

Niko Niemelä

# Sähkökeskuksen valmistus ja testausympäristö

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkövoima tekniikka

Insinöörityö

22.3.2014

Tekijä Otsikko  Sivumäärä Aika	Niko Niemelä Sähkökeskuksen valmistus ja testausympäristö  33 sivua 22.3.2014
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	sähkövoimatekniikka
Ohjaajat	tekninen johtaja Ilpo Häkkinen lehtori Katriina Schrey-Niemenmaa
<p>Tässä insinööriyössä tutustutaan sähkökeskusten valmistusta koskeviin standardeihin. Työssä tehdään Saku-Tek:in käyttöön ohjeet, jotka kasaavat tärkeimmät tiedot standardeista asentajien ja suunnittelijoiden käyttöön. Lisäksi testauspaikan työturvallisuuteen liittyvät asiat käydään läpi ja parannetaan yrityksen testauspaikan turvallisuutta.</p> <p>Työn aiheen lähtökohtana on kiinnostus saada keskusvalmistus sertifioitua ja selvittää, mitä tämä vaatisi yrityksen toiminnan muuttamisessa. Uusi sähkökeskus standardisarja SFS-61439 tulee voimaan marraskuussa 2014 ja haluttu selvittää uusien standardien ja nykyisen tekemisen kohtaaminen. Työtä aloitettiin tutustumalla nykyiseen keskusvalmistukseen ja löytämällä mahdollisia ongelmakohtia.</p> <p>Työn tuloksena saatiin yritykselle tiivistelmä tärkeimmistä standardeista koskien sähkökeskuksia ja testauspaikkaa. Lisäksi yritykselle saatiin uudet tarkastuspöytäkirjat, arvokilvet ja suunnitelma uudesta turvallisesta testausympäristöstä. Lisäksi saatiin kasattua kaikki vanhat ohjeistukset yhdeksi päivitetiksi paketiksi.</p>	
Avainsanat	Sähkökeskus ja testausympäristö

Author Title	Niko Niemelä Electric Cabinet Manufacture and Testing Area
Number of Pages Date	33 pages 22 March 2014
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electric Power Engineering
Instructors	Ilpo Häkkinen, Technical expert Katriina Schrey-Niemenmaa, Senior Lecturer
<p>This Bachelor's thesis introduces the manufacturing standards of electrical centers. The thesis is based on instructions made for Saku-Tek. The instructions gather the most important information regarding standards for the use of electricians and designers. In addition, safety-related issues regarding the testing-area will be reviewed, and the company's testing-area safety will be improved.</p> <p>The topic of the thesis is based on the interest of getting central production certified, and to find out what type of changes this would require in the company's operations. The new set of standards for electrical centers SFS-61439 will come into use in November 2014 and this study will clarify where and how the new and current standards meet. The thesis work began by getting acquainted with the current manufacturing and finding possible problem areas.</p> <p>As a result of the thesis, a summary was made for the company of the most important standards regarding electrical centers and testing-areas. In addition the company got a new set of inspection records, new rating plates and also a plan for a new and safer testing environment. Furthermore, all of the old regulations were put together into one updated package.</p>	
Keywords	Electric center and testing-area

## Sisällys

Tiivistelmä

Abstract

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Sähkökeskuksen valmistusstandardit	2
2.1	Sähkökeskuksen merkintä ja dokumentointi	2
2.1.1	Sähkökeskuksen arvokilpi	2
2.1.2	Kojeiden merkintä	3
2.1.3	Keskuksen käsittely-, asennus-, käyttö- ja huolto-ohjeet	4
2.2	Oikosulkuvirrat	5
2.2.1	Prospektiivinen oikosulkuvirta	5
2.2.2	Mitoituskestovirran huippuarvo	6
2.2.3	Lyhytaikainen mitoituskestovirta	7
2.2.4	Ehdollinen mitoitusoikosulkuvirta	7
2.3	Oikosulkusuojaus	7
2.3.1	Sulake oikosulkusuojauksena	8
2.3.2	Katkaisija oikosulkusuojauksena	10
3	Sähkökeskuksen lämpenemä	12
3.1	Lämpenemän todentaminen testivirralla	13
3.2	Lämpenemä arvojen johtaminen samanlaisille rakenteille	14
3.3	Lämpenemän laskeminen	15
4	Sähkökeskuksen rakentaminen	17
4.1	Komponenttien sijoittelu	17
4.2	Johdotus ja liitännät	17
4.3	Virtakiskosto	19
5	Sähkökeskuksen kappaletarkastukset	19
5.1	Suojaus sähköiskulta ja suojapiirien jatkuvuus	21
5.2	Sähköpiirit ja liitokset	22
5.3	Sähköiset ominaisuudet	23

5.4	Johdotus, käyttökunto ja toiminta	24
6	Sähkökeskuksen testausympäristö	25
6.1	Testauspaikka automaattisella suojauksella koskettamiselta	25
6.2	Testauspaikka ilman automaattista suojausta kosketukselta	26
6.3	Testaushenkilöstö	27
7	Sähkökojeiston testauslaitteisto	28
7.1	Suojaerotusmuuntaja	29
7.2	Hätä-seis-laitteisto	30
8	Yhteenveto	31
	Lähteet	33

## 1 Johdanto

Tässä Insinööriyössä käsitellään sähkökeskuksen rakentamista ja standardissa annettuja vaatimuksia, merkinnän, dokumentaation, oikosulkuvirtojen, oikosulkusuojauksen, sijoittelun, johdotuksen, virtakiskoston sekä keskuksen tarkastuksen osalta. Työssä on tarkoituksena luoda Saku-Tek Oy:lle keskus käsikirja, millä ohjeistetaan asentajia työskentelemään yrityksen tavan mukaisesti. Yritykselle myös suunnitellaan turvallinen keskuksen testausympäristö.

Sanoista sähkö, automaatio ja kunnossapitotekniikka muodostuva yrityksen nimi Saku-Tek Oy on perustettu vuonna 1996. Vuonna 2008 yrityksestä tuli osa suomalaista Päähöyry-konsernia. Saku-Tek työllistää 20 sähkö- ja mekaniikka kunnossapidon ammattilaista. Yrityksessä toimii teollisuuskäyttöön tarkoitettujen sähkökeskusten kokoonpano- ja suunnitteluosasto.

Insinööriyön tavoite on dokumentoida Saku-Tekin keskusvalmistus kolmannen osapuolen sertifiointia varten. Keskusvalmistusta koskeva standardi SFS-60439 on vanhentumassa ja marraskuussa 2014 astuu voimaan uusi SFS-61439 standardisarja. Työssä selvitetään uuden standardisarjan vaatimuksia valmistukseen. Keskusvalmistuksen sertifiointissa tarkastellaan myös sähkökeskusten tarkastamista ja siihen tarkoitettun alueen sähkötyöturvallisuutta. Yrityksen muutettua uusiin toimitiloihin tuli tarve rakentaa valmistus- ja testausalueet uudelleen.

## 2 Sähkökeskuksen valmistusstandardit

Sähkökeskuksia käsittelee IEC 61439 standardisarja. Sarjassa on kuusi osaa, joista ensimmäinen osa on IEC 61439-1, jossa osassa käsitellään yleisvaatimuksia keskusvalmistukselle. Lisäksi sarjaan kuuluu seuraavat standardit:

- IEC 61439-2: Pienjännitekeskukset - ammattikäyttöön tarkoitetut kojeistot
- IEC 61439-3: Pienjännitekeskukset - maallikkokäyttöön tarkoitetut jakokeskukset
- IEC 61439-4: Pienjännitekeskukset - työmaakeskukset
- IEC 61439-5: Pienjännitekeskukset - Jakeluverkkokeskukset
- IEC 61439-6: Pienjännitekeskukset – Jakelukiskot. [1, s. 22.]

Näissä standardeissa sovelletaan yleisvaatimuksia kutakin käyttökohdetta varten. Tässä työssä käsitellään neljää ensimmäistä standardia, koska yrityksen keskusvalmistus painottuu näille osa-alueille.

### 2.1 Sähkökeskuksen merkintä ja dokumentointi

Keskuksen valmistaja voi toimittaa keskuksen tietoja arvokilvessä, piirustuksissa tai muissa keskuksen dokumenteissa. Keskusta koskevien dokumenttien täytyy olla helposti saatavilla.

#### 2.1.1 Sähkökeskuksen arvokilpi

Keskuksen valmistajan on asennettava keskukseen vähintään yksi arvokilpi. Arvokilven tulee sijaita siten, että se on luettavissa keskuksen ollessa asennettu ja käytössä. Arvokilven tulee olla kulutusta kestävä. Kilpi tulee valmistaa valamalla, puristamalla, kai-vertamalla tai muulla vastaavanlaisella tavalla. Muita valmistus tapoja käytettäessä kilven kestävyys tulee testata standardin määrittämällä tavalla. [1, s. 58.]

Seuraavat keskusta koskevat tiedot on annettava arvokilvessä (arvokilvissä):

- Keskuksen valmistajan nimi tai tavaramerkki
- tyyppimerkintä, tunnusnumero tai muu tunnistamistapa, jonka avulla on mahdollista saada keskusvalmistajalta tarpeellisia tietoja
- Valmistusajankohdan tiedot
- käytetyn standardin nimi esim. IEC-61439-X (määrätty osa "X" on merkittävä)

Asianomainen keskus standardi voi määritellä, jos arvokilvessä pitää olla lisätietoja. [1. s. 58.]

Kuvassa 1 nähdään Saku-Tekin arvokilpi:



Kuva 1. Saku-Tekin arvokilpi

Maallikkokäyttöön tarkoitetuissa jakokeskuksissa tulee standardin IEC 61439-3 mukaan ilmoittaa lisäksi keskuksen mitoitusvirta sekä IP-luokka, jos se on suurempi kuin IP2XC. Tämän takia onkin hyvin yleinen tapa ilmoittaa aina arvokilvissä kyseiset arvot. Jakokeskusten arvokilpien ei tarvitse täyttää aiemmin määriteltyä kulutuksen kestävyyttä, ellei keskusta ole tarkoitettu ulkokäyttöön.

### 2.1.2 Kojeiden merkintä

Keskuksen laitteiden ja piirien tulee olla tunnistettavissa. Merkintöjen tulee olla yhdenmukaisia johdotuskaavioiden kanssa. Lisäksi kojeiden käyttöasennot tulee olla helposti havaittavissa ja tunnistettavissa. Myös merkkilamppujen ja painonappien värien pitää olla standardin mukaisia



Taulukko 1. Painikkeiden sekä valojen yleisesti käytetyt värit [2, s. 20]

Värit	Merkitys		
	Henkilöiden tai ympäristön turvallisuus	Prosessiolosuhteet	Laitteen tila
Punainen	Vaara	Hätätilanne	Viallinen
Keltainen	Varoitus/huomio	Epänormaali	Epänormaali
Vihreä	Turvallinen	Normaali	Normaali
Sininen	Merkitsee pakollisuutta		
Valkoinen Harmaa Musta	Mitään erityistä merkitystä ei anneta		

Taulukossa 1 on esitetty standardin SFS-EN 60073 määrittelemät yleiset periaatteet värien merkitykselle informaation esitykseen. Halutessaan keskuksen tilaaja voi myös määrittää omia vaatimuksia keskuksen komponenttien merkitsemiseen. Merkinnot tulisi myös tehdä niin, että ne kestävät kulutusta ja ovat vaihdettavissa komponentin vaihdon yhteydessä.

### 2.1.3 Keskuksen käsittely-, asennus-, käyttö- ja huolto-ohjeet

Keskuksen valmistajan on annettava keskuksen dokumenteissa keskusta ja keskuksen asennettujen komponenttien ja laitteiden käsittely-, asennus-, käyttö- ja huolto-ohjeet, joista tulee ilmetä mahdolliset menettelyt, jotka ovat erityisen tärkeitä oikealle kuljetukselle, käsittelylle, asennukselle ja käytölle. Nämä ohjeet voidaan antaa liittämällä keskuksen dokumentteihin keskuksen ja keskuksen asennettujen komponenttien ja laitteiden mukana tulleet ohjeet. Myös keskuksen yksityiskohtainen paino on erittäin tärkeä kuljetuksen ja käsittelyn kannalta.

Ellei piirien rakenne ole selkeä laitteen fyysisen rakenteen perusteella tulee keskuksen mukana toimittaa tarvittavaa tietoa, esim. johdotuskaavioita tai -taulukoita. Tällä varmistetaan, että on mahdollista tunnistaa ja selvittää keskuksen yksittäiset piirit ja niitä suojaavat suojalaitteet. Käytettäviä merkintöjä määritellään standardeissa IEC 61346-1 ja IEC 61346-2 sekä johdotuskaavioiden vaatimukset on esitelty standardissa IEC 61082-1.

## 2.2 Oikosulkuvirrat

Vikatilanteissa voi tapahtua oikosulku, josta voi syntyä suuriakin oikosulkuvirtoja. Keskuksen tulee kestää sille määritetyn oikosulkuvirran aiheuttamat termiset ja dynaamiset rasitukset.

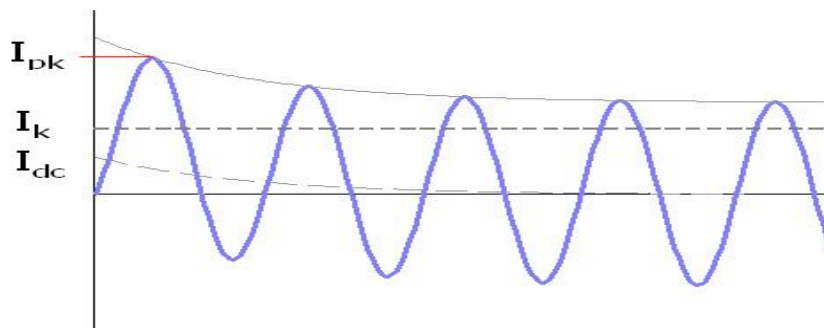
Keskukselle, jossa oikosulkusuoja on sen syöttöyksikössä, annetaan prospektiivisen oikosulkuvirran suurin sallittu arvo syöttöyksikön liittimissä. Tämä arvo ei saa olla suurempi kuin keskukselle määritetty mitoituskestovirran huippuarvo, lyhytaikainen mitoituskestovirta tai ehdollinen mitoitusoikosulkuvirta.

Jos keskus on varustettu aikahidastettua laukaisua käyttävällä katkaisijalla, valmistajan on annettava prospektiivista oikosulkuvirtaa vastaava suurin sallittu aikaviive ja virta-asettelu.

Ellei keskuksen oikosulkusuoja sijaitse sen syöttöyksikössä, oikosulkukestävyys täytyy antaa määrittämällä lyhytaikainen mitoituskestovirta yhdessä siihen liittyvällä kestoajalla ja mitoitusvirran huippuarvolla tai antamalla ehdollinen mitoitusoikosulkuvirta.

### 2.2.1 Prospektiivinen oikosulkuvirta

Prospektiivinen oikosulkuvirta,  $I_{cp}$  on virran tehollisarvo, joka syntyy piirin johtimiin, kun ne oikosuljetaan merkityksettömän pienellä impedanssin arvolla niin läheltä kuin mahdollista keskuksen syöttöliittimiä. Kuvassa 2 havainnollistetaan prospektiivisen ( $I_k$ ) ja dynaamisen oikosulkuvirran ( $I_{pk}$ ) käyttäytymistä oikosulkutilanteessa:



Kuva 2. Oikosulkuvirrat [3]

Keskuksen suunnitteluvaiheessa on tärkeää tietää keskuspaikalla oleva prospektiivinen oikosulkuvirta. Tämän virran avulla voidaan laskea mitoituskestovirran huippuarvo. Näin voidaan välttyä keskuksen ylimitoitukselta ja vähentää keskuksen kokonaiskustannuksia. Uusissa rakennuskohteissa vaaditaan suunnitteluvaiheessa jo alustavaa oikosulku- ja vikavirtalaskelmaa. Rakennuksen liittymäpisteen oikosulkuvirran saa paikalliselta energiayhtiöltä. Saneeraus- ja laajennustyömaille asennuspaikan oikosulkuvirran saaminen ei kuitenkaan aina ole mahdollista. Ilman asiakkaan muuta ilmoittamatta voidaan ohjearvona pitää taulukon 2 mukaisia arvoja:

Taulukko 2. Oikosukkestävyyden suositellut vähimmäisarvot 400 V jännitteellä [4, s.58]

Keskuksen nimellisvirta	Terminen nimelliskestovirta	Dynaaminen nimelliskestovirta
A	kA	kA
≤ 125	< 5,0	< 7,5
> 125 ≤ 250	5,0	7,5
> 250 ≤ 400	6,3	10,7
> 400 ≤ 630	12,5	25,0
> 630 ≤ 800	16,0	32,0
> 800 ≤ 1 000	20,0	40,0
> 1 000 ≤ 1 600	25,0	52,5
> 1 600 ≤ 2 000	31,5	66,2
> 2 000 ≤ 2 500	40,0	84,0
> 2 500 ≤ 3 150	50,0	105,0
> 3 150	Valmistajan ja käyttäjän / tilaajan sopimuksen mukaan	

### 2.2.2 Mitoituskestovirran huippuarvo

Mitoituskestovirran huippuarvo eli dynaaminen oikosulkuvirta altistaa laitteet mekaanisille voimille, ja laitteiden tulee kestää nämä voimat rikkoutumatta. Tämä virta on suurin hetkellinen virta oikosulussa, ja se syntyy jo n.10 ms:n kuluttua oikosulusta. Mitoituskestovirran huippuarvo voidaan määrittellä kertomalla kertoimella n oikosulkuvirran tehollisarvo. Kertoimen n arvot voidaan lukea taulukosta 3.

Taulukko 3. Mitoituskestovirran huippuarvon kertoimet [1, s. 150]

<b>oikosulkuvirran tehollisarvo kA</b>	<b>cos <math>\phi</math></b>	<b>n</b>
$I \leq 5$	0,7	1,5
$5 < I \leq 10$	0,5	1,7
$10 < I \leq 20$	0,3	2
$20 < I \leq 50$	0,25	2,1
$50 < I$	0,2	2,2

### 2.2.3 Lyhytaikainen mitoituskestovirta

Lyhytaikainen mitoituskestovirta  $I_{cw}$ , eli terminen oikosulkuvirta on keskusvalmistajan ilmoittama virran arvo, yleensä yhden sekunnin ajalle, jonka keskuksen virtapiiri kestää vahingoittumattomana. Jos aika on lyhyempi kuin yksi sekunti, tulee keskusvalmistajan ilmoittaa lyhytaikaisen mitoituskestovirran arvo sekä sitä vastaava aika. Oikosulkuvirran ylittäessä terminen oikosulkuvirran, alkaa keskuksen eristimien mahdollinen liika lämpeneminen.

### 2.2.4 Ehdollinen mitoitusoikosulkuvirta

Ehdollinen oikosulkuvirta on prospektiivisen oikosulkuvirran tehollisarvo, johon keskuksen suojalaitteet virran rajoittaa. Sulake suojauksen yhteydessä käytetään tunnusta  $I_{cf}$  ja katkaisijan ollessa suojaava komponentti käytetään tunnusta  $I_{cc}$ . Suojalaitteiden tulee kuitenkin sijaita keskuksen ulkopuolella, koska keskukselle ilmoitettu oikosulkuvirran arvo ilmoitetaan keskuksen syöttöliittimissä esiintyvän oikosulkuvirran arvon mukaisesti. Keskuksen valmistajan tulee tällöin ilmoittaa oikosulkusuojien tarkemmat arvot.

## 2.3 Oikosulkusuojaus

Keskuksia tulee suojata oikosulkuvirroilta käyttäen katkaisijaa, sulakkeita tai näiden yhdistelmiä. Suojat voivat sijaita keskuksen sisällä tai sen ulkopuolella. Näillä suojilla voidaan rajoittaa keskuksessa tapahtuvia oikosulkurasituksia. Keskuksen valmistajan tulee antaa keskusta suojaamaan tarvittavien oikosulkusuojien arvot.

Paras oikosulkusuojaus saavutetaan silloin, kuin pystytään vikatilanteessa erottamaan turvallisesti vain vikaantunut piiri. Näin yhden piirin vikaantuessa muut piirit pystyvät

toimimaan normaalisti. Joskus on kuitenkin tarkoitus saada parannettua oikosulkuvirran katkaisukyky sijoittamalla suojalaitteita sarjaan.

Jos oikosulkusuojia on sijoitettu sarjaan ja niiden on toimittava samanaikaisesti, jotta saavutetaan korkeampi katkaisukyky niin sanottu *back-up*-suojaus. Tulee keskuksen valmistajan ilmoittaa käyttäjälle, että yhtäkään suojalaitetta ei saa korvata muulla kuin samantyyppisellä ja samat arvot omaavalla. Muissa tilanteissa koko yhdistelmän katkaisukyky saattaa vaarantua.

### 2.3.1 Sulake oikosulkusuojauksena

Sulake on yleisin käytetty oikosulku- ja ylivirtasuoja, sen edullisen hinnan ja helppokäyttöisyyden vuoksi. Sulakkeen toiminta perustuu sen sisällä olevaan vastuslankaan, jonka läpi virta kulkee. Vastuslanka on mitoitettu kestämään tietyn suuruisia virtoja ja näin ollen, kun virta kasvaa niin lanka alkaa kuumentua voimakkaasti ja sulaa lopulta poikki, jolloin virtapiiri katkeaa. Sulakkeen sisälle laitetaan useasti hiekkaa, joka nopeuttaa sulakkeen toimintaa sammuttaen valokaaren.

Sulakkeiden tyyppi merkintänä käytetään taulukon 4 mukaisia kirjaimia. Ensimmäisellä kirjaimella kuvataan sulakkeen katkaisukykyä ja toisella kirjaimella käyttöluokkaa. Yleisin sulake on gG-sulake, joka soveltuu hyvin niin teollisuuden kuin kotitalouksien käyttöön.

Taulukko 4. Sulakkeiden kirjainmerkinnät

<b>Ensimmäinen kirjain</b>
<b>g</b> katkaisukyky käsittää koko virta-alueen
<b>a</b> katkaisukyky käsittää tietyn osa-alueen
<b>Toinen kirjain</b>
<b>G</b> yleiskäyttö
<b>M</b> moottoripiirinsuojaus
<b>R</b> puolijohdesuojaus
<b>D</b> aikahidastettu sulake
<b>N</b> aikahidastamaton sulake

Sulakkeita on monia erilaisia malleja, joista yleisin malli on tulppasulake. Muita yleisiä malleja ovat mm. kahvasulake ja lasiputkisulake. Kahvasulakkeita käytetäänkin suurien

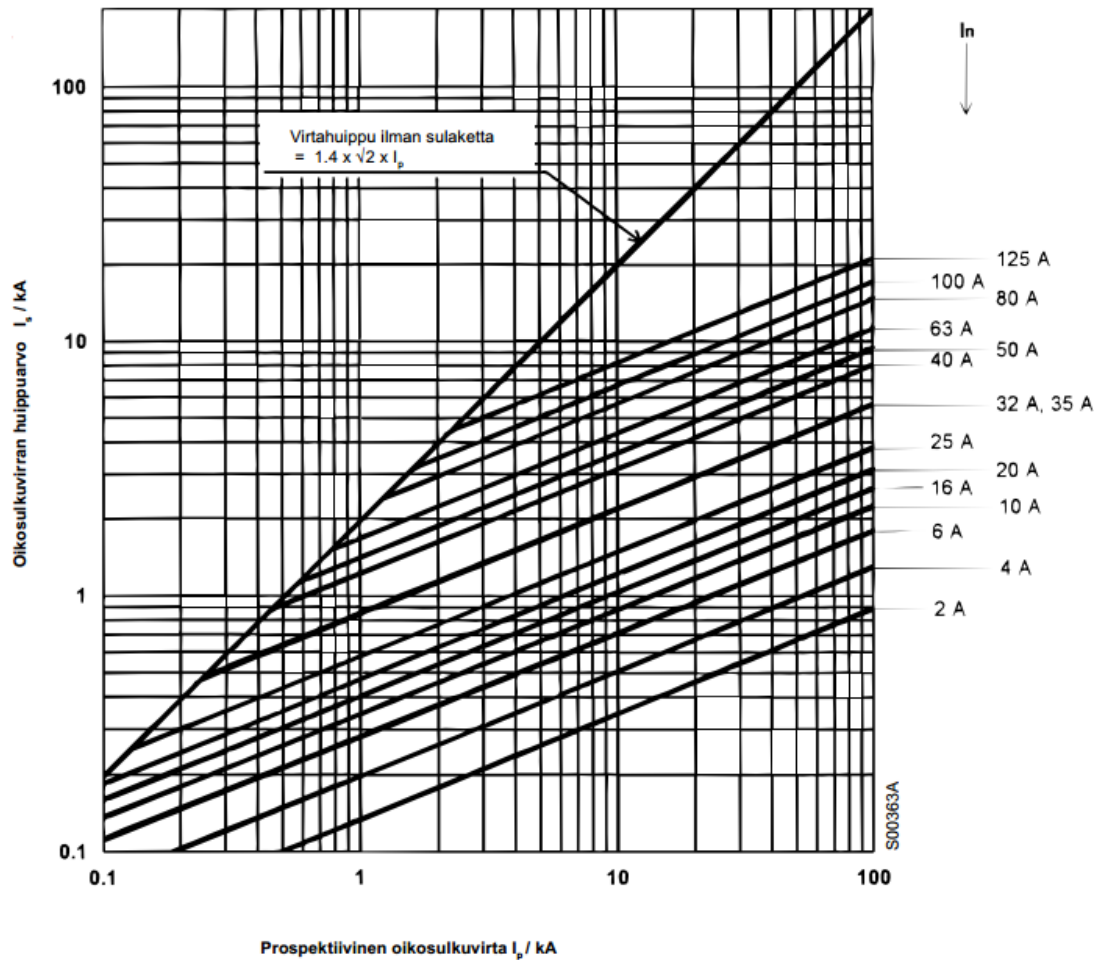
virtojen kanssa, kun taas lasiputkisulakkeita käytetään useasti mittauksien etusulakkeena sekä laitteiden sisällä niiden pieneen vuoksi.

Sulakkeet vaativat myös sulakepohjan ja kosketussuojaimet estämään suoraa kosketusta jännitteellisiin osiin. Sulakkeiden koot on määritetty standardeissa niiden nimellisvirtojen mukaan. Kahvasulakkeiden koot ja nimellisvirta-alueet ovat nähtävissä taulukossa 5:

Taulukko 5. kahvasulakkeiden koko ja virta-alue

Koko	Nimellisvirta-alue A
00	6 - 160
0	6 - 160
1	80 - 250
2	125 - 400
3	315 - 630
4	500 - 1 000
4a	500 - 1 250

Keskukset suojataan lähes aina keskusta syöttävän kaapelin päästä. Näissä tapauksissa voidaan antaa ehdollinen mitoitusoikokuluvirta, johon suojalaitteet oikosulkuvirran rajoittavat. Keskuksen nimellinen mitoitusvirta on 63 A, ja se suojataan 63 A:n gG-sulakkeilla. Tällöin kuvasta 3 näemme kuinka sulake rajoittaa 50 kA:n prospektiivisen oikosulkuvirran 8 kA:iin. Tässä tapauksessa voidaan merkitä keskuksen arvokilpeen  $I_{cf} = 8 \text{ kA}$ , gG-63 A.



Kuva 3. gG-sulakkeen oikosulkuvirran rajoitus [5, s.8]

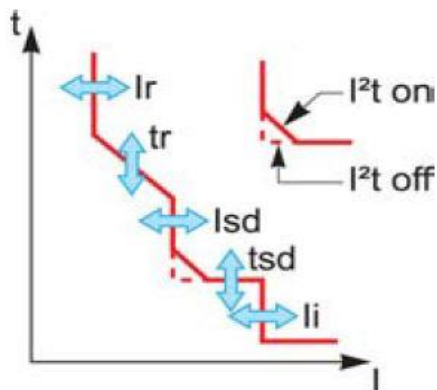
### 2.3.2 Katkaisija oikosulkusuojauksena

Katkaisija tunnetaan myös nimellä *compact*, joka on nykyaikainen ja muunneltavissa oleva suojausmenetelmä. Katkaisijat rakennetaan käyttökohteen sekä tarvittavien ominaisuuksien mukaan erilaisista osista. Katkaisija koostuu mekaanisesta katkaisijasta eli runko-osasta sekä erilaisista lisäosista esim. suojareleestä, alijännittekela, apukärjistä ja väyläliitynnöistä. Runko-osan valintaan vaikuttavat käytön nimellisarvot sekä haluttu katkaisukyky. Runkoja on kolme- ja neljänapaisia. (Kuva 4.) Eräällä valmistajalla on runkokokoja aina 3 200 A asti.



Kuva 4. Compact-katkaisijan runko-osa [6]

Runko-osaan on saatavilla oikosulkusuojauksena toimivina erilaisia suojareileitä joko termomagneettisina tai elektronisina. Käyttökohteesta riippuen valittavissa suojareileissä on useita säädettävissä olevia virta-arvoja. Kuvassa 5 on nähtävissä elektroninen suojareile, joka asennetaan *compactin* runkoon ja jossa on säädettävissä olevat virta-arvot. Suojareileillä voidaan lisäksi mitata jännitettä, virtaa, tehokerrointa ja tehoa. Lisäksi katkaisijoissa voidaan käyttää väyläohjausta ja lukea mitattavia arvoja väylän avulla.



$I_r$  on pitkäaikainen ylivirtalaukaisu

$t_r$  ja  $t_{sd}$  ovat ylivirtasuojauksen aikaviiveet

$I_{sd}$  on lyhyt aikainen ylivirtasuojaus

$I_i$  on pikalaukaisu



Kuva 5. Elektroninen suojareile [6]

Katkaisijat ovat siis ominaisuuksiltaan huomattavasti tavallista sulaketta monipuolisempia ja tarkempia. Tästä syystä katkaisijat ovatkin hyvin yleisiä teollisuuden erilaisissa käyttökohteissa.



### 3 Sähkökeskuksen lämpenemä

Komponenttien ja johtimien liitosten ylimenovastuksien, johtavien osien resistanssien ja muiden vastaavien syiden vuoksi syntyy häviöitä, jotka aiheuttavat keskuksen lämpenemistä. Laitteissa kuten taajuusmuuttajissa, muuntimissa ja PLC-laitteissa syntyy sähköistä häviötä, joka muuttuu lämpöenergiaksi ja aiheuttaa keskuksen lämpenemää. Tämä lämpenemä poistuu keskukselta johtamalla keskuksen rakenteista sekä ilmavirran avulla.

Keskuksen lämpenemä ei saa vaurioittaa keskuksen virtaa johtavia osia tai niiden läheisyydessä olevia komponentteja. Eriste aineiden mahdollinen liika lämpeneminen saattaa aiheuttaa niiden uudelleen muovautumista tai jopa tuhoutumista, tästä saattaa aiheutua tulipaloja ja mittavia vahinkoja.

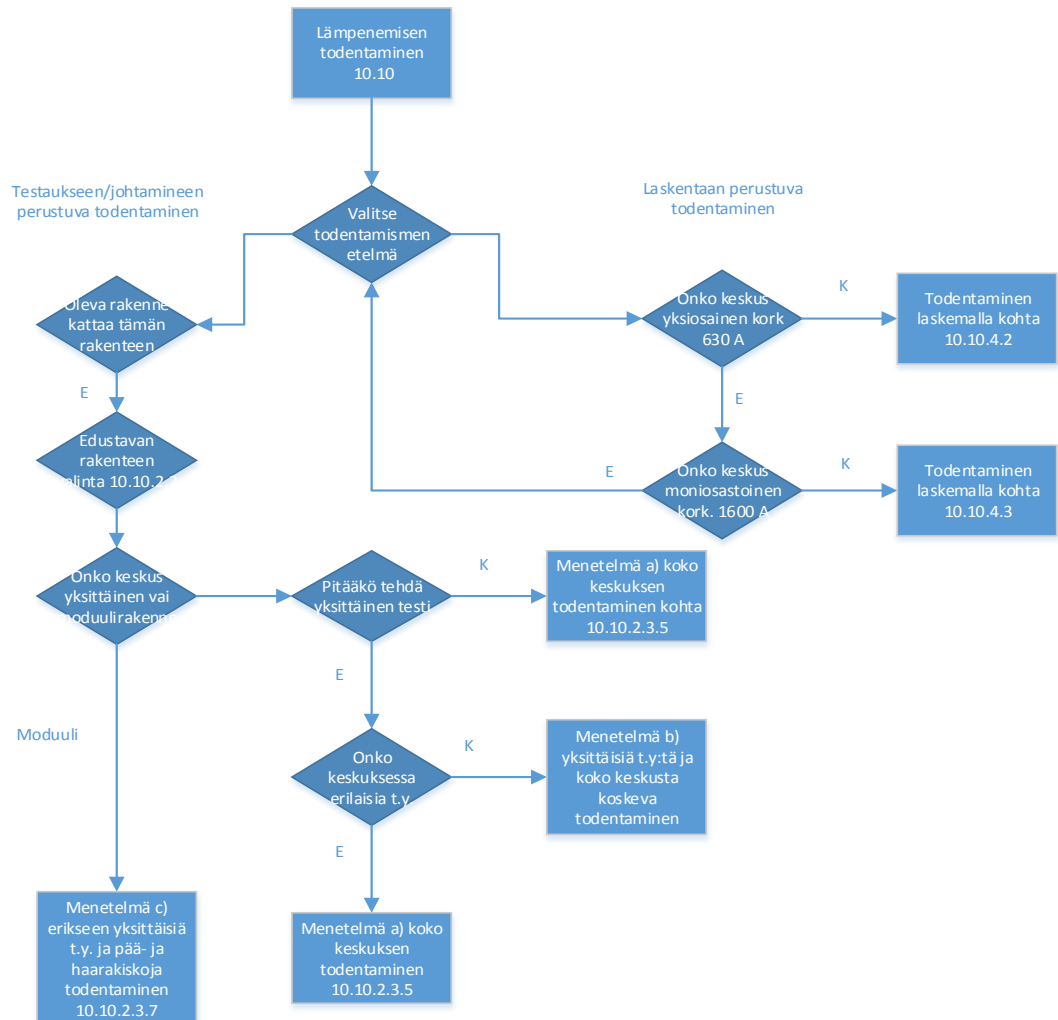
Keskuksen normaalina asennuslämpötilana voidaan pitää 35 °C. Komponenttien valmistaja määrittää jokaiselle komponentille sen käyttölämpötilan eikä tätä tulisi ylittää. Keskusta voidaan tarvittaessa jäähdyttää koneellisesti. Yleisin tapa koneelliseen jäähdytykseen ovat puhallin, jolloin tehostetun ilmavirran avulla siirretään lämpöenergiaa pois keskuksen sisärakenteista. Suuremmissa käytöissä pelkkä ilmavirran lisääminen ei välttämättä riitä, jolloin käytetäänkin nestekiertoista jäähdytystä. Tämän huono puoli on se, että jäähdytys vaatii erillisen lämmönvaihtimen keskuksen ulkopuolelle ja on huomattavasti vaikeammin asennettavissa kuin puhallin.

Keskusvalmistajan on todennettava, että lämpenemisen raja-arvot eivät ylitä keskuksen tai keskusjärjestelmän eri osille. Todentaminen voidaan tehdä yhdellä tai useammalla seuraavista menetelmistä:

- testaamalla testivirralla
- johtamalla (testatun rakenteen) mitoitusarvoista samanlaisiin rakenteisiin
- laskemalla. [1, s. 112.]

Todentaminen virralla on useasti hankalaa ja vaikeasti toteutettavissa. Ajatellaan, että testattavan keskuksen mitoitusvirta on 630 A, ja keskusta pitäisi kuormittaa tehdas olosuhteissa tällä virralla. Aina ei myöskään ole saatavilla jo testattua rakennetta. Tästä syystä laskeminen on oikeastaan helpoin tapa todentaa keskuksen lämpeneminen.

Tätä varten on saatavissa useilta valmistajilta erilaisia tietokoneohjelmia, jotka helpottavat suunnittelijoiden työtä. Standardissa IEC 61439 (liitteessä O) on kuvattu lämpenemisen todentamismenetelmät. (Kuva 6.):



Kuva 6. Lämpenemisen todentaminen [1, liite O.]

### 3.1 Lämpenemän todentaminen testivirralla

Keskus tulee testin ajaksi asentaa normaalikäytön mukaisesti: kaikki kannet kiinni ja pohjalevyt paikoillaan. Keskuksen sisältäessä varokkeita tulee niiden olla paikallaan ja mitoitukseltaan valmistajan ohjeiden mukaisia.

Testin aikana tulee mitata keskuksen ulkopuolista lämpötilaa vähintään kahdella lämpömittarilla tai termoelementillä. Mittareiden tulee sijaita keskuksen vastakkaisilla puolilla keskuksen korkeuden puolivälissä ja n. 1 m:n etäisyydellä keskukselta, eikä mittareihin saa kohdistua ilmavirtaa tai lämpösäteilyä, jotka voisivat vääristää mittaus arvoja. Testin suorittamisen aikana ympäristön lämpötilan pitää olla +10 ja +40 asteen välillä.

Keskuksen sisäistä lämpötilaa tulee mitata standardin mukaan vähän epämääräisesti sopivalla määrällä mittareita kaikissa pisteissä, joissa lämpenemisen raja arvoja pitää tarkkailla. Erityistä huomiota on kuitenkin kiinnitettävä pääpiiriin ja johtimien liitoksiin. Lämpötilaa tulee kuitenkin mitata keskuksen jokaisesta erillisestä osiosta.

Testiä tulee jatkaa niin pitkään, että lämpenemä saavuttaa vakioarvon. Käytännössä tämä arvo saavutetaan, kun lämpötilan muutos kaikissa mittauspisteissä ei ylitä 1 K/h:ssa. Testin lopussa laitteiden pitää toimia keskuksen sisällä olevassa lämpötilassa niille määritellyissä jännitearvoissa.

### 3.2 Lämpenemä arvojen johtaminen samanlaisille rakenteille

Keskuksille, joiden lämpenemistä ei ole todennettu testaamalla voidaan johtaa arvot samanlaisista, jo testatuista keskuksista. Näissä tapauksissa keskuksen tulee täyttää seuraavanlaiset vaatimukset:

- toimintayksiköiden pitää kuulua samaan ryhmään kuin testatun toimintaryhmän
- samantyyppinen konstruktio kuin testissä käytetty
- samat tai suuremmat ulkomitat kuin testissä käytetty
- samat tai paremmat jäähdytysolosuhteet kuin testissä käytetty
- sama tai alhaisempi sisäinen osastointi kuin testissä käytetty
- samassa kennossa samat tai pienemmät tehohäviöt kuin testissä käytetyt
- sama tai pienempi määrä lähtöpiirejä kussakin kennossa. [1, s. 126.]

Todennettavana oleva keskus voi sisältää kaikki tai vain osan aikaisemmin todennetun keskuksen sähköpiiristä. Toimintayksiköiden erilainen järjesteleminen verrattuna jo

todennettuun keskukseseen on sallittua, kun lämpötilavaikutukset läheisiin toimintayksiköihin eivät ole kovemmat. Myös laitteita voidaan korvata jo testatuista kunhan niiden tehohäviöt ja liitimien lämpeneminen on sama tai alhaisempi.

### 3.3 Lämpenemän laskeminen

Lämpenemistä voidaan laskea kahdella eri tavalla. Kummassakin tavassa määritellään kaikista piireistä aiheutuva tehohäviö ja tästä aiheutuva likimääräinen lämpötilan nousu keskuksen sisällä. Lämpötilan nousua verrataan asennettujen komponenttien, johtojen ja koneiden käyttölämpötilan raja-arvoihin. Menetelmien ero on tavassa, jolla varmistetaan riippuvuus, tulevien tehohäviöiden ja ilman lämpötilan välillä keskuksen sisällä. Laskettaessa lämpenemää näillä tavoilla, virtaa johtavien osien todellisia lämpötiloja ei voida laskea. Tämän takia laskuissa tulee käyttää tarvittavia raja-arvoja ja turvamarginaaleja.

Keskuksen, joka on yksiosainen, mitoitusvirta ei ylitä 630 A, ja mitoitustaajuus on korkeintaan 60 Hz. Lämpene voidaan todentaa laskemalla jos seuraavat ehdot täyttyvät:

- kaikista sisään asennetuista komponenteista on saatavilla tehohäviöt
- tehohäviö jakautuu suunnilleen tasaisesti keskuksen sisällä
- suojalaitteet tulee valita siten, että lähtevien piirien asianmukainen suojaus esim. moottorin lämpösuojaus valitaan keskuksen lasketun lämpötilan mukaan
- keskuksen osat ja sisäiset laitteet on asennettu siten, että ilman kierto ei ole merkittävästi hankaloitunut
- yli 200 A:n virtoja johtavat johtimet on sijoitettu siten että pyörrevirtojen ja hystereesin aiheuttamat häviöt minimoidaan
- kaikkien johtimien minimipoikkipinta-ala on valittu toimintayksikön mitoitusvirran mukaan (IEC 60364-5-52)
- lämpenemisen arvot riippuen koteloon asennetusta tehohäviöstä, koneellisella ilmanvaihdolla tai ilman ja erilaisille sallituille asennusmenetelmille on saatavilla koteloiden valmistajalta tai määritelty standardin 614391-1 kohdan 10.10.4.2.2 mukaisesti [1. s.73]

Vastaavasti keskuksen, jonka mitoitusvirta ei ylitä 1 600 A ja joka on yksi tai moniosainen, eikä sen mitoitusajuus ylitä 60 Hz lämpenemä voidaan laskea seuraavin ehdoin, jos kaikki edellä mainitut ehdot täyttyvät ja lisäksi:

- Luonnollisella ilmanvaihdolla varustetuilla koteloilla ilman ulosvirtausaukkojen pinta-ala on vähintään 1,1 kertaa sisääntuloaukkojen pinta-ala.
- Keskuksessa tai keskuksen kennoissa ei ole enempää kuin kolme vaakatasoista väliseinää.
- Suojatuilla tiloilla ja luonnollisella ilmanvaihdolla varustetuilla koteloilla ilmanvaihtaukkojen pinta-ala kussakin vaakatasoisessa väliseinässä on vähintään 50 % suojatun tilan vaakatasoisesta poikkipinta-alasta.

Ehtojen täytyessä voidaan keskuksen lämpenemä laskea. Lämpenemää laskettaessa tulee laskea kaikkien piirien komponenttien, laitteiden ja yhdysjohtimien teholliset lämpöhäviöt piirien maksimikuormitusvirroilla. Keskuksen kokonaislämpenemää laskettaessa, lasketaan yhteen piirien tehohäviöt ottaen lisäksi huomioon, että kokonaiskuormitusvirta on rajoitettu keskuksen mitoitusvirran suuruiseksi. Johtimien tehohäviöt saadaan kaavasta:

$$P_v = I_{max}^2 * R_{20} * [1 + \alpha * (T_c - 20 \text{ } ^\circ\text{C})]$$

jossa  $I_{max}$  on johtimen maksimikuormitettavuus (asennustavasta riippuva),  $R_{20}$  on johtimen resistanssi 20 °C,  $\alpha$  on resistanssin lämpötilakerroin (0,004 K<sup>-1</sup>) ja  $T_c$  on johtimen lämpötila. [1, liite H.]

Näiden tietojen perusteella voidaan arvioida keskuksen kokonaislämpenemää käyttämällä keskuskotelon valmistajan antamien tietoja. Tähän vaikuttavat koneellinen jäädytys ja kotelon materiaali ja sen lämmönjohtamiskyky.

## 4 Sähkökeskuksen rakentaminen

Keskus täytyy rakentaa materiaaleista, jotka kestävät määritellyissä olosuhteissa mekaanisia, sähköisiä ja lämpörasituksia sekä ympäristön aiheuttamia rasituksia. Lisäksi kaikkien osien tulee kestää niihin vaikuttavat voimat oikosulkutilanteessa.

### 4.1 Komponenttien sijoittelu

Keskuksen komponenttien asennuksessa tulee noudattaa komponenttivalmistajan antamia asennusohjeita siten, että normaalissa käytössä niiden oikea toiminta ei vaarannu niiden keskinäisistä vaikutuksista kuten lämmön, kytkentäilmiöiden, värähtelyjen tai sähkömagneettisten kenttien takia. Keskuksen sisällä olevien laitteiden asettelu ja palautuselimien on oltava helposti käsiteltävissä. Keskuksen valmistaja ja tilaaja voivat sopia keskuksen erillisistä käsittelyvaatimuksista, mutta ellei muuta ole sovittu, pitää noudattaa seuraavia vaatimuksia:

- Huomioimatta suojajohdinliittimiä, liittimet tulee sijoittaa vähintään 0,2 m korkeuteen keskuksen pohjasta. Lisäksi kaapeleiden tulee olla helposti kytkettävissä liittimiin.
- Käyttäjän luettavaksi tarkoitetut mittalaitteet on asennettava 0,2 m - 2,2 m korkeuteen keskuksen pohjasta.
- Painonapit, kahvat tai muut vastaavat ohjauskalusteet tulee sijoittaa siten, että niitä on helppo käyttää. Kuitenkin siten, että niiden korkeus keskilinjaan on keskuksen pohjasta 0,2 m - 2 m.
- Häätä-kytkennän ohjauslaitteet tulee olla käsiteltävissä 0,8 m - 1,6 m korkeudessa keskuksen pohjasta.

Keskuksen oveen tai kanteen tulee asentaa vain yksi sellainen lukituksella varustettu kytkin, joka estää oven avaamisen keskuksen ollessa jännitteisenä.

### 4.2 Johdotus ja liitännät

Keskuksen johdotuksessa käytetään yleensä ML-, MK- tai MKEM-tyyppisiä johtimia. ML-johdin on yksilankainen jäykkä johdin, MK on muutamalankainen johdin sekä MKEM-johtimet ovat monilankaisia johtimia ja tästä syystä taipuisimpia johtimia. Monilankainen johdin tulee aina varustaa johdinholkillä.

Saranoitu ovi voidaan varustaa merkkilampuilla, käyttöpainikkeilla, mittareilla yms. Näiden johdotukset tulee tehdä taipuisalla johtimella, sekä varmistaa kyseisten johtimien käyttölämpötilaan soveltuvuus mahdollisen taivutuksen vuoksi. Johtimet täytyy, myös kiinnittää molemmista päistä niin, että mahdollinen vetorasitus ei kohdistu johtimien liittimiin. Johtimet tulee suojata myös mahdollisilta hankauksilta.

Taulukossa 6 annetaan ohjearvoja keskuksen sisäisten johtimien mitoittamiseen. Johdin on mitoittettava, kuitenkin suuremmaksi, jos on vaaraa, että johdon lämpeneminen ylittää johtimen eristykselle annetun lämpötilan.

Taulukko 6. Ohje-arvoja keskuksen sisäisten johtimien mitoittamiseen [4, s. 71]

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	2 x 16	164
25	107	2 x 25	214
35	135	2 x 35	270
50	160	2 x 50	320
70	200	2 x 70	400
95	245	2 x 95	490
120	280	2 x 120	560
150	320	2 x 150	640
185	365	2 x 185	730
240	425	2 x 240	850

Pysyväksi jääviä kytkentöjä varten käytetään aina alustaansa luotettavasti kiinnitettyjä liittimiä. Liittimet voidaan kiinnittää esimerkiksi din-kiskoon. Liittimet ovat yleensä valmistettu niille mitoitetun johtimen suurimman kuormitusvirran mukaan, mutta keskuksen sisäisiä johtimia saa kuormittaa lämpenemisen rajoissa enemmän kuin sähköasennuksiin käytettäviä johtimia, joten eräät liitinrakenteet voivat lämmetä liikaa.

Johtimien värien tulee olla yhdenmukaisia ja tunnistettavissa. Valmistaja voi neuvotella tilaajan kanssa poikkeavista johdin väreistä. Tavallisesti kuitenkin valmistaja määrittelee ja käyttää ennalta sovittuja värejä.

Saku-Tekissä on sovittu johtimien värien seuraavanlaisesta käyttämisestä: suojajohtimena käytetään aina keltavihreätä, ja tätä väriä ei saa käyttää missään muussa tarkoituksessa. Nollajohtimen tulee olla vaaleansininen eikä väriä tule käyttää muussa tarkoituksessa, jos sekaannus on mahdollista. AC- ja DC-pääpiirit pitää johdottaa mustalla värillä. Vaihtojännitteisissä ohjauspiireissä, joissa on käytetty ohjausjännitemuuntajaa, maadoittamaton puoli on väriltään punainen ja maadoitettu puoli harmaa. Tapauksissa, joissa vaihtojännitteinen ohjauspiiri otetaan suoraan johdonsuoja-automaatilta, piirin nollajohdin säilyy vaaleansinisena. Tasajännitteisissä ohjauspiireissä plussa on sininen ja miinuspuoli violetti. Jos keskukseen tulee ulkoinen ohjausjännite, tämä piiri tulee tehdä oranssilla värillä. Analogiapiireissä käytetään valkoista johdinta.

#### 4.3 Virtakiskosto

Osassa keskuksista käytetään virtakiskoja päävirtapiireissä johtimien sijasta. Nämä virtakiskot voivat olla, joko useista eristetyistä kupari- tai alumiiniliuskoista tehtyjä taipuisia kiskoja tai eristettyjä jäykkiä virtakiskoja. Kiskojen kuormitettavuuden ilmoittaa valmistaja ja se riippuu kiskojen muodosta, eristysaineesta, käyttölämpötilasta sekä asennus asennosta. Kiskot voidaan asentaa joko pystyyn tai lappeelleen.

## 5 Sähkökeskuksen kappaletarkastukset

Keskusvalmistajan tulee suorittaa kappaletarkastukset keskuksille. Tarkastusten tavoitteena on havaita viat materiaaleissa tai työssä ja varmistaa keskuksen suunniteltu ja turvallinen toiminta. Tarkastukset voidaan suorittaa valmistuksen aikana tai valmistuksen jälkeen tämä on keskusvalmistajan päätettävissä. Kappaletarkastuksia ei tarvitse suorittaa keskuksen sisältyville kojeille ja komponenteille, jos ne on valittu standardin määrittämällä tavalla.



Tarkastuksessa on tarkistettava seuraavat rakenteelliset asiat:

- kotelon kotelointiluokka
- ilma- ja pintavälit
- suojaus sähköiskulta ja suojapiirien eheys
- sisäänrakennettujen komponenttien liittäminen
- sisäiset sähköpiirit ja liitokset
- ulkoisten johtimien liittimet
- mekaaninen toiminta.

Myös sähköisiä toimintoja pitää tarkistaa ainakin seuraavasti:

- sähköiset ominaisuudet
- johdotus, käyttöominaisuudet ja toiminta.

Kotelointiluokka ja ilma- ja pintavälit tulee tarkistaa silmämääräisesti ja varmistua suunnitellun luokan täyttymisestä. Ilma- ja pintavälien tulee täyttää taulukon 7 mukaiset vaatimukset.

Taulukko 7. Vähimmäisilmavälien arvot [1, s. 144]

Syöksyjännitteen mitoituskestoarvot $U_{imp} / kV$	Minimi ilmaväli mm
≤2,5	1,5
4,0	3,0
6,0	5,5
8,0	8,0
12,0	14,0

## 5.1 Suojaus sähköiskulta ja suojapiirien jatkuvuus

Perussuojauksen ja vikasuojauksen menetelmät pitää tarkistaa silmämääräisesti ja todentaa mittauksilla. Silmämääräisellä tarkastuksella tulee varmistaa, että kullakin keskuksella on suojajohdin, jonka avulla saavutetaan syötön automaattinen poiskytkentä, ja suojajohdin on merkitty vaatimusten mukaisesti.

Maadoituspiirin tarkoitus on suojata keskus ja keskuksesta syötettävien laitteiden turvallisuus vikatilanteessa. Maadoituksen jatkuvuudella tulee todentaa, että keskuksen jokainen jännitteelle altistuva osa on tehokkaasti maadoitettu tulevan suojajohtimen liittimeen. Maadoituspiirin resistanssi ei saa ylittää keskuksen sisällä 0,1  $\Omega$ . Tarkastus täytyy suorittaa siihen tarkoitettulla mittalaitteella tai järjestelyllä, joka pystyy syöttämään 10 A virran piiriin.

Kaikki keskuksessa jännitteelle alttiit osat tulee olla liitettynä yhteen keskuksen syötön suojajohtimen kanssa. Liitynnät voidaan toteuttaa metalliruuveilla, hitsaamalla tai muilla johtavilla liitynnöillä. Näille liitoksille on määritelty seuraavanlaisia vaatimuksia:

- Jos keskuksen osa poistetaan rutiinihuollon takia, suojamaadoituksen jatkuvuus ei saa katketa.
- Kansien, ovien, peitelevyjien ja vastaavien rakenteiden normaaleja ruuvi-kiinnityksiä ja saranoita pidetään riittävän luotettavina liitoksina, ellei osiin ole kiinnitetty pienoisjännitteen (120 VDC ja 50 VAC) rajat ylittäviä komponentteja.

Jos rakenteeseen on kiinnitetty laite, jonka jännite ylittää pienoisjännitteen rajat, riittävä suojamaadoitus on varmistettava. Rakenne voidaan suojamaadoittaa erillisellä suojajohtimella, jonka poikkipinta-ala riippuu laitteen suurimmasta toiminta virrasta. Taulukossa 8 annetaan vaadittavat suojajohtimen poikkipinta-alat:

Taulukko 8. Suojajohtimen poikkipinta-alat [1, s. 146]

Suojajohtimen minimi poikkipin- ta-ala mm <sup>2</sup>	Mitoitustoimintavirta  I <sub>e</sub> / A
vaihejohtimen poikkipinta-ala	I <sub>e</sub> ≤ 20
2,5	20 < I <sub>e</sub> ≤ 25
4	25 < I <sub>e</sub> ≤ 32
6	32 < I <sub>e</sub> ≤ 63
10	63 < I <sub>e</sub> ≤

## 5.2 Sähköpiirit ja liitokset

Sisäisten piirien johtimet tulee tarkistaa silmämääräisesti vastaamaan keskusvalmistajan ohjeita vastaaviksi. Liittimien tunnuksot ja ruuvi- ja pulttiliitosten kireys tulee tarkistaa valmistajien ohjeiden mukaiseksi esimerkiksi momenttiavaimella. Ulkoisten johtimien liittimien soveltuvuus täytyy varmistaa. Alumiini ja kupari kaapeleille täytyy käyttää vain kaapeleille soveltuvia liittimiä. Vääriä liittimiä käytettäessä voi aiheutua kemiallista kulumista liittimissä, joka voi pahimmillaan aiheuttaa sähköiskuvaaran. Kaapeleiden liittämistä varten täytyy huomioida kaapelin vaatima asennustila ja kaapelin kiinnitys mahdollisuus.

### 5.3 Sähköiset ominaisuudet

Keskuksille tulee suorittaa käyttötaajuisen jännitteen testi. Testin kestoaika tulee olla 1 s, testissä kohdistetaan taulukon 9 mukainen jännite pääpiiriin ja pääpiiriin kytkettyihin ohjauspiireihin.

Taulukko 9. Pääpiirin käyttötaajuisen ylijännitteen kestävyys [1, s. 150]

Mitoituseristysjännite vaihto- tai tasajännite $U_i$ V	Sähköisen testin vaihtojännitteen tehollisarvo V	Tasajännitetestijännite V
$< U_i \leq 60$	1 000	1 415
$60 < U_i \leq 300$	1 500	2 120
$300 < U_i \leq 690$	1 890	2 670
$690 < U_i \leq 800$	2 000	2 830
$800 < U_i \leq 1\,000$	2 200	3 110
$1\,000 < U_i \leq 1\,500$	-	3 820

Vastaavasti vaihto- tai tasajännitteisiin ohjauspiireihin, jotka eivät ole kytketty pääpiiriin kohdistetaan taulukon 10 mukainen testijännite.

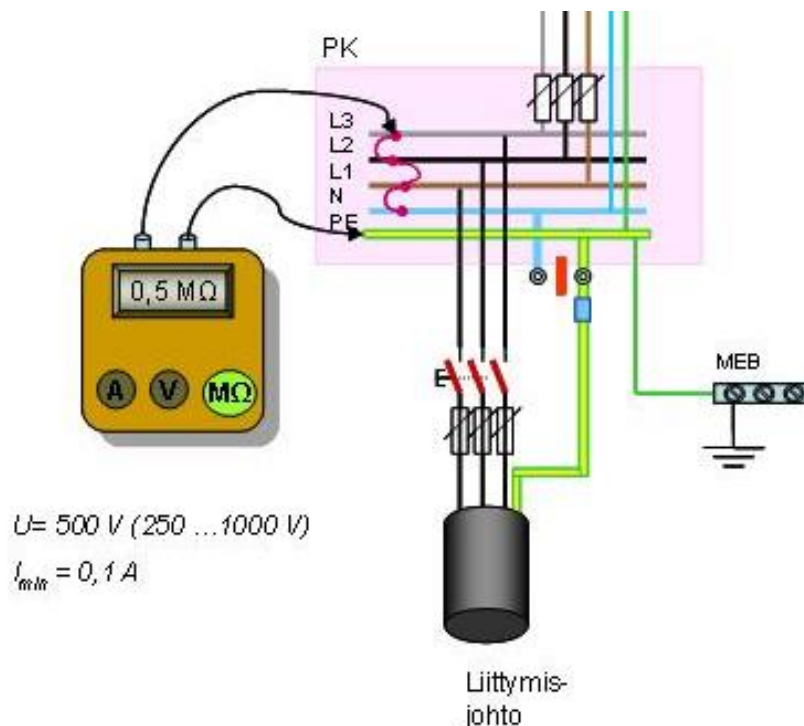
Taulukko 10. Ohjauspiirien käyttötaajuisen ylijännitteen kestävyys [1, s. 150]

Mitoituseristysjännite $U_i$ V	Sähköisen testin vaihtojännitteen tehollisarvo V
$< U_i \leq 12$	250
$12 < U_i \leq 60$	500
$60 < U_i$	$2 \times U_i + 1\,000$

Ennen testin suorittamista on varmistettava, että keskuksen kaikki komponentit on liitetty virtapiiriin. Laitteet, jotka ovat mitoitettu alhaisemmille testijännitteille, voidaan jättää liittämättä virtapiiriin. Komponentit, joissa testijännite voi aiheuttaa virrankulkemisen esim. käämitykset, mittauslaitteet tai ylijännitesuojat tulee erottaa virtapiiristä.

Vaihtoehtona käyttötaajuiselle käyttöjännitetestille on eristysresistanssimittaus (kuva 7.), joka voidaan todentaa keskuksista, joiden syötön suojauksen virta-arvo on enintään 250 A mittaamalla eristysresistanssi mittarilla, jonka mittaajännite on vähintään 500 VDC. Eristysresistanssi on riittävä, jos mittaustuloksen arvo on vähintään 1 000

$\Omega/V$ . Eristysresistanssimittauksella halutaan varmistua, että maa- ja vaihejohtimien välillä ei ole yhteyttä.



Kuva 7. Eristysresistanssin mittaus [7. mukaillen]

Kuvassa 7 on esitetty kuinka käyttöajuisen jännitteen ja eristysresistanssin mittaus tulee suorittaa. Kuvassa annetut arvot koskevat eristysresistanssi mittarissa käytettäviä arvoja.

#### 5.4 Johdotus, käyttökunto ja toiminta

On todennettava, että keskuksesta on olemassa kaikki siihen liittyvät käsittely-, asennus-, käyttö- ja huolto-ohjeet ovat asianmukaiset, ja keskus on toteutettu näiden ohjeiden mukaisesti. Pitää tarkistaa piirikaavioiden ja keskuksen täydellinen vastaavuus, niin johdotuksen, kuin merkintöjen osalta. Puutteelliset ohjeet ja piirikaaviot voivat aiheuttaa vakavia vaaratilanteita huolto- ja kunnossapitotehtävissä.

Testausmenettelyt ja testien lukumäärät riippuvat keskuksen mutkikkaisuudesta ja siitä, sisältääkö keskus mutkikkaita lukituksia ja ohjauksia. Keskuksen sisältäessä turvatoimintoja hätä-seis-pysäyttimiä, tms. tulee näiden toiminta varmistaa. Tietyissä tapauksissa nämä testit tulee suorittaa käyttöönoton yhteydessä uudestaan.

## 6 Sähkökeskuksen testausympäristö

Yrityksen muutettua uusiin toimitiloihin oli tarvetta rakentaa uudelleen asianmukainen testausympäristö, jossa voidaan turvallisesti testata keskuksia sekä sähkökoneita. Työssä laaditaan sähkösuunnitelma testausalueen standardin mukaiseen toteutukseen.

Testausympäristön turvallisuutta ja rakennetta käsitellään standardissa SFS-EN 50191 ja SFS 6000-8-803. Testauslaitteisto voidaan rakentaa testauspaikaksi, testauslaboratorioksi, tutkimuslaitokseksi tai tilapäiseksi testauslaitteistoksi.

Testauspaikka on tarkoituksenmukaisesti tunnistettava alue, jonka tarkoituksena on toimia laitteiden ensisijaisena testauspaikkana. Testauspaikka tulee erottaa muusta tilasta joko pysyvästi tai väliaikaisesti. Ahtaiden hallitilojen vuoksi yrityksen testauspaikka erotetaan väliaikaisesti muusta tilasta. Erottamiseen voidaan käyttää aitaa, puomia tai muuta vastaavaa tapaa. Esteiden tulee olla rakennettu niin, että

- muiden kuin testaushenkilöstön pääsy testausalueelle estetään
- muiden kuin testaushenkilöstön ulottuminen kielletylle alueelle on estetty
- estävät aitauksen ulkopuolisten henkilöiden ulottumisen aitauksen sisäpuolelle sijoitetun testauslaitteiston käyttölaitteisiin

Työskentelyalueen tulee kuitenkin olla sellainen, että testaushenkilökunnan liikkuminen ja työn tekeminen on vaivatonta ja esteetöntä.

### 6.1 Testauspaikka automaattisella suojauksella koskettamiselta

Automaattisella suojauksella tarkoitetaan, että testausjännite ei ole kytkettävissä, ennen kuin suojaus on täydellisesti valmis. Suojauksen avaamisen tulee katkaista testausjännite automaattisesti. Myös jäännösjännitteiden tulee purkautua automaattisesti vaarattomaan arvoon. Automaattinen suojaustapa soveltuu hyvin testauspaikkoihin, joissa testataan samanlaisia tuotteita ja tehdään samoja testejä. Yhden vian tilanteet eivät saa estää testausjännitteen katkaisua. Tästä syystä turvapiiri tulee kahdentaa.

Saku-Tekillä koestetaan ja testataan hyvin paljon erilaisia kohteita, jolloin automaattisen suojauksen toteutus on hankalasti toteutettavissa. Tästä syystä yrityksen testauspaikka toteutetaan ilman automaattista suojausta kosketukselta.

Testausalueen sähkönsyöttöihin ja testauslaitteistoon tulee tehdä käyttöönottotarkastuksia. Testauslaitteisto tulee tarkistaa silmämääräisesti aina ennen testauksen aloitusta. Lisäksi seuraavat tarkastukset tulee suorittaa määräajoin, ja näistä tulee pitää pöytäkirjaa:

- vikavirtasuojien koestus testipainikkeella enintään 6 kuukauden välein
- hätäkytkinlaitteiden toiminnan testaus yhden vuoden välein
- vikavirtasuojien testaus mittauslaitteilla ja kattava silmämääräinen tarkastus enintään kahden vuoden välein
- eristysresistanssin mittaus ja suojajohtimien jatkuvuuden testaus enintään viiden vuoden välein.

## 6.2 Testauspaikka ilman automaattista suojausta kosketukselta

Testauspaikka ilman automaattista suojausta kosketukselta saadaan toteuttaa vain, jos automaattisella suojauksella varustetun testauspaikan toteuttaminen on käytännöllisesti vaikeaa:

- Testaustehtävät muuttuvat usein.
- Testauskohteet ovat erilaisia.
- Työn suorittamisessa on vakavia vaikeuksia.
- Testaustehtäviä esiintyy vain satunnaisesti.

Yrityksessä testaustehtävät muuttuvat, usein ja testauskohteet ovat erilaisia. Näistä syistä toteutetaan testauspaikan ilman automaattista suojausta. Ilman automaattista suojausta olevat testauspaikat on erotettava muusta ympäristöstä.

Testauspaikan turvallisuus toteutetaan suojaerotusmuuntajalla, vikavirtasuojauksella, hätä-seis-kytkennällä ja koulutetulla henkilökunnalla. Lisäksi testauspaikka varustetaan riittävällä määrällä ensiapuohjeita ja hätänumerolla 112.

Testauspaikan kosketeltavien pöytien ja lattioiden pintojen resistanssi pitää olla yli 100 k $\Omega$ , kun nimellisjännite on enintään 1 000 VAC tai 1 500 VDC. Lattiat varustetaan määräykset täyttävillä kumimatoilla.

### 6.3 Testaushenkilöstö

Testauslaitteiston kanssa saavat työskennellä vain ammattihenkilöt tai opastetut henkilöt. Koko henkilöstö on koulutettava tuntemaan heidän työssään tarvittavat turvallisuusvaatimukset ja -säännöt sekä yrityksen omat ohjeet. Henkilöstöä on vaadittava toimimaan vaatimusten, sääntöjen ja ohjeiden mukaisesti. [8, s. 26.]

Ammattihenkilöllä tarkoitetaan henkilöä, jolla on KTMp (516/1996) 11§:n mukaan:

- sähköalan diplomi-insinöörin-, insinöörin- tai teknikon tutkinto
- sähköalan ammattitutkinto tai yliasentajan erikoisammattitutkinto taikka vastaavat tutkinnot
- hyväksytysti suoritettu sähköalan oppisopimuskoulutus
- ammattikoulun kolmivuotinen sähköalan koulutus ja sen jälkeen vuosi vastaavaa työkokemusta
- suoritettuna aikuiskoulutuskeskuksen sähköalan vähintään 50 viikon kurssi ja sen jälkeen kolme vuotta työkokemusta kyseisissä sähköalan töissä
- kuuden vuoden kokemus kyseisistä sähköalan töistä ja riittävät alan perustiedot.

Opastetulla henkilöllä tarkoitetaan henkilöä:

- Henkilöä, joka on hankkimassa KTMp (516/1996) 11§:n mukaista sähköalan ammattihenkilön pätevyyttä, ja jolla on sähköalan koulutus ja/tai työkokemusta, mutta ei kaikilta osin täytä itsenäiseen työhön kykenevän ammattihenkilön vaatimuksia.
- Henkilöä, jolla ei ole sähköalan koulutusta tai työkokemusta, mutta joka on opastettu tekemään määrätty toimenpide, esim. laitevalmistukseen liittyvä testaus.



## 7 Sähkökojeiston testauslaitteisto

Korjaus- ja testausympäristön sähkönsyöttöä ja sen erikoisvaatimuksia käsitellään standardeissa SFS 6000-8-803 ja SFS 50191. Kaikille ympäristöissä käytettäville laitteille on aina järjestettävä vikasuojaus esim. vikavirtasuojakytkin.

Korjaus ja testaustöissä ei aina pystytä suojaamaan jännitteisiä osia kosketukselta, tällöin suositetaan käytettäväksi suojaerotusta. Tämä voidaan toteuttaa siihen tarkoitukseen suunnitellulla suojaerotusmuuntajalla. Tällä voidaan estää vaaratilanne vikatilanteessa jännitteiseksi tulleiden osien koskettamiselta. Tällä suojauksella ei kuitenkaan voida estää vaaratilannetta, joka syntyy kahden eri vaihejohtimen tai jännitteiseksi tulleen rungon ja nollajohtimen yhtäaikaiselta koskettamiselta.

Kuvassa 8 nähdään testausta varten rakennettu sähkönsyöttö yksikkö, joka on varustettu suojaerotusmuuntajalla, hätä-seis kytkennällä ja vikavirranvalvonta laitteistolla. Testauslaitteessa on 16 A:n ja 32 A:n voimavirtapistorasiat, 16 A:n kojeliitانتä, pistorasiat, naparuuvit 24 VDC ja 230 VAC sekä säädettävä jännitelähtö 0 - 400 VAC. Laitteistossa on myös sen toiminnasta kertova punainen varoitusvalo ja vikavirran merkkiääni.



Kuva 8. Testauslaitteisto

## 7.1 Suojaerotusmuuntaja

Suojaerotusmuuntajan tarkoitus on erottaa testauspaikan sähköverkko valtakunnanverkosta. Muuntajan tulee olla standardin EN 61558-2-4 mukainen tai vastaava. Muuntajan syöttö tulee varustaa oikosulkusuojauksella. Muuntajan käynnistysvirta ei ole riippuvainen sen kuormituksesta. Näin ollen, jos käytetään johdonsuoja-automaattia muuntajan oikosulkusuojauksessa, on yleensä tarpeen käyttää hidasta laukaisukäyrää. Tällä voidaan välttää johdonsuoja-automaatin turha laukeaminen muuntajan kytkentähetkellä.

Suojaerotusmuuntajan suojaus perustuu siihen, että se erottaa muuntajan toisiokämit galvaanisesti valtakunnan verkosta. Mitattaessa jännitettä muuntajan toisiopuolen vaiheen ja valtakunnan verkon nollajohtimen välistä, jännite asettuu johonkin arvoon riippuen jännitemittarista. Jos tämä piiri oikosuljetaan, jännite putoaa noltaan ja piirissä ei kulje sähkövirtaa, ja näin ollen ei voida myöskään saada vaarallista sähköiskua piiristä.

Suojaerotus on myös ainut tapa, jolla voidaan liittää suojaluokan 0-laitte verkkoon. Suojaluokan 0 laitteessa ei ole lisäsuojausta vikatilanteessa, vaan laitteen eristys on peruseristysten varassa. Suojaluokan 1 laitteissa on lisäsuojauksena suojamaadoitus. Tällä laitteen runko liitetään suojajohtimen ja liittimien kautta sähköiseen nollapotentiaaliin. Suuriosa tavallisista käyttölaitteista kuuluvat tähän suojausluokkaan. Suojausluokan 2 laitteissa on suojaeristys, jolloin vikatilanteessa laite on turvallinen ilman suojamaadoitusjohdinta. Useat käsikäyttöiset sähkötyökalut kuuluvat tähän luokkaan. Suojausluokka 3 sisältää laitteet, joiden käyttöjännite ei ylitä 50 VAC tai 120 VDC.

Suojaerotusmuuntajaan tulisi liittää vain yksi laite kerrallaan. Joskus on kuitenkin tarpeellista liittää toinen laite samaan muuntajaan. Tätä käsitellään tarkemmin standardissa SFS 6000-41C.3.

## 7.2 Hätä-seis-laitteisto

Testauslaitteisto on varustettava hätä-seis-kytkentälaitteistolla, jolla vaaratilanteessa saadaan katkaistuksi kaikki sähköenergia, joka voi aiheuttaa vaaraa. Myös hätä-seis-laitteistoa varten on laadittu oma standardi EN ISO 13850:2008, ja laitteiston täytyy täyttää määritetyt ominaisuudet. Testausalueella olevat tavalliseen sähkönjakeluun tarkoitetut pistorasiat, jotka eivät kytkeydy pois hätä-seis-painikkeista täytyy merkitä asian mukaisesti.

Hätä-seis-laitteistolla voidaan myös toteuttaa muita suojauksia joita testauslaitteistolta vaaditaan. Varustamalla laitteisto hätä-seis-releellä voidaan estää laitteiston tuleminen automaattisesti jännitteiseksi jännite katkon jälkeen. Relettä käytettäessä myös jännitteiden automaattinen palautuminen hätä-seis-painikkeen käytön jälkeen voidaan estää.

Kuvassa 8 nähdyssä laitteistossa on käytetty turvarelettä (kuva 9.) johon on yhdistetty laitteiston rungossa oleva hätä-seis-painike, testausalueen ulkopuolinen painike, lähtöjä ohjaavien kontaktoreiden avautuva apukärki ja releen kuittauspainike. Releellä voidaan valvoa painikkeiden ja kontaktoreiden toimintaa ja näin varmistua siitä, että laitteiden mekaaninen toiminta on kunnossa eikä, esim. painikkeiden tai kontaktoreiden kärjet ole hitsautuneet kiinni ja näin vaarana turvalaitteiden toimintaa.



Kuva 9. Turvarele [9]

Testauspaikka toteutetaan ilman automaattista suojausta koskettamiselta, jolloin testauspaikan ulkopuolella tulee myös olla yksi hätä-seis-painike (kuva 10.). Painikkeen tulee olla punainen sienenmallinen painike keltaisella pohjalla. Painikkeen tulee olla keskeisellä paikalla ja helposti käytettävissä.



Kuva 10. Hätä-seis painike [9]

## 8 Yhteenveto

Insinööriyössä keskityttiin sähkökeskusta ja sen koestamisaluetta koskeviin standardeihin. Teoriaosassa käsitellään standardien vaatimuksia valmistuksen erivaiheissa. Yrityksessä onkin ollut hyvin hallussa vanha keskusstandardi. Tämän ansiosta suurempia muutoksia ei ole valmistukseen ja laatuun jouduttu tekemään. Yrityksen käyttöön saatiin hyvät ohjeistukset ja tiivistelmä standardeista koskien keskusvalmistusta. Näiden ohjeiden avulla yrityksessä pystytään uusi työntekijä perehdyttämään keskusvalmistukseen ja näin varmistumaan riittävä sähkötekninen ymmärrys myös asentajille.

Työn aikana seurattiin ja tutustuttiin keskusvalmistuksen prosessiin yrityksessä, ja tätä kautta haettiin ongelmakohtia ja osa-alueita, joita täytyy pystyä parantamaan. Selvityksen aikana huomattiin, että keskuksen valmistaminen vaatii paljon ennakkotietoa keskuksen asennuspaikasta. Asennuspaikan oikosulkuvirta ja ympäristön olosuhteet ovat hyvin tärkeitä tietoja keskuksen valmistusta aloitettaessa. Näihin asioihin onkin syytä kiinnittää tarkempaa huomiota.

Työn alkuvaiheessa haluttiin myös selvittää erilaisten sertifiointi palveluiden hinnat ja niiden soveltuvuus ja tarpeellisuus yritykselle. Näin saatiin tietoon tarkemmat vaati-

mukset sertifiointiin hakemiseen ja tämän insinööriyön avulla yrityksen keskusvalmistus on saatu sertifiointi vaatimuksia vastaavaksi myös ohjeistusten osalta.

Tulevaisuudessa onkin hyvin todennäköistä, että keskusvalmistus ja sen ympäristö sertifioidaan ja näin parannetaan yrityksen markkina-arvoa. Sertifiointi on rahallisesti suuri sijoitus, ja ennen kuin asiakkaat sitä vaativat, on syytä pohtia sen tuomaa markkina-arvoa tarkasti. Keskusten valmistusta, laadun valvontaa ja testausalueen toimintaa seurataan ja tehdään jatkuvaa kehitystyötä.

Tulevaisuudessa tulee miettiä erilaisten toiminta-ajatusten soveltuvuutta keskusvalmistukseen. *Lean*-ajattelussa halutaan päästä pois prosessin turhista asioista. *Lean*-ajattelussa turhina asioina pidetään kuljetuksia, varastoja, liikkeitä, odotusaikoja, ylituotantoa, yliprosessointia ja viallisia tuotteita. Tämän ajattelumallin toteuttaminen ja tehostaminen Saku-tekniikan keskusvalmistuksessa on tulevaisuuden koventuvassa kilpailussa tärkeä asia. Lisäksi materiaalivirtojen hallintaa täytyy kehittää joustavammaksi ja järjestelmällisemmäksi.

## Lähteet

- 1 SFS-EN 61439-1 Pienjännitekeskukset, yleisvaatimukset. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto, 2013
- 2 SFS-EN 60073 Ihmisen ja koneen välisen rajapinnan perus- ja turvallisuusperiaatteet, merkinantolaitteiden ja ohjaimien koodaus. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto, 2003
- 3 Ensto, Oikosulkuvirta [verkkodokumentti]. [Viitattu: 22.3.2014]. Saatavissa:  
  
<http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojaksot/0705016/1204792797383/1210598828380/1211200962452/1211200987813.html>
- 4 SFS käsikirja 154 Jakokeskukset. Helsinki: Suomenstandardisoimisliitto, 2005
- 5 ABB, tekninen esite pienjännitekojeet [verkkodokumentti]. [Viitattu: 22.3.2014]. saatavissa:  
  
<http://onninen.procus.fi/documents/original/13008/7/1/OF%201%20FI%2098-02.pdf>
- 6 Schneider-electric, Compact NSX 100-630A tuoteluettelo 2009 [verkkodokumentti]. [Viitattu 22.3.2014]. Saatavissa:  
  
<http://ecatalogue.schneider-electric.fi/GroupList.aspx?navid=26603&navoption=1>
- 7 Virtuaali-ammattikorkeakoulu, Eristysresistanssi [verkkodokumentti]. [Viitattu: 22.3.2014]. Saatavissa:  
  
<http://www2.amk.fi/digma.fi/www.amk.fi/opintojaksot/030503/1134129294081/1134132211537/1134133739307/1134133840901.html>
- 8 SFS-EN 50191 Sähköisten testauslaitteistojen asennus ja käyttö. Helsinki: Suomen standardoimisliitto, 2011
- 9 Schneider-electric, Turvalaitteet [verkkodokumentti]. [Viitattu: 22.3.2014]. Saatavissa:  
  
<http://ecatalogue.schneider-electric.fi/GroupList.aspx?navid=24896&navopt>