



TAMPEREEN  
AMMATTIKORKEAKOULU

# TESTAUSLAITTEIDEN JA -ALUEIDEN SÄHKÖTURVALLISUUS

Teemu Ranta

Opinnäytetyö  
Huhtikuu 2017  
Sähkötekniikka  
Sähkövoimatekniikka



## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Sähkötekniikka  
Sähkövoimatekniikka

RANTA, TEEMU:

Testauslaitteiden ja -alueiden sähköturvallisuus

Opinnäytetyö 49 sivua  
Huhtikuu 2017

---

Opinnäytetyön tavoite oli tutkia testauslaitteiden ja -alueiden sähköturvallisuutta Konecranes Finland Oy:n sähkölaitetehtaalla Hyvinkäällä. Sähkölaitetehtaan testausalueilla tehdään toiminnallisia testauksia pääosin raskaiden siltanostureiden ja satamanostureiden sähkökaapeille ja -huoneille. Nykyiset testausalueet on rakennettu noin 10 vuotta sitten, ja testauslaitteet ovat vielä vanhempia. Tämän vuoksi työn tavoite oli päivittää testaustoiminnassa käytettävät kytkinkotelot, testausalueet ja -rakennelmat vastaamaan nykypäivän standardeja. Lisäksi tavoitteena oli löytää ratkaisu vikavirtasuojauksen toteuttamiseksi muuttuville testauskohteille.

Tutkimustyö aloitettiin kahden viikon perehdytysjaksolla sähkökaappien ja -huoneiden testausalueella turvallisuuspuutteiden löytämiseksi. Perehdytysjakson tavoitteena oli tutustua testauslaitteisiin ja -henkilöstön toimintamenetelmiin. Tehtyjen havaintojen perusteella testauslaitteita ja -alueita vertailtiin sähköisten testauslaitteiden asennusta ja käyttöä koskevaan standardiin.

Testauslaitteista ja -rakenteista löytyi eroja verrattaessa niitä standardeihin. Merkittävin virhe testauslaitteissa oli niiden eristeaineisen kotelon sisällä olevan metallisen asennuslevyn kytkeminen suojamaahan. Lisäksi useat kytkinkotelot ovat vaurioituneet käytössä, minkä vuoksi ne on mahdollista avata ilman työkaluja. Testausrakennelmista löytyi puutteita metallisista testauspukeista ja -tasoista. Johtavasta materiaalista valmistettujen tasojen ja pukkien yläpintojen tulisi olla eristävää materiaalia, tai ne tulisi kytkeä potentiaalintasausjohtimella testattavaan kohteeseen. Vikavirtasuojauksista tutkittaessa havaittiin, että sen toteuttaminen tavallisen vikavirtasuojan avulla on mahdotonta taajuusmuuttajien aiheuttamien vuotovirtojen takia. Puutteiden korjaamiseksi testauslaitteiden suojamaadoitusjohdot kytketään koteloinnin sisällä eristävällä riviliittimellä, jolloin paljaat johtavat osat eivät ole yhteydessä suojamaadoitukseen. Koteloiden kiinnitykset korjataan niin, että niitä ei ole mahdollista avata ilman työkaluja, ja osa huonokuntoisista koteloista korvataan uusilla. Testausalueiden lisäsuojausvaatimusten täydentämiseksi testauspukkien ja -tasojen pinnat päällystetään eristeaineisella matolla. Vikavirtasuojauksen toteuttamiseksi jatketaan eri vaihtoehtojen tutkimista. Testausalueelle tilattiin kokeiltavaksi ABB:n valmistama suoja, jonka pitäisi soveltua tutkimuskohteen käyttötarkoitukseen, mutta se ei ehtinyt saapua ennen työn valmistumista.

---

Asiasanat: sähköturvallisuus, sähkölaboratorio, testauslaite, testausalue, testausrakennelma

## ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Electrical Engineering  
Electrical Power Engineering

RANTA, TEEMU:  
Electrical safety of testing equipment and areas

Bachelor's thesis 49 pages  
April 2017

---

The main goal of this thesis was to research electrical safety of testing equipment and testing areas at the Konecranes Finland Oy Electrics Factory in Hyvinkää. At the Electric Factory, testing equipment is used for functional test of electrical cubicles and rooms of heavy bridge and port cranes. Testing areas were built about 10 years ago and testing equipment are even older. There is a need to update the equipment to correspond to the new electrical safety regulations. The second goal was to find out a simple solution for residual-current protection which can be used with testing objects that vary.

To find out differences between the electrical safety regulations and testing equipment, a two-week working period at the testing area was used to do the investigation. The main goal of the working period was to get to know the testing equipment and working methods of testing persons. After the working period the observations were compared to standards of the erection and operation of the electrical test equipment.

A few differences between the testing equipment and the electrical safety standards were found. The most significant difference was inside the testing appliance cover where metal assembly plate is connected to protective earth, which is not allowed. Also many of test equipment covers are badly damaged and can be opened without any tools, which is against the regulations. On the testing structure there was a fault in additional protection requirements. All metal stands used in testing operations should be covered with insulation material or connected to equipotential bonding conductor. The research indicated that the residual current protection is difficult to execute in an environment where frequency converters cause current leakages. In conclusion the detected faults shall be repaired to fulfill the electrical safety regulations. The metal assembly plate will be disconnected from the protective earth by using insulated terminals inside the test equipment and broken test equipment covers will be replaced. Top surfaces of metal stands will be covered with insulation material. To fulfill residual current regulations, a new residual current device was ordered from ABB, which should be able to be used in challenge environment. The residual current device had not arrived by the end of this bachelor work and the research will continue to find a proper solution.

---

Key words: electrical safety, electrical laboratory, test equipment, test area, test construction

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	8
2	TYÖTÄ KOSKEVAT STANDARDIT.....	12
	2.1 Testauslaitteistojen asennusta ja käyttöä koskevat vaatimukset.....	12
	2.2 Täydentävät vaatimukset.....	13
	2.3 Sähköturvallisuusvaatimukset .....	13
3	TESTAUSALUEEN RAKENTEEN VAATIMUKSET.....	14
	3.1 Testausrakennelma.....	14
	3.2 Tilapäinen testauspaikka .....	16
	3.3 Merkkivalot käyttötilanteen todentamiseksi .....	16
	3.4 Muutosehdotukset.....	17
	3.4.1 Testausalueen rakenne .....	17
	3.4.2 Varoituskilvet.....	19
	3.4.3 Merkkivalot.....	22
4	TESTAUSALUE SUOJAUSMENETELMÄN MUKAAN.....	23
	4.1 Testauspaikka automaattisella suojauksella koskettamiselta .....	23
	4.2 Testauspaikka ilman automaattista suojausta kosketukselta .....	23
	4.3 Tutkimuskohteen testausalueiden suojausmenetelmä.....	24
5	SUOJAUSMENETELMÄT .....	26
	5.1 Perussuojauksen menetelmät .....	26
	5.2 Vikasuojaus .....	27
	5.3 Vikavirtasuojaus .....	27
	5.4 Siirrettävät ja liikuteltavat alustat.....	28
	5.5 Muutosehdotukset.....	31
	5.5.1 Vikavirtasuojaus testausalueella .....	31
	5.5.2 Testausalustat .....	34
6	TESTAUSLAITTEIDEN RAKENNE.....	35
	6.1 Koteloinnin vaatimukset .....	35
	6.2 Sähkölaitteiden vaatimukset .....	36
	6.3 Johtojärjestelmät.....	37
	6.4 Muutosehdotukset.....	38
	6.4.1 Testausalueella käytettävät kytkinkotelot.....	38
	6.4.2 Itsevalmistetut sähkölaitteet .....	42
	6.4.3 Testausalueen johtojärjestelmät.....	43
7	TESTAUSLAITTEIDEN KÄYTTÖÄ KOSKEVAT VAATIMUKSET.....	45
	7.1 Käyttö ja kunnossapito .....	45
	7.2 Henkilöstön vaatimukset.....	45

7.3 Laitteiden tunnistaminen .....	46
7.4 Tarkastukset .....	47
8 POHDINTA .....	48
LÄHTEET .....	49

## ERITYISSANASTO

Testaus	Testaus sisältää kaikki toiminnot, joilla tarkistetaan sähkölaitteiston toimintaa tai sen sähköistä, mekaanista tai termistä kuntoa. Testaus sisältää myös toiminnot, joilla kokeillaan esimerkiksi sähköisten suoja- ja turvapiirien toimiminen.
Testauslaitteisto	Kaikkien testaustarkoituksiin yhteen liitettyjen testauskojeiden ja laitteiden kokonaisuus, jonka avulla tehdään sähköiset testit testauskohteelle.
Testauspaikka	Tarkoituksenmukaisesti tunnistettava testauslaitteisto rajatulla alueella. Testauspaikat jaetaan erikseen niihin, joissa on automaattinen suojaus koskettamiselta ja niihin, joissa sitä ei ole.
Testauslaboratorio	Vähintään yksi testauslaitteisto luotettavasti suljetussa tilassa tai alueella, joka on erossa vieressä olevista työalueista; tilassa on tavallisesti useita henkilöitä testaustyössä testaten laajojakin testauskohteita, jotka voivat viipyä laboratoriossa pitkiäkin aikoja.
Tutkimuslaitos	Testauslaitteisto tutkimus- ja kehitystyön kokeiden tai testien suorittamiseen. Tutkimuslaitoksissa ei yleensä tehdä rutiinitestejä.
Testausalue	Testausrakennelman ympärillä oleva tila, joka on erotettu ympäröivästä tilasta.
Ammattihenkilö	Henkilö, jolla on soveltuva koulutus ja kokemus, joiden perusteella hän kykenee arvioimaan riskit ja välttämään sähkön mahdollisesti aiheuttamat vaarat.

Opastettu henkilö

Henkilö, jonka ammattitaitoiset henkilöt ovat opastaneet siten, että hän kykenee välttämään sähkön aiheuttamat vaarat.

## 1 JOHDANTO

Konecranes Finland Oy:n Hyvinkään toimipisteessä vaihtui sähkötöiden johtaja syksyllä 2016, minkä vuoksi sähkölaitetehtaalla on tarve kartoittaa sähköhuoneiden ja -kaappien testausalueiden sähköturvallisuus ja päivittää testausalueet ja -laitteet vastaamaan nykyisiä määräyksiä. Tutkimustyön painopiste on testauksessa käytettävien laitteiden sähköturvallisuuden parantamisessa.

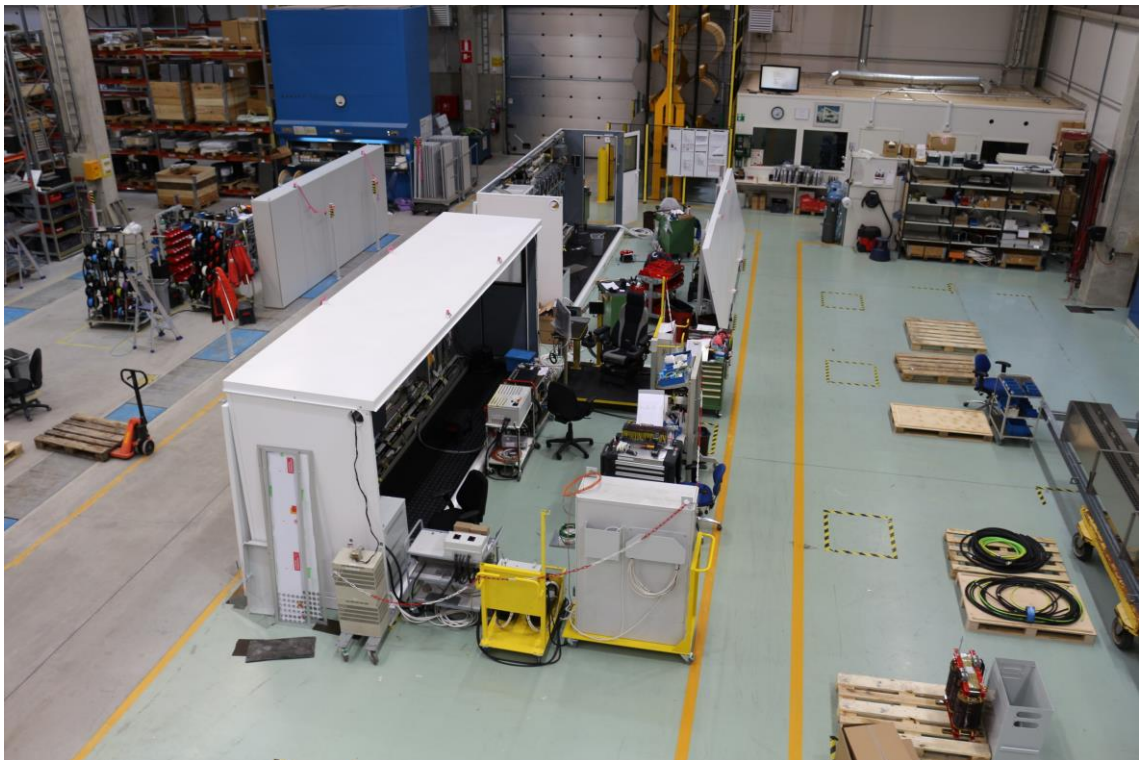
Sähkölaitetehdas siirtyi nykyisiin tiloihin vuonna 2009, jolloin testausalueet rakennettiin täysin uudestaan. Testausalueille ei ole tehty paljon muutoksia vajaan 10 vuoden aikana. Tästä johtuen alueelta voi löytyä puutteita sähköturvallisuuden osalta, koska standardeihin on tullut muutoksia vuosien saatossa. Testauslaitteet ovat perua vanhasta testauspaikasta ja niitä ei ole päivitetty vuosien aikana. Tämän vuoksi epäillään, että testauslaitteissa voi olla nykypäivän standardeihin verrattuna merkittäviä eroja turvallisuuskäytäntöjen osalta. Jo ennen työn aloittamista on tiedossa, että testauslaitteita syöttävistä lähdoista puuttuu vikavirtasuojaus. Lisäksi testausjohtojen eristystasossa on puutteita ja niille täytyy löytää korvaava vaihtoehto.

Tehtaalla on kolme erillistä testausaluetta. Suurimmalla alueella koestetaan sähkökaappiletkoja ja sähköhuoneita (kuva 1). Toisella alueella testataan RTG-nosturien sähköhuoneita (kuva 2) ja kolmannella alueella, dyna-testauksessa (kuva 3), asennetaan taajuusmuuttajiin Konecranesin oma ohjelmisto, parametroidaan tilauksen mukaiseksi ja tehdään toiminnalliset testit.





KUVA 1. Sähkökaappien ja -huoneiden testausalue



KUVA 2. RTG-sähköhuoneiden testausalue



KUVA 3. Dyna-testausalue

Sähkökaappien ja -huoneiden testausalue koostuu 10 pienemmästä alueesta, joissa tehdään toisistaan erillisiä testejä. Hyvinkäällä valmistetut nosturit räätälöidään lähes aina asiakkaan toiveiden mukaisesti, minkä vuoksi niissä voi olla paljon vaihtelua ominaisuuksien suhteen. Tämän takia sähkökaapeille tai -huoneille on tehtävä erilaisia testejä riippuen sen kokoonpanosta. Testausaluetta on pystyttävä muuttamaan aina testattavien kohteiden mukaiseksi. Sähkökaapin tai -huoneen koon ja ominaisuuksien muuttuminen asettaa haasteita myös testausalueen suojaustoimenpiteille. Erilaisia kaappeja testattaessa ei voida aina käyttää samanlaisia vikasuojausmenetelmiä, koska taajuusmuuttajien lukumäärä ja koko vaikuttavat vuotovirtojen suuruuteen. Yksi tutkimustyön tavoitteista on löytää yksinkertainen vikasuojausratkaisu, jota voisi käyttää kaikille testauskohteille.

Selvitystyö on tarkoitus aloittaa perehtymällä sähkölaitekorjaamoita ja -laboratorioita koskevaan standardiin SFS-EN 50191, minkä jälkeen tutkimustyö aloitetaan sähkökaappien ja -huoneiden testausalueelta tutustumalla testaustoimintaan kahden viikon perehdytysjaksolla. Perehdytysjakson aikana tutustutaan testaushenkilöstön toimintamenetelmiin, testauslaitteiden käyttöön ja ominaisuuksiin. Perehdytysjakson avulla on tarkoitus saada hyvä yleiskuva testaustoiminnasta ja tehdä mahdollisimman paljon turvallisuushavaintoja.

Perehdytysjakson aikana saatujen huomioiden perusteella tutustutaan kaikkiin aiheeseen liittyviin standardeihin perinpohjaisesti. Havaintojen ja standardien vertailun jälkeen tehdään johtopäätökset tarvittavista muutostöistä. Lopputulemana on tarkoitus saada aikaan tutkimustyöraportti, jossa käydään läpi merkittävät standardien kohdat, joita vertaillaan tutkimuskohteen tämän hetkiseen tilanteeseen. Tämän pohjalta tehdään tarvittavat muutostyöehdotukset. Tutkimustyön tavoite on myös muodostaa erillinen ohjeistus, josta käy ilmi sähkölaitekorjaamoiden ja -laboratorioiden merkittävimmät vaatimukset sähköstandardien osalta. Ohjeistuksen on tarkoitus muodostaa kattava kokonaisuus, jota voidaan käyttää myös tulevaisuudessa mahdollisten tilamuutosten yhteydessä.

## 2 TYÖTÄ KOSKEVAT STANDARDIT

Standardeja löytyy nykypäivänä runsaasti ja samoihin asioihin voidaan viitata useissa eri standardikokonaisuuksissa, minkä vuoksi niiden tulkitseminen voi olla haastavaa. Tästä huolimatta standardeja on pystyttävä ymmärtämään yhtenä kokonaisuutena. Standardeja luettaessa on kiinnitettävä erityisesti huomiota käytettyihin sanamuotoihin. Esimerkiksi sanaa ”suositellaan” käytetään hyvin usein, mikä tarkoittaa parasta mahdollista vaihtoehtoa asian toteuttamiseksi. Suomessa sovelletaan kansallisia (SFS), eurooppalaisia (EN) ja kansainvälisiä (IEC) standardeja. Jos standardien välillä on ristiriitaa, Suomessa käytetään kansallisia vaatimuksia.

### 2.1 Testauslaitteistojen asennusta ja käyttöä koskevat vaatimukset

Sähkölaittekorjaamoita ja -laboratorioita käsitellään kattavasti standardissa SFS-EN 50191 sähköisten testauslaitteistojen asennus ja käyttö. Standardiin on koottu tarvittavilta osin testausympäristöjä koskevat määräykset ja vaaditut suojaustoimenpiteet erilaisissa käyttötilanteissa muiden sähköturvallisuutta käsittelevien standardien pohjalta. Tämän standardin avulla saa hyvän yleiskuvan lähes kaikista testausalueita koskevista määräyksistä.

”Niiltä osin, joilta tässä standardissa ei ole vaatimuksia, koskee asennusta HD 60364 (SFS 6000) sarjan standardit 1000 V nimellijännitteeseen saakka ja HD 637 S1 (SFS 6001) yli 1000 V nimellijännitteille sekä käyttöä EN 50110-1 (SFS 6002)” (SFS-EN 50191, 2011, 1.4).

Standardissa käsitellään mm. testauslaitteiden asennusta koskevia vaatimuksia kappaleessa 4. Kappaleessa kerrotaan tarkemmin, minkälainen testauspaikan tulee olla suojausmenetelmien suhteen. Tähän on olemassa kaksi eri vaihtoehtoa, testauspaikka automaattisella suojauksella koskettamiselta tai testauspaikka ilman automaattista suojausta kosketukselta. Kappaleessa käydään läpi myös testausalueen ja tilapäisen testauspaikan rakenteen vaatimuksia. Standardin kappaleessa 5 käydään läpi henkilöstön ja testaustoiminnan vaatimuksia.

## **2.2 Täydentävät vaatimukset**

Sähkölaitekorjaamoiden lisävaatimuksia käsitellään standardissa SFS 6000-8-830. Lisävaatimuksissa käydään läpi yksityiskohtaisemmin suojausmenetelmien, kuten vikasuojauksen, erottamisen ja kytkennän vaatimuksia. Vikasuojauksessa käsitellään erityisesti suojaerotuksen käyttöä korjattavan kohteen suojaksi. Erottamisen ja kytkennän osalta standardissa käydään läpi hätäkytkentälaitteita. Lisäksi standardissa kerrotaan lyhyesti tarkastuksista ja laitteiden tunnistamisesta.

Sähkölaitetehtaan testausalueilla käytetään liikuteltavia laitteita ja telineitä testauskohteiden tarkastuksessa, minkä vuoksi testausalueilla täytyy soveltaa myös standardia SFS 6000-7-717 erikoistilojen ja -asennusten vaatimukset, liikkuvat ja siirrettävät laitteistot. Standardissa käsitellään mm. johtojärjestelmiä, suojausmenetelmiä ja laitteiden tunnistamista. Tästä standardista löytyy paljon yhteneväisyyksiä standardin SFS-EN 50191 kanssa erityisesti suojaustoimenpiteiden suhteen.

## **2.3 Sähköturvallisuusvaatimukset**

Sähköturvallisuuden osalta kaikissa asennuksissa on sovellettava pienjänniteasennuksia koskevia SFS 6000 -sarjan standardeja 1000 V:n jännitteelle asti ja SFS 6000-1 perusperiaatteet, yleisten ominaisuuksien määrittely ja määritelmät yli 1000 V jännitteillä. SFS 6000 -standardin osassa 4-41 käsitellään suojausmenetelmiä ja suojausta sähköiskulta. Tässä osassa käydään läpi suojausmenetelmien osalta syötön automaattista poiskytkentää, eristysmenetelmiä, pienoisjännitteitä ja lisäsuojausmenetelmiä.

Sähkötöitä tehtäessä on sovellettava aina standardia SFS 6002 sähkötyöturvallisuus. Standardista löytyy määräykset koskien työmenetelmiä, työvälineitä, suojuksia ja henkilöstöä. Standardia sovelletaan kaikkiin sähkölaitteistojen käyttöön ja työskentelyyn sähkölaitteistoissa tai niiden läheisyydessä kaikilla jännitealueilla (SFS 6002. 2015, 7).

### 3 TESTAUSALUEEN RAKENTEEN VAATIMUKSET

Yksi työn tavoitteista oli tutkia sähkökaappien ja -huoneiden testausalueen sähköturvallisuuksi standardien ja kansallisten sääntöjen pohjalta. Sähkölaitetehtaalla testausalueet määritellään testauslaboratorioksi tai sähkölaittekorjaamoksi, joissa käytetään ainoastaan pienjännitteitä. Pienjännite määritelmä on rajattu korkeintaan 1000 V vaihtojännitteeseen tai 1500 V tasajännitteeseen. Tässä luvussa käydään läpi testausalueita koskevia sähköturvallisuusmääräyksiä ja miten testausalueet täytyy toteuttaa kokonaisuutena. Sähkölaboratorioiden ja sähkölaittekorjaamoiden testausalueiden rakenteen määräyksiä käsitellään kattavasti standardissa SFS-EN 50191.

#### 3.1 Testausrakennelma

Sähkölaittekorjaamoissa ja -laboratorioissa tehdään sähkölaitteiden korjaus- ja testaustoimenpiteitä, minkä vuoksi laitteet ja testauskohteet voivat olla vaarallisia kokemattomille henkilöille eli maallikoille. Työn luonteen ja suorittamisen vuoksi testauskohteissa voi olla paljaita kosketeltavia jännitteille alttiita osia. Tämän vuoksi sivullisten henkilöiden pääsyä korjaus- tai testausalueille on syytä rajoittaa sähköiskun vaaran vuoksi.

Testausalueet täytyy erottaa selvästi ympäröivistä työskentelyalueista ja kulkuteistä aitausten ja varoitusmerkkien avulla. Testausalueen sisäänkäynnit täytyy varustaa kilvillä, jotka varoittavat pääsystä alueelle ilman lupaa direktiivin 92/58/EEC mukaisesti (SFS 50191. 2011, 4.4.2). Testausalue on rakennettava niin, että suojaus kosketukselta on varmistettu käyttäen suojuksia, seinämiä, aitoja, ketjuja, köysiä tai puomeja, minkä avulla estetään testaushenkilön ulottuminen kielletylle alueelle kehon osien tai työkalujen avulla. Turvallisuus voidaan saada aikaan myös käyttämällä kahden käden käyttöä vaativia ohjauslaitteita tai testauskoettimia. (SFS 50191. 2011, 4.1.1.1.) Testausalueen rajaavat seinät tai aitaukset täytyy olla rakennettu seuraavalla tavalla:

- Seinämät tai aitaukset estävät muiden kuin testaushenkilöiden pääsyn alueelle.
- Estävät muiden kuin testaushenkilöstön ulottumisen kielletylle alueelle.
- Estävät aitausten ulkopuolella olevia ulottumasta aitausten sisäpuolella oleviin testauslaitteiden hallintalaitteisiin. (SFS EN 50191. 2011, 4.1.1.3.)

Kielletyllä alueella tarkoitetaan paljaan jännitteisen osan ympärillä olevaa suoja-aluetta, jonka halkaisija riippuu suurimmasta käytössä olevasta jännitteestä mitattuna maata vasten. Jos suurin käytössä oleva jännite on enintään 1000 V vaihtojännitteellä, kielletyn alueen rajana pidetään paljaan kosketeltavan osan pintaa. (SFS-EN 50191. 2011, liite A2, 4.1.1.2.) Tämän perusteella riittää, että testausalueet rajataan siten, että jännitteisiin osiin tai hallintalaitteisiin ei ole mahdollista koskettaa alueen ulkopuolelta. Erillistä suojaetäisyyttä ei tarvitse käyttää testausaluetta rajaavan suojuksen ja testausalueen välillä.

Testauslaboratorioissa ja tutkimuslaitoksissa testausalue on rajattava muusta ympäristöstä vähintään 1800 mm korkeilla seinämillä. Jos alueella käytetään korkeintaan 1000 V vaihtosähköjännitteitä tai 1500 V tasajännitteitä, suojuksena voi käyttää myös ketjuta, köysiä tai puomeja, jotka on kiinnitetty 1000 mm ja 1400 mm välille lattiasta. Ketjun tai köyden minimikorkeus ei saa pudota alle 800 mm lattiasta. Verkkoaitojen täytyy olla minimissään 1000 mm korkeita lattiasta mitattuna. (SFS-EN 50191. 2011, 4.4.2.)

Testausaluetta rakennettaessa on otettava huomioon myös, että kaikki johtavasta materiaalista valmistetut testusrakennelman osat mukaan lukien seinämät ja verkkoaidat, on yhdistettävä suojamaajohtimeen tai on käytettävä muita toimenpiteitä vikasuojaukseen (SFS 50191. 2011, 4.1.1.3). Jos johtavasta materiaalista rakennettuja seinämiä tai aitoja ei ole kytketty suojamaajohtimeen, vaihtoehtoisena vikasuojaustoimenpiteenä olisi järkevää käyttää vähintään riittävää suojaetäisyyttä testusrakennelman ja suoja-aidan välillä.

Matalasta jännitetasosta huolimatta hätäkytkentälaitteisiin on kiinnitettävä erityisesti huomiota. Testausalueella sijaitsevat laitteistot on varustettava hätäkytkentälaitteilla, joiden avulla voidaan katkaista kaikki sähköenergia, joka voi aiheuttaa vaaraa. Hätäkytkentälaitteiden täytyy täyttää standardin EN ISO 13850:2008 vaatimukset. Testausalueen laajuudesta riippuen sen sisä- ja ulkopuolella on oltava riittävä määrä hätäkytkentälaitteita. Kuitenkin testausalueen ulkopuolella on oltava vähintään yksi hätäkytkentäpainike. Jos testausalueella on tavallisia verkkoon kytkettyjä pistorasioita, jotka eivät kytkeydy pois hätäkytkentälaitteiden avulla, on ne merkittävä asianmukaisella tavalla. (SFS-EN 50191. 2011, 4.1.3.)

### **3.2 Tilapäinen testauspaikka**

Tilapäisellä testauspaikalla tarkoitetaan aluetta, jonne on sivullisilta henkilöiltä pääsy estetty ja on rajattu verkoilla, köysillä, puomeilla tai muilla esteillä. Tilapäisen testauspaikan sisäänkäynnit täytyy varustaa standardin EN 61310-1 mukaisilla varoituskilvillä ja testausalueelta täytyy olla hätäpoistumismahdollisuus. (SFS-EN 50191. 2011, 4.5.)

Tilapäistä testauspaikkaa käytetään, jos vakituisen testauspaikan rakentaminen ei ole tarpeellista harvoin tehtävien testauksien vuoksi tai testauskohteet muuttuvat niin paljon, että pysyvän testauspaikan rakentaminen ei ole järkevää tai on mahdotonta. Tilapäistä testauspaikkaa koskee lähes samat määräykset, kuin pysyvästi toteutettua testauspaikkaa. Tilapäinen testauspaikka täytyy rakentaa niin, että testejä tekevä henkilö pystyy valvomaan testauspaikkaa. Jos tämä ei ole mahdollista, tai testattava kohde on jouduttu rajamaan kokonsa vuoksi useampaan alueeseen, täytyy jokaisella alueella asettaa yksi valvoja, jolla on yhteys testejä tekevään henkilöstöön. (SFS-EN 50191. 2011, 5.4.5.)

### **3.3 Merkkivalot käyttötilanteen todentamiseksi**

Standardissa SFS-EN 50191 (2011) todetaan, että testausalueen toimitilaa ilmaisemaan on asennettava riittävä määrä punaisia ja vihreitä merkkivaloja. Jos testauksessa käytetään alle 1000 V vaihtojännitettä, vihreän merkkivalon voi jättää pois. (SFS-EN 50191. 2011, 4.3.2.) Tämä koskee myös tilapäistä testauspaikkaa.

Myöhemmin standardissa mainitaan, että kohdan 4.3.2 mukaiset merkkivalot voidaan jättää pois, jos sivullisten pääsy mittaus tai tutkimusalueelle on estetty (SFS 50191. 2011, 4.3.8). Jos testausalue on jaettu useampiin osiin, joissa suoritetaan erillisiä testejä, jokaisen testausalueen toimitilanne täytyy ilmaista merkkivalolla. Toimitilanne on ilmaistava punaisella merkkivalolla, kun toimitilanne on valmis käyttöön tai on käytössä yhdelläkin testausalueella. (SFS-EN 50191. 2011, 4.4.3.)



### 3.4 Muutosehdotukset

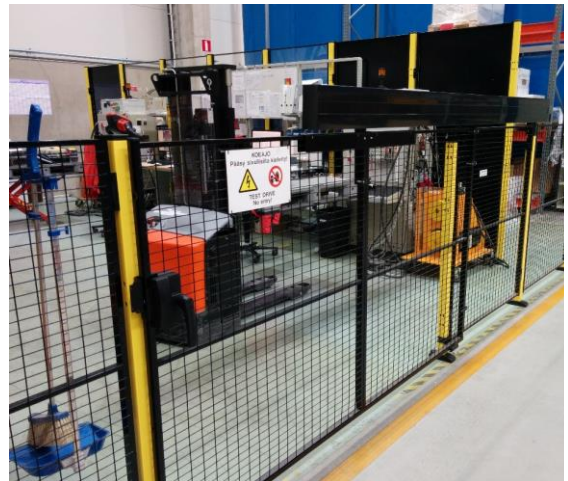
Testusrakennelmia kokevien standardien perusteella tutkimuskohteen testausalueet ovat lähes ajan tasalla. Testausalueista ja -rakennelmista löytyi muutamia pieniä muutoksia vaativia kohtia, joihin on syytä kiinnittää huomiota.

#### 3.4.1 Testausalueen rakenne

Tutkimuskohteen sähkökaappitestaustilauksen rajaava seinä (kuva 4) ja dyna-testausalueen aita (kuva 5) täyttävät niitä koskevat määräykset. Alueiden ulkopuolelta ei ole mahdollista ylettyä testausalueen hallintalaitteisiin ja pääsy sähkökaappien testausalueelle on rajattu ainoastaan testaushenkilöstölle ja opastetuille henkilöille kulkukortin avulla.



KUVA 4. Sähkökaappitestaustilauksen rajaava seinä



KUVA 5. Dyna-testausaluetta rajaava verkkoaita

Dyna- ja RTG-testausalueella ei ole käytössä kulunvalvontaa. Näissä testauspaikoissa testaushenkilöstö valvoo kulkua alueelle. RTG-Sähköhuoneiden testausalue on rajattu tulp-  
pien ja ketjujen avulla (kuva 6).



KUVA 6. RTG-sähköhuoneen testausalueen rajaavat ketjuaita

RTG-sähköhuoneiden testausaluetta tutkittaessa havaittiin, että osa hallintalaitteista on sijoitettu liian lähelle ketjuaitaa. Hallintalaitteisiin on mahdollista ylettyä alueen ulkopuolelta, kuten kuvan 7 RTG-nosturin ala-asemaan. Lisäksi kuvasta 6 ja 7 huomataan, että ketjut on asennettu muutamissa kohdissa liian korkealle. Standardin SFS-EN 50191 (2011) mukaan ketju on ripustettava 1000 – 1400 mm välille lattiasta mitattuna ja riippuma ei saa pudota alle 800 mm (SFS-EN 50191. 2011, 4.4.2).

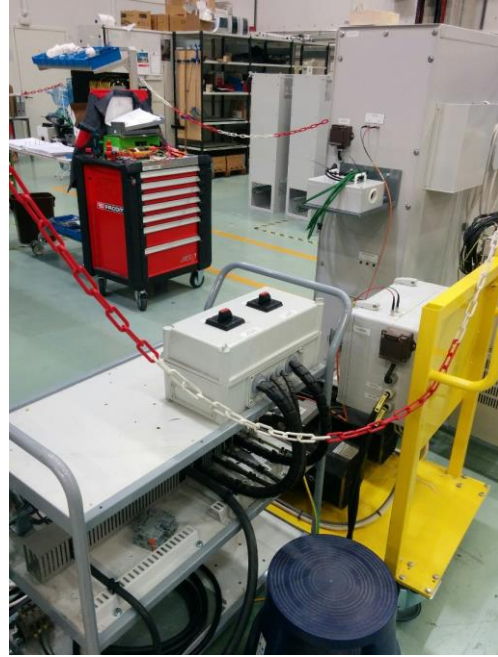


KUVA 7. RTG-nosturin ala-asema ja ketju sijoitettu väärin

Ketju on kiinnitetty ala-aseman nostokorvakkeeseen, mikä aiheuttaa sen, että ketjujen asennuspiste on liian korkealla ja hallintalaitteet ovat tehtaan yleisen työskentelyalueen kulkuväylän vieressä käsien ulottuvissa. Sama ongelma koskee myös ohjaamosimulaattorin sähkökeskusta (kuva 8) ja syötönohitusrasiaa (kuva 9).



KUVA 8. Ohjaamon sähkökeskus liian lähellä testausalueen rajaa



KUVA 9. Syötönohitusrasia/jännitteenvalitsin liian lähellä testausalueen rajaa

Turvaetäisyyksiin voidaan vaikuttaa vaihtamalla testuslaitteiden järjestystä ja laajentamalla testausaluetta. Tämänhetkiset tolpat ovat kiinteä osa testusrakennelmaa ja niitä ei voi liikutella. Korjaustoimenpiteenä RTG-testausalueelle hankitaan uudet liikuteltavat tolpat, joiden avulla aluetta saadaan laajennettua ja saadaan lisää turvaetäisyyttä hallintalaitteisiin. Myös ketjujen asennuskorkeus saadaan korjattua uusien tolppien avulla.

Tehtaalla on tilaa rajoitetusti paikassa, jossa RTG-sähköhuoneiden testausalue sijaitsee. Tämän takia testausaluetta ei voida laajentaa halutussa määrin kaikkiin suuntiin. Niille paikoille, joissa aluetta ei ole mahdollista laajentaa riittävästi ja hallintalaitteita on kosketusetäisyydellä ketjuaidasta, rakennetaan fyysiset kosketussuojat, jotta hallintalaitteita ei pääse käyttämään alueen ulkopuolelta.

### 3.4.2 Varoituskilvet

Tutkimuskohteessa sähkökaappien ja -huoneiden testausalueen sekä dyna-testausalueen sisäänkäynnit on varustettu asianmukaisilla kilvillä (kuva 10; kuva 11), jotka varoittavat sivullisia henkilöitä menemästä alueelle. Niiltä osin varoituskilpien sijoitteluun ei tarvitse tehdä muutoksia.



KUVA 10. Sähkökaappien ja -huoneiden testausalueen varoituskilpi



KUVA 11. Dyna-testausalueen varoituskilpi

RTG-sähköhuoneiden testausalueella on vastaava varoituskilpi, mutta se on asennettu kiinteästi testusrakennelman hyllykköön, jota käytetään myös osana testausalueen rajauksessa (kuva 12). Varoituskilvet pitäisi sijoittaa testausalueen sisäänkäyntien kohdalle, eli tässä tapauksessa ripustaa ketjuihin niihin kohtiin, joista testausalueelle kuljetaan. Tilanteen korjaamiseksi RTG-huoneiden testausalueelle hankitaan uudet varoituskilvet, jotka voidaan ripustaa aluetta rajaaviin ketjuihin.



KUVA 12. RTG-sähköhuoneiden testausalueen varoituskilpi

Testausalueiden tavalliset verkkoon kytketyt pistorasiat täytyy merkitä, jos ne eivät kytkeydy pois hätäkytkentälaitteiden avulla. Tällä hetkellä sähkökaappien ja -huoneiden testausalueella on pistorasiakeskuksissa pistorasioita, jotka eivät kytkeydy pois hätäkytkentälaitteiden avulla. Korjaustoimenpiteenä pr-keskuksiin liimataan kilvet (kuva 13) varoittamaan, että pistorasiat eivät ole hätä seis -piirissä.



KUVA 13. Varoituskilpi pr-keskuksessa testausalueella

Testauksessa käytettävissä kytkinkoteloissa on suojamaadoitettuja pistorasioita, jotka on tarkoitettu esimerkiksi testauksen raportoinnissa käytettäviä kannettavia tietokoneita varten. Nämä pistorasiat eivät kytkeydy pois päältä testilaitteen sammutuskytkimestä. Tästä johtuen myös testauslaitteet merkittään tästä varoittavalla kilvellä kuvan 14 mukaisesti.



KUVA 14. Testilaitteen varoituskilpi

### 3.4.3 Merkkivalot

Tutkimuskohteen sähkökaappien ja -huoneiden testausalueelle on pääsy ainoastaan testaushenkilöillä tai opastetuilla henkilöillä ja alueelle pääsee ainoastaan kulkukortin avulla. Tämän perusteella testausalueen ulkopuolelle ei tarvitse asentaa käyttötilasta varoittavia merkkivaloja.

Sähkökaappien ja -huoneiden testausalue on kuitenkin jaettu useaan erilliseen testausalueeseen, joissa suoritetaan toisistaan erillisiä testejä. Jokaisen erillisen testausalueen toimitilanne pitäisi ilmaista merkkivalolla. Tällä hetkellä testausalueella ei ole muita toimitilasta ilmoittavia merkkivaloja kuin testauslaitteiston kytkinkotelon yläpinnalla sijaitseva keltainen merkkivalo. Tämä ei riitä, koska varoitusvalon pitäisi ilmaista toimitilanne koko testausalueen henkilöstölle ja varoitusvalon on oltava väriltään punainen.

Kytinkotelon yhteyteen asennetaan korjaustoimenpiteenä magneetilla kiinnitettävä varoitusvalotorni (kuva 15), joka saa käyttööjännitteensä suoraan kytkinkotelosta. Tällä varmistetaan, että varoitusvalo palaa aina, kun testauslaitteessa on jännite kytkettynä päälle. Varoitusvalotorni voidaan kiinnittää testaustoiminnan alkaessa sähkökaapin tai -huoneen päälle näkyvälle paikalle magneettijalustan avulla. Samanlaiset valotornit asennetaan myös RTG-huoneiden testauslaitteisiin.



KUVA 15. Varoitusvalotorni sähkökaapin päällä

## **4 TESTAUSALUE SUOJAUSMENETELMÄN MUKAAN**

Testauspaikkaa perustettaessa täytyy ottaa huomioon suojausmenetelmät. Testaustoiminnan perusteella on valittava kahden vaihtoehdon väliltä: Joko testauspaikka automaattisella suojauksella koskettamiselta tai testauspaikka ilman automaattista suojausta kosketukselta. Suojausmenetelmien merkittävin ero on vikasuojaustoimenpiteissä ja testausalueen rakenteissa. Tässä luvussa käsitellään molempien vaihtoehtojen eroja.

### **4.1 Testauspaikka automaattisella suojauksella koskettamiselta**

Jännitteisten osien suojaus koskettamiselta on saatava aikaan eristämällä standardin SFS-EN 50191 kohdan 4.1.1.1 mukaisilla suojuksilla, jotka estävät muita kuin testaushenkilöitä ylettymästä kielletylle alueelle. Kaikki testauskohteen osat on suojattava kansilla tai koteloinneilla, mitkä täyttävät standardin EN 60529 mukaisen kotelointiluokan IP3X-määritelmät. IP3X-suojauksen voi jättää pois, jos suojuukset ovat vähintään 1800 mm korkeita kiinteitä seinämiä ja testaussojuukset on varustettu laitteilla, jotka estävät ovien avaamisen testausalueelle testausjännitteiden ollessa päällä. (SFS-EN 50191. 2011, 4.2.1, 4.2.2.)

Suojuksen poistamisen tulee kytkeä jännite pois automaattisesti. Testausalueella ei saa olla mahdollista kytkeä jännitteitä päälle, jos suojus on avattuna. Suojuksen on oltava täydellisesti toimintakunnossa ennen kuin jännitteet on mahdollista kytkeä takaisin päälle. Vian esiintyessä ei saa olla mahdollista kytkeä testausjännitteitä uudelleen. Lisäksi jäännösjännitteiden on purkaututtava automaattisesti ennen kuin jännitteille alttiita osia voidaan koskettaa. (SFS-EN 50191. 2011, 4.2.1, 4.2.2.)

### **4.2 Testauspaikka ilman automaattista suojausta kosketukselta**

Testauspaikkaa ilman automaattista suojausta voidaan käyttää, jos työn luonteen takia on mahdotonta käyttää automaattisella suojauksella kosketukselta -menetelmää tai se ei ole käytännöllistä toteuttaa. Tämänlaisia tilanteita voivat olla esimerkiksi, jos testaustehtävät

muuttuvat usein, testauskohteet ovat erilaisia, työn suorittamisessa on vakavia vaikeuksia, tai testaustehtäviä esiintyy vain satunnaisesti. (SFS-EN 50191. 2011, 4.3.1.)

Jos testauspiirit on kytketty sähköisesti tavalliseen jakeluverkkoon, on ne varustettava lisäsuojana toimivalla  $I_{\Delta N} \leq 30$  mA vikavirtasuojalla. Jos vikavirta sisältää tasasähkökomponentteja, on käytettävä sopivia vikavirtasuojia. Jos testitehtävästä johtuen lisäsuojauksen käyttö vikavirtasuojan avulla ei ole mahdollista, pitää käyttää vikavirtavalvontajärjestelmää (RCM), jonka toimintavirta  $I_{\Delta N}$  on  $\leq 30$  mA. Kun mitoitustoimintavirta ylitetään, poiskytkentäaika ei saa ylittää vikavirtasuojan poiskytkentäaikaa. Vikavirtavalvontalaitteen syöttöjännitteen katoaminen pitää aiheuttaa testipiirin poiskytkennän. (SFS-EN 50191. 2011, 4.3.5.)

Vikavirranvalvontajärjestelmä toimii vikavirtasuojan tavoin mitaten vaihejohtimien ja nollajohdon summavirtaa. Järjestelmän avulla pystytään mittaamaan samanaikaisesti useita lähtöjä. Vikavirranvalvontajärjestelmään pystyy asettamaan erilaisia varoitus- ja hälytystasoja käyttökohteen mukaan. (Trafox 2017.)

Vikavirtasuoja ja vikavirranvalvontajärjestelmä eivät ole ainoita vaihtoehtoja vikasuojauksen toteuttamiseksi. Vikasuojausmenetelmänä voidaan käyttää myös pienoisjännitteitä SELV tai PELV, suojaerotusta tai hälyttävän eristystilanvalvontaa (SFS 6000-8-803. 2012, 803.4).

Vikavirtasuojan toteuttaminen hälyttävänä eristystilan valvontana tulee tehdä erikoistoinenpitenä, johon voidaan siirtyä ainoastaan avainta käyttäen ja erikoiskäytössä alueella tulee olla jatkuva valvonta. Hälyttävän eristystilan valvonta tulee rajata mahdollisimman pienelle alueelle. Menetelmää voidaan käyttää, jos testaustoimenpiteet estävät tavallisen vikavirtasuojan käytön. Tästä huolimatta sähkölaitekorjaamoissa ja testauslaboratorioissa kaikki enintään 32 A pistorasiat on suojattava toimintavirralltaan korkeintaan 30 mA vikavirtasuojan avulla, jos niitä ole liitetty SELV-, PELV -järjestelmään tai suojaerotukseen. (SFS 6000-8-803. 2012, 803.4.)

### 4.3 Tutkimuskohteen testausalueiden suojausmenetelmä

Tutkimuskohteen testausalueilla mittaustehtävät muuttuvat usein, koska testausalueella koestetaan useiden eri nostolaitteiden sähkökaappeja ja kaappien kokoonpanot voivat vaihdella paljon asiakkaan toiveista riippuen. Testausalueiden suojausmääritelmien perusteella automaattista suojausta kosketukselta ei ole järkevä käyttää testausympäristössä,



jossa useat henkilöt tekevät saman aikaisesti testauksia eri kohteille. Yhden henkilön poistuminen testausalueelta aiheuttaisi jokaisella kerralla tahattoman jännitteiden poiskytketymisen, mikä puolestaan hidastaisi testausprosessia huomattavasti. Suojausmenetelmän hyvänä puolena on, että alueella saa työskennellä myös opastetut henkilöt ilman ammattihenkilön valvontaa.

Testauspaikka ilman automaattista suojausta kosketukselta on järkevämpi vaihtoehto tutkimuskohteeseen, mutta se asettaa kuitenkin lisäsuojausvaatimuksia testausalueelle henkilöstön suojaamiseksi. Jotta testausalue saataisiin riittävän turvalliseksi, jokainen lähtö on suojattava oman vikavirtasuojan avulla tai on käytettävä suojaerotusta standardin mukaan. (SFS-EN 50191. 2011, 4.3.5).

## 5 SUOJAUSMENETELMÄT

Suojausmenetelmien tulee koostua sopivasta yhdistelmästä, jossa on perussuojaus ja erillinen vikasuojaus. Toinen vaihtoehto on käyttää lisättyä suojausmenetelmää, jolla saadaan aikaan perussuojaus ja vikasuojaus. Esimerkiksi vahvistettu eristys luetaan lisäsuojaukseksi. (SFS 6000. 2012, 410.3.2.) Tässä luvussa käsitellään suojausmenetelmiä ja miten ne pitää ottaa huomioon testausympäristössä.

### 5.1 Perussuojauksen menetelmät

Perussuojauksella estetään ihmisten tai eläinten koskettaminen jännitteisiin osiin suojiin ja kotelointien avulla. Tämä voidaan toteuttaa estämällä virran kulku ihmisen tai kotieläimen kautta, tai rajoittamalla ihmisen tai kotieläimen kautta kulkevan virran määrää vaarattomalle tasolle. (SFS 6001.2012, 131.2.1.)

Mahdollisuuksien mukaan testattavassa kappaleessa on pyrittävä käyttämään perussuojaukselta kosketukselta ensisijaisena suojaustoimenpiteenä. Sähkölaittekorjaamoiden ja opeuskäytössä olevien sähkölaboratorioiden luonteen vuoksi niissä ei aina voida käyttää perussuojaukselta testattavassa kappaleessa. Jos joitain toimenpiteitä ei voida suorittaa täysin suojattuna kosketukselta, pitää käyttää mahdollisuuksien mukaan muita suojuksia tai esteitä. Lisäksi sähkölaittekorjaamoiden ja -laboratorioiden testausalueet on järjestettävä siten, että alueelle on pääsy ainoastaan ammattitaitoisilla tai opastetuilla henkilöillä. Maalikat saavat mennä tiloihin vain ammattitaitoisen tai opastetun henkilön valvomana. (SFS 6000. 2012, 803.410.3.5.)

Tilapäisiin kytkentöihin suositellaan käytettäväksi vahingossa kosketukselta suojattuja kytkentäjohtoja. Jos testauspaikan yhteydessä esiintyy 1000 V vaihtojännitteitä tai 1500 V tasasähköjännitteitä, on testauspaikka erotettava muusta ympäristöstä pysyvästi tai tilapäisesti. (SFS 6000. 2012, 803.410.3.5.)

## 5.2 Vikasuojaus

Vikasuojauksella suojaudutaan tilanteelta, jossa laitteen peruseristykseen on tullut vika ja jännitteiset osat voivat olla vaarallisesti kosketeltavissa. Vikasuojauksen tarkoitus on estää virran haitalliset vaikutukset ihmisissä tai kotieläimissä samoin kuin perussuojauksessa. D1-2012 -käsikirja rakennusten sähköasennuksista (2012) mukaan tyypillisiä vikasuojauksen menetelmiä on käyttää riittävän nopeaa syötön automaattista poiskytkentää, mikä tarkoittaa ylivirtasuojalaitteita tai vikavirtasuojia. (D1-2012. 2012, 84.)

Sähkölaittekorjaamoiden ja laboratorioiden lisämääräyksiä käsittelevässä Standardissa SFS 6000-803.4 (2012) vikasuojauksesta sanotaan, että sillä voidaan suojautua jännitteiksi tulleiden jännitteille alttiiden osien ja maapotentiaalin väliseltä saman aikaiselta kosketukselta, mutta ei jännitteiksi tulleiden osien ja nollajohtimen tai kahden eri vaiheissa olevan johtimen väliseltä kosketukselta. Tämän takia sähkölaittekorjaamoiden ja -laboratorioiden testauspaikkojen sähköä johtavien pöytien ja lattioiden pintojen täytyy olla eristävää materiaalia vikasuojauksen täydentämiseksi. Johtavien pintojen eristäminen ei kuitenkaan ole varsinainen vikasuojausmenetelmä vaan varatoimenpide. Testauspaikkojen työtasojen ja lattioiden pintojen eristysresistanssin täytyy olla vähintään 50 K $\Omega$  500 V jännitteellä ja 100 K $\Omega$ , kun jännite on yli 500 V. (SFS 6000. 2012, 803.411.)

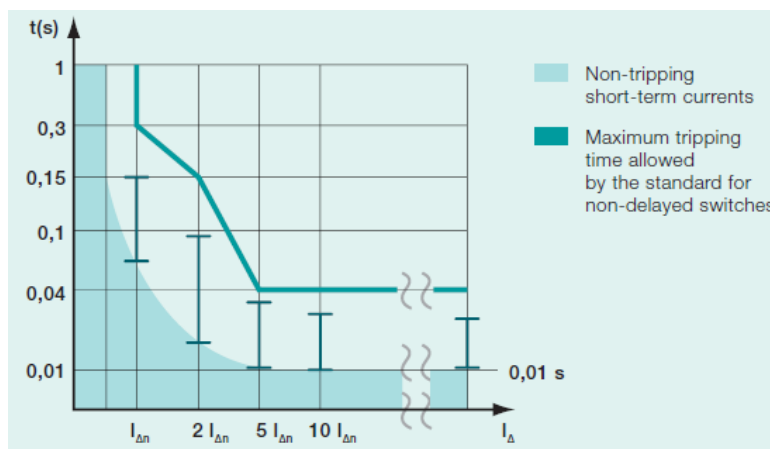
Työpöytien rungot voivat olla metallia, jos ne eivät ole johtavassa yhteydessä maahan. Raskaiden koneiden ja laitteiden kiinnitysalustojen eristämistä tai eristävää lattiaa ei vaadita korjaus-, koekäyttö- ja testauspaikoilla, mikäli se on vaikeasti toteutettavissa tai aiheuttaa kohtuutonta haittaa. Eristävyys testataan tarvittaessa SFS 6000-6 liitteen 6A mukaisesti. (SFS 6000. 2012, 803.411.)

## 5.3 Vikavirtasuojaus

Vikavirtasuojakytkin suojaa ihmisiä, eläimiä ja esineitä jännitteisten osien suoralta ja epäsuoralta koskettamiselta. Sen avulla valvotaan myös eristevikoja ja katkaistaan vahingolliset vuotovirrat, näin vikavirtasuojia toimii myös tietyntyyppinen palosuojana. (Hager, 715.) Vikavirtasuojan tarkoitus on antaa suojattavalle kohteelle lisäsuojaa, mutta sen avulla ei voi korvata laitteen perussuojasta tai vikasuojaukselta. Vikavirtasuojan tehtävänä on toimia perussuojauksen ja/tai vikasuojauksen pettäessä tai kun käyttäjä on varomaton. (SFS 6000-4-41. 2012, 415.1.)

Ainoastaan tapauksissa, joissa vikavirta on niin pieni, että vikasuojaukseen ei voida toteuttaa tavallisella syötön poiskytkennän keinoin, voidaan vikavirtasuojaa käyttää vikasuojauksena. Tällöin vikavirtasuojan nimellinen mitoitusvirta  $I_{\Delta N}$  voi olla korkeintaan 1/5 esiintyvistä pienimmästä oikosulkuvirrasta. (SFS 6000-5-53. 2012, 34.) Sähkölaitekorjaamoiden ja laboratorioiden sähköturvallisuutta käsittelevän standardin SFS-EN 50191 (2011) mukaan kaikki testausalueen enintään 32 A lähdöt täytyy suojata 30 mA vikavirtasuojien avulla, kun käytössä on ilman automaattista suojausta kosketukselta -menetelmä ja käytössä ei ole SELV-, PELV-järjestelmää tai suojaerotusta. (SFS-EN 50191. 2011, 4.3.5).

Standardit määrittävät vikavirtasuojille maksimi toiminta-ajat, jotka suojan täytyy täyttää. Standardin SFS 6000-5-53 (2012) mukaan yleisen tyyppin 30 mA vikavirtasuojan toiminta-aika saa olla korkeintaan 0,3 s ja suojan täytyy toimia virralla  $I_{\Delta N} \leq 30$  mA. Lisäksi standardissa määritellään, että yli 150 mA:n vikavirralla suojan toiminta-aika ei saa ylittää 0,04 sekuntia. (SFS 6000-5-53. 2012, 34.) Kuvaajassa 1 on esitetty 30 mA vikavirtasuojan toiminta-ajat vikavirran funktiona.



KUVAAJA 1. 30 mA vikavirtasuojan toiminta-aika vikavirran funktiona (ABB 2015, 8)

#### 5.4 Siirrettävät ja liikuteltavat alustat

Standardin SFS 6000 osassa 7-717 käsitellään erikoistilojen ja asennusten vaatimuksia koskien siirrettäviä ja liikuteltavia laitteistoja. Tutkimuskohteessa testauslaitteet ja rakennelmat ovat pääsääntöisesti liikuteltavia laitteistoja, joten se pitää ottaa huomioon testausalueen turvallisuudessa.

Testausalueiden suunnittelussa täytyy ottaa huomioon testusrakennelmien, -laitteiden ja -kohteiden sijoittelu, jotta esteetön kulku saadaan varmistettua alueelle ja sieltä pois. Huolimattomasti järjestelty testauspaikka voi olla turvallisuusriski hätätilanteen sattuessa. Tutkittavassa kohteessa testauskohteet muuttuvat usein ominaisuuksien ja koon suhteen, minkä vuoksi alueen järjestelyyn on syytä kiinnittää huomiota. Riittävän turvallisuuden ja esteettömän kulun varmistamiseksi testausaluetta on pystyttävä muuttamaan testauskohteiden vaatimuksien mukaan. Tämän takia sähkökaapit testataan usein liikuteltavien alustojen päällä (kuva 16).



KUVA 16. Sähkökaappi liikuteltavan alustan päällä

Liikkuvan alustan avulla testattava kaappi voidaan siirtää haluttuun paikkaan testausalueella. Alustan avulla kaappi saadaan sijoitettua niin, että se on mahdollisimman vähän kulkuteiden tukkeena. Hyvin sijoitettu kaappi helpottaa johtojen vetämistä kaapille lattiaa pitkin, jolloin kompastumisen ja johtojen mekaanisen rasituksen riski vähenee.

Testusrakennelman muokattavuuden helpottamiseksi myös testausmoottorit on sijoitettu liikuteltavaan alustaan (kuva 17). Moottorit on helppo sijoittaa sopivaan paikkaan testauskohteiden muuttuessa, jolloin pitkät johtovedot saadaan minimoitua ja esteetön liikuminen paranee alueella.



KUVA 17. Testimoottorit liikkuvan alustan päällä

Testauksessa käytettävien kytkinkoteloiden ja sähkökaapin välille tulee paljon testausjohtimia sähkökaapin toiminnallista testiä varten. Johtojen suuren määrän takia kytkinkotelo tulisi saada riittävän lähelle testattavaa kaappia, jotta johdot eivät olisi testaushenkilöstön tiellä. Kytkinkoteloiden liikuteltavuuden parantamiseksi ne on asennettu pyörillä varustettujen alustojen päälle (kuva 18).



KUVA 18. Kytkinkotelot liikuteltavan alustan päällä

Liikuteltavan kokonaisuuden avulla testausalue saadaan pidettyä siistinä ja esteettömänä. Liikuteltavat alustat eivät ole välttämättömiä sähkölaitekorjaamoissa tai -laboratorioissa, mutta tutkittavassa kohteessa testausalueen muokattavuus on välttämätöntä testaustoiminnan luonteen vuoksi.

## 5.5 Muutosehdotukset

Tutkimuskohteen suojausmenetelmissä merkittävimmät huomiota vaativat asiat ovat vikavirtasuojauksen puuttuminen ja puutteet lisäsuojausmenetelmissä. Tässä alaluvussa tarkastellaan lähemmin, miksi tutkimuskohteessa ollaan päädytty tämän hetkisiin suojausmenetelmiin ja miten niitä voisi muuttaa vastaamaan nykyisiä standardeja.

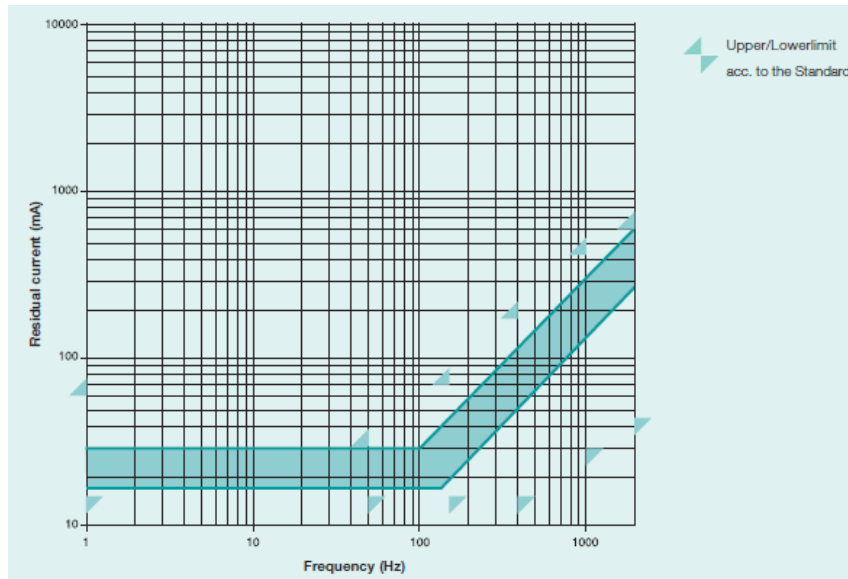
### 5.5.1 Vikavirtasuojaus testausalueella

Vikasuojauksen toteuttaminen tutkimuskohteen kaltaisessa testausalueympäristössä voi olla haastavaa, koska testattavat kohteet sisältävät usein taajuusmuuttajia ja verkkoon jarruttavia laitteita. Taajuusmuuttajat aiheuttavat harmonisia yliaaltoja syöttävään verkkoon, mikä voi saada vikavirtasuojan toimimaan epätoivotulla tavalla. Taajuusmuuttajien suuntaajat aiheuttavat myös korkeita katkontataajuuksia, mistä johtuen verkkoon aiheutuu suuritaajuisia vuotovirtoja. Liian suurien vuotovirtojen takia tavallinen vikavirtasuojia toimii turhaan. Virtapiikit voivat olla suuria varsinkin laitteiden käynnistyessä. Tavallista B-tyyppin vikavirtasuojaa ei ole suunniteltu korkeille taajuuksille, minkä takia ne eivät sovellu käytettäväksi tutkimuskohteen kaltaisessa ympäristössä. Vastaavia käyttöolosuhteita varten valmistetaan erityisiä hidastettuja suoja, jotka eivät aiheuta virheellistä toimintaa käynnistystilanteissa. Lisäksi on olemassa vikavirtasuojia, jotka suodattavat korkeataajuisia vuotovirtoja, eli suojan toimimiseen vaaditaan yli 100 Hz taajuuksilla suurempi vikavirta.

Tällä hetkellä tutkimuskohteen testausalueiden 32 A:n lähdeissä ei ole vikavirtasuojasta. Ainoastaan testauksessa käytettävien kytkinkoteloiden suojamaadoitetuissa pistorasioissa on vikavirtasuojat. Testauslaitteita syöttävissä lähdeissä on aikaisemmin kokeiltu tavallisia B-tyyppin vikavirtasuojia huonolla menestyksellä. Testauskohteiden aiheuttamien vuotovirtojen vuoksi tavallinen vikavirtasuojia laukeaa välittömästi, kun verkkoon jarrutuslaitte kytetään päälle. Ongelmaa ei ilmene tavallisten taajuusmuuttajien kanssa.

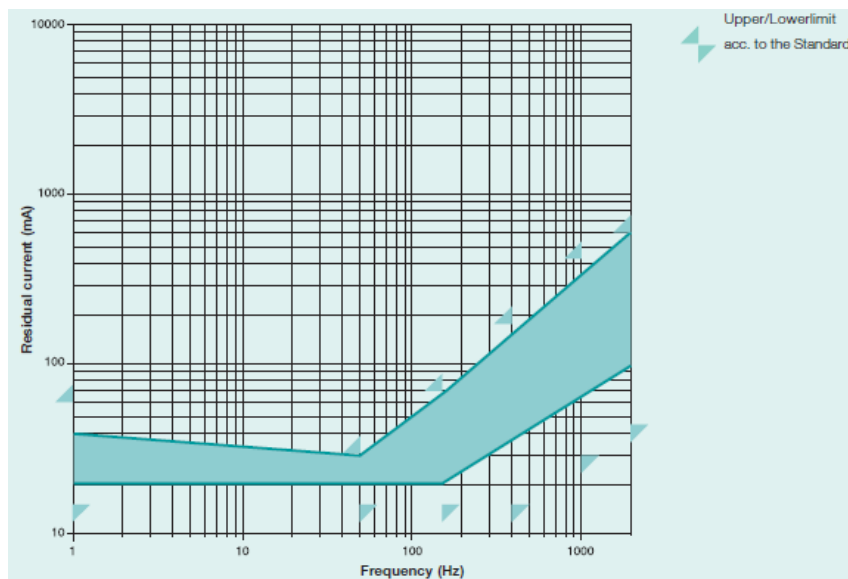
Tilanteen korjaamiseksi testausalueelle hankittiin kokeiltavaksi ABB:n valmistama F204B-tyyppin vikavirtasuojia. Tämän mallin pitäisi sopia käytettäväksi laitteissa, jotka aiheuttavat vuotovirtoja tavallista enemmän. Vikavirtasuojan laukaisuvirta pysyy vakiona

aina 100 Hz asti, minkä jälkeen korkeammilla taajuuksilla laukaisuvirran arvo kasvaa jyrkästi kuvaajan 2 mukaan.



KUVAAJA 2. F204 B-tyyppin vikavirtasuojan laukaisukäyrä taajuuden funktiona (ABB 2015, 16)

F204B-vikavirtasuojan toiminta vaatii huomattavasti suuremman vuotovirran suojan toimimiseksi korkeilla taajuuksilla verrattuna saman tuotesarjan tavallisen vikavirtasuojan toiminta-arvoihin (kuvaaja 3). Tämän vuoksi sen pitäisi sopia suojaamaan testauskohteita, joissa on paljon taajuusmuuttajakuormaa.



KUVAAJA 3. F200 B-tyyppin vikavirtasuojan laukaisukäyrä taajuuden funktiona (ABB 2015, 16)



Kuvaajan 3 tavallisen vikavirtasuojan laukaisukäyrästä huomataan, että laukaisuun vaadittava herkkyys laskee taajuuden kasvaessa vikavirtasuojan nimelliseen toimintataajuuteen asti (50 Hz). Tämän vuoksi virtapiikit lähellä nimellistä taajuutta voivat aiheuttaa suojan epätoivotun toimimisen. Kuvaajia vertailtaessa huomataan, että F204B-vikavirtasuojan toimintakäyrä nousee huomattavasti jyrkemmin taajuuden kasvaessa yli nimellisen pisteen verrattuna kuvaajan 3 tavalliseen vikavirtasuojaan. Kuvaajasta 2 nähdään, että vikavirtasuojan toimimiseen vaaditaan noin 150 mA vikavirta 1 kHz:n taajuusalueella. Puolestaan kuvaajan 3 tavallisen vikavirtasuojan toimimiseen vaaditaan samalla taajuusalueella vain noin 65 mA vikavirta.

Vikavirtasuojaa testattiin ensin kohteissa, jotka sisälsivät vaihtelevia määriä taajuusmuuttajia. Suoja toimi näissä tilanteissa hyvin taajuusmuuttajien lukumäärästä riippumatta. Testauksia jatkettiin onnistuneesti usealla erilaisella kaapilla. Ongelmia ilmeni heti ensimmäisen kaapin yhteydessä, jossa oli verkkoon tehoa syöttäviä DynaReg-verkkoon jarrutuslaitteita. Verkkoon jarrutuslaitteen latauspiirin päälle kytkeminen laukaisee vikavirtasuojan välittömästi. Latauspiirin tarkoitus on ladata välipiirissä olevia kondensaattoreita niiden vaurioitumisen estämiseksi, jos kondensaattorit ovat olleet pitkään käyttämättä. Verkkoon jarruttavalla taajuusmuuttajalla on LCL-suodatin verkkohäiriöiden vähentämiseksi. Epäilyksenä on, että virtaa pääsee vuotamaan maihin LCL-suodattimen maadoitettujen kondensaattoreiden kautta, mikä saa vikavirtasuojan laukeamaan. Verkkoon jarrutuslaite on itsessään maasta erotettu.

Vikavirtasuojasta ei saatu toimimaan luotettavasti kaikkien testauskohteiden kanssa, minkä vuoksi alettiin etsiä vaihtoehtoja ratkaisua. ABB:n tuotevalikoimasta löytyi Saksan markkinoille suunniteltu vikavirtasuojaja F204B+, joka on tarkoitettu käytettäväksi jopa 20 kHz taajuuksille asti. Tämä malli onnistuttiin tilaamaan, mutta tutkimustyötä tehdessä se ei ole vielä saapunut perille. Toinen ratkaisu vikavirtasuojan tilalle voisi olla erillisten suojaerotusmuuntajien käyttäminen. Testausalueille voitaisiin hankkia muutamia pieniä suojaerotusmuuntajia käytettäväksi testauskohteiden kanssa, joissa on verkkoon jarrutuslaitteita. Muiden testauskohteiden kanssa voisi käyttää jo testattua vikavirtasuojaa. Toistaiseksi selvitystyötä jatketaan käytännöllisimmän ratkaisun löytämiseksi.

### 5.5.2 Testausalustat

Lisäsuojausvaatimusten mukaan työpöytien, tasojen ja liikuteltavien asennustelineiden yläpintojen tulisi olla eristävää materiaalia. Puolestaan standardin SFS 6000 osan 7-717 (2012) mukaan liikuteltavien ja siirrettävien laitteiden kosketeltavat johtavat osat tulisi kytkeä potentiaalintasausjohtimella, jos laitteen runkorakenteet, putkijärjestelmät tai alustat ovat kosketeltavia johtavia osia (SFS 6000-7-717. 2012, 411.3.1.2). Tutkimuskohteen testausalustat ovat johtavaa materiaalia, eikä niissä ole sovellettu kumpaakaan suojausmenetelmistä (kuva 19).



KUVA 19. Eristämätön sähkökaapin testausalusta

Lisäsuojausvaatimuksista voidaan päätellä, että toista vaihtoehtoista on suositeltavaa käyttää testausympäristössä, mutta ei samanaikaisesti. Eristävä pintamateriaali ja potentiaalintasausjohdin ovat eri sovelluksia samasta suojaustoimenpiteestä, jonka tarkoituksena on estää johtavan osan tuleminen jännitteiseksi. Eristävällä materiaalilla estetään jännitteen siirtyminen runkorakenteeseen, kun taas potentiaalintasausjohtimella virralle luodaan pieni-impedanssinen reitti, jonka avulla suojalaite saadaan toimimaan riittävän nopeasti.

Vaihtoehtoista on järkevämpi käyttää testausalustan pinnan suojaamista eristävällä materiaalilla, koska osa työalustoista on metallisia pukkeja. Pukkien kohdalla jokainen olisi kytkettävä erikseen potentiaalintasausjohtimeen, mikä ei olisi käytännöllistä. Korjaustoimenpiteenä metallisiin alustoihin ja pukkeihin on hankittava eristävä matto vikasuojauksen täydentämiseksi.

## 6 TESTAUSLAITTEIDEN RAKENNE

Sähkölaitteet täytyy olla rakennettu niin, että ne eivät voi aiheuttaa vaaraa, kun niitä käytetään asianmukaisella tavalla. Tämän vuoksi sähkölaitteiden ominaisuuksia ja turvallisuutta valvotaan lakien ja standardien avulla. Myös testauslaitteita koskevat lähes kaikki samat määräykset. Tässä luvussa käsitellään testauslaitteiden rakenteen ja ominaisuuksien vaatimuksia ja mahdollisia muutosehdotuksia.

### 6.1 Koteloinnin vaatimukset

Koteloinnin tehtävänä on suojata sähkölaitteen jännitteelle alttiit osat kosketukselta. Sähkölaitteen ollessa valmis käyttöön, ainoastaan peruseristyksellä suojatut osat täytyy sijaita vähintään kotelointiluokan IP2X tai IPXXB sisäpuolella. Koteloinnin täytyy täyttää myös seuraavat vaatimukset:

- Eristeaineisen kotelon läpi ei saa viedä johtavia osia, joiden kautta potentiaali voi siirtyä.
- Kotelon rakenteessa ei saa käyttää ruuveja tai muita kiinnityslaitteita, joita joudutaan avaamaan tai poistamaan huollon yhteydessä, ja joiden korvaaminen metalliruuveilla voisi huonontaa kotelon muodostamaa eristystä. (SFS 6000-4-41. 2012, 412.2.2.)

Kotelointiluokat IP2X ja IPXXB tarkoittavat, että kyseisen luokan suojaeristeiset kotelot ovat sormelta kosketussuojatut ja kotelossa saa olla korkeintaan 12,5 mm halkaisijalla oleva aukko (SFS-EN 60529. 2000, 4.2). Laitteen sisällä sijaitsevat johtavat osat täytyy sijoittaa siten, että niitä ei ole mahdollista koskettaa sormin eristekuoren aukoista.

Suojien tai kotelointien vaakasuorien yläpintojen täytyy muodostaa vähintään kotelointiluokkaa IP4X tai IPXXD vastaava suoja, jos pinnat ovat helposti kosketeltavissa (SFS 6000-4-41. 2012, liite 41A.2.2). IP4X-luokitus määritellään standardissa SFS 60529 (2000) niin, että vaaralliset osat on suojattu langalla koskettamiselta ja halkaisijaltaan 1,0 mm etäisyyskosketin ei saa tunkeutua laitteen sisään (SFS 60529. 2000, 5.2). Vastaavasti

IPXXD-luokituksesta sanotaan, että kotelo on suojattu langalla koskettamiselta ja halkaisijaltaan 1,0 mm ja pituudeltaan 100 mm etäisyyskoettimella on oltava riittävä etäisyys vaarallisista osista (SFS 60529. 2000, 7.0).

Jos erityysaineisen suojakotelon kansi tai luukku voidaan avata ilman työkaluja, luukun alla olevien kosketeltavien johtavien osien on sijaittava eristysaineisen suojuksen takana. Suojuksen täytyy antaa vähintään eristystasoa IP2X tai IPXXB vastaava suoja. Tämä eristysaineinen suojuus voidaan poistaa ainoastaan avainta tai työkalua käyttäen. (SFS 6000-4-41. 2012, 412.2.2.3.)

”Kun eristysaineisen kotelon läpi on vietävä mekaaninen liitos tai jatkokappaleita (esim. sisäpuolisten laitteiden käyttöelimiä), ne on sijoitettava siten, että suojaus sähköiskulta vikatapauksessa ei huonone.” (SFS 6000-4-41. 2012, 412.2.2.2).

Eristysaineisen kotelon sisällä olevia johtavia osia ei saa kytkeä suojajohtimeen. Jos kotelon kautta kulkee toisen sähkölaitteen syöttö, suojajohtimet saa kuitenkin liittää kotelon sisällä. Tällaiset suojajohtimet ja niiden liittimet on eristettävä kuten jännitteinen osa ja liittimien on oltava merkitty PE-liittimiksi. (SFS 6000-4-41. 2012, 412.2.2.4.)

## **6.2 Sähkölaitteiden vaatimukset**

SFS 6002 KÄYTÄNNÖSSÄ-kirjan (2016) mukaan työkalujen, varusteiden ja laitteiden on täytettävä soveltuvien eurooppalaisten (EN), kansallisten (SFS) tai kansainvälisten (IEC) standardien vaatimukset. Pienjännitetyökaluja käsitellään standardissa SFS-EN 60900, jonka mukaan jännitetyökalut on merkittävä kaksoiskolmiosymbolilla ja jännitteellä tai jänniteluokalla. (Rousku & Mäkinen 2016, 28, 32.) Tämän perusteella itse valmistetuille testereille pitäisi tehdä vaatimuksien mukaisia kokeita, jotta voitaisiin varmistua laitteiden turvallisuudesta ja niiden standardien mukaisuudesta.

Myös Turvallisuus- ja kemikaalivirasto Tukes valvoo ja määrittelee sähkölaitteiden ominaisuuksia ja turvallisuutta lainsäädännön ja asetusten avulla. Valtioneuvoston asetuksen mittausseläitteiden olennaisista vaatimuksista, vaatimustenmukaisuuden osoittamisesta ja teknisistä erityisvaatimuksista (2012. 9.1) mukaan laitteessa täytyy olla mm. seuraavat tiedot;

- valmistajan merkki ja toiminimi
- tiedot laitteen tarkkuudesta
- mittauskapasiteetti
- mittausalue
- tunnistemerkintä
- EY-tyyppitarkastustodistuksen tai suunnittelua koskevan EY-tarkastustodistuksen numero.

Sähkölaitteiden vaatimuksia käsitellään myös sähköturvallisuuslaissa. Laissa on määritelty, että sähkölaitetta valmistavan tahon on osoitettava sähkölaitteen turvallisuus, jota ei saateta markkinoille, mutta joka luovutetaan myös muiden käyttöön. Laitteesta on voitava osoittaa, että se täyttää 6 §:n vaatimukset. (Sähköturvallisuuslaki. 2016, 7 §.)

### 6.3 Johtojärjestelmät

Liikuteltavien ja siirrettävien sähkölaitteiden johtojärjestelmiä käsitellään SFS 6000 sarjan osassa 7-717 ja osassa 4-41 käsitellään johtimien ominaisuuksia turvallisuuden osalta. Standardit määrittävät muun muassa, kuinka paksua johdinta laitteissa täytyy minimissään käyttää ja miten se tulee kiinnittää laitteen kotelointiin.

Johtojärjestelmissä on käytettävä poikkipinta-alaltaan vähintään 2.5 mm<sup>2</sup> kuparikaapelia, joka on määritelty standardissa EN 50425-2-21. Taipuisan kaapelin eristeaineen vaurioituminen on minimoitava tuomalla se eristeaineisen läpivientiaukon kautta koteloinnin sisälle niin, että laitteen jännitteelle alttiit osat eivät voi muuttua jännitteisiksi. Lisäksi kaapelin vaippa täytyy kiinnittää liitälaitteeseen tai laitteistoon. (SFS 6000. 2012, 7-717.52.) Ainoastaan peruseristyksellä suojatut johtimet on lisäksi suojattava yhdellä tai useammalla seuraavista menetelmistä;

- kaapeli on eristettävä vaipalla
- ei metallisella johtokanavajärjestelmällä tai putkella (SFS 6000. 2012, 412.2.4).

Laitteiden sisäiseen johdotukseen saa käyttää ainoastaan eristettyjä hienolankaisia johtimia, muutamalankaisia johtimia tai yksijohdinkaapeleita, mitkä on asennettu ei metalli-

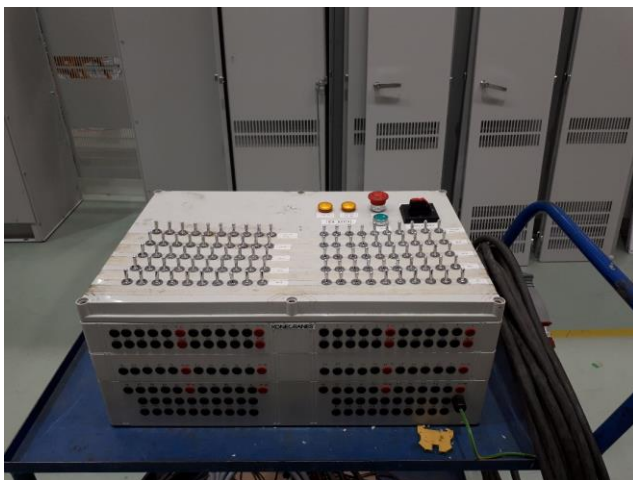
siin putkiin tai johtokanavajärjestelmiin. Hienolankaisissa ja muutamalankaisissa johtimissa täytyy olla vähintään seitsemän lankaa. Laitteen sisäisissä johdotuksissa voidaan käyttää myös vaipallisia kaapeleita. Kaapeleiden täytyy täyttää EN 50525-2-31 ja EN 60332-1-2 vaatimukset. (SFS 6000. 2012, 717.52.2.)

## 6.4 Muutosehdotukset

Tutkimuskohteen testauslaitteet ovat lähes ajan tasalla, mutta niistä löytyi muutamia turvallisuutta vaarantavia asioita, joihin täytyy kiinnittää huomiota. Koteloinnin osalta testauslaitteet ovat kunnossa, mutta laitteiden suojamaadoituksista ja koteloiden läpivienneistä löytyi puutteita. Tässä alaluvussa käsitellään testauslaitteiden tarvittavia muutosehdotuksia.

### 6.4.1 Testausalueella käytettävät kytkinkotelot

Tutkittavassa kohteessa käytetään kytkinkoteloita (kuva 20) kaikilla testausalueilla, minkä kautta testattavien kohteiden syöttö kulkee. Kytkeinkotelon avulla saadaan testattua esimerkiksi releiden ja kontaktoreiden toiminta, mitä rajakytkimet ohjaavat todellisessa tilanteessa. Rajakytkimet voivat olla mekaanisia rajakytkimiä, kuten noston tai vaunun siirron rajat.



KUVA 20. Kytkeinkotelo

Pienempiä kytkinrasioita käytetään myös jakorasiana, jos johtimien pituus ei riitä kauimmaisille kaapeille (kuva 21). Niitä käytetään apuna myös logiikoiden tulojen ja lähtöjen testauksessa, koska tutkimuskohteen testausalueilla ei saa käyttää hyppylankaa tähän tarkoitukseen.



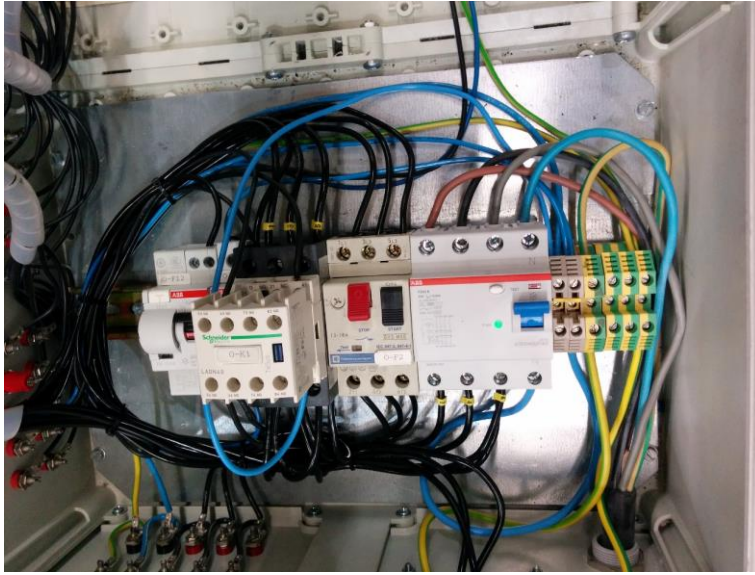
KUVA 21. Pieni kytkinkotelo jakorasiana

Testausalueella käytettävissä kytkinkoteloissa kytkimet sijaitsevat laitteen yläpinnalla, tämän perusteella kotelon yläpinnan tulee antaa vähintään IP4X tai IPXXD vastaava suoja. Tältä osin koteloinnin suojaus on riittävällä tasolla.

Kytkinkotelot ovat olleet käytössä useita vuosia, mikä näkyy niiden kunnossa. Ajan myötä muoviset kotelot ovat kärsineet paljon ja useiden koteloiden kansiin muoviset kiinnitysruuvit ovat hajonneet tai irronneet. Tämän vuoksi useat kotelot on mahdollista avata ilman työkaluja, eivätkä tämän takia täytä suojaeristeen kotelointiluokan vaatimuksia. Osaa kotelosta ei kannata edes korjata tai niihin ei ole satavilla tarvittavia varaosia. Korjaustoimenpiteenä huonokuntoisimmat kotelot täytyy korvata uusilla ja hajonneet kiinnitysruuvit on vaihdettava uusiin.

Kytkinkoteloissa havaittiin puutteita myös suojamaadoitusjohtojen liittämismenettelyssä kotelon sisällä. Testattavien sähkökaappien syöttö kulkee kytkinkoteloiden kautta. Syöttökaapeli on viisijohtiminen eli siinä on kolme vaihetta, nolla- ja suojamaajohto. Kotelon sisällä suojamaajohto on yhdistetty toisiinsa maadoitusriviliittimien avulla, jotka

maadoittuvat DIN-kiskoon runkonsa kautta. Täten metallinen asennuslevyyn on myös maadoitettu (kuva 22).



KUVA 22. Riviliittimet asennettuna metalliseen asennuslevyyn

Standardin SFS 6000-4-41 (2012) mukaan koteloinnin sisällä olevia johtavia osia ei saa liittää suojamaajohtimeen, koska se voi pahimmillaan aiheuttaa vaaratilanteen vian sattuessa (SFS 6000-4-41. 2012, 412.2.2.4.). Jos jännitteinen johto katkeaa kotelon sisällä ja koskettaa metalliseen asennuslevyyn, testattavan kohteen kosketeltavat johtavat osat voivat tulla jännitteiseksi. Kosketeltavien johtavien osien tuleminen jännitteiseksi vaatisi vähintään kahden yhtäaikaisen vian. Esimerkiksi edellä kuvatun vian lisäksi suojamaajohtimen täytyisi olla poikki syötön puolelta. Korjaustoimenpiteenä suojamaajohtimen yhdistämiseen täytyy keksiä uusi ratkaisu, joka täyttää standardin vaatimukset. Yksi mahdollisuus on käyttää eristettyjä PE-riviliittimiä suojamaadoitusjohtojen yhdistämiseksi.

Suojausmenetelmiä käsittelevän standardin SFS 6000-4-41 (2012) mukaan koteloiden läpi ei saa viedä johtavia osia, joiden kautta potentiaali voi siirtyä (SFS 6000-4-41. 2012, 412.2.2). Muutamissa koteloiden ylimääräisten läpivientien peittämiseen on käytetty metallisia tulppia (kuva 23). Lisäksi koteloiden käytetyt hallintakytkimet ovat johtavaa metallia, joiden kautta potentiaalin on mahdollista siirtyä vikatilanteessa, koska kytkimet on asennettu koteloon metallisen asennuslevyn avulla (kuva 24).





KUVA 23. Ylimääräiset läpiviennit on korvattu metallisilla tulpilla



KUVA 24. Kytkin ja metallinen asennuslevy

Tilanteen korjaamiseksi kytkimien päälle hankitaan eristeaineiset suojat (kuva 25) ja metalliset tulpat vaihdetaan muovisiin. Alla on listattu kaikki toimenpiteet, jotka täytyy tehdä kytkinkoteloiden saattamiseksi määräyksiä vastaavaan kuntoon:

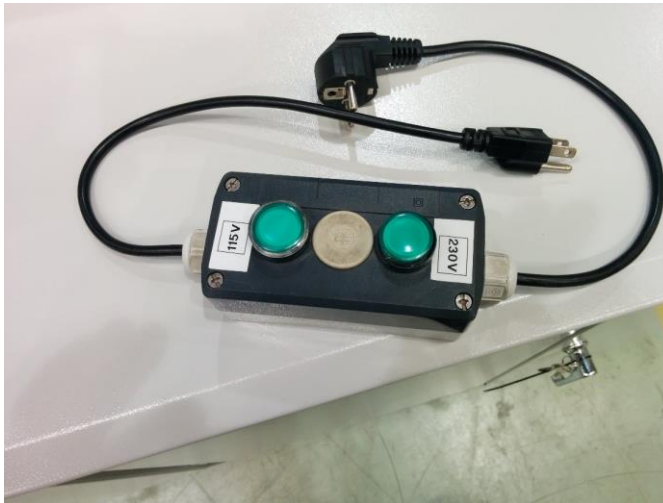
- Koteloiden kiinnitysruuvit on korjattava/vaihdettava.
- Kotelon sisällä olevaa metallista asennuslevyä ei saa kytkeä suojajohtimeen.
- Metallisten kytkimien päälle on hankittava eristävät suojat.
- Metalliset tulpat on vaihdettava muovisiin.
- Kytkinkotelolle on tehtävä turvalliseen käyttöön vaadittavat ohjeet.



KUVA 25. Eristeineinen kytkinsuoja (Kuva: Mouser electronics)

### 6.4.2 Itsevalmistetut sähkölaitteet

Sähkökaappien ja -huoneiden testauksessa käytetään pistorasioiden vikavirtasuojien toiminnan tarkastamiseen itse tehtyä testauslaitetta (kuva 26), joka oikosulkee vaiheen ja suojamaan vastuksen kautta. Vaikka laite on turvallisesti koteloitu, se ei täytä standardien vaatimuksia turvallisuuden kannalta.



KUVA 26. Itse valmistettu vikavirtasuojatesteri

RTG-huoneiden koeajossa on aikaisemmin käytetty jännitetyökaluksi luokiteltavaa, itsevalmistettua hyppylankaa (kuva 27), jonka avulla on saatu testattua logiikan tuloja ja lähtöjä nopeasti käyttämättä erillistä testausjohdotusta kytkinkotelon kautta. Hyppylankalaitteelle on otettu käyttöjännite suoraan kytkinkotelosta.



KUVA 27. RTG-koeajon itsevalmistettu hyppylankalaite

Itsevalmistettu vikavirtasuojatestauslaite toimii testauskäytössä hyvin sen yksinkertaisen rakenteen ja toiminnan vuoksi. Tästä huolimatta testauslaitetta ei saa määräysten mukaan käyttää, jos siitä ei voida osoittaa riittäviä dokumentteja jännitekestoisuuden ja käyttöturvallisuuden osalta. Laite pitäisi lähettää testattavaksi taholle, joka pystyy testaamaan sähköisten mittalaitteiden ominaisuuksia. Lisäksi testauslaitteet tulisi varustaa käyttöohjeilla, joista käy ilmi laitteen turvallisen käyttöön vaadittavat tiedot, vaikka testauslaitteet olisivat itsevalmistettuja (SFS-EN 50191. 2011, 5.1.2). Nykyään molempien itsevalmistettujen laitteiden käyttö on kielletty tutkimuskohteessa.

### 6.4.3 Testausalueen johtojärjestelmät

Määräysten mukaan testausjohtimien täytyy olla kaksoiseristettyjä tai peruseristettyjen johtimien kanssa täytyy käyttää ei metallista johtokanavajärjestelmää. Tutkimuskohteen testausalueilla käytetään testausjohtimina ainoastaan peruseristyksellä suojattuja johtimia kytkinkotelon ja testattavan kohteen välillä. Testausjohtimet viedään testattavaan kohteeseen lattiaa pitkin (kuva 28).



KUVA 28. Testausjohtimet vedetty lattiaa pitkin

Testaus toiminnassa käytettävien johtimien suuren määrän takia voisi olla perusteltua käyttää johtokanavajärjestelmiä. Johtokanavien avulla kompastumisen riski vähenisi

huomattavasti ja kaapeleihin kohdistuisi vähemmän mekaanisia rasituksia (kuva 29). Testausjohtimiin voi kohdistua hankausta myös sähkökaapin sisällä olevista terävistä reunoista (kuva 30), mikä puoltaa testausjohtimien vaihtoa kaksoiseristetyiksi.



KUVA 29. Kompastumisriksi kasvaa, jos testausjohtimet asetellaan huolimattomasti



KUVA 30. Johdot voivat hankautua teräviin reunoihin sähkökaapissa

Muutostoimenpiteenä tutkimuskohteeseen olisi järkevintä hankkia vähintään kaksoiseristetyt testausjohtimet. Johtokanavat eivät ole välttämättömiä, mutta niiden avulla testausalueet saisi pidetty paremmassa järjestyksessä, jolloin minimoitaisiin kompastumisen riski. Lisäksi johtimien päältä käveleminen ei vaurioittaisi testausjohtimien eristettä.

## **7 TESTAUSLAITTEIDEN KÄYTTÖÄ KOSKEVAT VAATIMUKSET**

Testauslaitteiden vaatimuksia ja käyttöä käsitellään standardissa SFS-EN 50191 sekä standardikokoelmassa SFS 6000. Standardissa SFS-EN 50191 kappaleessa 5 käsitellään sähkölaitteiden käyttöön kohdistuvia määräyksiä yleisesti sekä henkilöstöä, joka saa käyttää ja toimia testauslaitteiden parissa. Tässä luvussa käsitellään testauslaitteisiin kohdistuvia vaatimuksia käytön ja ominaisuuksien osalta.

### **7.1 Käyttö ja kunnossapito**

Testauslaitteita saa käyttää ainoastaan alan ammattihenkilön valvonnassa. Tätä ei kuitenkaan vaadita, jos käytössä on testausalue automaattisella suojauksella varustettuna. (SFS-EN 50191. 2011, 5.1.1.) Testauslaitteistojen parissa saa kuitenkin työskennellä myös opastetut henkilöt (SFS-EN 50191. 2011, 5.2.1).

Testauslaitteiden kunnossapitoon saa käyttää ainoastaan ammattitaitoisia henkilöitä. Turvallisuuslaitteiden toiminta on tarkastettava ammattitaitoisen henkilön toimesta määräajoin ja tulokset on kirjattava muistiin. (SFS-EN 50191. 2011, 5.1.5, 5.1.6.)

Testauslaitteet on varustettava asianmukaisilla käyttöohjeilla, joista selviää turvalliseen käyttöön vaadittavat tiedot. Käytössä olleet testauslaitteet on aina tarkastettava ennen uutta käyttöä ulkoisten vaurioiden varalta. Jos testauslaitteissa havaitaan vaaraa aiheuttavia vaurioita tai vikoja, niitä ei saa käyttää. (SFS-EN 50191. 2011, 5.1.2 - 5.1.4.)

### **7.2 Henkilöstön vaatimukset**

Standardin SFS-EN 50191 kappaleessa 5.2 käsitellään testaushenkilöstön vaatimuksia. Työhön kuuluvien toimintojen monimutkaisuus on arvioitava ennen toiminnan aloittamista, jotta tehtäviä suorittamaan valitaan siihen sovelias ammattitaitoinen tai opastettu henkilö. Koko henkilöstö on koulutettava tuntemaan työssä vaaditut ohjeet, määräykset ja yrityksen säännöt. Koulutus on uusittava tarvittavin määräajoin, kuitenkin vähintään

kerran vuodessa. Koulutuksesta täytyy pitää kirjallista rekisteriä. (SFS-EN 50191. 2011, 5.2.1.)

” Testauslaboratorioissa, tutkimuslaitoksissa tai tilapäisissä testauspaikoissa työskentelevät henkilöt saavat työskennellä vain työstä vastaavan henkilön kokonaisvalvonnan alaisuudessa. (SFS-EN 50191. 2011, 5.2.3)”

Testauspaikoille saa mennä vain sinne kuuluva henkilöstö ja muut henkilöt, jotka ovat saaneet riittävän vaaroja koskevan opastuksen. Jos muiden henkilöiden pitää mennä näille alueille, heidän pitää olla ammattihenkilöiden seurassa ja heille on kerrottava riskeistä. Jos testauspaikan jännite on yli 1 kV, vaaditaan lisäksi työstä vastaavan henkilön lupa. (SFS 50191. 2011, 5.2.4)

Jokaisen henkilön, joka työskentelee testauslaboratoriossa, tutkimuslaitoksessa tai tilapäisessä testauspaikassa, on oltava täysin tietoinen esiintyvistä vaaroista. Heillä on myös velvollisuus noudattaa työssään varovaisuutta ja turvallisuustoimenpiteitä, jotta he suojaavat vahingoilta itseään ja muita henkilöitä. (SFS-EN 50191. 2011, 5.2.5)

### **7.3 Laitteiden tunnistaminen**

Sähkölaitteiden ja laboratorioiden asennuksista täytyy olla ajan tasalla olevat dokumentit. Työskentelypaikalla olevissa pistorasioissa täytyy olla selkeät merkinnät, joista käy ilmi tarvittavat tiedot kuten jännite, virta, teho ja suojaustapa. (SFS 6000-8-803. 2012, 803.514.) Laitteistoon on asennettava selkeästi näkyvillä oleva kestävästä materiaalista oleva kilpi, josta käy ilmi laitteen käytön kannalta oleellimmat tiedot. Kilvestä on käytävä yksiselitteisesti ilmi seuraavat asiat;

- syöttöjen tyypit, jotka on mahdollista kytkeä laitteistoon
- laitteiston jännitearvot
- vaiheiden lukumäärä ja niiden kytkentä
- laitteiston sisäinen maadoitusjärjestelmä
- laitteiston maksimiteho. (SFS 6000-7-717. 2012, 717.514.)

## 7.4 Tarkastukset

Sähkölaitteiden turvallisen toiminnan takaamiseksi laitteista on pidettävä huolta ja niille on suoritettava tarkastuksia määräajoin. Jos laitteita käytetään paljon ja niillä on useita käyttäjiä, laitteet on syytä tarkastaa aina ennen käyttöönottoa pintapuoleisesti, jotta voidaan varmistua käyttöturvallisuudesta. Viallisia tai vahingoittuneita laitteita ei saa käyttää missään tilanteessa, koska se voi aiheuttaa sähköiskun vaaran.

Sähkölaittekorjaamoissa ja sähkölaboratorioiden testauspaikoilla on suoritettava normaalien sähköasennusten käyttöönottotarkastukset. Lisäksi huoltoon ja kunnossapitoon liittyen on tehtävä määräajoin tarkastuksia, joiden avulla varmistetaan suojalaitteiden turvallinen toiminta. (SFS 6000-8-803. 2012, 803.6)

Sähkölaitteiden kuntoa on tarkkailtava määrävälein tehdyillä tarkastuksilla ja testeillä. Tarkastukset ja tulokset on kirjattava ylös lukuun ottamatta ennen käytön aloittamista tehtävää tarkastusta. Tarkastusväliin ja laajuuteen vaikuttaa laitteiston tyyppi ja miten paljon sitä käytetään. Tarkastuksia suositellaan tehtäväksi seuraavalla tavalla:

- Laitteiden ja kytkentäjohtimien silmämääräinen tarkastus aina ennen käytön aloittamista.
- Vikasuojien testaus testipainikkeella enintään 6 kuukauden välein.
- Hätäkytkinlaitteiden testaus yhden vuoden välein.
- Vikavirtasuojien testaaminen testilaitteella ja kattava silmämääräinen tarkastus enintään kahden vuoden välein.
- Eristysresistanssin mittausta ja suojajohtimien jatkuvuuden testaus enintään viiden vuoden välein. (SFS 6000-8-803. 2012, 803.6.62.)

## 8 POHDINTA

Tutkimustyön alussa tehdyllä kahden viikon perehdytysjaksolla oli suuri merkitys työn etenemisen kannalta. Jo perehdytysjakson aikana löytyi aiheita, joihin paneuduttiin lopullisessa tutkimustyössä tarkemmin. Kahden viikon aikana tehtyjen havaintojen perusteella muodostui runko opinnäytetyölle, jota lähdettiin kehittämään eteenpäin vanhojen ja uusien havaintojen pohjalta.

Testauslaitteista löytyi muutamia huomiota vaativia korjauskohteita. Testauslaitteissa merkittävin turvallisuusriski on kytkinkoteloiden sisällä olevan paljaan metallisen asennuslevyn maadoittaminen. Lisäksi kytkinkoteloiden vioittuneet kiinnitysruuvit on vaihdettava siten, että kotelointia ei voi avata ilman työkaluja. Huonokuntoisimmat kotelot tul- laan korvaamaan uusilla.

Testausalueilta löytyi korjattavaa vikavirtasuojauksen, lisäsuojausvaatimusten, varoituskilpien ja -valojen osalta. Merkittävin turvallisuusriski on vikavirtasuojauksen puute, mikä oli jo työtä aloitettaessa tiedossa. Tutkimustyön lopputulema on, että tavallista vikavirtasuojauksia ei voi käyttää tutkimuskohteen kaltaisessa ympäristössä vuotovirtojen takia. Yksi vaihtoehto voisi olla suojaerotusmuuntajien käyttäminen vikavirtasuojien sijaan. Selvitystyötä jatketaan vielä käytännöllisimmän ratkaisun löytämiseksi. Lisäsuojausvaatimusten täydentämiseksi testausalueen metallisiin pukkeihin ja tasoihin tullaan hankkimaan eristeaineista mattoa. Lisäksi tutkimustyön tuloksena testausalueelle hankittiin varoitusvalot ja uusia varoituskilpiä.

Tutkimustyön lopputuloksen perusteella voi todeta, että testausalueiden sähköturvallisuus on hyvin ajan tasalla verrattaessa niitä päivitettyihin standardeihin. Muutos- ja korjaustarpeet ovat suhteellisen pieniä, mutta niiden avulla testausalueet saadaan vastaamaan vuosien aikana muuttuneita määräyksiä. Asiat, joita täytyy edelleen kehittää tutkimuskohteessa, ovat vikasuojaus, johtojärjestelmät ja niiden riittävästä eristystasosta huolehtiminen sekä vedonpoistoratkaisut. Tulevaisuudessa testauslaitteita ja -alueita kannattaa kehittää edelleen. Uusien standardien seuraaminen muutoksien varalta on tärkeää turvallisuuden kannalta. Turvallisuutta testausalueilla saadaan parannettua edelleen ammattitaitoisen testaushenkilöiden ansiosta sekä Konecranes Finland Oy:n kannustavan asenteen turvallisuushavaintoja ja uusia aloitteita kohtaan.



## LÄHTEET

ABB. System pro M compact, F200B-vikavirtasuoja. Luettu 03.01.2017.

[https://library.e.abb.com/public/a6b94dde747049b1b9d2238cc761e8cc/2CSC423015B0202%20F200\\_B\\_Type\\_EN.pdf](https://library.e.abb.com/public/a6b94dde747049b1b9d2238cc761e8cc/2CSC423015B0202%20F200_B_Type_EN.pdf)

Hager. Vikavirtasuojakytkin. Luettu 03.01.2017. <http://www.utu.eu/sites/default/files/attachments/vikavirtasuojat-tekniset-tiedot-11fi0211.pdf>

Mouser electronics. NKK Switches. AT402A-kytkinsuoja. Luettu 16.01.2017.

<http://www.mouser.fi/Search/ProductDetail.aspx?qs=Av7JdS0MGqL2iP53TvUAMQ%3d%3d>

Rousku, H. & Mäkinen, P. 2016. SFS 6002 KÄYTÄNNÖSSÄ. 22. painos. Espoo: Sähköinfo Oy.

SFS-EN 50191. Sähköisten testauslaitteistojen asennus ja käyttö 7.3.2011. 2.painos.

SFS 6000-1. Pienjännitesähköasennukset. Perusperiaatteet, yleisten ominaisuuksien määrittely ja määritelmät 13.8.2012. 3.painos.

SFS 6000-4-41. Pienjännitesähköasennukset. Suojausmenetelmät 13.8.2012. 3.painos.

SFS 6000-5-53. Pienjännitesähköasennukset. Sähkölaitteiden valinta ja asentaminen. Erottaminen, kytkentä ja ohjaus 13.8.2012. 3.painos.

SFS 6000-7-717. Pienjännitesähköasennukset. Erikoistilojen asennusten vaatimukset. Siirrettävät ja liikuteltavat laitteistot. 13.8.2012. 3.painos.

SFS 6000-8-803. Pienjännitesähköasennukset. Täydentävät vaatimukset. Sähkölaitteiden korjaukset ja laboratoriot 13.8.2012. 3.painos

SFS-EN 60529. Sähkölaitteiden koteloitiluokat. 6.11.2000. 2.painos.

Sähköturvallisuuslaki 19.12.2016/1135

Tiainen, E. 2015. D1-2012. Käsikirja rakennusten sähköasennuksista. 23.painos. Espoo: Sähköinfo OY.

Trafox. RMC vikavirran valvontalaitteet. Luettu 16.01.2017. <http://www.trafox.fi/tuotteet/trafox-superintend/trafox-superintend-rcm/>

Tukes. Valtioneuvoston asetus mittauslaitteiden olennaisista vaatimuksista, vaatimustenmukaisuuden osoittamisesta ja teknisistä erityisvaatimuksista. Liite 1. 2012. Luettu 12.01.2017. <https://www.edilex.fi/data/sdliite/liite/6096.pdf>