

Nostintehtaan testauskaapeleiden suunnittelu

Jenita Viisteensaari

OPINNÄYTETYÖ
Maaliskuu 2022

Sähkö- ja automaatiotekniikka
Sähkövoimatekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Sähkö- ja automaatiotekniikka
Sähkövoimatekniikka

VIISTEENSAARI, JENITA:
Nostintehtaan testauskaapeleiden suunnittelu

Opinnäytetyö 45 sivua, joista liitteitä 3 sivua
Maaliskuu 2022

Opinnäytetyön tarkoituksena oli kartoittaa, kehittää ja dokumentoida Hämeenlinnan tehtaan tuotetestauksen testauskaapelit. Pää tavoitteena oli kehittää testauskaapeleiden sähköturvallisuutta. Tehtävänä oli ensimmäisenä kartoittaa olemassa olevat testauskaapelit ja suunnitella tämän pohjalta kaapeleiden modernisointi. Opinnäytetyö on toteutukseltaan työelämän tarpeisiin tehty kehitystehtävä, joka on tehty yhteistyössä Konecranes Finland Oy kanssa.

Työn tuloksina saatiin selvitettyä, suunniteltua sekä dokumentoitua tehtaalla olevat testauskaapelit. Testauskaapelit dokumentointiin tietokantapohjaisella sähkösuunnitteluohjelmalla sekä komponenteista muodostettiin tuotelista. Testausalueiden sähkötyöturvallisuutta saatiin parannettua kehittämällä kaapeleiden liitäntäratkaisuja turvallisemmaksi sekä luomalla pohja kaapeleiden dokumentoinnille.

Opinnäytetyön johtopäätöksinä todettiin, että testauskaapeleiden sähköturvallisuus pohjautuu ajantasaiseen dokumentointiin, oikeisiin liitinratkaisuihin sekä mekaaniseen suojaukseen. Tulosten perusteella kehittämisehdotukseksi nousi testauskaapeleiden kunnossapitosuunnitelman luominen sekä tehtaan sisäisen tiedonhallinnan kehittäminen.

Asiasanat: testauskaapeli, dokumentointi, sähkösuunnittelu, sähköturvallisuus, testausalue

ABSTRACT

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

VIISTEENSAARI, JENITA:
Design of Lifting Factory Testing Cables

Bachelor's thesis 45 pages, appendices 3 pages
March 2022

The purpose of this thesis was to map, develop and document testing cables used for product testing in the Hämeenlinna factory of Konecranes Finland Ltd. The main objective was to develop electrical safety of the testing cables. The problem was approached by identifying the state of existing testing cables and designing their modernization based on this.

As a result, the design of testing cables was improved and documented. The documentation was done using a database-driven computer-aided design tool where component and product lists were formed. The electrical safety of the testing area was also improved by developing better connector solution for the cables and by designing foundation for further documentation.

The findings indicate that the electrical safety of the testing cables is based on up-to-date documentation, a technically correct connector solution and cables' mechanical protection. As a further development, a maintenance plan for the testing cables should be developed and technical information management should be improved inside the factory.

Key words: testing cable, documentation, electrical design, electrical safety, testing area

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
2	TYÖN TAUSTA JA LÄHTÖKOHDAT	9
	2.1 Hämeenlinnan tehdasympäristö.....	9
	2.2 QAB-testausalue	10
3	TEOREETTISET LÄHTÖKOHDAT	12
	3.1 Sähköturvallisuus testausalueella	12
	3.2 Testauskaapeleiden suojaus.....	14
	3.2.1 Perussuojaus.....	15
	3.2.2 Vika- ja lisäsuojaus.....	16
	3.3 Testauskaapeleiden mitoitus.....	17
	3.4 Sähkömagneettinen yhteensopivuus	18
	3.5 Testauskaapeleiden liitännätarvikkeet	18
	3.6 Sähkökuvien dokumentointi	20
	3.6.1 Tietokantapohjainen dokumentointi	21
	3.6.2 Testauskaapeleiden tunnistaminen	23
4	TESTAUSKAAPELEIDEN KARTOITUS	25
5	TESTAUSKAAPELEIDEN SUUNNITTELU	29
	5.1 Kaapelityypin valinta	29
	5.2 Mitoitus ja suojaus.....	30
	5.3 Liitännätarvikkeiden suunnittelu	32
	5.4 Tietokantapohjainen dokumentointi.....	34
6	POHDINTA	37
	LÄHTEET	39
	LIITTEET	43
	Liite 1. Testauskaapelin dokumentointi	43
	Liite 2. Komponenttilista	45

LYHENTEET JA TERMIT

CAT	Mittalaitteen sertifioitu turvaluokitus ylijännitesuojausluokassa
CE	CE-merkinnällä tuotteen valmistaja tai maahantuoja vakuuttaa, että sähkölaite täyttää Euroopan unionin lainsäädännön vaatimukset
EMC	Electromagnetic Compatibility eli sähkömagneettinen yhteensopivuus, millä tarkoitetaan sähkölaitteen tai järjestelmän kykyä toimia häiriöttä sähkömagneettisessa ympäristössä
HH1	Hämeenlinnan tehtaalla sijaitseva köysinostintehtaan tunnus, jonka tuotanto on jaettu QA-, QB-, QC-, Belt- sekä S-mallin nostimiin
HH2	Hämeenlinnan tehtaalla sijaitseva köysinostintehtaan tunnus, missä valmistetaan QE- ja QD-mallin nostimia
HH6	Hämeenlinnan tehtaan sähköosasto, jossa valmistetaan nosturin sähkökeskuksia, taajuusmuuttajia, radiota sekä sähkötauluja
HH8	Hämeenlinnan tehtaalla sijaitseva ketjunostintehtaan tunnus
IEC	International Electrotechnical Commission eli maailmanlaajuinen standardisointijärjestö, jonka avulla kehitetään ja yhdenmukaistetaan sähköalan standardeja

IP	International Protection eli IP-koodilla varustettu koodausjärjestelmä, jolla ilmaistaan koteloinnin suojausaste
KCID	Konecranesin oman tuotetilaustunnuksen lyhenne
KHT	Hämeenlinnan tehtaalla sijaitsevan vaihdetehtaan tunnus
QAB	Yhteisnimitys Q-tuoteperheen A- ja B-mallin nostimesta
RCM	Residual Current Monitoring eli vikavirta- valvontajärjestelmä
SFS	Suomen Standardisoimisliiton lyhenne sekä sen kansallinen tunnus
VAC	Voltage of Alternating Current eli vaihtosähköjännite

1 JOHDANTO

Turvallisuus- ja kemikaaliviraston rekisteriin ilmoitettu sähkötapaturmien määrä on ollut Suomessa noususuhdanteista kymmenillä henkilövahingoilla vuosina 2013–2019 (Tukes 2020). Sähkötapaturmat aiheuttavat pahimmillaan henkilöille ja omaisuudelle peruuttamattomia vahinkoja. Siksi sähkötapaturmissa yksikin tapaus on liikaa, sähköturvallisuutta on jatkuvasti kehitettävä sekä aikaisemmista tapahtumista on otettava opikseen.

Opinnäytetyö tehtiin yhteistyössä Konecranes-konserniin kuuluvan Konecranes Finland Oy kanssa, joka on maailman johtavin nostolaittevalmistaja (Konecranes in Brief n.d). Hämeenlinnan tehtaalla valmistettujen tuotteiden sähköinen sekä mekaaninen kunto tarkastetaan erikseen testauslaitteistolla. Tässä työssä sovelletaan alle 1000 V pienjännitesähköasennuksen mukaisia Suomen Standardisointiliiton (SFS) vahvistamia standardeja, koska testauslaitteistot toimivat enimmillään 690 V vaihtosähköllä ja 50 Hz taajuudella.

Testauspaikat on tarkoituksenmukaisesti rajattu omaksi alueeksi, koska testattavien nostimien jännitteiset osat eivät ole testauksen aikana täysin suojattu koskettamiselta. Yrityksen monipuolisen nostinvalikoiman seurauksena tarvitaan useita testauskaapeleita, jotta eri nostimet ja testauslaitteistot olisivat yhteensopivia. Testauskaapeleissa sovelletaan sähköturvallisuuslakia 1135/2016, koska testauskaapelit ovat osa testauslaitteistoa. Sähköturvallisuuslain tarkoituksena on pitää testauslaitteisto turvallisena ja vaatimusten mukaisena. (Sähköturvallisuuslaki 1135/2016; Valtioneuvoston asetus sähkölaitteistoista 1434/2016.) Testauskaapelilla tarkoitetaan adapteria testauslaitteiston ja nostimen välillä, millä tapauskohtaisesti testataan nostimen syöttö- ja ohjauspiirin toiminta. Testauskaapelin rakenne koostuu vähintään kahden johtimen kokoonpanosta, missä kaapelin molemmissa päissä on testaukseen ja nostimeen soveltuvat liittimet.

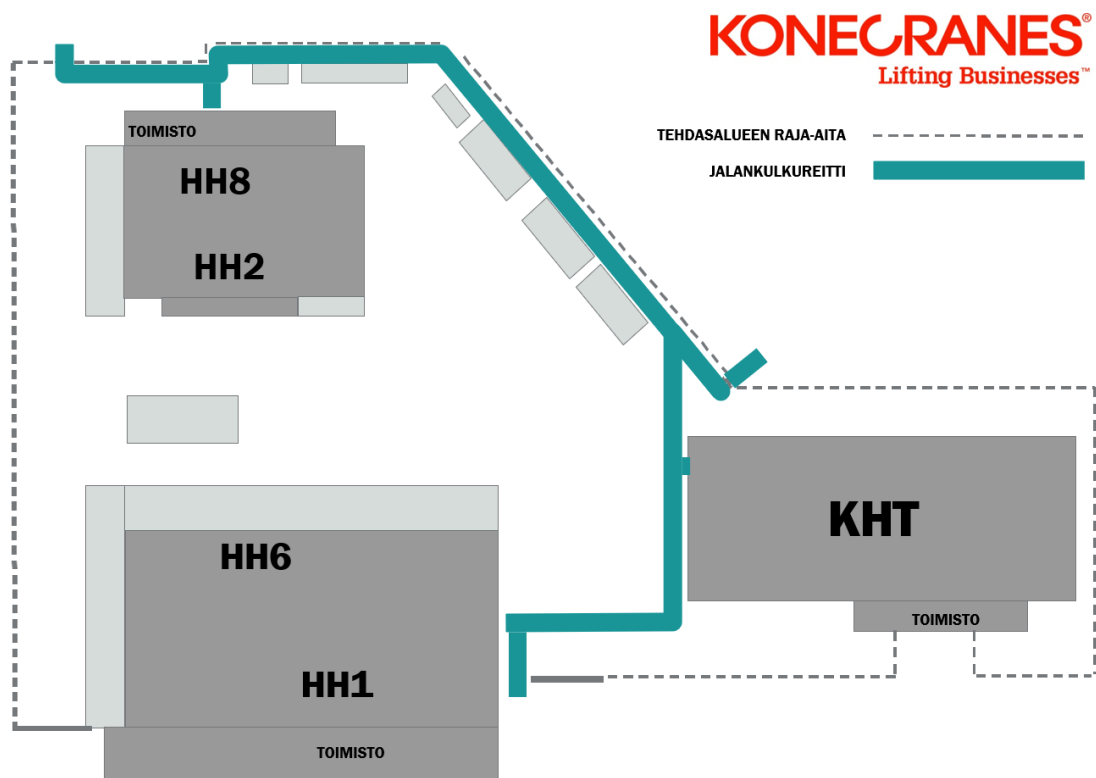
Opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää testauskaapeleiden sähköturvallisuutta teollisuuden toimintaympäristössä. Työ toteutettiin kartoittamalla ja dokumentoimalla tehtaan testauskaapelit. Dokumentointi toteutettiin Microsoft Excel -taulu-

kon sekä tietokantapohjaisen Zuken E³-sähkösuunnitteluohjelman avulla. Opin-
näytetyön aihe lähti työelämän tarpeista sekä omasta mielenkiinnosta sähkötur-
vallisuutta kohtaan. Testausalueen sähkötyöturvallisuutta voidaan kehittää laaja-
alaisesti, minkä takia työssä on otettu tarkastelun kohteeksi testauskaapelit. Työn
tekemisessä on hyödynnetty omaa asennustyökokemusta sekä yrityksen mo-
niammatillisen henkilökunnan näkemyksiä sähkötyöturvallisuudesta ja sen kehit-
tämisestä.

2 TYÖN TAUSTA JA LÄHTÖKOHDAT

2.1 Hämeenlinnan tehdasympäristö

Konecranes Oy on maailman johtavin nostolaittevalmistaja, joka tarjoaa nostolaitteet ja huoltopalvelut kaikkien asiakkaiden tarpeisiin. Suurimpia asiakkaina ovat konepaja- ja prosessiteollisuus, telakat, satamat sekä terminaalit. Yrityksen strategian painopiste on liiketoiminnan parantamisessa, korkeassa suorituskyvyssä sekä kestävässä kehityksessä. Konecranes työllistää noin 16 900 työntekijää 50 eri maassa. (Konecranes in brief n.d; Our strategy n.d.) Hämeenlinnan toimipisteessä yritys työllistää noin 455 henkilöä, ja tehtaan eri osastot on esitetty kuvassa 1 (KHH Presentation 2021).



KUVA 1. Hämeenlinnan tehdasalue (KHH Presentation 2021)

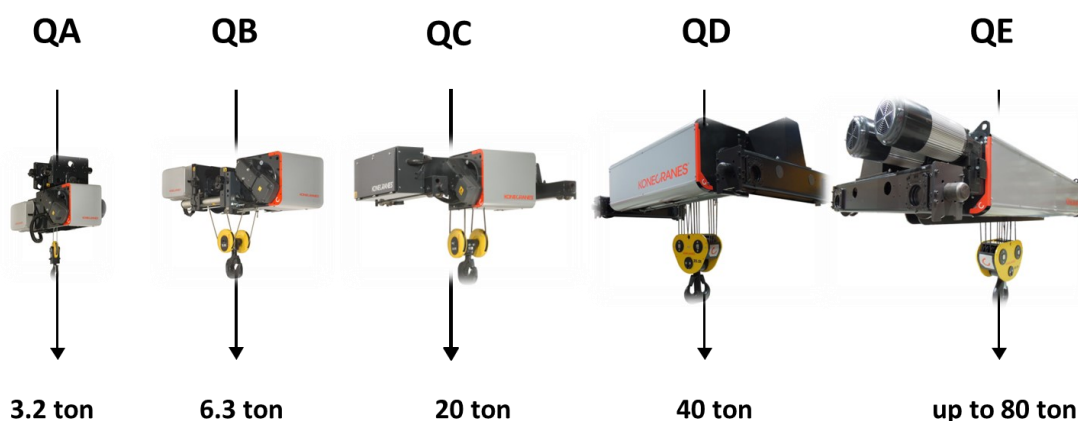
Yrityksen työskentely- ja ajattelutapa pohjautuu Lean-menetelmään, jonka pohjalta on kehitetty yrityksen oma Konecranes Way -menetelmä (KHH Presentation 2021). Lean-menetelmässä tunnistetaan arvoa tuottavat ja tuottamattomat aktiviteetit, minkä avulla vähennetään hukkan muodostuminen ja järjestetään arvoa

tuottavat aktiviteetit sujuvaksi virtaukseksi (Lean-ajattelu n.d). Konecranes Way -menetelmässä on käytännössä kyse työn optimoimisesta ja prosessien kehittämisestä. Menetelmän avulla on saatu työympäristöä kehitettyä turvallisemmaksi, esimerkiksi varastoissa ei ole turhia materiaaleja sekä jokaiselle tuotteelle on vaikiinnutetut ja merkatut paikat. (Konecranes 2021.)

Hämeenlinnan tehtaalla nostimien valmistus tapahtuu HH1-, HH2- ja HH8-osastoilla. Tehtaalla rakennetaan eri brändeihin ja tuoteperheeseen kuuluvia nostimia. Eri nostimet eroavat rakenteellisesti toisistaan käyttötarkoituksen, nostettavan kuorman sekä lisäominaisuuksien mukaan. HH6-osastolla valmistetaan nosturin sähkökeskuksia, taajuusmuuttajia, radioita sekä sähkötauluja. Tehtaaseen kuuluu vaihdetehdas KHT, jossa rakennetaan nosturin siirto-oikosulkumoottoreita ja niiden vaihteistoja. (KHH Presentation 2021.)

2.2 QAB-testausalue

QAB-testausalueella testataan Q-tuoteperheeseen kuuluvia QA- tai QB-mallin nostimia (kuva 2). Nostimilla nostetaan eri suuruisia kuormia, joten ne eroavat toisistaan pääsääntöisesti mekaanisen rakenteen perusteella.



KUVA 2. Q-tuoteperheen nostimet (KHH Presentation 2021)

Testauslaitteistoon syötetään enimmillään 690 V vaihtosähköä, 50 Hz taajuudella, joten testausalueella sovelletaan alle 1000 V pienjännitesähköasennuksen mukaisia SFS-standardeja. Testauslaitteiston sähkötekniinen toimintaperiaate on esitetty yksinkertaisuudessaan kuviossa 1.



KUVIO 1. Testauslaitteiston toimintaperiaate

Testauslaitteiston ja testauskaapeleiden suojaus toteutetaan gG-tyyppin kahvasulakkeella ja vikavirtasuojalla. Vikavirtasuoja on säädetty 60 mA arvoon eli vikavirtasuojasta ei ole säädetty henkisuojauksen tasolle, koska taajuusmuuttajakäyttö aiheuttaa kapasitiivista vuotovirtaa. Lisäsuojana testauslaitteistoon on rakennettu erillinen vikavirtavalvontajärjestelmä eli Residual Current Monitoring (RCM), joka mittaa summavirtamuuntajien avulla vaiheiden summavirtaa. Jos RCM havaitsee summavirroissa eroavaisuuksia, niin vikasuojaus laukeaa.

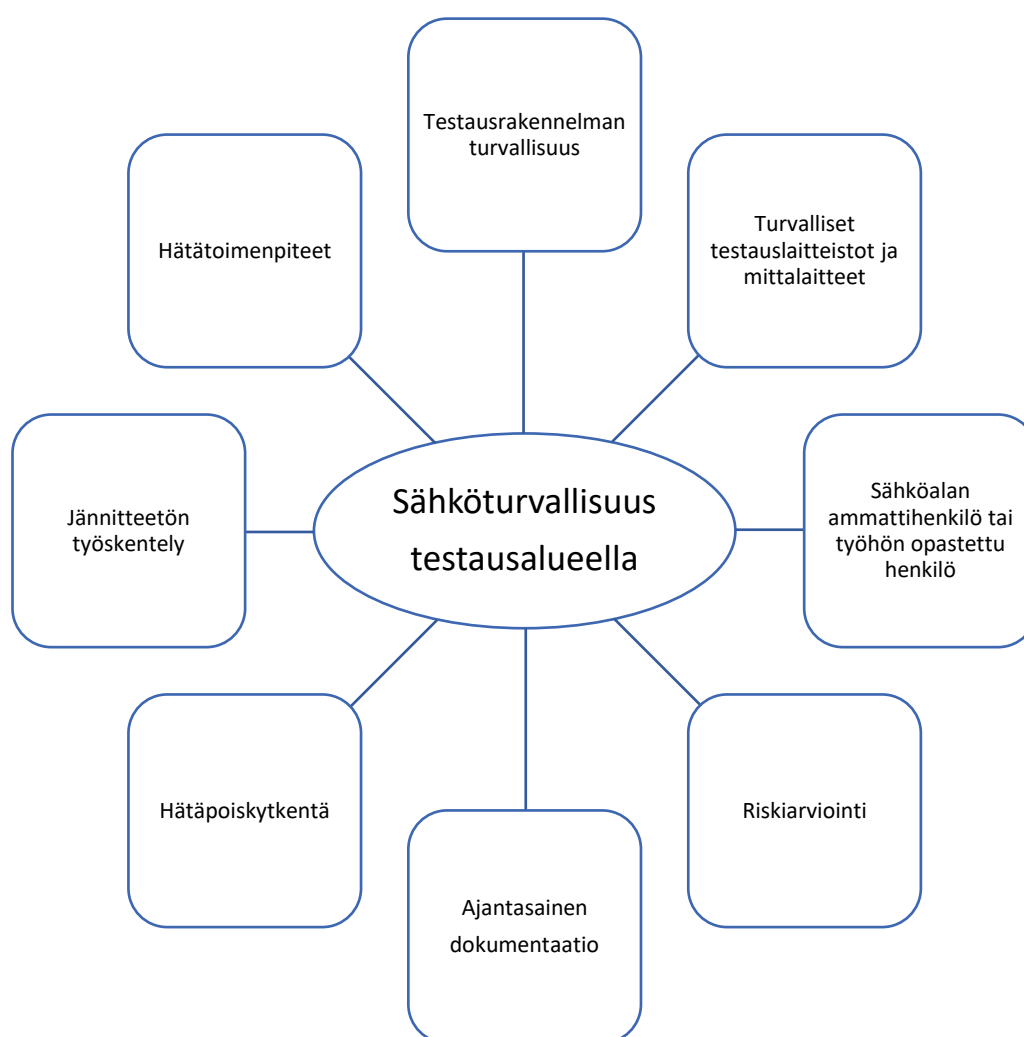
Testattavat nostimet vaativat eri jännitetason nostintyyppin mukaan. Testauspöydän painonapeilla valitaan nostimen syötölle jännitetaso 220–690 VAC sekä ohjaukselle jännitetaso 48–230 VAC. Painonapeilla ohjataan sähkömekaanisia kytkimiä eli kontaktoreja, joiden avulla säätömuuntaja muuttaa syöttö- ja ohjausjännitteen valituksi jännitetasoksi. Testauslaitteisto on rakennettu osaksi maadoitusjärjestelmää sekä siihen on rakennettu hätäpysäytyspiiri. Testauspöydän toimintatilanne näkyy merkkivaloina, jotka ilmoittavat testauslaitteiston jännitteen syötön.

Yleisimmässä QAB-nostimen rakenteessa on kaksi oikosulkumoottoria. Ensimmäisen moottorin tehtävä on mahdollistaa siltanostimen vaakaliike, ja toisen moottorin tehtävänä on mahdollistaa nostimen nostoliike. Testauslaitteistolla voidaan testata nostimen mekaaninen ja sähköinen kunto, kun nostimeen syötetään pää- ja ohjausjännite. Nostin koekuormitetaan hydraulisen voiman avulla, minkä avulla nähdään kestäkö nostimen mekaaninen rakenne koekuormitusta 125 % nostimen nimelliskuormasta. Taajuusmuuttajalla ohjattuja nostimia testataan taajuusmuuttajan sijaan suoralla käynnistyksellä. Nostimen suora käynnistys on toteutettu erikseen rakennetulla kontaktorikytkennällä.

3 TEOREETTISET LÄHTÖKOHDAT

3.1 Sähköturvallisuus testausalueella

Testauslaitteissa ja sähkötyöturvallisuudessa noudatetaan sähköturvallisuuslakia 1135/2016. Lain tarkoituksena on pitää testauslaitteisto turvallisena ja vaatimusten mukaisena sekä estää haitallisten sähkömagneettisten vaikutusten syntyminen. (Sähköturvallisuuslaki 1135/2016.) Seuraavassa kuviossa esitetään pääkohdat testausalueen sähköturvallisuudesta (kuvio 2).



KUVIO 2. Sähköturvallisuus testausalueella

Testausrakennelman tulee olla turvallinen, testaajalla on oltava esteetön kulku sekä alue on oltava riittävästi rajattu muista työskentelyalueista ja kulkureiteistä. Testausalueen rajaamisen tarkoituksena on, etteivät muut kuin testaajat ulotu

kielleylle alueelle. Testausalueen aitaukset on maadoitettava, jos testausalue rajataan johtavalla materiaalilla. Testausympäristössä sekä testauslaitteistossa on oltava toimivat jännitteestä ilmaisevat merkkivalot, jotka ilmaisevat testauslaitteiston toiminta- ja käyttötilanteen. Testausalue ja -laitteisto on merkittävä selkeästi sähköturvallisuuteen liittyvillä varoituskilvillä, jotka perustuvat standardin SFS-EN ISO 7010 vaatimuksiin. (SFS-EN 50191 2011, 16; SFS 6002 2015, 20.) Varoituskilpiin suositellaan englanninkielistä tekstiä, jos testausalueella työskentelee suomea tai ruotsia ymmärtämätön henkilö. Varoituskilven tietoja voidaan täydentää kuvaavalla tekstillä (kuva 3). Hengenvaarallinen-tekstillä varustettu varoituskilpi on sijoitettava testausalueen sivuille, jos testausalueella on kosketussuojaamattomia osia. (SFS 6002 2015, 48, 51.)



KUVA 3. Jännitteen vaarallisuudesta varoittava varoituskilpi (SFS 6002 2015, 52)

Testausympäristössä tulee olla turvalliset sekä standardin mukaiset testauslaitteistot ja mittalaitteet (SFS-EN 50191 2011, 14). Testausalueella käytettävien yleismittareiden on oltava CE-merkinnällä varustettuja sekä turvaluokituksen CAT III- tai IV-luokan mukaisia (SLO n.d). Sähkölaitteisto on tunnistettava selkeiden ryhmien ja merkintöjen avulla (Valtioneuvoston asetus sähkölaitteistoista 1434/2016). Sähkölaitteistot ja mittalaitteet tulee tarkastaa sopivin määräajoin, jotta voidaan ennaltaehkäistä vaaratilanteita (SFS 6002 2015, 23). Lisäksi sähkölaitteiden ja sähköasennusten säännölliset tarkastukset ovat osoittautuneet parhaaksi sähköpalojen ennaltaehkäisykeinoksi (Kautto 2016, 131).

Testausalueella tulee olla nimettynä työnaikaista sähkötyöturvallisuutta valvova henkilö. Testausta suorittavan pitää olla sähköalan ammattihenkilö tai opastettu henkilö. Ennen testauksen aloittamista on suoritettava silmämääräinen riskiarviointi sekä ryhdyttävä suojausta vaativiin toimenpiteisiin. Riskiarvioinnilla varmistetaan, että testauslaitteisto ja kaapelit ovat turvallisuussääntöjen sekä teknisten

vaatimusten mukaisia. Testauslaitteistossa on oltava ajantasaiset merkinnät ja dokumentaatiot, jotta vältetään väärinkäsityksiltä ja huoltotilanteet olisivat turvallisia. (SFS 6002 2015, 18–21.)

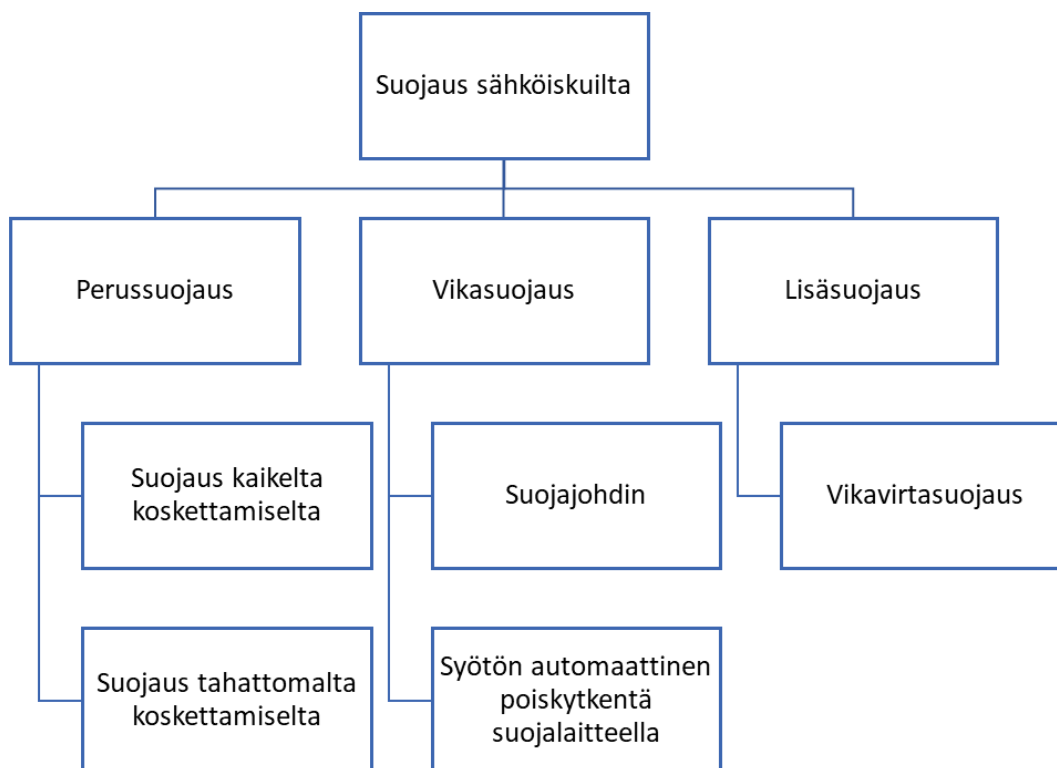
Testausympäristö on varustettava hätäkytkentälaitteilla, joilla voidaan katkaista välittömästi testattavan laitteen sähköenergia (SFS-EN 50191 2011, 16). Hätäpysäytyslaitteet tulee olla helposti ja nopeasti käytettävissä (Tiainen 2017, 53). Sähkötyössä kaikki tarvittavat kytkennät ja asennukset tulee tehdä aina jännitteettömänä. Jännitteetön työskentely turvataan täydellisellä erottamisella, jännitteen kytkennän estämisellä, jännitteettömyyden toteamisella, työmaadoittamisella sekä jännitteisten osien suojauksella. (SFS 6002 2015, 23.) Kokoonpanotyötä ja laitteiston testausta ei tulisi suorittaa samanaikaisesti, jos riskinä on vaaratilanteen syntyminen (SFS-EN 50191 2011, 28).

Välitön ensiavun aloittaminen tapaturmatilanteessa ennaltaehkäisee vakavien vaurioiden syntyä. Siksi riittävällä määrällä testaushenkilöstöllä tai testauslaitteiston läheisyydessä työskentelevillä pitää olla ajan tasalla olevat ensiaputaidot sähköiskujen ja palovammojen hoidossa. (SFS 6002 2015, 18.) Ensiapu- ja palosammutusvälineet on oltava helposti saatavilla sekä ensiapuohjeet on sijoitettava sopivalle paikalle. SFS 6002 -standardi suosittelee raportointimenettelyä, jossa raportoidaan kaikki sähkötapaturmat ja siitä aiheutuvat vaaratilanteet. (SFS 6002 2015, 45; Tiainen 2017, 180.)

3.2 Testauskaapeleiden suojaus

Testauskaapeli on suunniteltava ja valmistettava turvallisuusvaatimusten mukaisesti, niin ettei testauskaapelista ole mahdollista saada sähköiskua. Testausympäristön luonteen vuoksi ensisijaisena suojausmenetelmänä ei voida aina käyttää sähkölaitteiston perussuojausta eli suojaavaa eristystä tai kotelointia. (Valtioneuvoston asetus sähkölaitteistoista 1434/2016; Tiainen 2017, 78.) Testausalueen suojauksen on toimittava moitteettomasti, kun tuotteeseen ohjataan testausjännite. Suojauksen reagoidessa pitää testausjännitteen kytkeytyä automaattisesti

pois päältä. (SFS-EN 50191 2011, 18.) Testauskaapelin suojausten suunnittelussa on huomioitava perussuojaus, vikasuojaukset sekä tarvittaessa lisäsuojaukset (kuvio 3).



KUVIO 3. Testauskaapelin suojausmenetelmät (Tiainen 2017, 78–113)

Testauskaapelin on oltava testauksen aikana tukevasti kiinni testauslaitteistossa, eikä kaapeliin tai liitimeen saa kohdistua liiallista vetorasitusta. Kaapelin vetorasitusta voidaan vähentää kaapeliin rakennetulla vedonpoistolla. Vedonpoisto pitää rakentaa siten, ettei kaapelin mekaaninen vahingoittuminen ole mahdollista. Vedonpoisto on maadoitettava, jos sen materiaali on jännitettä johtava. Oikosuluista johtuvat sähködynaamiset voimat testauskaapelissa tarvitsee ottaa huomioon, jos testauskaapelin poikkipinta-ala yksijohdinkaapelilla on yli 50 mm². (SFS 6000-5-52 2017, 11, 12, 19.)

3.2.1 Perussuojaus

Perussuojauksen tarkoituksena on estää ihmistä olemasta kosketuksissa jännitteisten osien kanssa. Testusrakennelmassa on eristettävä kaikki mahdolliset jännitteiset osat kosketukselta suojaavan erityksen tai koteloinnin avulla. (SFS-

EN 50191 2011, 14.) Jos eristyksen tai koteloinnin käyttö ei ole mahdollista, niin perussuojausmenetelmänä tulee käyttää koskettamiselta suojaavia esteitä sekä asennustilanteessa on pidettävä riittävä etäisyys jännitteiseen osaan (Valtioneuvoston asetus sähkölaitteistoista 1434/2016; SFS-EN 50191 2011, 14).

Testauskaapelin eristys toteutetaan mekaanisesti kestäväällä kaapelilla sekä tarvittaessa mekaanisella lisäsuojalla. Testauksesta aiheutuu johtojärjestelmään mekaanista rasiutusta, joten testauskaapeli on suojattava paikallisella mekaanisella suojalla sekä kaapeliksi on valittava käyttötarkoitukseen sopivin kaapeli. Pölyisessä ympäristössä kaapelin asennus on suunniteltava niin, ettei järjestelmään pääse pölyisyyttä. Pölyn kerääntyminen vaikeuttaa lämmön poistumista järjestelmästä, minkä seurauksena tulipaloriski kasvaa. (SFS 6000-5-52 2017, 9–11.)

3.2.2 Vika- ja lisäsuojaus

Vikasuojaus toteutetaan syötön automaattisen poiskytkennän sekä suojamaadoituksen avulla (Tiainen 2017, 84). Taajuusmuuttajakäytön ollessa tyhjäkäynnissä kosketusjännite voi olla suurta vuotovirran seurauksena (Vacon 2014, 8). Jännitteelle alttiit osat on oltava suojajohtimien avulla maadoitusjärjestelmässä. Vikasuojauksella estetään vikatilanteessa ihmisen joutumista vaaralliseksi ajaksi kosketuksiin jännitteisten osien kanssa. (Tiainen 2017, 84; SFS 6000-4-41 2017, 7.)

Testauspaikassa on noudatettava SFS-EN 50191 standardin vaatimusta testauspaikasta ilman automaattista suojausta kosketukselta, koska testattavia tuotteita ei voida täysin koteloida. Perusvaatimuksena suojaukselle on $I_{\Delta N} \leq 30$ mA vikavirtasuojaus. Mikäli testausolosuhteissa lisäsuojauksena käytetty vikavirtasuojan käyttö ei ole mahdollista, tulee silloin käyttää RCM-järjestelmää. (SFS-EN 50191 2011, 20.) Vikavirtasuojia käytetäänkin nykyään suojaamaan kaikkia sellaisia pistorasioita, joihin voidaan liittää mikä tahansa laite. SFS 6000 -standardin mukaan syötön automaattinen poiskytkentä voidaan jättää pois säädetyissä sähkömootorikäytöissä. Mikäli vikavirtasuojaa käytetään, niin sitä ei tarvitse säätää henkilösuojauksen tasolle, koska taajuusmuuttajat voivat vuotovirtojen takia laukaista syötön automaattisen poiskytkennän. (SFS-EN 50191 2011, 20; SFS 6000-4-41 2017, 31.)

3.3 Testauskaapeleiden mitoitus

Testauskaapelin nimellisjännitteen tulee täyttää sen järjestelmän asettamat vaatimukset, mihin se asennetaan. Määrätyissä olosuhteissa johtojärjestelmän suurimman jatkuvan virran on oltava sellainen, ettei johtimen suurin lämpötila ylitä kuormitus- tai vikatilanteessa. (Valtioneuvoston asetus sähkölaitteistoista 1434/2016; SFS-6000-5-52, 14.) Yliämpö aiheuttaa kaapelille tulipaloriskin sekä edistää kaapelin ennen aikaista vanhenemista (Tiainen 2017, 224). Kaapelin suurin sallittu lämpötila määräytyy johtimen eristetyypin mukaan, mikä on esitetty standardissa SFS 6000 sekä valmistajan teknisissä tiedoissa (SFS 6000-5-52 2017, 14; Prysmian group 2017).

Testauskaapelin mitoituksessa on ensimmäisenä määriteltävä laskennallisesti testauslaitteiston suurin jatkuva mitoitusvirta I_B , ja valittava mitoitusvirran perusteella ylikuormitussuojauksessa käytettävän suojalaitteen tyyppi ja koko. Kahvasulakkeen nimellisvirran I_n perusteella saadaan SFS 6000 -standardista selville valitun johtimen kuormitettavuuden minimiarvo. Testauskaapelin mitoituksessa on toteuduttava seuraavan epäyhtälön ehdot

$$I_B \leq I_n \leq I_z, \quad (1)$$

missä johtimen jatkuva todellinen kuormitettavuus I_z määritellään vielä lopuksi SFS 6000 -standardissa esitettyjen korjauskertoimien avulla: ympäristön lämpötila, kaapeliryhmä sekä asennustapa. Testausalueen ollessa suojattu katkaisijatyypisellä suojalaitteella, testauskaapelin on täytettävä seuraavan epäyhtälön vaatimukset

$$I_2 \leq 1,45 \cdot I_z, \quad (2)$$

missä virta I_2 varmistaa suojalaitteen laukaisun määrätyssä toiminta-ajassa. Nykyisin markkinoilla olevien katkaisijatyypisten suojalaitteiden rakennevaatimuksissa on otettu huomioon epäyhtälön (2) vaatimukset. (SFS-6000-5-52 2017, 75.) Suojalaitteiden rakennevaatimuksia voidaan tarkastella valmistajan antamista laukaisukäyristä tai teknisistä tiedoista (ABB n.d, 4–15). Testauskaapelin lopullisessa mitoituksessa on laskennallisesti määriteltävä oikosulkukestoisuus sekä

jännitteenalenema ei tule kasvaa yli 8 % (SFS 6000-5-52 2017, 67; Tiainen 2017, 35).

3.4 Sähkömagneettinen yhteensopivuus

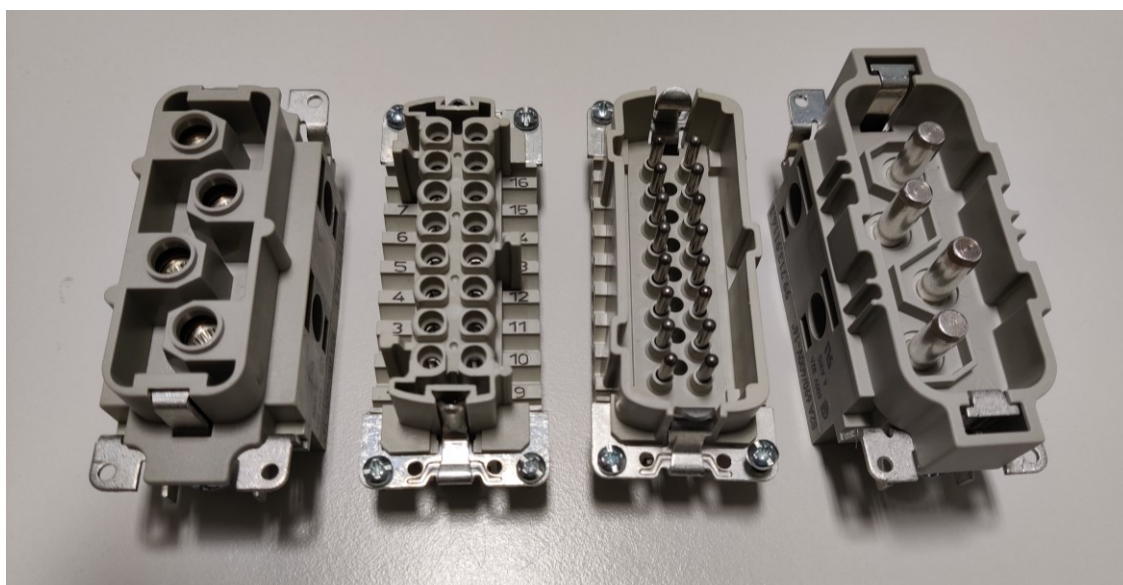
Sähkömagneettisen yhteensopivuuden toteutuminen on määrätty sähköturvallisuuslaissa 1135/2016. Sähkömagneettisella yhteensopivuudella eli Electromagnetic Compatibility (EMC) tarkoitetaan sähkölaitteen tai järjestelmän kykyä toimia häiriöttä sähkömagneettisessa ympäristössä. Laitteiston ei pidä synnyttää tai vastaanottaa EMC-häiriöitä ympäristössä. Häiriöt leviävät ympäristöön sähkömagneettisen säteilyn avulla. Testauskaapelissa olevia sähkömagneettisia häiriöitä voidaan ehkäistä valitsemalla EMC-vaatimusten mukainen kaapeli, hyvällä asennustavalla sekä vaikuttamalla häiriölähteen etäisyyteen. (ST 51.10 2005, 3; Mäkinen & Koivisto 2020, 119.)

EMC-vaatimusten mukainen kaapeli on häiriösuojattu, jos kaapelin johtimia suojaa täysin impedanssinen suojakerros (Vacon 2014, 52). Häiriösuojatussa kaapelissa on oltava vähintään CE-merkintä tai merkinnän lisänä tuote on oltava sertifioitu (Mäkinen & Koivisto 2020, 119–120). Tietoliikennekaapeleina on käytettävä EMC-vaatimusten mukaisia kaapeleita sekä kaapeli tulee pitää erillään asennuskaapeleista. Jos tietoliikenne- ja asennuskaapelit asennetaan samalle reitille, on asennus toteutettava SFS 6000 -standardien mukaisesti. Taajuusmuuttajakäytössä syöttö- ja moottorikaapelit on valittava ja asennettava valmistajan antamien ohjeiden mukaisesti. (SFS 6000-4-44 2017, 19, 41.) Testauskaapeleissa pistorasian kotelointi voidaan tarvittaessa toteuttaa EMC-suojatulla koteloinnilla, millä voidaan myös rajoittaa EMC-häiriöitä (Solid connection 2021, 115).

3.5 Testauskaapeleiden liitännätäratkaisut

Sähkökonekäytöstä aiheutuu värähtelyä, joten erityistä huomiota on kiinnitettävä testauskaapelin liitännätäratkaisuihin (SFS 6000-5-52 2017, 11). Teollisuuteen

suunniteltuja liitännätarkaisuja on tarjolla useilta eri valmistajilta. Lisäksi testauskaapelin liitännätarkaisuksi valmistajat tarjoavat myös erikseen testaukseen tarkoitettuja testausliittimiä. (WAGO miniluettelo 2019, 15, 19.) Testauskaapelin liitin valitaan valmistajien antamien teknisten tietojen perusteella: johtimen poikkipinta-ala, liittimen kokoluokka sekä nimellisjännite ja -virta. Sähköturvallisuuden näkökulmasta liitännätyyppin muoto valitaan kahdesta eri vaihtoehdosta, koska näin estetään jännitteisten osien koskettaminen (kuva 4). Teknisissä tiedoissa liitännätyyppin muodosta käytetään nimitystä naaras- tai urosliitin. (Solid connection 2021, 36.)

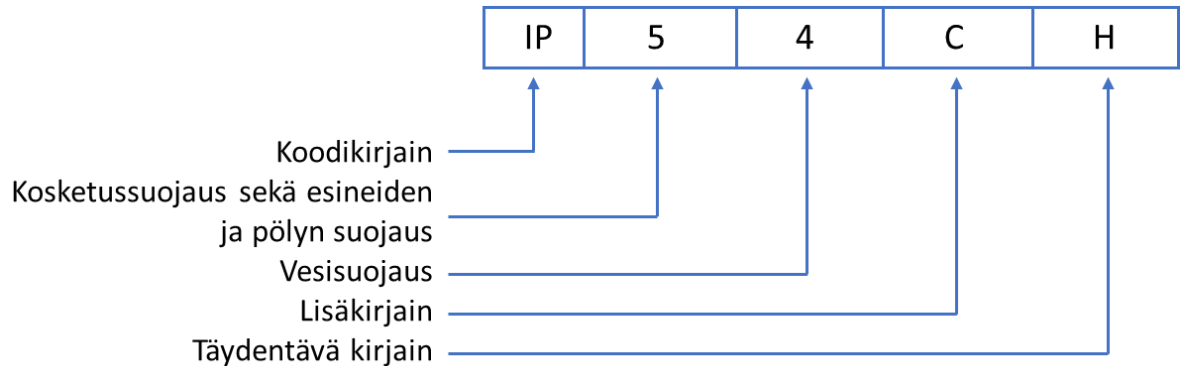


KUVA 4. Vasemmalla ovat naarasliittimet ja oikealla urosliittimet

Liitosnapojen lukumäärä valitaan johdinlukumäärän ja käyttötarkoituksen mukaan, esimerkiksi liitosnapoja voi olla väliltä 4–64 (Solid connection 2021, 3). Liittimen materiaalina voidaan käyttää kultaa, tinaa tai hopeaa, mitkä vaikuttavat sähköenergian johtavuuteen ja metallin hapettumiseen. Hopealla on paras sähköjohtavuus, kulta vastustaa eniten hapettumista. (Helmenstine 2019; Wojes 2019; Solid connection 2021, 3.)

Teollisuudessa olosuhteet ovat yleensä vaativia, joten pistorasian kotelointiin on kiinnitettävä erityistä huomiota. Koteloinnin tarkoituksena on suojata pistorasian liitin mekaanisilta iskuilta, kosteudelta, pölyltä sekä syövyttäviltä aineilta. (SFS-

EN 60529 2019, 11.) Pistorasian kotelointi valitaan liitintyyppin sekä kotelointiluokituksen eli International Protection (IP) mukaan (Tiainen 2017, 172; Solid connection 2021, 14–20). Kotelointiluokan muodostuminen on esitetty kuviossa 4.



KUVIO 4. IP-koodin muodostuminen (Tiainen 2017, 172; SFS-EN 60529 2019, 14)

IP-koodin ensimmäinen numero kertoo vaarallisten osien kosketussuojauksesta ja miten laite on suojattu vierailta esineiltä ja pölyltä. Toinen numero kertoo, miten koteloinnin vesisuojaus on toteutettu. Jos ensimmäistä tai toista tunnusnumeroa ei tarvitse ilmaista, voidaan tunnus korvata x-kirjaimella. Lisäkirjain ilmaisee vaarallisten osien kosketussuojausta, jos ensimmäisen numeron informaatio ei ole tarpeeksi kuvaava. Täydennyskirjaimilla ilmaistaan lisätietona koteloinnin poikkeuksellista ominaisuutta. (Tiainen 2017, 172–173.) Jos laitteessa ei ole erityistä IP-merkintää, voidaan olettaa laitteen olevan IP20-luokkaa (Sähköjärjestelmät n.d). Kaikkien testauskohteen osien koteloinnit on oltava vähintään IP3X, paitsi standardissa esitetyt poikkeustapaukset (SFS-EN 50191 2011, 18).

3.6 Sähkökuvien dokumentointi

Sähkökuvien dokumentointi on teknistä dokumentointia, jossa esitetään tietovälineen avulla laitteen tai järjestelmän ominaisuuksia graafisen ja tekstin muodossa (Ruppa & Perkiö 1996, 5–6). Teknisen dokumentaation avulla varmistetaan ja todistetaan, että sähkölaitteen turvallisuusvaatimukset on täytetty (SFS-EN 61082-1 2015, 16). Sähkötekniikan dokumentointi pohjautuu kansainvälisiin International Electrotechnical Commission (IEC) standardeihin, mikä tarkoittaa maailmanlaajuisista standardisomisjärjestöä. Maailmanlaajuisien standardien

avulla kehitetään ja yhdenmukaistetaan sähköalan standardeja. Suomalainen ja eurooppalainen dokumentointi noudattaa varsin samoja standardeja. SFS-standardi on melkein aina suora käänös eurooppalaisesta EN-tunnuksella varustetusta standardista. (Ruppa & Perkiö 1996, 5–6.)

Sähkötekniset dokumentit on tarkoitettu luettavaksi alareunan tai oikean reunan suunnasta, joten tekstin suunnan on oltava vaak- tai pystysuorassa. Värejä käytetään dokumentaatioissa vain täydentävänä informaationa, eivätkä värit saa olla ainoa keino dokumentaation ymmärtämiseen. Dokumentin jokaisella sivulla täytyy olla dokumentin tunniste ja sivunumero. Dokumentaatioissa ristiviittauksilla viitataan dokumenttiin, sivuun tai sivun alueeseen. Tämän avulla selkeytetään piirtämistä ja vähennetään virheiden määrää. (SFS-EN 61082-1 2015, 19–24.)

Sähkökuvien dokumentoinnissa laitteet, komponentit ja johtimien osat kuvataan standardoiduilla piirrosmerkeillä. Tämän etuna sähkökuvien dokumentointi on tehokkaampaa, kuvat ovat luettavia sekä kansainvälisesti ymmärrettäviä. Jos standardin mukaista piirrosmerkkiä ei ole olemassa, on suunnittelija soveltamalla luotava oma piirrosmerkki sekä merkki on selitettävä selkeästi dokumentaatioissa. (Ruppa & Perkiö 1996, 19; SFS-EN 61082-1 2015, 26.)

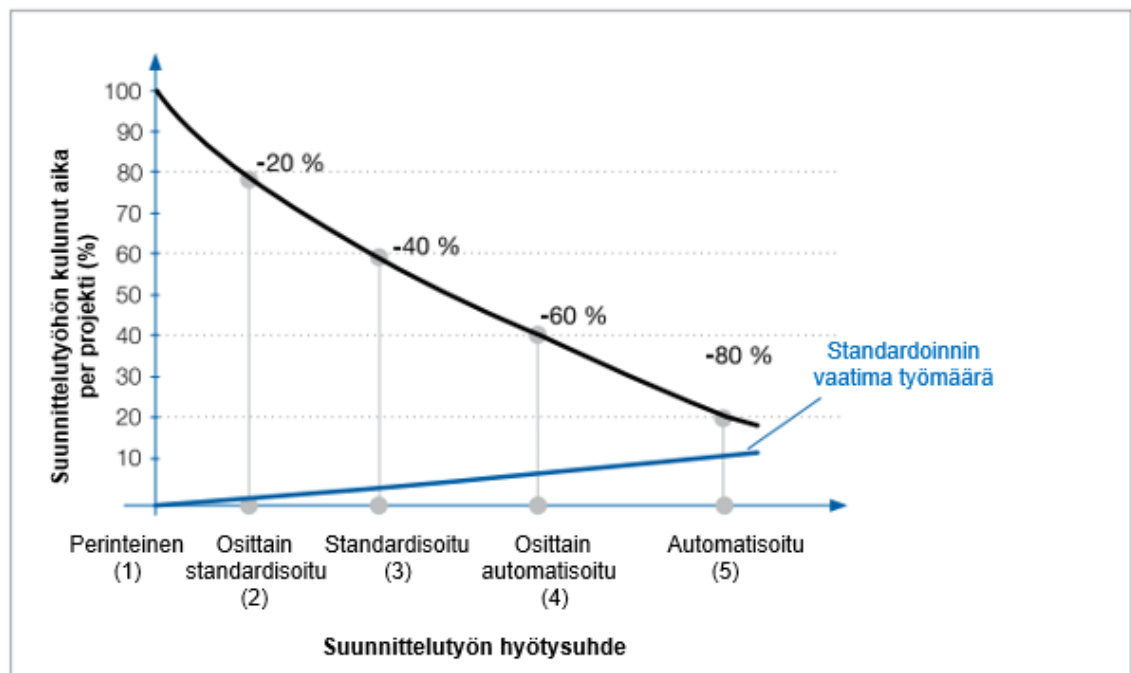
3.6.1 Tietokantapohjainen dokumentointi

Tietokantapohjaisessa dokumentoinnissa suunnittelutyöhön tarvittava tieto eli standardointidata on keskitetty tietokantaan, jossa suunnittelutiedon muuttaminen on mahdollista mistä vain sekä yhden paikan muuttaminen päivittää tiedot kaikista esiintymistä. Tietokantapohjaisen suunnittelun avulla voidaan suunnittelutyön laatua parantaa sekä vähentää siihen kuluva aikaa. Projektissa toistuvat kaapelit ja komponentit sijaitsevat samassa tietokannassa, joten niitä voidaan kutsua useimpiin eri sähködokumentteihin. (E3.series 2021.) Dokumentissa oleva informaatio voidaan ryhmitellä eri rakenteisiin eli informaatio esitetään eri tasoilla. Rakenteen ylimmällä tasolla on dokumentaation yleisinformaatio ja alempana sijaitsevat yksityiskohtaisempi informaatio. (SFS-EN 61082-1 2015, 16.)

TAULUKKO 1. Suunnittelutyön eri tasot (Gartzen, Schloesser & Mendl-Heinisch 2019, 13)

Taso	Työmenetelmä	Työmenetelmän ominaisuuden kuvaus
1	Perinteinen	Graafisesti toteutettu työmenetelmä, manuaalisesti luotu piirikaavio
2	Osittain standardisoitu	Laitesuuntautunut työmenetelmä, tuotteiden luomisessa käytetty ohjelmointia, laitetietokantoja luotu tuotteille
3	Standardisoitu	Graafinen ja laitesuuntautunut työmenetelmä, käytetään piirikaaviokirjastoja sekä yleisiä makroja, johdonmukaista uudelleenkäyttöä
4	Osittain automatisoitu	Kattavien piirikaaviokirjastojen käyttö, huomioi erilaiset valinnat ja variantit, datan tuonti
5	Automatisoitu	Menetelmän automaatioaste 100%, generointi ja konfigurointiratkaisujen käyttö, yhdistetty koko tuotantoprosessiin

Tietokantapohjainen suunnittelu on yksi askel lähemmäksi suunnittelutyön automatisointia. Suunnittelutyön automatisoinnilla voidaan suunnittelutyön hyötysuhdetta kasvattaa, mikä hyödyttää yrityksen liiketoimintaa. Perinteisestä suunnittelusta kohti täysin automatisoitua suunnittelua on erilaisia tasoja (taulukko 1). Mitä enemmän automaatiotasoa kasvatetaan, niin sitä enemmän joudutaan näkemään vaivaa standardointidatan luomiseen (kuvio 5). (Gartzen ym. 2019, 22.)



KUVIO 5. Suunnittelutyön hyötysuhteen kasvattaminen (Gartzen ym. 2019, 22)

Taloudellisessa näkökulmassa osittainen automatisointi on riittävä, koska se antaa parhaimman hyödyn yrityksen liiketoimintaan. Perinteiseen suunnittelutyöhön verrattuna tietokantapohjainen dokumentointi säästää aikaa 40 % suunnittelu työstä. (Gartzen ym. 2019, 34.)

3.6.2 Testauskaapeleiden tunnistaminen

Dokumentoinnissa laitteet, komponentit ja kaapelit on merkittävä samoilla tunnuksilla kaikkiin dokumentteihin. Teknisiin dokumentteihin kaapelit merkataan tyyppin ja poikkipinta-alan mukaan, esimerkiksi AMCMK 4 x 70 + 21. (ST 51.25, 2.) Kohdekohtaisesti kaapeleiden lisämerkintä voi olla tarpeen, jos käytössä on useita samanvärisiä kaapeleita (SFS-EN 62491 2008, 10). Kaapelit merkataan pysyvällä kaapelimerkinnällä lähtevästä ja loppuvasta kaapelin päästä, esimerkiksi S222 VJ 12 (ST 51.25, 3).

TAULUKKO 2. Johtimien ja liittimien tunnistamiseen käytetyt suositukset (Tiainen 2017, 185; SFS 60445 2021, 18)

Tunnuksen omaava	Johtimet	Liittimet	Värit	Sähköjärjestelmä
1-johdin	L1	U	● musta	AC
2-johdin	L2	V	● ruskea	AC
3-johdin	L3	W	● harmaa	AC
Suojajohdin	PE	PE	● kelta-vihreä	AC/DC
Nollajohdin	N	N	● sininen	AC/DC
Keskipistejohdin	M	M	● sininen	AC/DC
Positiivinen	L+	+	● punainen	DC
Negatiivinen	L-	-	○ valkoinen	DC

Johtimien ja liittimien tunnistaminen on määrätty standardissa SFS 60445 (taulukko 2). Aakkosnumeerista merkintää voidaan käyttää johtimien tunnistamiseen, kunhan merkinnöissä on voimakas kontrasti johtimen taustaan verrattuna. Vaihejohtimien merkitsemiseen on käytettävä L1, L2 ja L3 merkitsemistapaa, jos järjestelmässä on enemmän kuin yksi vaihe. (SFS 60445 2021, 13, 19.)

Monijohdinkaapelit on oltava selvästi tunnistettavissa väreillä tai numeroilla, mikäli johtimia on enemmän kuin viisi (Tiainen 2017, 183). Johtimien tunnistamiseen käytetään vain seuraavia värejä: musta, ruskea, punainen, oranssi, vihreä,

sininen, violetti, harmaa, valkoinen, vaaleanpunainen ja turkoosi. Suojajohtimen värinä on käytettävä vihreän ja keltaisen väriyhdistelmää, eikä väriyhdistelmää saa käyttää mihinkään muuhun tarkoitukseen sekaannusten välttämiseksi. Nollajohtimen tai keskipistejohtimen tunnistamiseen käytetyn värin on oltava sininen. Sinistä väriä voidaan käyttää muiden johtimien tunnistamiseen, jos johtojärjestelmästä puuttuu nolla- tai keskipistejohdin. (SFS 60445 2021, 10–11.)

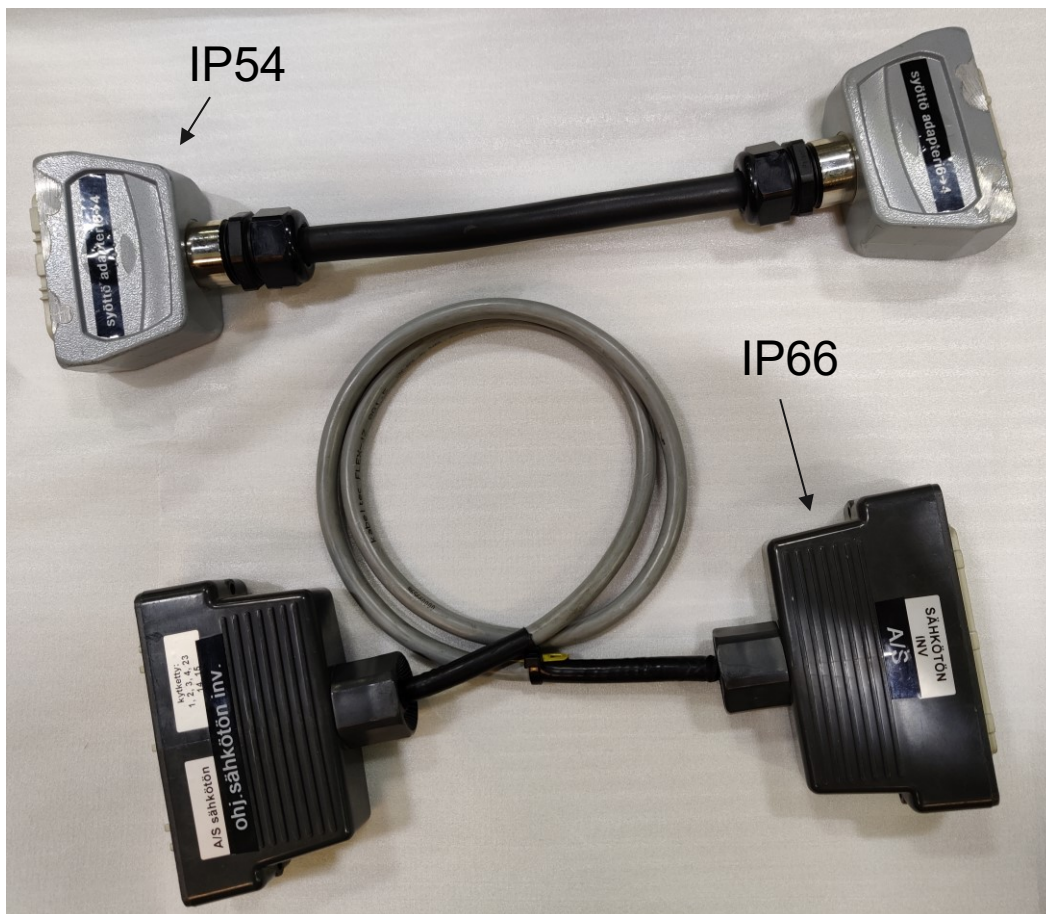
4 TESTAUSKAAPELEIDEN KARTOITUS

Testauskaapeleiden kartoituksessa hyödynnettiin Kanban-nimistä työkalua. Työkalun avulla työn tehokkuutta optimoidaan ja sujuvoitetaan oman kokemuserän pohjalta. Yksinkertaisimmillaan taulukko koostuu kolmesta sarakkeesta, jotka kuvaavat työprosessin eri vaiheita. Näin työnkulun vaiheet saadaan visualisoitua, jäsenneltyä sekä pilkottua pienempiin osiin. Tämän avulla pysytään paremmin kartalla työn yksityiskohdista ja kokonaisuudesta. Työkalun avulla saadaan hyvät lähtökohdat projektin hallintaan. (Kanbanize 2020.)

TAULUKKO 3. Muodostettu Kanban-työkalu

TEKEMÄTTÄ	TYÖN ALLA	VALMIS
QAB liitinratkaisujen kartoitus QAB kaapeleiden dokumentointi QAB kaapelilistan luominen Ota yhteyttä liitinvalmistajaan	QAB kaapeleiden kartoitus Selvitä QAB jännitetaso	Tee projektisuunnitelma Selvitä olemassa oleva dokumentaatio

Kanban-työkalu muodostettiin Microsoft Exceliin taulukon 3 mukaisesti. Ensimmäisenä selvitettiin yrityksen tietokannoista testausalueiden olemassa olevat sähkötekniset dokumentaatiot. Haastavaa oli löytää olemassa olevaa dokumentaatiota, koska informaatiota oli paljon sekä se sijaitti useissa eri paikoissa. Testauskaapeleiden tutkiminen aloitettiin selvittämällä, mitkä kaapelit eivät ole käytössä sekä niiden asennustapa. Testauskaapeleita ei ollut yksilöity eikä joukossa oli käyttämättömiä kaapeleita. Testauskaapelit oli toteutettu pääsääntöisesti kahdella pistorasialla (kuva 5) tai pistorasialla ja testausliittimillä (kuva 6).



KUVA 5. Kahdella pistorasialla toteutettu testauskaapeli

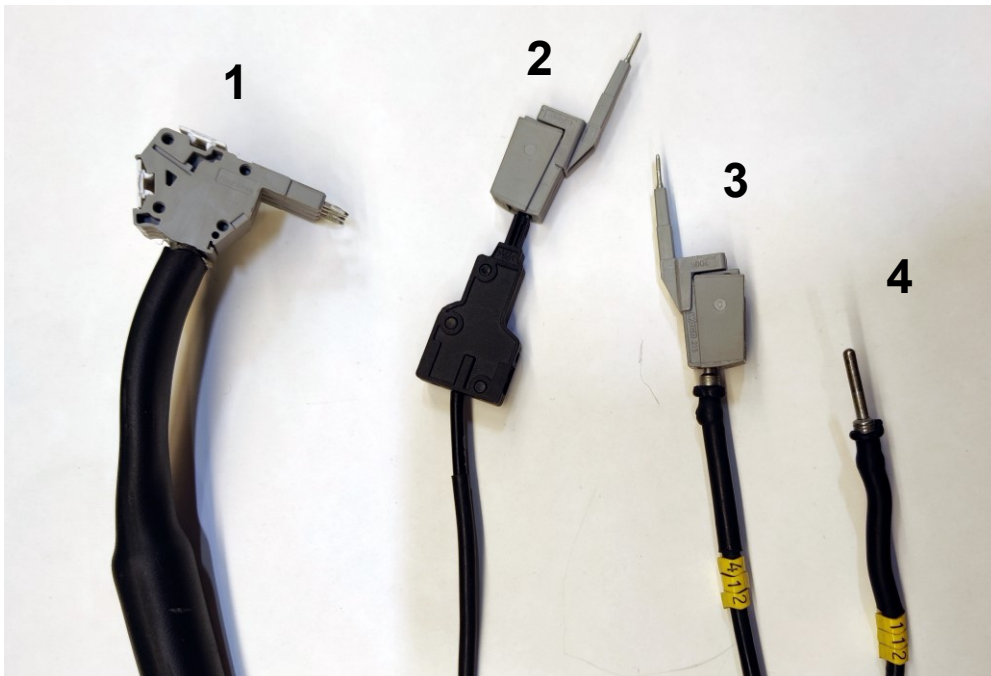
Pistorasian kotelointi oli toteutettu IP54- tai IP66-luokituksella. IP54-luokka suo-
jaa pölyltä ja roiskuvalla vedeltä. IP66-luokan omaava pistorasia on pölytiivis ja
se suojaa voimakkaalta vesisuihkulta.



KUVA 6. Yhdellä pistorasialla ja liittimillä toteutettu testauskaapeli

Testauskaapelit oli varustettu eri liittimien sovelluksilla (kuva 7):

1. WAGO 2001511-mallin liitin oli asetettu suoraan johtimeen. Johdin lukit-
tautui turhan napakasti riviliittimeen, mikä vähensi asennusmukavuutta.
2. Tuotannosta poistuneen testausliittimen jatkoksi oli asetettu WAGO
2009182-mallin liitin. Testausliittimen jatkaminen toisella liittimellä ei ole
hyvien asennustapojen mukainen.
3. Johtimen päätehylsynä käytetyn urosliittimen liitântäpäähän oli asetettu
WAGO 2009182-mallin liitin. Modifioidusta johtimen päätehylsystä ja tes-
tausliittimen välissä esiintyi jännitteinen osa.
4. Johtimen päätehylsynä on käytetty urosliittimen liitântäpäätä. Modifioitu
päätehylsy oli tukevasti kiinni ja kesti hyvin mekaanista rasitusta.



KUVA 7. Kaapelissa käytettyjä erilaisia testausliittimiä

Testauskaapelista esiin tuodut johtimet oli pääsääntöisesti päällystetty mustalla mekaanisella suojalla, koska pelkkä johdin on liian altis testauksesta aiheutuvalle mekaaniselle rasitukselle. Kaapeleiden tyyppitiedot olivat kaapeleissa selvästi näkyvillä tai ne olivat kuluneita. Kuluneiden kaapeleiden johtimien todellinen poikkipinta-ala oli haastava selvittää silmämääräisesti. Todellinen johtimen poikkipinta-ala on selvitetty vertailemalla tehtaalla olevia johtimia sekä mittaamalla johtimen halkaisija työntömitalla johtimen kuparisten lankojen päältä. Tämän jälkeen

saadaan laskettua suuntaa antavan johtimen poikkipinta-ala ympyrän pinta-alan A kaavalla

$$A = \pi r^2, \quad (3)$$

missä r on ympyrän halkaisija (Mäkelä, Soininen, Tuomola & Öistämö 2010, 18). Testauskaapeleiden graafista esitystapaa varten selvitettiin testauskaapelin johdotukset avaamalla kaapeleiden suojakotelot tai mittaamalla piirin jatkuvuus Fluke 179 -yleismittarilla. Jatkuvuustestauksessa mitataan jännitteettömänä nopeaa resistanssimittausta, mistä muodostuu äänimerkki piirin ollessa yhtenäinen (Fluke n.d). QAB-testausalueella käytössä olevia testauskaapeleita kartoitettiin yhteensä 32 kappaletta.

5 TESTAUSKAAPELEIDEN SUUNNITTELU

5.1 Kaapelityypin valinta

Testauskaapelityypin valintaan vaikuttaa valmistajan antamat tekniset tiedot sekä SFS 6000 -standardin mukaiset vaatimukset (ST 51.08, 1). Kaapeleiden tulee kestää testattavan laitteen oikosulkumoottorista aiheutuva värähtely (SFS 6000-5-52 2017, 9–11). Oikosulkumoottorien takia kuormitus on symmetristä, joten testauskaapeleihin ei tarvitse suunnitella nollajohdinta (SFS 6000-5-52 2017, 15). Vikasuojausmenetelmän mahdollistamiseksi kaapelissa on oltava suojamaadoitus, sillä jännitteelle alttiit osat on oltava maadoitusjärjestelmässä (SFS 6000-4-41 2017, 7). Valitun testauskaapelin rakenteen tulee vastata turvallisuustasoltaan standardeissa vaadittua, nimellisjännitteen tulee olla asennettavaan järjestelmään sopiva, johtimen poikkipinta-alan tulee olla riittävän suuri sekä kaapeleiden tulee kestää ulkoiset mekaaniset rasitukset.

Kaapelityypiksi valitaan yrityksen varastosta löytyvä H07RN-kaapeli, koska se on valmistajalta helposti tilattavissa. Valittu kaapelityyppi on öljynkestävä, sopii keskiraskaisiin mekaanisiin rasituksiin märissä olosuhteissa tai palovaarallisissa tiloissa. Kuparisen johtimen eristys on materiaaliltaan eteenipropeenikumia (EPR). EPR materiaalina tuo joustavuutta testauskaapelille sekä mahdollistaa hyvän lämmönkestävyyden. Nimellisjännite on kaapelissa 450/750 V, joten jännitetaso on riittävä asennusjärjestelmään. (Prysmian group 2017.) Testauskaapelin ulkovaipan materiaalina on käytössä neopreeni, joka on materiaaliltaan synteettistä kumia. Neopreeni on riittävän kestävä materiaali mekaanisille rasituksille, kestää ulkoisia ärsykyksiä sekä estää epäpuhtauksia pääsemästä kaapelin rakenteisiin. (Neoprene 2020.)

Kaapelin valinnassa on otettava huomioon sähkömagneettista yhteensopivuutta koskevat vaatimukset, koska nostimissa käytetyt taajuusmuuttajat aiheuttavat suuritaajuisia yliaaltoja. Yliaaltojen seurauksena taajuusmuuttaja on voimakas sähkömagneettisten häiriöiden lähde. Nostimen ohjaukseen ja syöttöön tarkoitetut testauskaapelit ovat vaihtosähköllä toimivia monijohtimisia energiakaapeleita, joita käytetään sähköenergian siirtämiseen. Ohjauskaapelissa jännitetaso on 48–

230 VAC, eivätkä testauskaapelit osallistu analogiseen virtaviestintään. Näin ol-
len testauskaapeleissa ei tarvita häiriösuojauksia, koska ne toimivat adaptereina
testauslaitteiston ja nostimen välillä sähköenergian siirrossa.

EMC-suojauksen tarkastelun kohteeksi nousi esiin nosturin sillan taajuusmuutta-
jan sekä nostimen välinen testauskaapelointi. Tänä päivänä nostin testataan suo-
ralla käynnistyksellä ilman taajuusmuuttajaa. Tämän takia kaapelointi voidaan to-
teuttaa valituilla energiakaapeleilla. Jos tulevaisuudessa testauslaitteistoa mo-
dernisoitaisiin ja testaus tapahtuisi todellisia olosuhteita vastaavalla laitteistolla
eli taajuusmuuttajalla, niin tulisi taajuusmuuttajan ja moottorin välinen kaapelointi
toteuttaa taajuusmuuttajan valmistajan ohjeiden mukaisesti. Valmistajan ohjeen
mukaan moottorikaapeloinniksi suositellaan symmetristä virtakaapelia, joka on
varustettu matalaimpedanssisella suojalla, esimerkiksi MCMK-kaapelilla (Vacon
2014, 52).

5.2 Mitoitus ja suojaus

Määritellään H07RN-kaapelin kuormitettavuus SFS 6000 -standardien mukai-
sesti. Testauskaapelin kuormitusvirta määräytyy testauspöydällä kuormitetun
nostimen mukaan. Suuritehoisimmassa QAB-mallin nostimessa on noston P4-
moottori ja siirron MF06LA200-moottori. Siirron moottorilla on nostimessa
TDN004-taajuusmuuttaja, joka ohjaa portaattomasti nosturin siirtoa. Oikosulku-
moottori ottaa verkosta pätötehon P lisäksi loistehoa Q , joten osoitinlaskennalla
saadaan laskennallisesti täsmällisin lopputulos, kun virtoja summataan yhteen.
Nostimen nimelliskuormitusvirta I_n eli piirissä kulkeva mitoitusvirta voidaan mää-
rittää osoitinlaskennalla P4-moottorin I_1 ja siirron taajuusmuuttajan I_2 nimellisvir-
tojen summana

$$\bar{I}_n = \bar{I}_1 + \bar{I}_2. \quad (4)$$

TAULUKKO 4. Ilmoitetut P4-moottorin ja TDN004-taajuusmuuttajan tekniset tiedot (Technical guide; characteristics 2019, 24, 26)

Suure	P4	TDN004
P (W)	7500	-
S (VA)	-	2400
$\cos\varphi$	0,9	0,98
U (V)	230	380
I (A)	30	5,1

P4-moottorin sähkötekniset arvot on katsottu moottorivalmistajan teknisistä tiedoista, TDN004-taajuusmuuttajan sähkötekniset tiedot on katsottu Konecranes Drive Inverter -laskentaohjelmistosta (taulukko 4). Tässä työssä voidaan ilman osoitinlaskentaa määrittää riittävällä tarkkuudella nostimen nimelliskuormitusvirta $I_n(4)$

$$I_n = 30 \text{ A} + 5,1 \text{ A} = 35,1 \text{ A},$$

koska tehokertoimet ovat melkein samaa suuruusluokkaa sekä opinnäytetyön käytännön toteutuksen lopputuloksessa ei ole tarkalla laskennalla merkitystä. Kuormitusvirran perusteella ylikuormitussuojalaitteeksi valikoituu gG-tyypin 40 A sulake. Määritellään testauskaapelin asennustavaksi E eli asennus on vapaasti ilmaan tehty asennus. Testauskaapelit ovat riittävän etäisyyden päässä toisistaan, joten ryhmistä johtuvia korjauskertoimia ei tarvitse ottaa huomioon. Asennusolosuhteena ympäristön lämpötila on 30 °C. Olosuhteita vastaavat korjauskertoimet ovat arvoissaan 1. Testauskaapelissa kuparisen johtimen nimellispoikkipinta-ala on oltava vähintään 6 mm². (SFS 6000-5-52 2017, 48, 76.) Valitun sulakkeen perusteella johtimen kuormitettavuuden minimiarvo on 44 A eli testauskaapeli toteuttaa epäyhtälön (1) vaatimukset

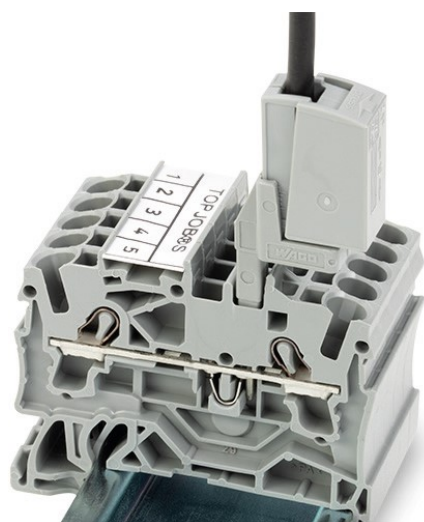
$$35,1 \text{ A} \leq 40 \text{ A} \leq 44 \text{ A}.$$

Kaapelit joutuvat jatkuvan vetorasituksen alaiseksi, koska testauskaapelit ovat painavia pystysuorissa asennuksissa. Tähän ratkaisuksi esitetään muovista kaapelin vedonpoistoa. Kun syötön yhteys menee suoraan nostimen riviliittimiin, tes-

tauskaapelin johtimia joudutaan kuorimaan kaapelin vaipasta pieneltä osin näkyväksi ja kytkemään ne pelkkinä johtimina riviliittimille. Tällöin kuoritut johtimet pitää päällystää mekaanisella suojalla eli käytännössä tämä toteutetaan kutistesukka -asennustarvikkeella. Mekaaninen suoja tuo lisäeristystä johtimiin, etteivät jännitteiset johtimien osat tule näkyviksi rasituksessa ja täten aiheuta sähköiskun vaaraa.

5.3 Liitännäratkaisujen suunnittelu

Testauskaapelin liitännäratkaisuksi kartoitettiin turvallisimmat ja asennusteknisesti parhaimmat testausliittimet. Nostimen syötön testauskaapelin liittimeksi ei löytynyt sopivaa testausliitintä, joka soveltuisi käytettyyn nimellisvirtaan tai -jännitteeseen. Tämän takia syötön testausliittimenä käytetään johdinpääholkkia. Ohjauksjännitteen testauskaapelin liitännäratkaisuksi löytyi turvalliset testausliittimet (kuva 8; kuva 9). QAB-testausalueen testausliittimeksi on valittu kuvan 8 mukainen testausliitin. Liittimeen asennettava johtimen poikkipinta-ala on oltava alle 2,5 mm², johtimessa kulkeva nimellisjännite saa olla enintään 250 V ja nimellisvirta 10 A (Åkerman 2022).



KUVA 8. WAGO 2009-182 testausliitin (WAGO miniluettelo 2019, 15)

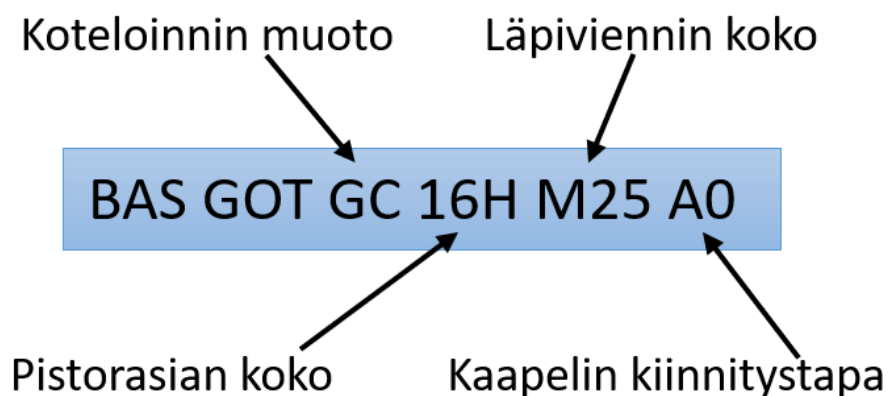
Valittu testausliitin pysyy napakasti nostimen riviliittimissä ja sen irrottaminen ei ole hankalaa. Johtimen poikkipinta-alan kasvaessa yli 2,5 mm² valmistaja suosii-

telee johdinpäätehylyllä varustetun yksisäikeisen johtimen liittämistä suoraan riviliittimeen. Testausliitin asennetaan suoraan johtimeen ilman mitään välikappaleita. Testauskaapeleiden vaihtoehtoisena liittämätarkaisuna voidaan pitää kuvan 9 mukaista liittintä. (Åkerman 2021.)



KUVA 9. WAGO 2001-511 testipistokekomponentti (WAGO miniluettelo 2019, 19)

Heikkoutena tässä ratkaisussa on se, että liitin saattaa jäädä liian napakasti kiinni nostimen riviliittimeen. Liittimen nimellisjännite 500 V ja nimellisvirta 18 A ja liitin soveltuu enintään 2,5 mm² poikkipinta-alaisille johtimille (WAGO Finland Oy n.d). Koteloinnin malli valittiin valmistajan teknisistä tiedoista koteloinnin muodon, pistorasian kokoluokan, läpiviennin tyyppin sekä testauskaapelin poikkileikkauksen mukaan (kuvio 6).



KUVIO 6. Koteloinnin valinta (Solid connection 2021, 156)

Valmistaja tarjoaa kestäväää alumiinirunkoa kotelointiin IP54-luokalla ja lisäksi kotelointi eroaa testattavan nostimen koteloinnista (Solid connection 2021, 156). Kotelointi suunnitellaan olevan IP54, koska koteloinnin ylivoimaisuus parantaa testauskaapelin mekaanista kestävyyttä. Pistorasian tyyppi valitaan nostimen tuotesuunnittelun sekä testauslaitteiston mukaan.

5.4 Tietokantapohjainen dokumentointi

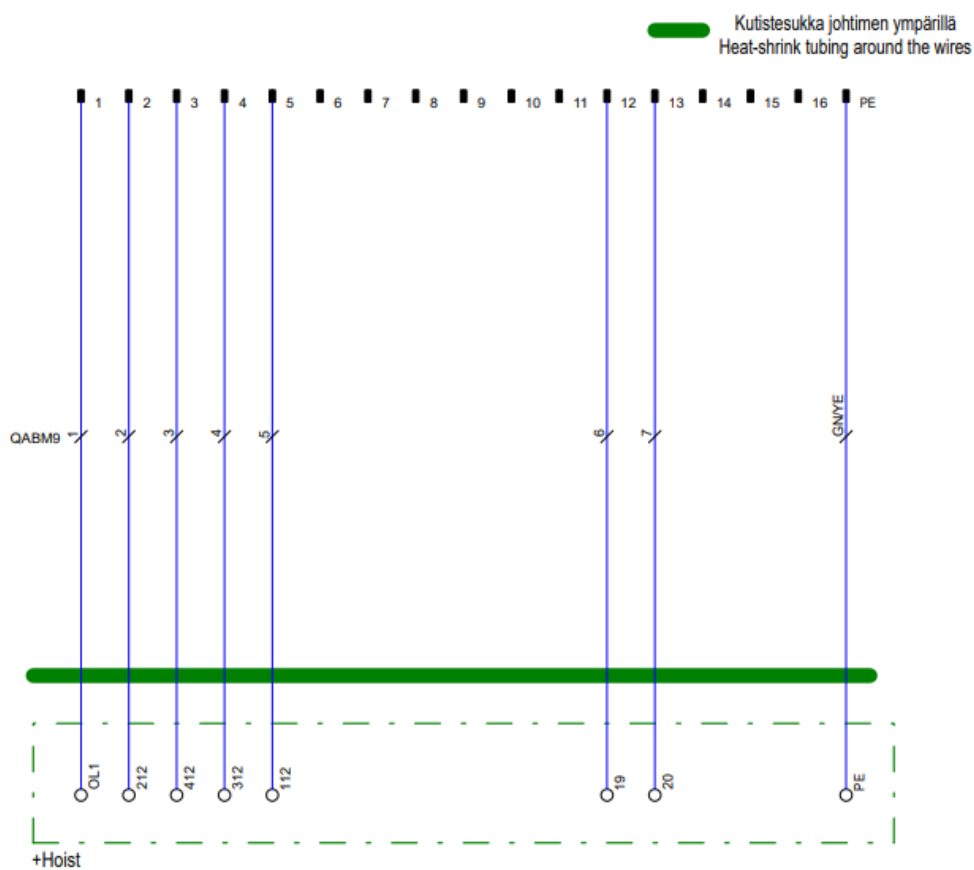
Testauskaapelit dokumentoitiin Zuken E³ -sarjan sähkösuunnitteluohjelmistolla, jossa on yritykselle suunniteltu komponenttitietokanta tehostamassa sähköistä dokumentaatiota. E³-tietokantapohjaa voidaan hyödyntää piirikaavion ja pohjaku- van suunnittelussa sekä kaapeli- ja komponenttiluetteloiden luomisessa. Kaikki dokumentit ovat dynaamisesti yhteydessä toisiinsa. Tietokannan avulla saadaan tuotua dokumentaatioon oikeat sähkötekniset symbolit tuotekoodilla tai Konecranesin omalla tilaustunnuksella (KCID). Tietokantapohjasta ei löytynyt kaikkia testauskaapeleihin valittuja komponentteja, joten osa komponenteista piti luoda erikseen tietokantaan. Myöskään kaikista komponenteista ei löytynyt yrityksen KCID-tunnusta, joten tämä asia jää vielä harkinnanvaraan, että luodaanko kaikille komponenteille oma KCID-tunnus.

Testauskaapeleiden dokumentoinnin esitystapa toteutettiin yhdistämällä (liite 1) graafinen ja tekstimuoto samalle sivulle. Tämän avulla nähdään samalle sivulle tiivistettynä testauskaapelin piirikaavio ja tekniset tiedot. Dokumentaatio toteutettiin englannin kielellä, koska yritys on kansainvälinen ja nostintuotantoa on myös muualla maailmassa. Vaikka tietokantapohja luo automaattisesti kaapeli- ja komponenttilistan, niin Microsoft Excelillä on tehty erikseen komponenttilista (liite 2). Näin saatiin luotua testauskaapelin informaatiosta paljon kuvaavampi ja lukumu- kavuutta lisäävä kokonaisuus. Lisäksi koko tehtaassa testauskaapeleiden lukumää- rää voidaan hallinnoida Microsoft Excel -listan avulla. KCID-tuotekoodi on haettu SAP-tiedonhallintajärjestelmästä erikseen jokaisesta komponentista, koska tuo- tekoodin avulla saadaan tilattua testauskaapelin materiaalit yrityksen toimintata- pojen mukaisesti.

TAULUKKO 5. Testauskaapelin tekniset tiedot

QABM01	SPECIFICATION	KCID
CABLE	H07RN-F4G2,5	55138075
CABLE LENGTH	90 cm	
MALE INSERT	Male plug 6-pole 99.712.9114.1	52287837
HOUSING FOR MALE	Hood BAS GOT GC 16 M32 Wieland 73.354.4035.0	-
TEST PLUG ADAPTER	WAGO 2009-182	52825661
MORE INFORMATION	Plastic cable hook for strain relief	

Testauskaapelin teknisinä tietoina on esitetty kaapelin tunnus, kaapelityyppi, kaapelin pituus sekä liitinratkaisut (taulukko 5). Testauskaapelin tunnus on suunniteltu niin, etteivät testauskaapelit sekoitu eri testauspaikkojen kanssa. Sähkökeskukselta suoraan lähtevät kaapelit nimettiin sähkökeskuksen, testattavan tuotteen ja juoksevan numeron mukaan. Adapterikäytössä olevat kaapelit nimettiin testattavan tuotteen lyhenteellä sekä juoksevalla numerolla, esimerkiksi QABM01 eli tuote on QA- tai QB-mallin nostin ja testauskaapelin juokseva numero on 1. Testauskaapeleiden pituudet on yhdenmukaistettu dokumentaatioon, jotta kaapelin pituus olisi riittävä testaukseen. Lisätietojen kohdalla on mainittu kaapelin vedonpoisto, jonka avulla vähennetään testauskaapelista aiheutuvaa mekaanista rasitusta testausliittimeen. Piirikaaviossa on esitetty kaapelin kytkentäkaavio sekä liitäntratkaisun sähkötekninen symboli (kuva 10).



KUVA 10. Testauskaapelin graafinen esitystapa

Piirikaavio on dokumentoitu hyvien tapojen mukaisesti eli jännitteen syöttö on ylhäällä ja jännitteen ulostulo on alhaalla. Johtimien mekaaninen suoja on sähkötyöturvallisuuden kannalta merkittävä asia, joten graafisella esitystavalla on vielä korostettu mekaanisen suojan olemassaoloa.

6 POHDINTA

Teorian luotettavuutta lisää lähdekritiikki, joten lähdemateriaalit on valittu harkin-
nanvaraisesti (Hirsjärvi, Remes & Sajavaara 2009, 113). Työssä on käytetty pää-
lähdemateriaalina SFS-standardeja, koska standardit hyödyttävät tutkitusti yrityk-
sen liiketoimintaa sekä vähentävät turvallisuusriskejä (Gjermund 2018, 84). SFS-
standardit on katsottu SFS Online -verkkopalvelusta, joka tarjoaa standardeista
uusimman lähteen. Opinnäytetyön raportointi ja lähdeaineisto on kirjoitettu Tam-
pereen ammattikorkeakoulun teollisuusteknologian ohjeiden mukaisesti.

Teollisuuden tuotannossa käytettävät laitteet ovat käytön ja iän myötä alttiita ku-
lumiselle. Kulumisen seurauksena tuotteiden valmistuksessa käytettävät teolliset
järjestelmät rikkoontuvat, jolloin syntyy häiriöitä tuotantoon sekä tuotteiden laa-
tuun. (Gopalakrishnan, Ahire & Miller 1997, 827.) Tämän opinnäytetyön tarkoi-
tuksena oli selvittää, suunnitella ja dokumentoida Hämeenlinnan tehtaan testaus-
kaapelit. Työn tavoitteet saavutettiin, koska opinnäytetyön testauskaapeleiden
sähköturvallisuutta saatiin parannettua huolellisella suunnittelulla ja dokumen-
toinnilla.

Testauskaapeleiden sähköturvallisuutta saadaan parannettua, kun kaapeleiden
liitinratkaisut ovat turvallisesti suunniteltuja, näkyvillä oleviin johtimiin asennetaan
mekaaninen suojaus, vedonpoisto on asennettu sekä dokumentointi on ajanta-
saista. Liitinratkaisuiden suunnittelussa pitää ottaa huomioon yhteensopivuus
tuotteeseen, asennusmukavuus sekä valmistajan ilmoittamat sähkötekniset tie-
dot. Testauskaapelin heikoin osa on liitin, koska liittimet hajoavat ensimmäisenä
ja lisäävät sähkötapaturman riskiä.

Ajantasaisen dokumentoinnin avulla voidaan kaapelin valmistukseen tarvittavat
henkilöstöresurssit kohdistaa oikein, näin testauskaapeleiden valmistus ei ole
pelkästään hiljaisen tiedon varassa. Ajantasainen dokumentaation avulla tuetaan
myös yrityksen Lean-ajattelua eli kaapeleita on varastoitu vain tarvittava määrä.
Ylimääräiset kaapelit voivat olla myös paloturvallisuusriski, koska teollisuudessa

muodostunut pöly voi joutua ajan kuluessa testauskaapeleiden rakenteisiin. Sähkötekniikan dokumentaation avulla voidaan tehokkaasti ja luotettavasti korvata vialliset kaapelit uusiin.

Testauskaapeleiden turvallisuuteen liittyvä jatkokehityshaaste liittyy dokumentoinnin ylläpidettävyyteen. Miten jatkossa pystytään hallitsemaan kaapeleiden uusiminen systemaattisesti sekä miten pystytään ylläpitämään paikkansapitävää ja ajantasaista dokumentaatiota. Hyvin toteutettu ja suunniteltu kunnossapito-ohjelma vähentää kalliiden häiriötekijöiden syntyä (Gopalakrishnan ym. 1997, 827). Jatkokehityshankkeena testauskaapeleista voitaisiin tehdä kirjallinen kunnossapitosuunnitelma, jotta kaapeleiden elinkaaren hallinta olisi kustannustehokasta ja luotettavaa. Yrityksen sisäinen tiedonhaku oli haasteellista ja aikaa vievää, joten toisena jatkokehityshankkeena tehdaskiinteistön sisäistä dokumentoinnin hallintaa voisi kehittää, jotta ajantasainen tieto olisi löydettävissä yhdestä paikasta.

LÄHTEET

ABB. n.d. Electrical installation solutions for buildings. Technical details. Pdf-dokumentti. Viitattu 23.11.2022. <https://new.abb.com/products/2CDS251001R0105/s201-b10>

E3.series. 2021. Zuken. Verkkosivu. Viitattu 16.11.2021. <https://www.zuken.com/en/product/e3series/>

Fluke. n.d. Peruskäsitteet. Verkkosivu. Viitattu 18.1.2022. <https://www.fluke.com/fi-fi/lue-lisaa/blogi/digitaaliset-yleismittarit/kuinka-testata-jatkuvuus-digitaalisella-yleismittarilla>

Gartzen, T., Schloesser, S. & Mendl-Heinisch, M. 2019. Engineering 4.0. Eplan. Pdf-dokumentti. Viitattu 22.1.2022. Vaatii käyttöoikeuden.

Gjermund, G. 2018. The influence of standards on the nordic economies. Menon economics. Pdf-dokumentti. <https://sfs.fi/standardeista/standardien-hyodyt/tutkittua/>

Gopalakrishnan M., Ahire, S. & Miller, D. 1997. Maximizing the effectiveness of a preventive maintenance system: an adaptive modeling approach. Management science 43 (6), 827–840. Pdf-dokumentti. Viitattu 19.1.2022. Vaatii käyttöoikeuden.

Helmenstine, A. 2019. Table of electrical resistivity and conductivity. Verkkosivu. Viitattu 18.1.2022. <https://www.thoughtco.com/table-of-electrical-resistivity-conductivity-608499>

Hirsjärvi, S., Remes, P. & Sajavaara, P. 2009. Tutki ja kirjoita. 15. uud. painos. Helsinki: Tammi.

Kanbanize. 2020. Kanban explained for beginners. Verkkosivu. Viitattu 18.1.2022. <https://kanbanize.com/kanban-resources/getting-started/what-is-kanban>

Kautto, P. 2016. Kaapelit ja paloturvallisuus. ST-käsikirja 39. Espoo: Sähkötietyöry.

KHH Presentation. 2021. Konecranes sisäinen verkko. Power Point-esitys. Viitattu 18.10.2021. Vaatii käyttöoikeuden.

Konecranes. 2021. KC Way eLearning. Verkkokoulutus. 18.12.2021. Vaatii käyttöoikeuden.

Konecranes in Brief. n.d. Konecranes. Verkkosivu. Viitattu 18.10.2021. <https://www.konecranes.com/about/konecranes-in-brief>

Lean-ajattelu. n.d. Logistiikan maailma. Verkkosivu. Viitattu 18.1.2021. <https://www.logistiikanmaailma.fi/tuotanto/prosessien-kehittaminen/lean-ajattelu/>

Mäkelä, M., Soininen, L., Tuomola, S. & Öistämö, J. 2010. Tekniikan kaavasto. 8. uud. painos. Tampere: Tammertekniikka.

Mäkinen, M. & Koivisto, P. 2020. Hyvät asennustavat. Sähkö- ja tietotekniset järjestelmät. 3. uud. painos. Espoo: Sähköinfo Oy.

Neoprene. 2020. ChemicalSafetyFacts.org. Verkkosivu. Viitattu 15.1.2022. <https://www.chemicalsafetyfacts.org/category/neoprene/>

Our strategy. n.d. Konecranes. Verkkosivu. Viitattu 8.2.2022. <https://investors.konecranes.com/our-strategy>

Prysmian group. 2017. H07RN-F Drakaflex. Pdf-dokumentti. Viitattu 15.1.2022. <https://fi.prysmiangroup.com/node/10304>

Ruppa, E. & Perkiö, T. 1996. Sähkötekninen dokumentointi. Helsinki: Hakapaino Oy.

SFS 6000-4-41. 2017. Pienjänniteasennukset. Osa 4–41: Suojausmenetelmät. Suojaus sähköiskulta. Helsinki: Suomen Standarditoimistoliitto SFS. Luettu 30.8.2021. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi/fi/index.html.stx>

SFS 6000-4-44. 2017. Pienjänniteasennukset. Osa 4–44: Suojausmenetelmät. Suojaus jännitehäiriöiltä ja sähkömagneettisilta häiriöiltä. Helsinki: Suomen Standarditoimistoliitto SFS. Luettu 30.8.2021. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi/fi/index.html.stx>

SFS 6000-5-52. 2017. Pienjänniteasennukset. Osa 5–52: Sähkölaitteiden valinta ja asentaminen. Johtojärjestelmät. Helsinki: Suomen Standarditoimistoliitto SFS. Luettu 30.8.2021. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi/fi/index.html.stx>

SFS 6002. 2015. Sähkötyöturvallisuus. Helsinki: Suomen Standarditoimistoliitto SFS. Luettu 30.8.2021. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi/fi/index.html.stx>

SFS-EN 50191. 2011. Sähköisten testauslaitteistojen asennus ja käyttö. Helsinki: Suomen Standarditoimistoliitto SFS. Luettu 30.8.2021. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi/fi/index.html.stx>

SFS-EN 60445. 2021. Perus- ja turvallisuusperiaatteet ihmisen ja koneen väliselle rajapinnalle, merkinnoille ja tunnistamiselle. Laiteliittimien, johdinpäiden ja johtimien tunnistaminen. Helsinki: Suomen Standarditoimistoliitto SFS. Luettu 30.8.2021. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi/fi/index.html.stx>

SFS-EN 60529. 2019. Sähkölaitteiden kotelointiluokat (IP-koodi). Helsinki: Suomen Standarditoimistoliitto SFS. Luettu 2.11.2021. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi/fi/index.html.stx>

SFS-EN 61082-1. 2015. Sähkötekniikassa käytettävien dokumenttien laatiminen. Osa 1: Säännöt. Helsinki: Suomen Standarditoimistoliitto SFS. Luettu 30.8.2021. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi/fi/index.html.stx>

SFS-EN 62491. 2008. Teollisuuden järjestelmät, asennukset ja laitteet sekä teollisuustuotteet. Kaapelien ja piuhojen merkintä. Helsinki: Suomen Standardoimistoliitto SFS. Luettu 10.10.2021. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi/fi/index.html.stx>

SLO. n.d. Turvallisuus ennen kaikkea. Verkkosivu. Viitattu 11.11.2021. <https://ideat.slo.fi/turvallisuus-ennen-kaikkea/>

Solid connection. 2021. Wieland Electric GmbH. Pdf-dokumentti. Viitattu 11.11.2021. <https://www.wieland-electric.com/en/products/connection-technology/industrial-connectors/revos-basic/>

ST 51.08. 2018. Ohjeita enintään 1000 V kaapelien ja johtimien valintaan. Sähkötieto ry. Viitattu 11.11.2021. Vaatii käyttöoikeuden. <https://severi-sahkoinfo-fi.libproxy.tuni.fi/>

ST 51.10. 2005. Asennusreitit. Sähkötieto ry. Viitattu 11.11.2021. Vaatii käyttöoikeuden. <https://severi-sahkoinfo-fi.libproxy.tuni.fi/>

ST 51.25. 2020. Sähkö- ja tietoteknisten järjestelmien laitteiden ja tilojen merkitseminen. Sähkötieto ry. Viitattu 19.10.2021. Vaatii käyttöoikeuden. <https://severi-sahkoinfo-fi.libproxy.tuni.fi/>

Sähköjärjestelmät. n.d. STEK. Verkkosivu. Viitattu 2.11.2021. <https://stek.fi/perustietoa-sahkosta/sahkojarjestelmat/ip-luokitus/>

Sätköturvallisuuslaki 16.12.2016/1135. Viitattu 30.8.2021. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2016/20161135>

Technical guide; characteristics. 2019. Konecranes. Konecranes sisäinen verkko. Pdf-dokumentti. Viitattu 14.1.2022. Vaatii käyttöoikeuden.

Tiainen, E. 2017. D1-2017 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista. Sähköinfo Oy. 27. painos. Helsinki: Painokurki Oy.

Tukes. 2020. Sähköpalot ja -tapaturmat. Verkkosivu. Viitattu 8.2.2022. <https://tukes.fi/onnettomuudet/yhteenvedot-onnettomuuksista-toimialoittain/sahkotaturmat-ja-sahkopalot#sahkotaturmien-maara>

Vacon. 2014. Vacon NX AC drives. User's manual. Konecranes sisäinen verkko Pdf-dokumentti. Viitattu 14.1.2022. Vaatii käyttöoikeuden.

WAGO Finland Oy. n.d. Tuotenro 2001–511. Pdf-dokumentti. Viitattu 23.9.2021. <https://www.wago.com/fi/riviliittimet/topjobs-riviliitin/p/2001-511#details>

WAGO miniluettelo. 2019. Wago Finland Oy. Pdf-dokumentti. Viitattu 23.9.2021. https://www.wago.com/fi/d/Info_15000001

Wojes, R. 2019. The meaning of oxidized metal. Verkkosivu. Viitattu 18.1.2022. <https://www.thoughtco.com/what-is-the-definition-of-oxidized-metal-2340018>

Valtioneuvoston asetus sähkölaitteistoista 21.12.2016/1434. Viitattu 19.9.2021.
<https://finlex.fi/fi/laki/alkup/2016/20161434>

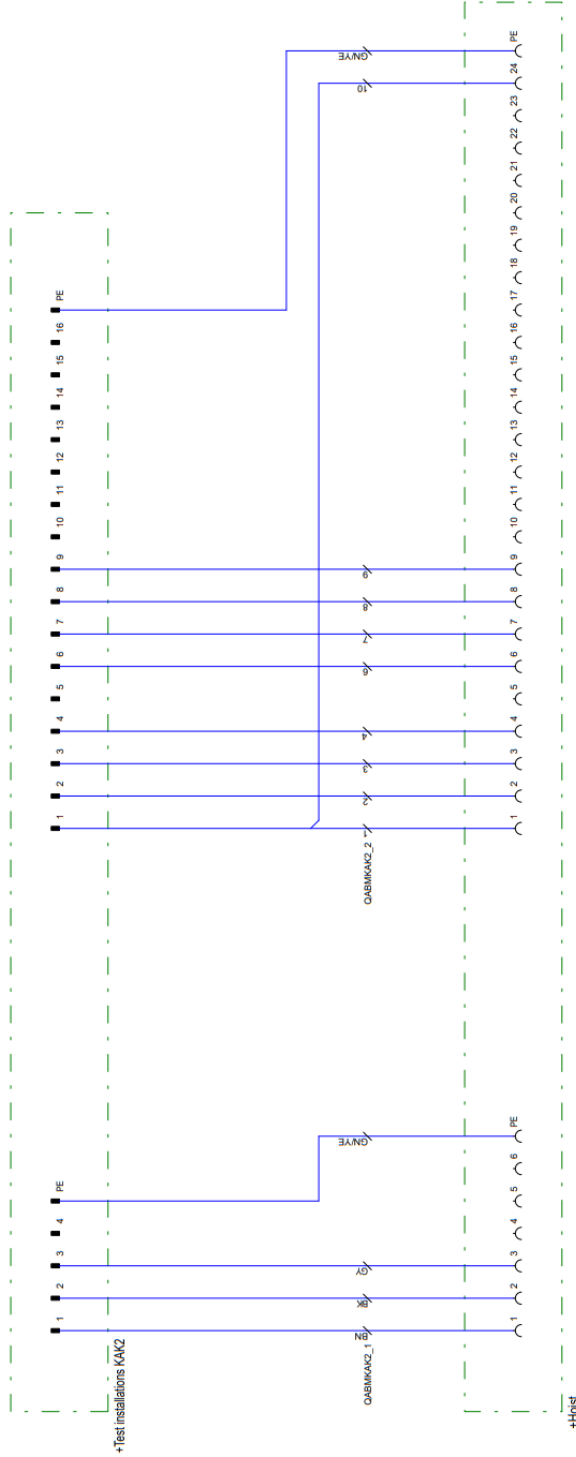
Åkerman, T. aluemyyntipäällikkö. 2021. Haastattelu 23.9.2021. Haastattelija Viisteensaari, J. Alihankinta-messut. Tampereen messu- ja urheilukeskus.

Åkerman, T. aluemyyntipäällikkö. 2022. Testausliitin 2009-182. Sähköposti-viesti. Luettu 31.1.2022.

LIITTEET

Liite 1. Testauskaapelin dokumentointi

ELEC check on the factory /SU katselmoi paikan päällä



QABKAK2_1	SPECIFICATION	KCID
CABLE	H07RN-F4G6	55027669
CABLE LENGTH	522 cm	
MALE INSERT	Male plug 4-pole 72.218.0453.0	52275201
HOUSING FOR MALE	Hood BAS GOT GC 16 M32 Wieland 73.354.4035.0	
FEMALE INSERT	Female plug 6-pole 99.710.9114.1	52287836
HOUSING FOR FEMALE	Hood BAS GOT GC 24 M32 Wieland 70.354.2435.0	52835013

QABKAK2_2	SPECIFICATION	KCID
CABLE	H07RN-F12G1,5	55138059
CABLE LENGTH	522 cm	
MALE INSERT	Male plug 16-pole 70.310.1640.0	52274731
HOUSING FOR MALE	Hood BAS GOT GC 16 M32 Wieland 73.354.4035.0	
FEMALE INSERT	Female plug 24-pole 70.300.2440.0	52274775
HOUSING FOR FEMALE	Hood BAS GOT GC 24 M32 Wieland 70.354.2435.0	52835013

Liite 2. Komponenttilista

QAB-testausalueen testauskaapelit

Kaapeleita yhteensä: 32

QABKAK2_1	SPECIFICATION	KCID	pcs
CABLE	H07RN-F4G6	55027669	3
CABLE LENGTH	522 cm		
MALE INSERT	Male plug 4-pole 72.218.0453.0	52275201	
HOUSING FOR MALE	Hood BAS GOT GC 16 M32 Wieland 73.354.4035.0	-	
FEMALE INSERT	Female plug 6-pole 99.710.9114.1	52287836	
HOUSING FOR FEMALE	Hood BAS GOT GC 24 M32 Wieland 70.354.2435.0	52835013	

QABKAK2_2	SPECIFICATION	KCID	pcs
CABLE	H07RN-F12G1,5	55138059	3
CABLE LENGTH	522 cm		
MALE INSERT	Male plug 16-pole 70.310.1640.0	52274731	
HOUSING FOR MALE	Hood BAS GOT GC 16 M32 Wieland 73.354.4035.0	-	
FEMALE INSERT	Female plug 24-pole 70.300.2440.0	52274775	
HOUSING FOR FEMALE	Hood BAS GOT GC 24 M32 Wieland 70.354.2435.0	52835013	

QABM01	SPECIFICATION	KCID	pcs
CABLE	H07RN-F4G2,5	55138075	2
CABLE LENGTH	90 cm		
MALE INSERT	Male plug 6-pole 99.712.9114.1	52287837	
HOUSING FOR MALE	Hood BAS GOT GC 16 M32 Wieland 73.354.4035.0	-	
TEST PLUG ADAPTER	Wire end sleeve		
MORE INFORMATION	Plastic cable hook for strain relief		

QABM02	SPECIFICATION	KCID	pcs
CABLE	H07RN-F4G2,5	55138075	2
CABLE LENGTH	100 cm		
MALE INSERT	Male plug 6-pole 99.712.9114.1	52287837	
HOUSING FOR MALE	Hood BAS GOT GC 16 M32 Wieland 73.354.4035.0	-	
FEMALE INSERT	Female plug 4-pole 99.711.9114.1	52287834	
HOUSING FOR FEMALE	Hood BAS GOT GC 16 M32 Wieland 73.354.4035.0	-	