

# SÄHKÖKESKUSVALMISTUKSEN TEHDASOHJEISTUKSEN LAATIMINEN

Arr-Systems Oy

Karjalainen Jori

Opinnäytetyö  
Tekniikan ja liikenteen ala  
Sähkö- ja automaatiotekniikka  
Insinööri

2022

Sähkö- ja automaatiotekniikka  
Insinööri (AMK)

---

<b>Tekijä</b>	Jori Karjalainen	<b>Vuosi</b>	2022
<b>Ohjaaja</b>	Ins. (AMK) Petri Niinimäki		
<b>Toimeksiantaja</b>	Arr-Systems Oy		
<b>Työn nimi</b>	Sähkökeskusvalmistuksen tehdasohjeistuksen laatiminen		
<b>Sivu- ja liitesivumäärä</b>	38 + 5		

---

Opinnäytetyön aiheena oli laatia tehdasohje Arr-Systems Oy:lle, joka sijaitsee Oulun Jäälissä. Tavoitteena oli tuoda erilaiset tuotantoon ja suunnitteluun liittyvät ohjeet yhteen pakettiin, joka avaisi ja nopeuttaisi sekä uusien että vanhojen työntekijöiden työvaiheita. Tehdasohje on erillinen dokumentti, joka on kehitetty yrityksen sisäiseen käyttöön.

Tehdasohjeen sisältömateriaali rajattiin suunnitteluvaiheessa tehtaan eri työvaiheiden työntekijöiden kanssa käytyjen keskustelujen perusteella. Työssä tutustuttiin sähkökeskusvalmistajan tuotantolaitokseen ja tuotteisiin sekä niitä koskeviin standardeihin ja työturvallisuuteen.

Suunnitteluvaiheessa huomattiin, että yrityksen työn edellyttävä materiaali oli jaoteltu useaan osa-alueeseen yrityksessä. Tämä johti usein siihen, että tarvittavan tiedon hankintaan kului turhaan aikaa. Näin tulokseksi saatiin 21-sivuinen dokumentti, jossa on tiivistetysti keskeisimmät työhön liittyvät asiat standardeista, ohjeasiakirjoista ja työskentelymenetelmistä.

Electrical and Automation Engineering  
Bachelor of Engineering

---

<b>Author</b>	Jori Karjalainen	Year	2022
<b>Supervisor</b>	Petri Niinimäki, B.Eng (UAS)		
<b>Commissioned by</b>	Arr-Systems Oy		
<b>Subject of thesis</b>	Drafting a Factory Manual for Electrical Cabinet Manufacturing		
<b>Number of pages</b>	38 + 5		

---

The subject of the thesis was to create a factory manual for Arr-Systems Oy in Jääli, Oulu. The aim was to bring different production and design related instructions into a single package, which would open and speed up the work phases of new and old employees alike. The factory manual is a separate document, which has been developed for company's internal use.

The content of the manual has been narrowed down based on discussions with employees in different work areas of the factory during the design phase. Completing the factory manual involved getting to know the electrical cabinet manufacturer's production plant and products, the relevant standards and occupational safety.

During the design phase, it was noticed that the material requiring the company's work was spread over several areas in the company. This often led to wasting unnecessary time while looking for the right information. The result was a 21-page document summarizing the key topics related to the work the company does in terms of standards, guidance documents and working methods.

Keywords

electrical cabinet, development, standard, manual

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	8
1.1	Työn esittely .....	8
1.2	Tavoitteet .....	8
1.3	Sisällön määrittäminen .....	9
2	ARR-SYSTEMS OY .....	10
2.1	Yritys .....	10
2.2	Sähkökeskukset .....	10
2.2.1	Kotelokeskus .....	11
2.2.2	Kennokeskus .....	12
2.2.3	Kotelotyyppinen työmaakeskus .....	13
3	SÄHKÖKESKUSVALMISTUKSESSA HUOMIOITAVAA .....	14
3.1	Velvoittavat standardit .....	14
3.2	Sähkökeskusten mitoitusarvot .....	14
3.3	Tasointikerroin .....	16
3.4	Kotelointijärjestelmä .....	16
3.5	Sähkökeskusten mukana toimitettava dokumentaatio .....	17
3.6	Sähkökeskusten suojaus .....	19
3.6.1	Maadoitusjärjestelmä .....	19
3.6.2	Sähkökeskusten sisäinen johdotus .....	20
3.6.3	Ilma- ja pintavälit .....	22
3.6.4	Kotelointiluokka .....	23
3.6.5	Mekaaniset rasitteet .....	23
4	TYÖPROSESSIN KUVAUS .....	25
4.1	Tutkimusvaihe .....	25
4.2	Tehdasohjeen sisältö .....	25
4.3	Haastattelut .....	26
4.4	Laadunvarmistus .....	26
5	TEHDASOHJE .....	27
5.1	Merkinnät .....	27
5.2	Sähkökeskusten kilvet .....	27

5.3	Kaapelointi & johdotus .....	28
5.4	Komponentit.....	29
5.5	Kotelo- ja kennokeskuksien kasausohjeistus.....	29
5.6	Turvallisuus.....	30
5.6.1	Yleinen työturvallisuus.....	30
5.6.2	Varoitus- ja ohjemerkinntät tuotantolaitoksessa .....	31
5.7	Sähkökeskuksien testaus .....	33
5.8	Testauksen vaiheet.....	33
6	POHDINTA .....	36
	LÄHTEET.....	37
	LIITTEET .....	38

## LYHENTEET JA ILMENEVÄT TERMIT

A	Ampeeri, sähkövirran yksikkö
CE	CE-merkintä (Conformité Européenne)
DC	Tasavirran lyhenne
$I_{CC}$	Ehdollinen mitoitusoikosulkuvirta
$I_{CW}$	Oikosulkuvirran lyhytaikainen mitoituskestovirta
IK	Iskunkestävyysluokka
$I_{nA}$	Mitoitusvirta
$I_{nC}$	Piirikohtainen mitoitusvirta
IP	Tunkeutumissuojaus (Ingress Protection)
$I_{pk}$	Oikosulkuvirran mitoituskestovirran huippuarvo
J	Työn ja energian yksikkö
PE	Maadoitukseen käytettävän suojajohtimen lyhenne
PEN	Johdin, jota käytetään samanaikaisesti suojamaadoitus- ja nollajohtimena
S	Vaihejohtimen minimipoikkipinta-ala
$S_p^a$	Vastaavan suojajohtimen (PE, PEN) minimipoikkipinta-ala
TN-C	Jakelujärjestelmä, jossa on yhdistetty nolla- ja suojamaadoitusjohdin koko järjestelmässä
$U_i$	Keskuspiirin mitoituseristysjännite
$U_{imp}$	Mitoitussyöksykesto-jännite
$U_n$	Mitoitus & nimellisjännite
V	Voltti, jännitteen yksikkö

## ALKUSANAT

Työn toimeksiantaja on Oulun Jäälissä toimiva Arr-Systems Oy. Opinnäytetyö on tehty syksyllä 2022 Lapin ammattikorkeakoulun sähkö- ja automaatiotekniikan koulutusohjelman lopputyöksi.

Yrityksen puolesta yhteyshenkilöinä on toiminut aiempi toimitusjohtaja Reijo Mertala ja tuotantopäällikkö, nykyinen tehtaanjohtaja Pekka Rautaoja. Opinnäytetyön ohjaajana on ollut Petri Niinimäki.

Iso kiitos kaikille minua auttaville ja opastaville, opinnäytetyön mahdollistaneille. Lisämainintana kiitos myös suunnittelutiimille ja Ismo Tenhuselle alustavan idean kehittämisessä.

Oulussa 2.9.2022

Jori Karjalainen

## 1 JOHDANTO

### 1.1 Työn esittely

Opinnäytetyön aiheena on tehdä Arr-Systems Oy:n työprosesseja avaava tehdasohje. Tavoitteena on koota eri lähteiden tietoja työvaiheiden kuvauksista, toimintatavoista ja vakiona käytettävistä sähkökeskustarvikkeista. Oleellisin tieto valmistukseen liittyen on antaa nopeasti standardin SFS-EN 61439 sähkökeskusten tuotantoprosessille keskeisimmät valmistusohjeet ja mitoittamiseen liittyvät taulukot.

Yrityksessä on paljon hajautettua tietoa, kuten sisäiset järjestelmät, dokumentit, eri osastojen ohjeistukset ja erilaisia sähkökeskusvalmistuksen työvaiheisiin keskittyviä ohjeita. Kaiken tämän kirjallisen materiaalin lisäksi mukaan voi lukea pitempiaikaisten työntekijöiden työkokemuksen ja työskentelytavat.

Tällä tehdasohjeella tuodaan avaintietoja aiemmin mainituista lähteistä yhteen, ja sen tarkoituksena on helpottaa tehtaan eri tasojen työvaiheiden tiedon hankintaa. Ohjeeseen kasataan kokoelma tietoa, jota varsinkin uudemmat työntekijät pystyvät hyödyntämään sekä tuotannon ja suunnittelun työvaiheissa. Tehdasohje tulee vähentämään vakiotasolla tiedonhankintaan kuluvaan aikaan, jolloin oleellisen tiedon hankintaan kuluisi vähemmän aikaa ja näin ollen yleisiin kustannuksiin tulisi säästöjä.

### 1.2 Tavoitteet

Tehdasohjeen päätavoitteena on luoda yritykselle kirjalliseen muotoon kasattu ohjeistuskokonaisuus, josta löytyy yleisimmät työtä edistävät tiedot, työvaiheita kuvaava osio ja tarkempi kokoamisohjeistus F-sarjan sähkökeskuksille. Tehdasohjeen on tarkoitus vähentää ylimääräistä työnaikana mahdollisesti esiintyvää teorian selvittelyä, jota on esimerkiksi johtimien oikeanlainen mitoitus tai ilma- ja pintavälien standardinmukaisen tilantarpeen selvittely. Työohjeiden lisäksi ohjeessa on yrityksen pääsääntöisessä käytössä olevat komponentit, asennustarvikkeet ja työturvallisuuteen liittyvät asiat tuotantolaitoksessa.

Tehdasohjeella pyritään parantamaan toimitusvarmuutta, eli vähennetään tuotantojonossa olevien aloituksen ja toimituksen viiveitä. Tämän lisäksi minimoidaan ylimääräisestä työstä kertyvää rahallista hävikkiä. Näiden parantamisessa onnistutaan, kun asentajilta löytyy hyvä ja nopea teoreettinen apu keskeisimmissä huomioitavissa asioissa.

### 1.3 Sisällön määrittäminen

Työn alkuvaiheessa kartoitetaan tehdasohjeen sisältö ja tutustutaan yleisesti tehdasympäristöön ja yrityksen dokumentteihin. Alustavan kartoituksen valmistuttua määritellään työn lopullinen aihekokonaisuus ja kasataan yrityksen käytöstä tarpeellinen dokumentaatio ohjeen laatimista varten.

Sisällön rajaamiseksi eri työvaiheiden työntekijöille suoritetaan haastatteluita, joiden perusteella muokataan tai täydennetään alustavasti suunniteltua tehdasohjeen sisältöä. Haastatteluita, niiden muotoja ja työn sisällön määrittäviä työvaiheita käsitellään luvussa 4. Työprosessin kuvaus.

## 2 ARR-SYSTEMS OY

### 2.1 Yritys

Arr-Systems Oy on Oulun Jäälissä toimiva johdinsarjojen-, kaapeleiden- ja sähkökoonpanojen valmistaja. Yritys perustettiin helmikuussa 2008, ja se laajensi vuonna 2017 automaatio- ja sähkökeskuksiin Eleplus Oy:n kanssa solmitun yrittäjäkaupan kautta. Yritys työllisti 30 henkilöä vuonna 2021, ja sen liikevaihto oli 3,1 miljoonaa euroa. Yrityksen periaatteisiin kuuluu olla avoin ja rehti yhteistyökumppani, pitää työympäristö mahdollisimman positiivisena kaikille ja alentaa ympäristövaikutusta tuotannossa kierrättämällä kaikki mahdollinen. (Arr-Systems Oy 2022.)

Yrityksen asiakaskunta koostuu pääsääntöisesti kone- ja laitevalmistajista energia-, metalli-, kaivos- ja metsäteollisuudessa. Näiden lisäksi yritys valmistaa paljon kokoonpanoja myös sähköautomaatio- ja suunnitteluyrityksien välityksellä erikoisempiin teollisuuskohteisiin ympäri maailmaa.

Arr-Systems Oy liittyi Reimax Electronics Oy konserniin 2021, mikä toi yrityksen valmistuspiiriin uutena spiraalituotteet, anturitekniikan valmistuksen, ruiskuvalutekniikkaa ja muita elektromekaniikan valmistusta. Yritys siirtyy lopullisesti Reimax Electronics Oy:n nimiin vuonna 2022.

### 2.2 Sähkökeskukset

Yritys valmistaa kymmeniä erityyppisiä sähkökeskuksia laite- ja konerakennuksen sekä teollisuuden ja sähköjakelun tarpeisiin. Jokaiseen projektiin kuuluu jollakin tasolla suunnittelua sähkökeskusvalmistajankin puolesta. Näitä ovat asiakkaan dokumenttien tarkastelu, sähkökeskuksen kokoonpanon ja ulkoasun suunnittelu. Näiden lisäksi yritys tekee tarvittaessa myös projektin täydellisen sähköistykseen liittyvän suunnittelun.

On tärkeää, että keskuksien valmistajilla on tarkat ohjeet vaatimusten mukaisten lopputulosten saavuttamiseksi. Näiden ansioista saavutetaan säästöjä työajoissa ja kustannuksissa sekä taataan tuotteiden tasainen laatu ja niiden turvallisuus.

## 2.2.1 Kotelokeskus

Kotelokeskus on mekaanisesti toisiinsa yhteen liitetyistä kotelosta kasattu kokonaisuus, joka soveltuu niin teollisuuteen kuin kiinteistökohteisiin. Kotelokeskuk- sen esimerkkimalli on esitetty kuvassa 1.

Kotelokeskukset ovat pääosin kiinteistörakentamiseen kohdistettuja keskuksia, joista valmistetaan pää-, nousu- ja jakokeskuksia. Keskus voidaan rakentaa ko- telokeskukseksi, jos se pysyy sivun 18 taulukon 4 esitettyjen kotelokeskuk- sien sähköisten eritelmien rajoissa.



Kuva 1. Tarkistusta odottava kotelokeskus.

### 2.2.2 Kennokeskus

Kennokeskus on leveys- ja korkeussuunnassa modulaarinen kotelointiratkaisu kiinteistöjen pää- ja nousukeskuksiksi sekä teollisuuden pää- ja prosessikeskuksiksi. F-sarjan kennokeskuksen erottaa kojutilan taakse sijoittuvasta 260 mm syvästä kiskotilasta, joka kasvattaa sähkökeskuksen kokonaissyvyyden 510 millimetriin. Kuvassa 2 on edestäpäin kuvattu kennokeskus.

Kennokeskuksissa sähkönjakelu toteutetaan alumiinista tai kuparista valmistetuilla virtakiskoilla. Keskuksen pääsyöttö syöttää vaakasuuntaan asennettuja virtakiskoja, joilla syötetään kenttäkohtaisia (kuvassa 2 näkyvät kentät 01, 02 ja 03) pystykiskoja. Vaaka- ja pystykiskosto esitetty liitteessä 1.

Sähkökeskus valmistetaan kennokeskuksen runkoon silloin, kun kohteen sähköiset ominaisuudet kasvavat yli kotelokeskuksen kestävyysrajoista. Sähköisten ominaisuuksien rajat kyseiselle sähkökeskustyyppille ovat näkyvissä taulukossa 1.



Kuva 2. Lämpölaitokselle valmistettu kennokeskus.

### 2.2.3 Kotelotyyppinen työmaakeskus

Työmaakeskukset ovat asiakkaan teknisten eritelmien mukaan helposti siirrettäviä tai puolikiinteästi kohteeseen asennettavia jakokeskuksia. Näillä taataan helppo työmaa-aikainen sähkönjakelu työmaalla tarvittaville työkaluille ja laitteistoille. Kuvassa 3 on malli eräästä yrityksen valmistamasta puolikiinteästi asennettavasta kotelotyyppisestä työmaakeskuksesta.

Työmaakeskuksiin sovelletaan standardia SFS-EN 61439-4, joka on erikoistunut työmaakeskuksiin. Tämä ei ole kuitenkaan itsenäinen standardi, vaan se muuttaa ja täydentää standardia SFS-EN 61439-1. (SFS-Käsikirja 640 2016, 65.)



Kuva 3. Kotelotyyppinen työmaakeskus.

### 3 SÄHKÖKESKUSVALMISTUKSESSA HUOMIOITAVAA

#### 3.1 Velvoittavat standardit

Sähkökeskusten valmistuksessa ja testauksessa sovelletaan tämänhetkistä SFS-EN 61439 -sarjan standardeja ja soveltamisohjeita. Tämä sarja on nykypäivänä korvannut kokonaan aiemman SFS-EN 60439 -sarjan, jotta standardien rakenteet ja vaatimukset on saatu ajan tasalle. Ensimmäinen osa tästä sarjasta sisältää yleisvaatimukset, jonka pohjalta ei pelkästään voi tehdä sähkökeskuksia, vaan sen kanssa pitää soveltaa käyttökohteen mukaisesti osia 2–6. (SFS-käsikirja 640 2016, 3.)

Teoriaan liittyvä tieto työssä keskittyy standardisarjan osiin 1–3, koska Arr-Systems Oy:n valmistamat ja koestamat sähkökeskukset voidaan rajata näihin osaluokkiin.

Taulukko 1. SFS-EN 61439 -sarjan standardit & soveltamisohjeet. (SFS-käsikirja 640 2016, 3).

Standardien osat	Kuvaus
61439–1	Yleisvaatimukset
61439–2	Ammattikäyttöön tarkoitetut kojeistot
61439–3	Maallikoiden käyttöön tarkoitetut keskuksset
61439–4	Eriyisvaatimukset työmaakeskuksille
61439–5	Jakeluverkkokeskukset
61439–6	Jakelukiskot

#### 3.2 Sähkökeskusten mitoitusarvot

Sähkökeskuksen pitää olla yhteensopiva sen kohdesähköjärjestelmän kanssa, johon se kytketään. Tämä tarkoittaa sitä, että keskuksen mitoitusjännitteen  $U_n$  pitää vastata kytkettävän sähköverkon nimellisjännitettä. Keskuksen piireille on mitoituseristysjännite  $U_i$ , johon sähköiset testijännitteet ja pintavälit viittaavat. Tämä arvo huomioidaan tehtaalla testauksen jännitetestivaiheessa.

Sähkökeskuksen eristyksen pitää myös kestää verkossa esiintyvää, ilmastollista tai kytkentäylijännitteestä johtuvaa jännitetransienttia, jota kutsutaan mitoitussyökykestojäännitteeksi  $U_{imp}$ . (SFS-käsikirja 640 2016, 119.)

Suomessa sähkökeskuksen mitoitusvirta  $I_{nA}$  on sen kyseisen keskuksen syöttöpiirin nimellisvirta ja sitä pidetään oletuksena koko keskuksen mitoitusvirran arvona. Keskuksen nimellisvirran täytyy pystyä johtamaan keskuksien piireissä pitkäaikaisesti ilman, että siitä aiheutuu liiallista lämpenemistä tai muuta vaaraa. Tarkemmin keskuksen eri piireille voidaan asiakkaan pyynnöstä määrittää piiri-kohtainen mitoitusvirta  $I_{nC}$ , mutta tätä ei kuitenkaan normaalisti tehdä. (SFS-käsikirja 640 2016, 12.)

Keskuksille täytyy määrittää lyhytaikainen mitoituskestovirta  $I_{cW}$  tai ehdollinen mitoitusoikosulkuvirta  $I_{cc}$ . Näistä, yleensä mitoituskestovirralla, ilmoitetaan oikosulkuvirran arvo, jonka kokoonpano kestää määritetyn ajanjakson. Määritetty mitoituskestovirta voidaan ilmoittaa esimerkiksi ajan arvoilla 0,2 s, 1 s ja 3 sekuntia. Arr-Systems Oy ilmoittaa tämän tavallisesti 1 sekunnin tarkkuudella. Oikosulkuvirran mitoituskestovirran huippuarvo  $I_{pk}$  pitää olla yhtä suuri tai suurempi kuin se järjestelmä, johon sähkökeskus kytketään, jotta se kestää siihen kohdistuvat syöttöverkon aiheuttamat dynaamiset rasitukset. Suositellut oikosulunkestoisuuden arvot 400 V jännitteellä ovat taulukossa 2. (SFS-EN 61439-1 2011, 56.)

Taulukko 2. Oikosulunkestävyyden suositellut arvot 400 V jännitteellä (SFS-käsikirja 640 2016, 61).

Keskuksen mitoitusvirta $I_{nA}$ A	Lyhytaikainen mitoituskestovirta (oikosulkuvirran tehollisarvo keskuksen syöttöliittimissä) $I_{cW}$ 0,3 s tai $I_{cc}$ kA	Mitoituskestovirran huippuarvo $I_{pk}$ kA
$\leq 125^*$	<2,0	<3,0
> 125 $\leq$ 250	5,0	7,5
> 250 $\leq$ 400	6,3	10,7
> 400 $\leq$ 630	12,5	25,0
> 630 $\leq$ 800	16,0	32,0
> 800 $\leq$ 1000	20,0	40,0
> 1000 $\leq$ 1600	25,0	52,5
> 1600 $\leq$ 2000	31,5	66,2
> 2000 $\leq$ 2500	40,0	84,0
> 2500 $\leq$ 3150	50,0	105,0
> 3150	valmistajan ja käyttäjän/tilaajan sopimuksen mukaan	

### 3.3 Tasoituskerroin

Keskuksien mitoittamisessa käytetään tasoituskerrointa vähentämään resursseja tuhaavaa ylimitoitusta. Koska keskuksien kaikkien piirien ei tarvitse kuljettaa mitoitusvirtaa jatkuvasti ja samanaikaisesti, voidaan keskus ja sitä syöttävät kaapelit mitoittaa pienemmiksi.

Jos keskuksen osan liitettävien kuormien tiedetään olevan päällä pitkiä aikoja ja ne kuluttavat lähes tai kokonaan mitoitusvirtansa, käytetään tasoituskerrointa 1. Yleisin tilanne on kuitenkin se, että käytetään taulukon 3 mukaisia arvoja. Tasoituskerroin voidaan laskea myös kaavalla 1, jos keskuksen kaikkien lähtöjen kuormia ei tunneta.

$$k = 0,1 + \frac{0,9}{\sqrt{n}} \quad (1)$$

missä

k on tasoituskerroin

n on varokkeiden lukumäärä

Taulukko 3. Tasoituskertoimien arvoja (SFS-käsikirja 640 2016, 45).

Varokkeiden lukumäärä n	1	2	3	4	5	6	10	12	20
Tasoituskerroin k	1	0,75	0,62	0,55	0,50	0,47	0,38	0,36	0,30

### 3.4 Kotelointijärjestelmä

Yritys käyttää kotelo- ja kennokeskuksien valmistuksessa Suomen johtavan sähkökeskusmekaniikkavalmistaja Finelcomp Oy:n F-sarjan rakenneosia. Markkinoiden monipuolisin kotelointijärjestelmä mahdollistaa lukemattomia kokoonpanoja kaikkien tarpeisiin. (Finelcomp Oy 2022.)

Sähkökeskuksien suunnittelussa täytyy huomioida sähkökeskusmekaniikkavalmistajan ilmoittamat rajat sähköisille ominaisuuksille, jotta lopullinen kokoonpano täyttää kaikki standardien vaatimukset. F-sarjan rakenneosista valmistetut sähkökeskukset kestävät  $\leq 690 \text{ V } U_n$  mitoitusjännitteen ja  $1000 \text{ V}$  eristysjännitettä.

Mitoitusjännite on jännitteen arvo, jonka suunnittelija tai valmistaja on määrittänyt kyseiselle kokoonpanolle. Pintaväleillä ja sähköisillä testijännitteillä viitataan eristysjännitteen arvoon.

Keskuksien sähköiset ominaisuudet määrittävät tarkemmin rakennetaanko keskus kotelo- vai kennokeskukseksi. Keskeisimmässä asemassa ovat tällöin mitoitusvirta  $I_n$ , lyhytaikainen mitoituskestovirta  $I_{cw}$  ja mitoitusvirran huippuarvo  $I_{pk}$ . Näiden raja-arvot löytyvät kuvattuna taulukossa 4.

Taulukko 4. Finelcomp F-sarjan sähköisten ominaisuuksien rajat. (F-sarjan tuotekortti 2022).

SÄHKÖISET OMINAISUUDET	MITOITUSVIRTA $I_n$	LYHYTAIKAINEN MITOITUSKESTOVIRTA $I_{cw}$	MITOITUSVIRRAN HUIPPUARVO $I_{pk}$
KOTELOKESKUKSET	$\leq 1000$ A	$\leq 21,6$ kA	$\leq 42,6$ kA
KENNOKESKUKSET	vaakakiskosto $\leq 3150$ A pystykiskosto $\leq 1000$ A	$\leq 60$ kA	$\leq 132$ kA

### 3.5 Sähkökeskuksen mukana toimitettava dokumentaatio

Sähkökeskuksista on toimitettava asiakkaalle vaatimustenmukaisuusvakuutus, koestuspöytäkirja, sekä valmistuksessa käytetyt dokumentit niin, että niistä selviää tuotannon aikana mahdollisesti tapahtuneet muutokset ja korjaukset. Näiden dokumenttien lisäksi asiakkaalle toimitetaan kojekohtaiset asennus-, käyttö- ja huolto-ohjeet, jotka koostuvat esimerkiksi kokoonpanossa käytettyjen komponenttien mukana tulleista ohjeista. Dokumenteissa pitää myös olla ilmoitettuna seuraavat tiedot:

- virta- ja jännitearvot
- sovellettava SFS-EN 61439 standardi 1–3
- kotelointiluokka
- taajuus
- kokonaimitat (vaadittaessa)

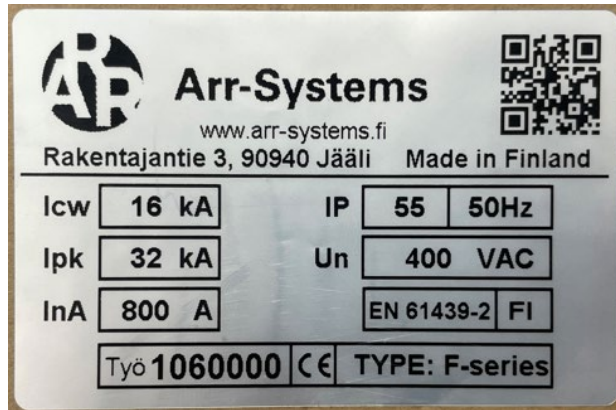
- paino (vaadittaessa)
- sähköiskulta suojaamisen menetelmät
- rakenteen tyyppi
- erityiset käyttöolosuhteet, tarvittaessa
- jakelujärjestelmä johon keskus liitetään
- oikosulkusuojaus.

Keskuksia tulee testauksen jälkeen leimata arvokilvellä. Kilpi täytyy asetella helposti havaittavaan paikkaan ja siinä tulee olla standardin vaatimusten mukaisesti sähkökeskusta koskevat tiedot.

Arvokilvessä on aina oltava alla mainitut tiedot:

- keskuksen valmistajan nimi tai tavaramerkki
- tyyppimerkintä tai tunnistenumero tai muu tunnistustapa, jonka avulla on mahdollista saada projektikohtaiset tiedot kokoonpanon valmistajalta
- keino valmistuspäivämäärän tunnistamiseksi
- standardiosion selvennys, mitä standardia on sovellettu valmistettuun kokoonpanoon
- CE-merkintä varmistamaan, että tuote täyttää EU:n direktiivien mukaiset vaatimukset. Tämä täytyy löytyä sähkölaitteista ja tällä merkinnällä varustettu tuote saa liikkua vapaasti EU:n alueella. (Tukes 2022.)

Suomessa on myös vakiintunut tapa ilmoittaa keskuksien mitoitusarvot ja kotelointiluokka myös arvokilvessä, vaikka kaikissa sähkökeskusstandardeissa ei ole vaadittu niitä. Kuvassa 4 on Arr-Systems Oy:n käyttämä arvokilpi. (SFS-EN 61439-1 2011, 58.)



Kuva 4. Sähkökeskusvalmistajan arvokilpi.

### 3.6 Sähkökeskuksen suojaus

Luku käsittelee sähkökeskusten suojaukseen liittyviä aihealueita. Luvun tarkoituksena on avata lukijalle, kuinka standardinmukaisesti tehty suojaus takaa yleisen työturvallisuuden sekä keskuksien järjestelmien toimivuuden.

#### 3.6.1 Maadoitusjärjestelmä

Maadoitusjärjestelmän keskeisin tehtävä on henkilösuojaus. Maadoitus tarjoaa hallitun ja luotettavan kanavan, jonka kautta vikavirta pääsee maahan. Kaikilla sähkökeskuksilla tulee olla suojajohdin. Suojajohtimen avulla saadaan aikaiseksi syötön automaattinen poiskytkentä, jos joko keskuksessa tai keskuksesta syöte-tyissä piireissä ilmenee vikoja. (SFS-EN 61439-1 2011, 72.) Suojajohtimen mitoitukseen käytettävät poikkipinta-alat ovat taulukossa 5 ja kuparisten suojajohtimien poikkipinta-alat liitteessä 2. (SFS-käsikirja 640 2016, 121.)

Taulukko 5. Suojajohtimien mitoitus. (SFS-käsikirja 640 2016, 158).

Vaihejohtimen minimipoikkipinta-ala $S$ $\text{mm}^2$	Vastaavan suojajohtimen (PE, PEN) minimipoikkipinta-ala $S_p^a$ $\text{mm}^2$
$S \leq 16$	$S$
$16 < S \leq 35$	16
$16 < S \leq 400$	$S/2$
$16 < S \leq 800$	200
$800 < S$	$S/4$

<sup>a</sup> Nollajohtimen virtaan voivat vaikuttaa kuormituksen huomattavat harmoniset yliaallot. Katso 8.6.1

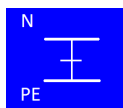
Sähkökeskuksen kotelorunko, asennuslevy, ovi tai kansi ja kaikki sähkökeskuksen jännitteelle alttiit osat kytetään maahan. Normaalit metalliset ruuviliitokset riittävät erillisen maadoitusjohtimen sijasta tietyissä kohteissa, kuten ovissa, kansissa, peitelevyissä ja vastaavissa, jos niihin ei ole asennettu sähkölaitteita. Jos keskuksen kanteen on asennettuna sähkölaitteita, pitää kansi kytkeä maahan maadoitusjohtimella. (SFS-käsikirja 640 2016, 122.)

On tärkeää seurata standardinmukaisia ohjeistuksia maadoituksiin liittyvistä merkinnöistä. Maadoituksessa on kolmenlaisia merkintöjä, jotka täytyy ottaa huomioon sähkökeskuksissa. Nämä erilaiset merkintätavat ovat suojamaadoitusmerkki, nollapiirin ja PE-piirin eriyttämiskohdan merkki ja maadoitusjohtimen liitäntäpaikan merkintä. Sähkökeskuksen kotelo tai tila, jossa rungon suojamaadoitus toteutetaan, merkitään kuvan 5 osoittamalla suojamaadoitusmerkillä. (SFS-käsikirja 640 2016, 17.)



Kuva 5. Suojamaadoitusmerkki.

Jakelujärjestelmissä kuten TN-C, on yhdistetty nolla- ja suojamaadoitusjohdin, jota kutsutaan PEN-johtimeksi. Tällaiseen jakelujärjestelmään liitettävän sähkökeskuksen syöttökohtaan lisätään tämä liitin, ja sen tilan oveen tai kanteen kiinnitetään kuvan 6 mukainen nollapiirin ja PE-piirin eriyttämiskohdan merkki. (SFS-käsikirja 640 2016, 17.)



Kuva 6. Eriytysmerkki

Kuvan 7 mukainen maadoitusmerkki merkitään sen kotelon tai kannen ulkopinnalle, johon päämaadoituskiskolle kytkettävä suojamaadoitusjohdin liitetään keskuksen suojapiiriin. Maadoitusmerkki on neliön muotoinen ja sen sisältämät merkit ovat valkoisia, sinisellä pohjalla. (SFS-käsikirja 640 2016, 17.)



Kuva 7. Maadoitusmerkki

### 3.6.2 Sähkökeskuksen sisäinen johdotus

Keskuksen sisäisten johdinpoikkipinta-alojen oikeinmitoitus on tärkeää laitteiston jatkuvan toiminnan varmistamiseksi. Sillä estetään myös ylikuumenevista johtimista mahdollisesti syntyvät tulipalo- ja komponenttivauriot.

Taulukossa 6 on esitettynä johtimien poikkipinta-alojen mitoituksen ohjeavot. Jos on mahdollista, että johtimen lämpeneminen ylittää johtimen eristeen suurimman sallitun lämpötilan, johdin on mitoitettava kokoa suuremmaksi. Keskus voi tarvita erityiskäyttöolosuhteisiin sopivia tapauskohtaisia toimenpiteitä, jos se menee tilaan, jossa ympäristön lämpötila nousee yli +40 °C, tai sen 24 tunnin keskiarvo ylittää +35 °C rajan. Esimerkkinä tällaisesta toimenpiteestä on lämpöä eristävien materiaalien käyttö. (SFS-EN 61439-1 2011, 60.)

Taulukko 6. Johtimien poikkipinta-alojen mitoitus keskuksien sisäisissä kytkennöissä. (SFS-käsikirja 640 2016, 45).

Johdotus yhdellä johtimella		Johdotus kahdella johtimella	
Kuparijohtimen poikkipinta mm <sup>2</sup>	Kuormitusvirta A	Kuparijohtimen poikkipinta mm <sup>2</sup>	Kuormitusvirta A
1,5	14		
2,5	20		
4	26		
6	33		
10	62		
16	82	2x16	164
25	107	2x25	214
35	135	2x35	270
50	160	2x50	320
70	200	2x70	400
95	245	2x95	490
120	280	2x120	560
150	320	2x150	640
185	365	2x185	730
240	425	2x240	850

### 3.6.3 Ilma- ja pintavälit

Salamaniskujen ja kytkentöjen vuoksi kaikissa verkoissa esiintyy toisinaan transienttilyijännitteitä. Pienjännitelaitteistoissa ylijännitteen määrä yleensä pienee, kun etäisyys syöttöpisteestä kasvaa. Tämän seurauksena sähkökeskuksilla voi olla eri ylijännitetasoja kuten esitettyinä taulukossa 7, riippuen niiden sijainnista sähköverkossa. Ylijänniteluokkien impulssikestoajännitteen tasoista tarkennus liitteessä 3. (SFS-Käsikirja 640 2016, 21.)

Taulukko 7. Ylijänniteluokat. (SFS-käsikirja 640 2016, 21).

Ylijänniteluokka	Kuvaus
Ylijänniteluokka I	Erityisesti suojattu taso (sähkölaitteiden sisällä, ei yleensä keskuksissa)
Ylijänniteluokka II	Kulutuslaitteiden taso (laitteet ja kojeet, ei yleensä keskuksissa)
Ylijänniteluokka III	Jakelupiiritaso (tyypillinen teollisuus- ja kiinteistösovellus)
Ylijänniteluokka IV	Syöttöpisteen taso (asennuksen liittämispiste)

Sähkökeskuksen laitteiden asettelussa on varmistettava, että näille laitteille määritellyt pintavälit, vapaat ilmavälit ja mitoitusyökköykestoajännite  $U_{imp}$  säilyvät normaaleissa käyttöolosuhteissa. Paljaiden johtimien ja liittimien pintaväliden sekä vapaiden ilmaväliden on vastattava vähintään liitteessä 4 annettuja arvoja. (SFS-Käsikirja 640 2016, 119.)

Epänormaalit olosuhteet, kuten oikosulku, eivät saa aiheuttaa pysyviä lyhennyksiä kiskojen tai muiden suoraan laitteeseen liitettyjen yhteyksien (kaapeleita lukuun ottamatta) välisiin etäisyyksiin. Standardissa SFS-EN 61439-1 määritellään vähimmäisilmavälit ja testijännitteet keskuksille, jotka on testattu kestäämään jännitepiikkejä standardin mukaisesti. (SFS-Käsikirja 640 2016, 119.)

#### 3.6.4 Kotelointiluokka

IP-luokitus määrittää, kuinka tehokkaasti keskuksset on suojattu vieraiden esineiden tai veden tunkeutumiselta keskuksen sisäpuolelle. Keskuksset ovat lähtökohdaisesti aina vähintään IP2X, ellei tätä ole erikseen määriteltä. Maallikkokeskuksilla luokka on IP2XC, joka tarkoittaa tarkempaa suojausta työkalulta. (SFS-käsikirja 640 2016, 24.)

Ensimmäinen numero ilmaisee suojausluokan vieraiden esineiden ja pölyn osalta. Toinen numero kuvaa kokonaisuuden suojausta vedeltä. Numeroiden jälkeen voi olla ilmoitettu yksi tai kaksi lisäkirjainta, jotka määrittelevät, kuinka laite on erityisesti suojattu tietyntyyppiseltä koskettamiselta. IP-luokituksen tarkennus on esitetty liitteessä 5. F-sarjasta kasatun sähkökeskuksen kotelointiluokka määritetään asiakkaan tarpeiden mukaisesti IP20 – IP55 väliltä tiivistäviä materiaaleja ja osia käyttäen. (SFS-käsikirja 640 2016, 24.)

#### 3.6.5 Mekaaniset rasitteet

Sähkökeskuksen koteloinnin täytyy kestää SFS-EN 62262 standardissa ilmoitetulla IK-luokituksella määriteltyä iskunkestävyyttä. Sisäkäyttöön tuleva sähkökeskus tulisi kestää ulkopuolelta kohdistuvia iskuja IK07-luokan mukaisesti, joka on noin 2,00 J, kun taas ulkokäyttöön tulevalla sähkökeskuksella tämä on vähintään IK08, joka vastaa 5,00 J. Keskuksen sisäinen suojaus tulisi olla myös riittävä ja tämän luokkana pidetään yleensä luokkaa IK04, joka on iskuenergialta noin 0,5 J. (SFS-Käsikirja 640 2016, 19.)

Asiakkaan keskuksien suojaukseen liittyy aika-ajoin erityisvaatimuksia kohteiden käyttöolosuhteiden mukaan. Keskuksen käyttäjän on toimitettava valmistajalle tieto, jos käyttökohde omaa erityisiä käyttöolosuhteita. Näitä ovat esimerkiksi seuraavat:

- äärimmäiset ilmasto-olosuhteet, jos lämpötila tai ilmanpaine vaihtelee erityisen nopeasti
- ilman epäpuhtaudet kuten paljon esiintyvät pölyt, kaasut tai suolat

- altistuminen vahvoille sähkö- tai magneettikentille
- altistuminen voimakkaalle tärinälle, iskuille, seismisille ilmiöille.

Harvinaisemmissa tapauksissa keskuksia sijoitetaan tiloihin, joissa on palo- tai räjähdysvaara. Tällaiset tilat ovat ATEX-tilaluokiteltuja alueita ja niissä käsitellään tai varastoidaan herkästi syttyviä aineita. Jotta keskus voidaan leimata ATEX-tilaan sopivaksi, täytyy se suojata niin hyvin, että siitä ei missään tapauksessa syty kipinää tai minkäänlaista sähköpurkausta. (Tukes 2022.)

## 4 TYÖPROSESSIN KUVAUS

### 4.1 Tutkimusvaihe

Työprosessi lähti käyntiin tutkimusvaiheella, jolla määriteltiin tehdasohjeen alustava sisältö, sen rajaukset ja tulevaisuuden käyttösuunnitelma. Alustava sisältö määriteltiin ensimmäisissä palavereissa suunnittelijoiden kesken. Ohjeen sisällön kartoittamista varten käytettiin erilaisia metodeja, kuten alustava suunnittelu, henkilöstön haastattelut sekä yrityksen sisäisen tietokannan ja erillisten ohjeistusdokumenttien tutkiminen.

Työn alustavaan tutkimusvaiheeseen kuului myös käydä läpi tehtaassa käytössä olevat standardit ja ohjeistussäädökset sähkökeskuksien valmistukseen liittyen. Tämä katsottiin olevan keskeisessä roolissa siten, että keskuksien lopputuloksista saadaan varmemmin standardinmukaisia, kun työntekijöillä on lähtökohtaisesti jo saatavilla keskeisissä asioissa avustavia tietoja.

Tuotannosta koestukseen siirtyvällä standardinmukaisella sähkökeskuksella välitetään monenlaisia kattavalle yritystoiminnalle vahingollisia aiheita. Näitä ovat tuotteiden takaisinvedot, ylimääräiset kustannukset ja asiakkaan projektin myöhästyminen.

### 4.2 Tehdasohjeen sisältö

Tehdasohjetta määriteltäessä päätettiin työn sisällöstä, asiakokonaisuuksien kattavuudesta ja sen laajennusmahdollisuudesta tehtaassa johdinsarjapuolelle. Kun sisältö oli määritelty, käytettävien dokumenttien ja sisältökokonaisuuksien kerääminen aloitettiin. Tässä vaiheessa tehdasohjeen kirjallinen osuus lähti myös eteenpäin.

Tehdasohjeen sisältö kasattiin keräämällä tietoa ohjeistussäädöksistä, standardeista ja vanhempien asentajien haastatteluiden pohjalta. Yrityksen sisäinen tietokanta osoittautui tehdasohjeen kannalta hyväksi tietolähteeksi ja se toimi isona tekijänä tehdasohjeen sisällön rajaamisessa. Työtä edistäviä erillisiä dokumentteja ja ohjeistuksia saatiin yrityksen sisäisestä järjestelmästä sekä suunnittelijoiden ja tuotannon käytössä olevilta verkkolevyiltä.

Yrityksen tietokannan käyttäminen tehdasohjeen valmistuksessa toi esille, että tietokantaan ei ollut päivitetty uusimpia työskentelytapojen ja käytäntöjen muutoksia. Tämä toi samalla ajantasaiseksi aiheeksi päivittää tietokanta vastaamaan todellisuutta.

#### 4.3 Haastattelut

Työvaiheessa sovellettiin haastatteluiden eri tavoista avointa haastattelua. Avoin haastattelu on vapaamuotoista puheviestintää ja kanssakäymistä, joka rajoittuu asiayhteydessä puhumiseen ja kuuntelemiseen. (Saaranen-Kauppinen & Puusniekka 2006.)

Avoimessa haastattelussa keskustelu ei ole sidottu mihinkään tarkkaan muotoon. Siinä keskustellaan vapaasti tietyn aihepiirin rajoissa, minkä vuoksi se toimii kyseisen aiheen ja hyvän ilmapiirin vuoksi vahvana työkaluna tiedon keräämiselle. (Saaranen-Kauppinen & Puusniekka 2006.)

Haastateltavissa oli pieni määrä yrityksen henkilöstöä, jotka koostuivat suunnittelijoista, asentajista ja muista sähkökeskusten kanssa työskentelevistä henkilöistä. Pitkän kokemuksen omaavien työntekijöiden ajatukset, mielipiteet ja tarpeet rajaavat tällaisessa tapauksessa tehokkaasti työn sisältöä vahvistaen työprosessia niin, että haluttuun päämäärään päästään.

#### 4.4 Laadunvarmistus

Tehdasohjeen lopullisen katselmoinnin suorittivat tehtaanjohtaja ja myyntipäällikkö. Tässä huomattiin työn vaikutukset nykyhetken ja tulevaisuuden tilanteisiin yrityksen toiminnan laajentuessa.

Tehdasohjeen katsottiin olevan tarpeellisen kattava, sillä se määrittelee yleiset periaatteet ja toimintatavat, joita tullaan noudattamaan keskusten valmistuksessa. Tässä huomattiin myös, että tehdasohjetta noudattamalla vältetään aikaa vieviltä epäselvyyksiltä ja näin ollen saavutetaan kustannussäästöjä. Samalla huomioitiin myös tehdasohjeen sopivuus käytettäväksi uusien työntekijöiden perehdytyksessä ja ohjeena.

## 5 TEHDASOHJE

Tehdasohjeen sisältö on määritelty suunnittelutiimin kesken ja sen keskeisin aihe on sähkökeskusten valmistus. Tarkoituksena oli, että siitä löytyisi sähkökeskusten suunnitteluun ja valmistukseen liittyvät käytännöt, standardinmukaiset vaatimukset sekä yrityksen sähkökeskusten valmistukseen liittyvät käytännölliset asiat. Tehdasohjeen sisällysluettelo on sisällytetty liitteeseen 6.

### 5.1 Merkinnot

Sähkökeskusten komponenttien tunnuksia merkitään merkintätarroilla itse laitteeseen sekä asennuslevyyn laitteen välittömään läheisyyteen. Tällä varmistetaan helposti ja nopeasti sähkökuviin merkityn komponentin löytäminen, on se sitten korjaustilanne tai muutostyö. Tämä merkintätapa on yrityksen oma toimintaperiaate, joka kattaa useimpien asiakkaiden vaatimukset. Lähtökohtaisesti asiakas määrittää aina heidän kokoonpanonsa juoksevat laitetunnukset.

Johtimiin merkitään kohdetieto päältä painettavilla merkeillä ja kaapeleihin lisätään mistä-mihin-tieto. Näin nopeutetaan ja selkeytetään työvaiheita, koska kytkennöistä tarvittava tieto ei mene sekaisin. Tästä syystä näiden merkitseminen tehostaa eri työvaiheita ja parantaa turvallisuutta.

Teollisuudessa on olemassa monenlaisia johtoja, jotka mahdollistavat laitoksen oikeaoppisen toiminnan. Monet näistä ovat sähköjohtoja, jotka voivat olla erittäin vaarallisia, jos niitä ei käsitellä oikein. Merkitsemättömien johtimien kanssa työskenteleminen on vaarallista, koska se altistaa työntekijän mahdolliselle sähköiskulle tai mahdolliselle tulipalolle. Merkityt johtimet myös nopeuttavat ja yksinkertaistavat vianmääritystä ja kunnossapitoa, kun työntekijä löytää kytkennöistä tarvittavan tiedon nopeasti.

### 5.2 Sähkökeskusten kilvet

Tehdasohjeessa on eriteltynä kohta keskusten kilpien määrittämisestä. Vakiokilvessä merkkivaloilla, painikkeilla ja keskuksilla on musta teksti valkoisella pohjalla, joka on pohjasta kaiverrettu. Kilven koko mitoitetaan suunnittelijan tai keskusvalmistajan puolesta siihen tulevan tekstin perusteella.

Pääkytkin kilville on erillinen ohjeistus standardin suosituksen mukaisesti, jolla määritetään kilven koko ja ulkoasu. Kilven kokoon vaikuttaa keskuksen nimellisvirran suuruus kuten esitettynä taulukossa 8. Kilven pohjaväri on vakiona sininen, teksti valkoinen ja kirjaimien korkeus tulisi olla vähintään 40 % kilven korkeudesta, ellei tilaajalla ole näihin koskien erityisvaatimuksia. (SFS-käsikirja 154 2002, 22.)

Taulukko 8. Pääkytkin kilven suositellut vähimmäismitat. (SFS-käsikirja 154 2002, 22).

Keskuksen nimellisvirta A	Kilven koko mm
25 ... 160	20 × 50
125 ... 800	40 × 100
630 ... 3000	80 × 200

Sähkökeskuksiin kiinnitetään myös arvokilpi, jonka tulee kattaa standardinmukaiset arvot. Tämän sisältö on eriteltynä tarkemmin luvussa 3.3.

### 5.3 Kaapelointi ja johdotus

Johtimien tunnistaminen ja järkevä sijoittelu on tärkeä osa sähkökeskusten kytkentävaihetta. Näihin asioihin huomion kiinnittäminen parantaa kustannustehokkuutta ja nopeuttaa jälkikäteen tehtäviä tarkasteluja, kunnossapitoa ja muutosten tekemistä.

Sähkökeskusten kokoonpanossa johtimet kytketään seuraavien väriohjeistusten mukaisesti: 230–400V vaihejohtimet johdotetaan mustalla ja nollajohdin vaaleansinisellä. Ohjauspiiri (24-48V DC) kytketään tummansinisellä värillä, jolloin ohjaukset ovat helposti erotettavissa kovasta piiristä. Kelta-vihreä on aina varattu suojajohtimelle. Tästä väryksestä poiketaan projektikohtaisesti vain, jos asiakkaalla on erityisvaatimuksia muuttaa johtimien värit loppuasiakkaan vaatimusten mukaiseksi.

## 5.4 Komponentit

Keskittymällä asiakkaiden eniten hyväksytyihin komponenttivalmistajiin saadaan parannettua varastossa kiertävän materiaalin menekkiä ja pidettyä varaston arvo alempana, kun samoja tuotteita ei varastoida kovin usealta eri valmistajalta. Tämän lisäksi työntekijöiden kokemus näiden valmistajien tuotteisiin kehittyy, nopeuttaen tietynlaisien komponenttien etsintää, asentamista ja koestusta. Kuten kuvasta 8 nähdään, kojetunnukset F1-F8 on merkitty sekä kojeeseen että sen kohdalle asennuslevyyn.



Kuva 8. Komponenttien merkitseminen.

Jos keskuksissa on jännite-eroille herkkiä komponentteja, ne erotellaan suur- ja pienjännitteisiin osa-alueisiin tilallisesti sekä kytkennällisesti irti toisistaan. Johtotuksessa useimmiten riittää, että pienjännitteiset johtimet eivät kulje kouruissa risteävästi suurjännitteisten johtimien kanssa, mutta tietyissä tapauksissa asiakkaan vaatimuksiin kuuluu erotella myös kourut jännitealueittain.

## 5.5 Kotelo- ja kennokeskuksien kasausohjeistus

Tehdasohje sisältää viittaukset ja yleiskokoonpano-ohjeet tehtaan vakiintuneeseen käyttöön valituille Finelcompin F-sarjan kotelo- ja kennokeskuksille. Tämän lisäksi ohjeen mukana on liitteenä myös valmistajan tarkempi asennusohje ja

osaluettelodokumentaatio, varmistamaan jo lähtökohtaisesti standardin mukaisen sähkökeskuksen valmistumisen. Asennusohjeessa on osien kasaussjärjestys ja kiinnitystavat, kiskoston kasaus ja ryhmittämistapa, kotelointiluokkien toteuttamisen ohjeistus ja kuljetukseen liittyvät asiat.

## 5.6 Turvallisuus

Tässä luvussa perehdytään tuotantolaitosten keskeisiin turvallisuuteen liittyviin aiheisiin. Työpaikan pitäminen turvallisena takaa tehtaan pitkäaikaisen tuottavuuden minimoimalla työntekijöille mahdollisesti sattuvat onnettomuudet ja näistä aiheutuvat sairaslomat.

### 5.6.1 Yleinen työturvallisuus

Kukaan ei halua loukkaantua töissä. Kuolemantapaukset, onnettomuudet, vaaratilanteet tai loukkaantumiset ovat tapahtumia, joita yksikään yritys ei halua tapahtuvan henkilöstölleen. Onnettomuuksia kuitenkin sattuu, ja mitä paremmin näihin tilanteisiin on valmistautunut, sitä paremmin riskit voidaan minimoida. Työtaturman riskit dokumentoidaan yrityksen riskien hallinnan yhteenvetolomakkeeseen. (Arr-Systems Oy 2022a.)

Tuotantolaitoksissa käsitellään useita erilaisia työkaluja ja koneita, joilla voi helposti käydä vahinkoja. Huoltamattomat, likaiset ja tärisevät koneet ovat turvallisuusriski käyttäjälle sekä kaikille lähellä oleville henkilöille. Oikeaoppisella kunnossapidolla varmistetaan työkoneiden ja laitteiden luotettava toiminta, ja estetään vakavien vaaratilanteiden syntymiset. Vaaralliset työkoneet tarvitsevat konesuojia ja esteitä, jotta ne voidaan luokitella käyttöturvallisiksi. Nämä suojaavat työntekijöitä laitteiden aiheuttamilta kipinöiltä, puristavilta liikkeiltä ja koneesta lentäviltä roskilta. Laitteiden omilla suojilla estetään pääosin myös itse työntekijän huolimattomuudesta johtuvat tapaturmat.

Työntekijän turvallisuuden takaamiseksi tärkeä jokapäiväinen toimenpide on työtehtävään asiaankuuluvien suojarusteiden käyttäminen. Näiden avulla henkilövahinkoja voidaan välttää helposti ja tehokkaasti. Näitä ovat yleisesti suojalasit

ja kuulosuojaimet, tulityötiloissa kypärät ja suojamaskit. Jos yrityksessä käsitellään kemikaaleja kuten maaleja tai liimoja, on tärkeää olla kemikaalien käsittelyä varten oma ilmastoitu tila ja hengityssuojaimet.

Työntekijöillä täytyy olla mahdollisuus saada säännöllistä koulutusta kaikista laitteista, joilla he voivat joutua tekemään työtehtäviään. Jos koneita päivitetään tai mahdollisesti korvataan uusilla, työntekijän täytyy saada näihin tarvittaessa uusittu käyttö- ja turvallisuuskoulutus.

Työpaikoilla tapahtuvia vammoja tai turvallisuusongelmia ajatellaan useimmiten koostuvan välittömistä vahingoista tai työtapaturmista sattuneista vammoista. Valmistusteollisuudessa on kuitenkin paljon tekijöitä, jotka aiheuttavat vammoja myös ajan myötä. Kun työntekijä tekee paljon samoja toistuvia liikkeitä ja työergonomiaan ei kiinnitetä tarpeeksi huomiota, niistä voi pitemmän aikavälin jälkeen syntyä vakavia vaikutuksia työntekijän elämään. Nämä liikkeet voivat oireilla esimerkiksi jännetuppitulehduksina, rannekanavaoireyhtymänä tai kiertäjänkalvosien oireyhtymänä.

#### 5.6.2 Varoitus- ja ohjemerkinnet tuotantolaitoksessa

Tuotantolaitoksessa tarvitaan täydellistä suunnittelua lattian sijoittelun osalta sen varmistamiseksi, ettei mikään estä hätäuloskäyntejä. Hätätilanteessa kaikkien työntekijöiden on voitava poistua rakennuksesta turvallisesti tai hakeutua suojaan määrättyihin paikkoihin ilman, että heidän on siirrettävä erilaisia tavaroita pois tieltä. Tästä syystä yrityksen tiloissa on keltaisella viivoituksella selvästi merkityt kulkuväylät ja työ- ja tavaransäilytysalueet. Kulkuväylien viivoitustapa on esitetty kuvassa 9.



Kuva 9. Tilojen erotuksen viivoitus.

Ensiapupisteet on merkitty selvästi seinään kylteillä kuten kuvassa 10, ja tuotantolaitoksesta tasaisin välimatkoin löytyviin karttoihin. Ne on merkitty visuaalisesti helposti havaittaviin kohtiin ensiapupisteen yläpuolelle tai tarvittaessa niiden lähelle. Ensiapupisteistä löytyy yleisimmät ensiaputarvikkeet, sekä tiettyihin kohteisiin tarkemmin räätälöityjä välineitä.



Kuva 10. Ensiapupisteen merkintä.

## 5.7 Sähkökeskusten testaus

Sähkökeskusten valmistuttua tuotannosta ne siirretään pakolliseen koestusvaiheeseen. Tässä vaiheessa tarkistetaan keskuksen dokumentit, kytkennät, komponentit ja sähköinen suorituskyky. Testausta ja sen ympäristöä käsitellään standardissa SFS-EN 50191.

Testaus on tuotantolaitoksen viimeinen työvaihe ennen tuotteen pakkausta ja lähetystä asiakkaalle. Vaikka sähkökeskusten testausvaihe onkin pakollinen, se toimii viimeisenä varmistuksena oikeanlaiselle lopputulokselle, jossa korjataan viimeisetkin mahdolliset inhimilliset virheet, jotka on voinut syntyä tuotannon tai suunnittelun aikana. Näin asiakas saa varmasti luotettavan ja toimivan vaatimustenmukaisen tuotteen.

Sähkökeskusten testausalue on mahdollista erottaa väliaikaisesti tai halutessa pysyvästi muusta alueesta. Tehdasohjeessa on esitetty tilanteet, jolloin tämä on tehtävä, kriittisin tilanne on jännitetyönäikainen testaustyö. Erottamalla testausalue varoituskyltin sisältävällä aidalla muusta tilasta, estetään ylimääräisen henkilöstön loukkaantumisriskit silloin, kun jännitteiset osat ovat paljaana ja alttiina kosketukselle. (Niemelä 2014.)

## 5.8 Testauksen vaiheet

Testausprosessi on kattava lopputarkastus, jolla varmistetaan, että kokoonpano on vaatimustenmukainen. Siihen kuuluu 7 pääsaraketta, joista jokaisella on tarkentavat välivaiheet:

- runko
- kiskotus
- suojamaadoitus
- Merkinnät
- kosketussuojaus
- koestus
- piirustukset

Keskuksista tulee tarkastaa sen yleinen koteloointi ja runkoon liittyvät asiat. Näitä ovat kiinnitykset, ovien ja laippojen tiivisteet, yleinen ulkonäkö, saranat ja lukot. Tässä vaiheessa tarkistetaan, että keskus täyttää sille määrätyn IP-luokan vaatimukset.

Sähkökeskuksissa voi olla kiskoja myös muissa tapauksissa kuin kennokeskusten kiskostossa. Kiskot on tarkistettava sen varmistamiseksi, että ne on asennettu määritellyn standardin mukaisesti. Mikä tarkoittaa, että niiden poikkipinnat täytyy olla oikein mitoitettu niille tarkoitetuille kuormille, ilma- ja pintavälit ovat liitteen 4 mukaiset, liitokset on oikein tehty ja kiskot merkitty.

Keskuksen suojamaadoituspiirin toimivuus pitää tarkistaa. Kaikki jännitteelle alttiit osat täytyy olla yhdistettynä suojamaadoituspiiriin ja resistanssi näiden osien ja syöttöpiirin suojajohtimen välillä ei saa ylittää  $0,1 \Omega$ . (SFS-EN 61439-1 2011, 106.)

Suojamaadoituspiirin oikosulunkestävyys täytyy määrittää, jos keskuksen terminen tai dynaaminen nimelliskertovirta ylittää 10 kA. Oikosulunkestävyyttä ei tarvitse määrittää keskuksille tai keskuksien piireille, jotka on suojattu virtaa rajoitavilla laitteilla niin, että oikosulkuvirran huippuarvo ei ylitä syöttöliittimissä 17 kA. Muuntajiin liitettyjen ohjausvirtapiirien oikosulunkestävyyttä ei tarvitse määrittää, jos nimellisteho on enintään 10 kVA, kun nimellinen toisiojännite on vähintään 110 V, tai 1,6 kVA, kun nimellinen toisiojännite on alle 110 V. (SFS-EN 61439-1 2011, 130.)

Keskuksien merkinnät ovat tärkeässä asemassa auttamassa keskuksen kanssa työskenteleviä ihmisiä. Keskuksien merkinnät ja kilvet pitää täsmätä dokumenteissa esitettyjen tietojen kanssa.

Kosketussuojauksella estetään suora kosketus vaarallisiin jännitteisiin osiin. Testauksessa tulee tarkastaa, että kaikki komponentit ovat joko valmiiksi kosketussuojattuja, tai että niihin on tarvittaessa rakennettu kosketussuojaus. Jos kyseessä on kennokeskus tai muuten kiskoja sisältävä kokoonpano niin silloin varmistetaan, että jännitteisiin kiskoihin ei voida koskettaa. Näillä toimenpiteillä taataan turvallinen keskuksen käytönaikainen työskentely.

Testauksessa pitää aina tarkistaa kokoonpanoon liittyvä dokumentaatio. Asennuspiirustukset, pää- ja piirikaaviot ja osaluettelot täytyy käydä läpi ja verrata ne valmistettuun kokoonpanoon. Tässä vaiheessa kokoonpanon mukaan pitää kerätä keskuksen liittyvät dokumentit ja ohjeet.

Keskuksien pää- ja ohjauspiirit pitää käydä dokumentteihin verraten läpi ja tarkistaa johtimien oikea mitoitus. Kytkennät käydään läpi silmämääräisesti ja tarkistetaan jännite- ja jatkuvuustesterillä. Keskuksille suoritetaan jännitetesti ja ne käytetään virrallisena, jolloin varmistetaan sähkölaitteiden toimivuus.

## 6 POHDINTA

Opinnäytetyössä perehdyttiin sähkökeskusvalmistukseen liittyviin standardeihin, vaatimukseen ja yleisen valmistusprosessin kulkuun. Haastatteluiden ja työvaiheiden seuraamisesta ilmeni eri työntekijöille ominaisia työskentelytapoja. Tällöin tehdasohjeella ei lähdetä muuttamaan kenenkään työskentelytapoja, vaan se toimii aputyökaluna pitämään lopputuotteiden pysymisen standardien vaatimusten rajoissa, jolloin säästytään korjaus- ja muutostöistä syntyviltä lisäkustannuksilta.

Työn laajuus ja suunnittelutiimin koosta johtuva työmäärä olivat huomattavia hidastavia tekijöitä työn valmistuksen kannalta. Onnistuin kuitenkin saamaan mielestäni hyvän tiivistetyn tehdasohjeen, jonka teoreettista sisältöä olen itsekin hyödyntänyt moneen otteeseen tehdessäni suunnittelua sähkökeskuksiin.

Lopputuloksena yrityksen sähkökeskusten valmistuspuolelle saatiin noin 21-sivuinen tehdasohje, jota hyödynnetään suunnittelu-, tuotanto- ja koestusvaiheissa työntekijöiden aputyökaluna. Tämä auttaa yleisellä tasolla tasaamaan yrityksen valmistamien tuotteiden laatua, kun poikkeamiin kiinnitetään enemmän huomiota. Tällä on myös positiivinen vaikutus asiakkaiden tyytyväisyyteen ja se vähentää mahdollisten reklamaatioiden määrää. Tehdasohje on yrityksen sisäisessä verkossa sekä joillakin fyysisenä kansiona työpisteellä.

Opinnäytetyöprosessin ansiosta sain perusteellisen käsityksen yleisesti tehtaassa tapahtuvista työvaiheista ja toimintamenettelyistä. Näiden lisäksi yrityksen käytössä olevat eri järjestelmät ja sähkökeskusvalmistukseen tarkoitetut standardit tulivat tutuksi, ja näin myös oma tietämys karttui työhöni liittyvään teoriaan liittyen.

Tehdasohje keskittyy tuotantolaitoksen sähkökeskusten valmistukseen, mutta tulevaisuudessa sen voisi päivittää sisältämään myös johdinsarjapuolen työvaiheet, ohjeistukset ja säädökset. Näin sen voisi kasvattaa kattamaan koko yrityksen Jäälän toimipisteen toiminnan kattavaksi.

## LÄHTEET

Arr-Systems Oy. 2022. Viitattu 14.3.2022. <https://www.arr-systems.fi/>

– 2022a. Riskien arviointi työpaikalla. Tapaturman vaarat. (luottamuksellinen)

Finelcomp Oy. 2022. F-sarjan tuotekortti. Viitattu 14.3.2022 <https://www.finelcomp.fi/files/file/tuotekortit/F-sarja.pdf>

– 2022a. F-sarja. Viitattu 14.3.2022 <https://www.finelcomp.fi/fi/tuotteet/f-sarja/>

IMS. 2021. Yrityksen toiminnanohjausjärjestelmä. (luottamuksellinen)

Niemelä, N. 2014. Sähkökeskuksen valmistus ja testausympäristö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Insinööriyö.

Saaranen-Kauppinen, A. & Puusniekka, A. 2006. KvaliMOTV – Menetelmäope-  
tuksen tietovaranto. Tampere: Yhteiskuntatieteellinen tietoaarkisto.  
[https://www.fsd.tuni.fi/menetelmaopetus/kvali/L6\\_3\\_1.html](https://www.fsd.tuni.fi/menetelmaopetus/kvali/L6_3_1.html)

SFS-EN 61439-1. 2011. Yleisvaatimukset. 1. painos. Helsinki: Suomen standar-  
doimisliitto SFS ry.

SFS-Käsikirja 640. 2016. Sähkökeskukset. 1. painos. Helsinki: Suomen standar-  
doimisliitto SFS ry.

Tukes. 2022. CE-merkintä. Viitattu 14.3.2022 <https://tukes.fi/tuotteet-ja-palvelut/ce-merkinta#8ec99b23>

– 2022a. Räjähdyksivaaralliset tilat. Viitattu 14.3.2022 [https://tukes.fi/teollisuus/ra-  
jahdysvaaralliset-tilat](https://tukes.fi/teollisuus/raja-jahdysvaaralliset-tilat)

## LIITTEET

- Liite 1. Vaaka- ja pystykiskosto kennokeskuksessa
- Liite 2. Kuparisten suojajohtimien poikkipinta-alat
- Liite 3. Ylijänniteluokkien impulssikestojaännitteen tasot
- Liite 4. Ilma- ja pintavälien suositellut vähimmäisarvot mitoituksen lähtöarvoiksi
- Liite 5. IP-Luokitus
- Liite 6. Tehdasohjeen sisällysluettelo (luottamuksellinen)

## LIITE 1 VAAKA- JA PYSTYKISKOSTO KENNOKESKUKSESSA



## LIITE 2 KUPARISTEN SUOJAJOHTIMIEN POIKKIPINTA-ALAT

Mitoitustoimintavirta $I_e$ A	Suojajohtimen poikkipinta-ala $\text{mm}^2$
$I_e \leq 20$	$S^a$
$20 < I_e \leq 25$	2.5
$25 < I_e \leq 32$	4
$32 < I_e \leq 63$	6
$63 < I_e$	10
a S on vaihejohtimen poikkipinta-ala ( $\text{mm}^2$ ).	

## LIITE 3 YLIJÄNNITELUOKKIEN IMPULSSIKESTOJÄNNITTEEN TASOT

Asennuksen nimellijännite <sup>a</sup> V	Laitteille vaadittu impulssiylijännitteen kestävyys kV <sup>b</sup>			
Kolmivaihejärjestelmä	Laitteet asennuksen liittymiskohdassa (yli-jänniteluokka IV)	Pää- ja ryhmäjohtojen laitteet (yli-jänniteluokka III)	Laitteet (yli-jänniteluokka II)	Erityisesti suojatut laitteet (yli-jänniteluokka I)
230/400	6	4	2,5	1,5
400/690	8	6	4	2,5
1000	12	8	6	4
<sup>a</sup> SFS-EN 60038 mukaan <sup>b</sup> Tämä jännite johdetaan äärijohtimien ja suojajohdinpiirin välille.				

LIITE 4 ILMA- JA PINTAVÄLIEN SUOSITELLUT VÄHIMMÄISARVOT MITOITUKSEN LÄHTÖARVOIKSI

	Välit eri jännitealueilla ja likaantumisasteilla mm									
Jännitealue V	≤50	>50≤250			>250≤400			>400≤690		
Väli	ilma- ja pinta- välit	ilmaväli	pinta- väli		ilmaväli	pintaväli		ilmaväli	pintaväli	
Likaantumisaste			2	3		2	3		2	3
1 Erinapaisten jännitteisten osien välillä, myös luokan II laitteissa	2	3	3	4	4	4	6,3	6	6,3	10
2 Jännitteisten osien ja jännitteelle alttiiden kosketeltavien metalliosien välillä	2	3	3	4	4	4	6,3 (4)	6	6,3	10 (6,3)
3 jännitteisten osien ja takaa avoimen asennuspinnan välillä <sup>1)</sup>	2	6	6	8	8	8	12,6	12	12,6	20
1) Luokan II keskus ei voi olla takaa avoin										

## LIITE 5 IP-LUOKITUS

Ensimmäinen numero	Toinen numero	Vapaaehtoisella lisäkirjaimella A – D ilmoitetaan, miten laite on erityisesti suojattu kosketamiselta
Laite on suojattu vieraiden esineiden ja pölyn sisäänpääsystä seuraavasti:	Laite on suojattu veden sisäänpääsyn haitallisilta vaikutuksilta seuraavasti:	A Suojattu nyrkiltä
0 Suojaamaton	0 Suojaamaton	B Suojattu sormelta
1 Kun esineen halkaisija on yli 50 mm	1 Pystysuoraan tippuvalta vedeltä	C Suojattu työkalulta
2 Kun esineen halkaisija on yli 12,5 mm	2 Tippuvalta vedeltä (+/- 15 astetta)	D Suojattu langalta
3 Kun esineen halkaisija on yli 2,5 mm	3 Satavalta vedeltä (+/- 60 astetta)	
4 Kun esineen halkaisija on yli 1,0 mm	4 Roiskuvalta vedeltä	
5 Pölysuojattu	5 Vesisuihkulta (joka suunnasta)	
6 Pölytiivis	6 Voimakkaalta vesisuihkulta	
	7 Lyhytaikaisesti upotettuna	
	8 Jatkuvasti upotettuna	
	9 Korkeapaineiselta ja kuumalta vesisuihkulta	