. 2020. Luettu 15.1.2020. <https://pemamek.com/fi/yritys/missio-visio/>

Pemamek Tietoa yrityksestä. 2020. Pemamek – Innovaatio, ammattitaito ja luottamus. Kaikki saman katon alla. Luettu 15.1.2020. <https://pemamek.com/fi/yritys/>

Pemamek Tuotteet ja ratkaisut. 2020. Sinulla on tavoite, meillä on ratkaisu. Luettu 15.1.2020. <https://pemamek.com/fi/ratkaisut/>

Pemamek. 2019. Technical Specification for PEMA C&B. Julkaisematon. Pemamek pääkonttori. Loimaa

Rittal Rivikaappijärjestelmä VX25 Peruskaappi. n.d. Tuotenro VX 8884.000  
Luettu 19.2.2020. <https://www.rittal.com/fi-fi/product/show/variantdetail.action?categoryPath=/PG0001/PG0002SCHRANK1/PG0026SCHRANK1/PGRP21063SCHRANK1/PRO70035SCHRANK&productID=8884000>

Rittal Seinäasennettava TopTherm-jäähdytin. n.d. Tuotenro SK 3302.100. Luettu 19.2.2020. <https://www.rittal.com/fi-fi/product/show/variantdetail.action?categoryPath=/PG0001/PG0168KLIMA1/PG0169KLIMA1/PG0173KLIMA1/PRO34048KLIMA&productID=3302100>

Rittal Therm. 2020. Laskentaohjelma kytkentäkaappien ilmastointia varten. Luettu 19.2.2020. <https://www.rittal.com/fi-fi/content/fi/support/software/projektieren/therm/Therm.jsp>

SFS-EN 60204. 2018. Koneturvallisuus. Koneiden sähkölaitteisto. Osa 1: Yleiset vaatimukset. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS. Luettu 21.2.2020. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi/fi/index.html.stx>

STEK. n.d. IP-luokitus. Luettu 24.4.2020. <https://stek.fi/perustietoa-sahkosta/sahkojarjestelmat/ip-luokitus/>

Suomen Asiakastieto. 2020. Taloustiedot Pemamek Oy. Luettu 15.1.2020. <https://www.asiakastieto.fi/yritykset/fi/pemamek-oy/05350851/taloustiedot>

Vesterinen, O. markkinointiasiantuntija. 2020. Haastattelu 20.1.2020. Haastattelija Järvinen, T. Loimaa

## LIITTEET

## Liite 1. Kondensaattorin datalehti

QUINT4-CAP/24DC/10/8KJ

## 4 Technical data

Input data	
Nominal input voltage	24 V DC SELV
Input voltage range	22.5 V DC ... 30 V DC
Buffer period	30 s / 10 A ; 5 min. / 1 A
Charging time (for completely discharged capacitors)	approx. 22 min.
Recharging time	approx. 12 min.
Activation threshold	< 22 V DC
Current consumption	0.1 A (No-load) 1 A (charging process) 13.5 A (max.)
Input connection data	
Connection method	Screw connection
Conductor cross section, solid	0.2 mm <sup>2</sup> ... 2.5 mm <sup>2</sup>
Conductor cross section, flexible	0.2 mm <sup>2</sup> ... 2.5 mm <sup>2</sup>
Conductor cross section AWG	30 ... 12
Stripping length	6.5 mm
Tightening torque	0.5 Nm ... 0.6 Nm
General output data	
Nominal output voltage $U_N$ (depending on the input voltage)	24 V DC
Connection in parallel	No
Connection in series	No
Output data (mains operation)	
Nominal output voltage $U_N$ (depending on the input voltage)	24 V DC
Nominal output current $I_N / I_{Stat. Boost}$	10 A / 12.5 A
Power loss nominal load max.	< 6 W
Efficiency ( with charged energy storage device )	> 97 %
Output data (battery operation)	
Nominal output voltage $U_N$ ( typical )	22 V DC
Nominal output current $I_N / I_{Stat. Boost}$	10 A / 12.5 A
Output connection data	
Connection method	Screw connection
Conductor cross section, solid	0.2 mm <sup>2</sup> ... 2.5 mm <sup>2</sup>
Conductor cross section, flexible	0.2 mm <sup>2</sup> ... 2.5 mm <sup>2</sup>
Conductor cross section AWG	30 ... 12
Stripping length	6.5 mm
Tightening torque	0.5 Nm ... 0.6 Nm

## Liite 2. Virtalähteen datalehti

**TRIO-PS-2G/3AC/24DC/20****Power supply unit**Data sheet  
105906\_en\_00

© PHOENIX CONTACT 2015-08-31

**1 Description**

TRIO POWER - power supplies with standard functionality. The power supplies of the TRIO POWER family convince due to their slim and robust design. The dynamic boost (1.5 x  $I_N$  for 5 seconds) absorbs starting currents and short overload situations securely during operation and without a drop in output voltage. The push-in connection technology on the front enables fast and tool-free wiring of the devices.

**Features**

- Especially slim design
- Worldwide use, thanks to wide-range input
- Safe operation, thanks to electrically and mechanically robust design
- Reliable starting of heavy loads, thanks to dynamic boost (1.5 x  $I_N$  for 5 seconds)
- Simplified error diagnostics for remote signaling via DC-OK signal contact
- OVP (Over Voltage Protection) limits surge voltages to  $\leq 30$  V (EN61131-2)
- Tool-free connection via push-in connection technology

**Technical data (short form)**

Nominal input voltage range	3x 400 V AC ... 500 V AC 2x 400 V AC ... 500 V AC
Frequency range	50 Hz ... 60 Hz
Nominal output voltage	24 V DC $\pm 1\%$
> 24 V DC, constant capacity restricted	24 V DC ... 28 V DC
Nominal output current $I_N / I_{Dyn}$	20 A / 30 A (5 s)
Residual ripple	$\leq 20$ mV <sub>pp</sub>
Protection against surge voltage on the output	$\leq 30$ V DC
MTBF (IEC 61709, SN 29500)	> 1800000 h (25 °C) > 1100000 h (40 °C) > 510000 h (60 °C)
Efficiency at 400 V AC and nominal values	> 93 %
Maximum power dissipation NO-Load	< 1.2 W
Power loss nominal load max.	< 38 W
Ambient temperature (operation)	-25 °C ... 70 °C > 60 °C Derating: 2,5 %/K
Ambient temperature (start-up type tested)	-40 °C
Weight	1.5 kg
Dimensions W/H/D	65 mm / 130 mm / 160 mm



Make sure you always use the latest documentation.  
It can be downloaded from the product at [phoenixcontact.net/products](http://phoenixcontact.net/products).

Servosäädin AX5103 datalehti



**AX51xx**  
AX5101, AX5103, AX5106, AX5112  
AX5118, AX5125, AX5140

### AX51xx | Digital Compact Servo Drives (1-channel)

#### Performance class up to 28 kW

The AX5000 Servo Drive series is available in single- or multi-channel form and is optimised in terms of function and cost-effectiveness. Integrated control technology supports fast and highly dynamic positioning tasks. EtherCAT as a high-performance communication system enables ideal interfacing with PC-based control technology.

The AX51xx 1-channel Servo Drives are designed for rated currents up to 40 A.

The AX5000 system enables simple and fast connection of several AX5000 devices to form a multi-axis system through the AX-Bridge quick connection system. The pluggable supply and connection module combines power supply, DC-Link and 24 V DC control and braking voltage.

A wide range of motor types can be connected to the AX5000. Motors of different size and type can be connected without additional measures. Examples include synchronous, linear, torque and asynchronous motors. The multi-feedback interface supports all common standards.

The AX5000 was developed specifically for use with EtherCAT. The outstanding features of EtherCAT are particularly beneficial for Drive Technology. They include short cycle time, synchronicity and simultaneity. EtherCAT enables very short cycle times, even in networks containing a large number of devices.

**Features**

- high-speed EtherCAT system communication
- rated current: 1.5 A, 3 A, 6 A, 12 A, 18 A, 25 A, 40 A
- wide voltage range: 1 x 100...240 V AC  $\pm 10\%$  and 3 x 100...480 V AC  $\pm 10\%$
- active DC-Link and brake energy management
- multi-feedback interface
- flexible motor type selection
- scalable, wide range motor current measurement
- high-speed capture inputs
- diagnostic and parameter display
- integrated mains filter
- Cat. C3, according to EN 61800-3

optional safety functions: restart lock, intelligent TiMSAFE safety functions

- compact design for simple control cabinet installation
- AX-Bridge – the quick connection system for power supply, DC-Link and control voltage
- optimised cooling concept

Servo Drives with rated output currents > 40 A see page 776

**Technical data**

	AX5101	AX5103	AX5106	AX5112	AX5118	AX5125	AX5140
Rated output current at 50 °C (1-phase connection)	1 x 1.5 A	1 x 3 A	1 x 4.5 A	–	–	–	–
Rated output current at 50 °C (3-phase connection)	1 x 1.5 A	1 x 3 A	1 x 6 A	1 x 12 A	1 x 18 A	1 x 25 A	1 x 40 A
Minimum rated motor current at full current resolution	0.35 A	1 A	1 A	6 A	12 A	12 A	18 A
Rated supply voltage	3 x 100...480 V AC $\pm 10\%$ 1 x 100...240 V AC $\pm 10\%$						
DC-Link voltage	max. 880 V DC						
Peak output current <sup>(1)</sup>	4.5 A						
Rated apparent power for S1 operation (selection)	120 V (1- $\Phi$ -phase connection) 0.3 kVA						
230 V (1- $\Phi$ -phase connection)	0.6 kVA						
400 V (only 3-phase connection)	1.0 kVA						
480 V (only 3-phase connection)	1.2 kVA						
Continuous braking power <sup>(2)</sup>	50 W						
Max. braking power <sup>(2)</sup>	14 kW						
Power loss <sup>(3)</sup>	25 W						
System bus	EtherCAT						
Weight	4.0 kg						
Further information	www.beckhoff.com/AX51xx						
<sup>(1)</sup> RMS for max. 7 seconds, <sup>(2)</sup> S1 operation, incl. power supply, without brake chopper							

**Dimensions**

	AX5101	AX5103	AX5106	AX5112	AX5118	AX5125	AX5140
Height without connectors	274 mm	274 mm	274 mm	274 mm	274 mm	274 mm	274 mm
Width	92 mm	92 mm	92 mm	92 mm	185 mm	185 mm	185 mm
Depth without connectors	232 mm	232 mm	232 mm	232 mm	232 mm	232 mm	232 mm

**Ordering information**

AX51xx-0000-0200	AX51xx-0000-0200	AX51xx-0000-0200	AX51xx-0000-0200	AX51xx-0000-0200	AX51xx-0000-0200	AX51xx-0000-0200	AX51xx-0000-0200
Digital Compact Servo Drive, 1-axis module, 100...480 V AC, rated output current 1.5 A, EtherCAT interface, OCT	Digital Compact Servo Drive, 1-axis module, 100...480 V AC, rated output current 3 A, EtherCAT interface, OCT	Digital Compact Servo Drive, 1-axis module, 100...480 V AC, rated output current 6 A, EtherCAT interface, OCT	Digital Compact Servo Drive, 1-axis module, 100...480 V AC, rated output current 12 A, EtherCAT interface, OCT	Digital Compact Servo Drive, 1-axis module, 100...480 V AC, rated output current 18 A, EtherCAT interface, OCT	Digital Compact Servo Drive, 1-axis module, 100...480 V AC, rated output current 25 A, EtherCAT interface, OCT	Digital Compact Servo Drive, 1-axis module, 100...480 V AC, rated output current 40 A, EtherCAT interface, OCT	Compatible with AX5021, AX51xx, AX5801-0200 and AX5805

**Options, pre-assembled cable and accessories see page 232**

**BECKHOFF New Automation Technology**

We reserve the right to make technical changes.

776 Drive Technology

777 Drive Technology

(jatkuu)

## Servosäädin AX5203 datalehti

2(3)

Rated apparent power for S1 operation (selection)			
120 V (1-/3-phase connection)	0.6 kVA	1.2 kVA	2.5 kVA
230 V (1-/3-phase connection)	1.2 kVA	2.4 kVA	4.8 kVA
400 V (only 3-phase connection)	2.1 kVA	4.2 kVA	8.3 kVA
480 V (only 3-phase connection)	2.5 kVA	5.0 kVA	10.0 kVA
Continuous braking power (2)	50 W	150 W	90 W
Max. braking power (2)	14 kW		
Power loss (3)	55 W	85 W	160 W
System bus	EtherCAT		
Weight	5.0 kg	6.0 kg	6.0 kg

(1)RMS for max. 7 seconds, (2)internal brake resistor, (3)S1 operation, incl. power supply, without brake chopper

Dimensions	AX5201	AX5203	AX5206
Height without connectors	274 mm		
Width	92 mm		
Depth without connectors	232 mm		

Ordering information	AX520x-0000-0x0x
AX5201-0000-0202	Digital Compact Servo Drive, 2-axis module, 100...480 V AC, rated output current 2 x 1.5 A, EtherCAT interface, OCT, hardware version 2.0, firmware version $\geq$ 2.10 (2)
AX5201-0000-0200	Digital Compact Servo Drive, 2-axis module, 100...480 V AC, rated output current 2 x 1.5 A, EtherCAT interface, OCT, hardware version 2.0, firmware version 2.06 (2)
AX5201-0000-0000	Digital Compact Servo Drive, 2-axis module, 100...480 V AC, rated output current 2 x 1.5 A, EtherCAT interface, hardware version 1.0 (1)
AX5203-0000-0202	Digital Compact Servo Drive, 2-axis module, 100...480 V AC, rated output current 2 x 3 A, EtherCAT interface, OCT, hardware version 2.0, firmware version $\geq$ 2.10 (2)
AX5203-0000-0200	Digital Compact Servo Drive, 2-axis module, 100...480 V AC, rated output current 2 x 3 A, EtherCAT interface, OCT, hardware version 2.0, firmware version 2.06 (2)
AX5203-0000-0000	Digital Compact Servo Drive, 2-axis module, 100...480 V AC, rated output current 2 x 3 A, EtherCAT interface, hardware version 1.0 (1)
AX5206-0000-0202	Digital Compact Servo Drive, 2-axis module, 100...480 V AC, rated output current 2 x 6 A, EtherCAT interface, OCT, hardware version 2.0, firmware version $\geq$ 2.10 (2)
AX5206-0000-0200	Digital Compact Servo Drive, 2-axis module, 100...480 V AC, rated output current 2 x 6 A, EtherCAT interface, OCT, hardware version 2.0, firmware version 2.06 (2)
AX5206-0000-0000	Digital Compact Servo Drive, 2-axis module, 100...480 V AC, rated output current 2 x 6 A, EtherCAT interface, hardware version 1.0 (1)

(1) compatible with AX5801-0000, not recommended for new projects

(2) compatible with AX5805, AX57xx, AX5021 and AX5801-0200

Ordering information	AX5xxx   Options
AX5021-0000	ballast unit with internal braking resistor (250 W) and option for connecting an external ballast resistor (up to 6 kW) as well as an additional DC link expansion capacity for storing brake energy efficiently

Accessories	
TE5910	TC3 Motion Designer
AX57xx, AX58, AX59xx	Option cards and quick connection system
AX5021, ZKxxxx-xxxx, AX2090-xxxx	Grid feed-in, EMC accessories, DC-link
AM80xx	Servo motors: Dynamic power packages made in Germany
AM85xx	Servomotors with increased rotor moment of inertia
AM88xx	stainless-steel motors with hygienic design

### 3 Technical data

Rated motor current	Motor cable length	Servo Drives	Motor choke
max. 400 V	>20 m to 100 m	AX5101, AX5103, AX5106, AX5112, AX5201, AX5203, AX5206	AX2090-MD50-0012
max. 480 V	>20 m to 100 m		
max. 400 V	>20 m to 50 m	AX5118 and AX5125	AX2090-MD50-0025
max. 480 V	>20 m to 50 m		

Data	AX2090-MD50-0012	AX2090-MD50-0025
Rated voltage	480 V AC	480 V AC
Rated frequency	0 - 60 Hz	0 - 60 Hz
Test voltage cable/cable for 2 s	1770 V DC	1770 V DC
Test voltage cables/housing for 2 s	2700 V DC	2700 V DC
Rated temperature	50 °C	50 °C
Inductance	0.2 mH	0.12 mH
Continuous load operation (S1)	12 A	25 A
Climate category (IEC 60068-1)	25/100/21	25/100/21
Approval	UL 1283	UL 1283
Resistance [type]	25 mΩ	15 mΩ
Power loss	5 - 25 W <sup>1)3)</sup>	10 - 35 W <sup>2)4)</sup>
Weight	2.9 kg	8.5 kg

<sup>1)</sup>rated current 1 - 12 A

<sup>2)</sup>rated current 18 - 25 A

<sup>3)</sup>measured at max. cable length of 100 m

<sup>4)</sup>measured at max. cable length of 50 m

## Liite 4. Lenze datalehdet

1(2)

## Invertteri, 400 V/3 kW


**Technical data**  
 3-phase mains connection 400 V  
 Rated data

**3-phase mains connection 400 V**
**Rated data**

The output currents apply to these operating conditions:

- At a switching frequency of 2 kHz or 4 kHz: Max. ambient temperature 45°C.
- At a switching frequency of 8 kHz or 16 kHz: Max. ambient temperature 40 °C.

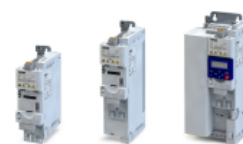
Inverter		i550-C0.37/400-3	i550-C0.55/400-3	i550-C0.75/400-3	i550-C1.1/400-3
Rated power	kW	0.37	0.55	0.75	1.1
Mains voltage range		3/PE AC 340 V ... 528 V, 45 Hz ... 65 Hz			
Output voltage		3 AC 0 V ... 400 V			
Rated mains current					
without mains choke	A	1.8	2.5	3.3	4.4
with mains choke	A	1.4	2	2.6	3
Apparent output power	kVA	0.9	1.2	1.6	2.2
Output current					
2 kHz	A	-	1.8	2.4	3.2
4 kHz	A	1.3	1.8	2.4	3.2
8 kHz	A	1.3	1.8	2.4	3.2
16 kHz	A	0.9	1.2	1.6	2.1
Power loss					
4 kHz	W	20	25	32	40
8 kHz	W	24	31	40	51
at controller inhibit	W	6	6	6	6
Overcurrent cycle 180 s					
Max. output current	A	2	2.7	3.6	4.8
Overload time	s	60	60	60	60
Recovery time	s	120	120	120	120
Max. output current during the recovery time	A	1	1.4	1.8	2.4
Overcurrent cycle 15 s					
Max. output current	A	2.6	3.6	4.8	6.4
Overload time	s	3	3	3	3
Recovery time	s	12	12	12	12
Max. output current during the recovery time	A	1	1.4	1.8	2.4
Cyclic mains switching		3 times per minute			
Brake chopper					
Max. output current	A	2	2	2	4.3
Min. brake resistance	Ω	390	390	390	180
Max. motor cable length shielded					
without EMC category	m	15	50		
Category C1 (2 kHz, 4 kHz, 8 kHz)	m	3			-
Category C2	m	15	20		
Weight	kg	0.8	1		1.35

(jatkuu)

## Inverteri, 400 V/3 kW

2(2)

## Technical data

3-phase mains connection 400 V  
Rated data

Inverter		i550-C1.5/400-3	i550-C2.2/400-3	i550-C3.0/400-3	i550-C4.0/400-3
Rated power	kW	1.5	2.2	3	4
Mains voltage range		3/PE AC 340 V ... 528 V, 45 Hz ... 65 Hz			
Output voltage		3 AC 0 V ... 400 V			
Rated mains current					
without mains choke	A	5.4	7.8	9.6	12.5
with mains choke	A	3.7	5.3	6.9	9
Apparent output power	kVA	2.6	3.8	4.9	6.4
Output current					
2 kHz	A	3.9	5.6	7.3	9.5
4 kHz	A	3.9	5.6	7.3	9.5
8 kHz	A	3.9	5.6	7.3	9.5
16 kHz	A	2.6	3.7	4.9	6.3
Power loss					
4 kHz	W	48	66	85	110
8 kHz	W	61	85	110	140
at controller inhibit	W	6	6	6	6
Overcurrent cycle 180 s					
Max. output current	A	5.9	8.4	11	14.3
Overload time	s	60	60	60	60
Recovery time	s	120	120	120	120
Max. output current during the recovery time	A	2.9	4.2	5.5	7.1
Overcurrent cycle 15 s					
Max. output current	A	7.8	11.2	14.6	19
Overload time	s	3	3	3	3
Recovery time	s	12	12	12	12
Max. output current during the recovery time	A	2.9	4.2	5.5	7.1
Cyclic mains switching		3 times per minute			
Brake chopper					
Max. output current	A	4.3	4.3	9.5	16.6
Min. brake resistance	Ω	180	150	82	47
Max. motor cable length shielded					
without EMC category	m	50			
Category C1 (2 kHz, 4 kHz, 8 kHz)	m	-			
Category C2	m	20			
Weight	kg	1.35		2.3	

## Liite 5. Muuntaja datalehti

# TRAFOMIC

6.6.2019  
MiMa

Tuotekatu 15  
FIN 21200 RAISIO  
Tel. +358 2 437 5000  
Fax. +358 2 437 5050

**Product: 04-32927****1-Phase Transformer PE 1000VA 480-460-440-415-400-380/230V**

**Rated Output:** 1000 VA  
**Duty:** Continuous  
**Primary voltages:** 480-460-440-415-400-380 V  
**Secondary voltages:** 230 V  
**Frequency:** 50/60 Hz  
**Inrush current  $\hat{i}/I_n$ :** 10,0  
 **$u_k$  (cold)** 6,6%

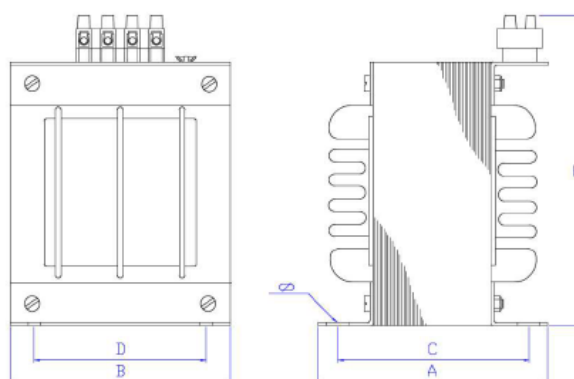
**Max ambient temp:** +40°C  
**Insulation class:** B (130°C)  
**Cooling:** AN  
**Losses:**  $P_0=36W$ ,  $P_k=31W$

**Applicable standards:**

- IEC 61558

**In compliance with directives:**

- Directive 2011/65/EU ("RoHS Directive")
- Low Voltage Directive (LVD) 2006/95/EC

**Dimensions:**

Core	Measurements (mm)						Terminals	Weight
	A	B	C	D	H	Ø	mm <sup>2</sup>	kg
EI 150/92	147	125	126,6	106	175	7x13	6	13

**CONFIDENTIAL**

Please note that all information and documents contained herein are solely Trafomic Oy property. No part of it shall be copied, reproduced or disclosed verbally to any third-party.

Liite 6. Päätylevyn rei'ityskuva

Ei julkinen

## Therm 6.6 Yhteenveto

### Projekti: Opinnäytetyö

Yritys: Pemamek  
Yhteyshenkilö: Teemu Järvinen  
Valmistaja: Pema  
Puhelin / Faksi: 0505675696



### Ympäristöparametrit

Ympäristön maks. lämpötila Ta:	40 °C
Kytkäkaapin maks. sisälämpötila Ti:	40 °C
Verkköjännite: (myös 230 V)	400 V
Taajuus:	50 Hz

Kytkäkaappi nro. 1	VX 8884000
Leveys x Korkeus x Syvyys	800 x 1800 x 400 mm
Asennustapa	Yksittäiskaappi, vapaasti seisova

### Ilmastointilaskelma

Kytkäkaappi nro. 1	VX 8884000
Leveys x Korkeus x Syvyys	800 x 1800 x 400mm
Kaapin k-arvo	5,5
Asennustapa	Yksittäiskaappi, vapaasti seisova

keskimääräinen kotelon lämpötila ilman ilmastointia:	58 °C
Ilmastointi välttämätön	Kyllä
Jäähdytyslaite tarpeen	Kyllä

1 x Lisäys	440 W
------------	-------

Häviöteho	440 W
Lämpö pinnan läpi	0 W

<b>siirrettävä lämpöhäviö</b>	<b>440 W</b>
-------------------------------	--------------

1 / 2  
13.03.2020



## Therm 6.6 Yhteenveto

### Projekti: Opinnäytetyö

Yritys: Pemamek

Yhteyshenkilö: Teemu Järvinen

Valmistaja: Pema

Puhelin / Faksi: 0505675696



### Toimenpiteet lämpötilan saavuttamiseksi

	Seinäasenteinen	Kattoasenteinen
1. Suodatintuulettimet		
2. Lämmönvaihtimet		
3. Jäähdyttimet	1 x SK3302100 (360 W)	
4. Ilma/vesi-lämmönvaihtimet		
5. Lämmittimet		
6. Climate control doors		
Tuoteryhmiä 1-4 tulee käyttää vaihtoehtoisesti		

### Lisävarusteet

Päätuote / Lisävarusteet    Lukumäärä Lisävarusteenimike

Rittal ei vastaa laskennasta, sijoituksesta tai valinnoista!

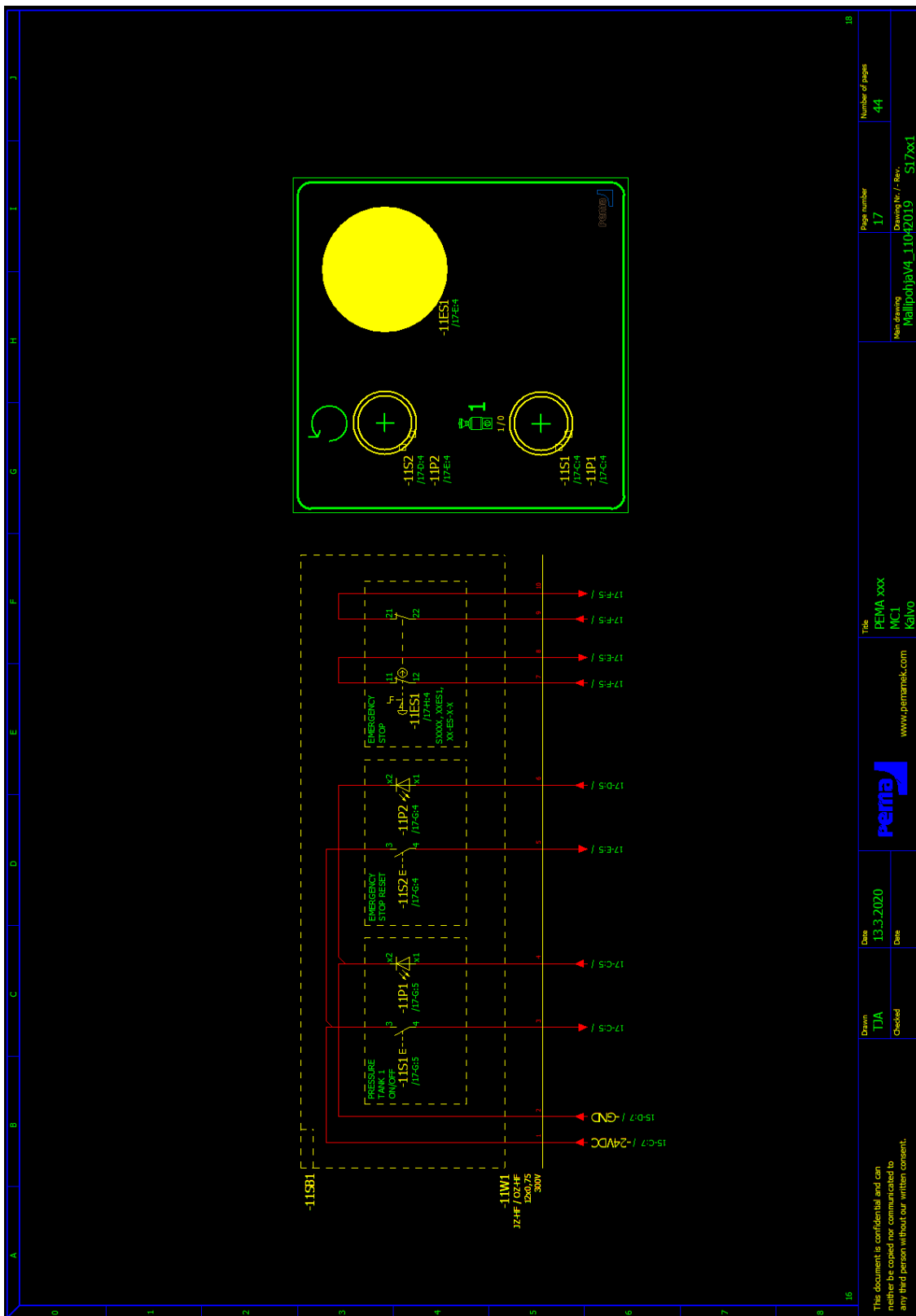
Liite 8. Asennuslevyn rei'ityskuva

Ei julkinen

Liite 9. Oven rei'ityskuva

Ei julkinen

Liite 10. Perusohjauksen ohjauspiirikaavion makro



Liite 11. Penkkimallin ohjauspiirikaavion makro

Ei julkinen

Liite 12. Laser-ohjauspiirikaavion makro

Ei julkinen

Liite 13. Kustannusvertailu

Ei julkinen

Liite 14. Suunnitteluohje

Ei julkinen

Liite 15. Asennusohje

Ei julkinen