

Opinnäytetyö (AMK)

Elektronikka

Elektroniikkatuotanto

2011

Janne Nurmi

**TUOTANNON JA TESTAUKSEN  
TYÖOHJEIDEN TOTEUTUS  
AKKUVARMENNETUILLE  
TEHONSYÖTTÖJÄRJESTELMILLE**



**TURUN AMMATTIKORKEAKOULU**  
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Elektroniikan koulutusohjelma | Elektroniikkatuotanto

2011 | 29

Ohjaaja: Yngvar Wikström

Janne Nurmi

# TUOTANNON JA TESTAUKSEN TYÖOHJEIDEN TOTEUTUS AKKUVARMENNETUILLE TEHONSYÖTTÖJÄRJESTELMILLE

Tässä työssä toteutettiin työohjeet akkuvarmennettujen tehonsyöttöjärjestelmien kokoonpanoa ja testausta varten. Työn tavoitteena oli tehdä ohjeista kyseistä laitteistoa koskevien standardien mukaisia. Ohjeissa tuli myös ottaa huomioon työvaiheisiin kuluva ajan ja materiaalien minimoiminen.

Työohjeita tehtäessä selvitettiin kyseisiä järjestelmiä koskevan standardin, SFS-EN 60439-1 + A1 vaatimukset koskien järjestelmän kokoonpanoa ja testausta. Standardi SFS-EN 60439-1 + A1 määrittelee nimellisjännitteeltään vaihtosähköllä alle 1 000 V:n ja tasavähdöllä alle 1 500 V:n tyyppitestattujen tai osittain tyyppitestattujen jakokeskusten rakenteen, teknisten arvojen, ja testauksen vaatimukset.

Työn tuloksena saatiin kokoonpanon ja testauksen käyttöön työohjeet joiden perusteella voidaan valmistaa ja testata standardin SFS-EN 60439-1 + A1 mukaisia akkuvarmennettuja tehonsyöttöjärjestelmiä.

ASIASANAT: testaus, kokoonpano, standardit.

Janne Nurmi

## CREATING WORK INSTRUCTIONS FOR ASSEMBLING AND TESTING POWER SUPPLY SYSTEMS WITH A BATTERY BACKUP

The purpose of this study was to create work instructions for assembling and testing power supply systems with a battery backup. The objective was to carry out the work instructions according to the standards concerning the system in question. One objective of this study was also to minimize the time and materials spent on the manufacturing process.

While creating the work instructions the requirements of the standard SFS-EN 60439-1 + A1 for assembling and testing were researched. The standard SFS-EN 60439-1 + A1 determines the requirements of structure, specifications, and testing for type tested and partially type tested distribution boards with nominal voltage less than 1 000 V with alternating current and less than 1 500 V with direct current.

The result of this study were work instructions, which can be used to manufacture power supply systems with a battery backup that fulfill the requirements of the standard SFS-EN 60439-1 + A1.

### KEYWORDS:

Testing, assembling, standards.

# SISÄLTÖ

## SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

<b>1 JOHDANTO</b>	<b>1</b>
<b>2 AKKUVARMENNETTU TEHONSYÖTTÖJÄRJESTELMÄ</b>	<b>3</b>
2.1 Valvojayksikkö	4
2.2 Teholähdemuodulit	5
2.3 Akusto	5
2.4 Sähkön syötön ja jakelun komponentit	5
<b>3 TUOTANNON KOKOONPANO-OHJEET ELCON TOIVO -JÄRJESTELMILLE</b>	<b>7</b>
3.1 Kokoonpano-ohjeiden etusivu	7
3.2 Dokumentit	7
3.3 Komponentit	8
3.4 Järjestelmäkaapin kalustaminen	9
3.5 Johdotus	10
3.6 Merkinnät	13
3.7 Kokoonpanon viimeistely	14
<b>4 TESTAUSOHJE JA TESTAUSRAPORTTI ELCON TOIVO -JÄRJESTELMILLE</b>	<b>17</b>
4.1 Testausohjeen ja testausraportin toteutus	17
4.1.1 Testausohjeen etusivu	18
4.1.2 Dokumentit	18
4.1.3 Järjestelmän fyysinen ja visuaalinen tarkastus sekä sähköistäminen	19
4.1.4 Lähtöjännitteen maadoitus	20
4.1.5 Akut	20
4.1.6 SM-3x valvojan asetukset	21
4.1.7 Akuston mittaukset	23
4.1.8 Moduulit	23
4.1.9 Hälytykset ja releet	23
4.1.10 Optiot	24
4.1.11 Muut toimenpiteet	26
4.2 Akkujen testausohjeen toteutus	26
4.3 Vianhakutaulukoiden toteutus	27
4.4 Lopputarkastuspöytäkirjan ja -ohjeen toteutus	27
<b>5 YHTEENVETO</b>	<b>28</b>
<b>6 LÄHTEET</b>	<b>29</b>

## SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

<i>I</i>	Virta
<i>R</i>	Resistanssi
<i>U</i>	Jännite
AC	Vaihtovirta (Alternating Current)
DC	Tasavirta (Direct Current)

# 1 JOHDANTO

Tuotannon työohjeet ovat perusta tuotannon tasalaatuisille tuotteille. Tämän opinnäytetyön toimeksiantajan kaltaisessa pienessä yrityksessä, jossa tuotantomäärät vaihtelevat suuresti tilauskannan mukaan, voi tuotannon työntekijöiden vaihtuvuus olla nopeaa esimerkiksi vuokrahenkilöstön käytön vuoksi. Tällöin oikeiden työmenetelmien pitää olla nopeasti uusien työntekijöiden tiedossa, jotta tuotannon laatu pysyy vaaditulla tasolla. Oikeiden työmenetelmien löytymisen avain on tehokas perehdyttäminen työtehtäviin tuotannon ohjeistuksen avulla.

Tämän opinnäytetyön toimeksiantaja Elcon Solutions Oy:lla ei ennen tämän työn aloittamista ollut työohjetta Toivo-järjestelmille, vaan työohjeistus annettiin suullisena perehdyttämisenä. Koska Toivo-järjestelmien työohjeet puuttuivat, tuotannon laadussa oli ajoittain havaittavissa puutteita. Laatu oli pääasiassa hyvää, mutta puutteet huomasi esimerkiksi toimituksissa, jotka sisälsivät useita samanlaisia järjestelmiä. Järjestelmät olivat tekijästä riippuen osin erilailla toteutettu, esimerkiksi johdotuksien suojauksessa oli eroja. Muita epäselvyyksiä tuotannossa aiheutti epätietoisuus joistain yleisistä käytännöistä, kuten standardien vaatimuksista koskien järjestelmän kosketussuojausta ja merkintöjä. Elcon-tasasähköjärjestelmille oli tehty testaus- ja tarkastusohje, mutta se koski ennen Toivo-järjestelmää tuotannossa ollutta järjestelmätyyppiä. Vanhaa testausohjetta ei voinut käyttää Toivo-järjestelmän testausohjeena, sillä vanha järjestelmätyyppi ja Toivo-järjestelmät eroavat paljon toisistaan toiminnaltaan ja ominaisuuksiltaan. Vanhasta testausohjeesta puuttui myös osa standardin SFS-EN 60439-1 + A1 määrittämistä testeistä.

Vastaavaa opinnäytetyötä ei ole aikaisemmin julkaistu. Aihetta sivuavia opinnäytetöitä on tehty useita. Standardia SFS-EN 60439-1 + A1 on käsitelty opinnäytetöissä eri yhteyksissä, kuten opinnäytetyössä jossa selvitettiin työmaakeskuksen suunnittelussa tarvittavia standardeja [1]. Myös työohjeita käsitteleviä opinnäytetöitä on julkaistu, esimerkiksi opinnäytetyö jossa käsitellään metalliteollisuuden käsittelylinjojen työohjeiden laatimista [2].

Tämän opinnäytetyön tavoitteeksi annettiin kehittää Elcon Toivo - tehonsyöttöjärjestelmien kokoonpanoa ja testausta toteuttamalla alan vaatimukset täyttävät tuotannon kokoonpano- ja testausohjeet. Tavoitteena on, että ohjeiden sisältö

vastaa kyseistä laitteistoa koskevia standardeja, erityisesti standardia SFS-EN 60439-1 + A1. Standardi SFS-EN 60439-1 + A1 koskee jakokeskuksia, jotka on tarkoitettu käytettäväksi sähköenergian tuottamiseen, siirtämiseen, jakelun ja muuttamisen yhteydessä tai sähköenergiaa kuluttavien laitteiden ohjaukseen ja säätöön, ja joiden nimellisjännite ei ylitä vaihtosähköllä 1 000 V eikä tasasähköllä 1 500 V.

Ennen työohjeiden laatimista selvitettiin kyseistä laitteistoa koskevat standardit ja niiden vaatimukset. Standardien vaatimuksia verrattiin Toivo-järjestelmän toteutukseen, ja kartoitettiin toteutuksen puutteet. Havaittuihin puutteisiin on kiinnitetty erityistä huomiota työohjeita laadittaessa, ja niiden ratkaisut on pyritty tuomaan työohjeessa mahdollisimman hyvin esille.

Tämän opinnäytetyön luvussa 3 käsitellään tehonsyöttöjärjestelmän kokoonpano-ohjeen toteuttamista ja luvussa 4 käsitellään testausohjeen toteuttamista.

## 2 AKKUVARMENNETTU TEHONSYÖTTÖJÄRJESTELMÄ

Sähkökatkon sattuessa on tärkeää turvata kriittisten laitteiden sähkönsaanti. Tällaisia kriittisiä laitteita on käytössä esimerkiksi sairaaloissa ja teollisuudessa. Suunnittelematon sähkökatko teollisuuden laitteissa voi aiheuttaa huomattavaa vahinkoa, kun tuotantoprosessit pysähtyvät, ennen kuin laitteita ehditään saattamaan turvalliseen tilaan. Muita tyypillisiä kohteita sähkönsyötön turvaamiseksi ovat esimerkiksi matkapuhelinverkon tukiasemat, erilaiset IT-järjestelmät, kuten verkkopalvelimet, ja turvalaitteet, kuten turvavalaistukset ja -opasteet.

Akkuvarmennettu tehonsyöttöjärjestelmä on varavirtajärjestelmä, joka syöttää kuormanaan oleville laitteille halutunlaista sähköenergiaa. Sähkökatkon sattuessa tarvittava sähköenergia saadaan varavirtajärjestelmään liitetystä akustosta. Akkuvarmennuksen tarkoituksena on turvata kuormana olevan laitteiston sähkönsaanti halutuksi ajaksi tehonsyöttöjärjestelmän käyttösähkön katketessa, esimerkiksi ukkosen tai jonkin muun sähköverkon ongelman takia. Jos sähkökatkos on tilapäinen, akkuvarmennuksella saavutettu lisäys toiminta-aikaan riittää usein, kunnes sähkökatko on ohi. Akkuvarmennuksen tuomaan toiminta-aikaan voidaan vaikuttaa akkujen koolla. Akkujen antama toiminta-aika riippuu kuorman sähkökulutuksesta sekä akkujen kapasiteetista.

Akkujen kapasiteettia kasvatettaessa ongelmaksi voi muodostua akuston tilantarve tai hinta. Jos akkujen toiminta-aika ei riitä, käytetään usein varavirtajärjestelmänä generaattoria, jolla saavutetaan akkuvarmennettua järjestelmää pidempi toiminta-aika ja suurempi teho. Varavirtageneraattori käyttää polttoaineena sähkön tuottamiseen esimerkiksi dieselpolttoainetta, ja toiminta-aikaa pystytään lisäämään täyttämällä käytön aikana tyhjentyneitä polttoainesäiliötä. Generaattorilla pystytään turvaamaan sen tehosta riippuen jopa kokonaisten laitojen, kuten terveysasemien, sähkönsaanti. Akkuvarmennettu tehonsyöttöjärjestelmä soveltuukin parhaiten kohteisiin, joissa riittää jokin tietty toiminta-aika, sekä pienempien laitteistojen, kuten jonkin tietyn tuotantoprosessin osan, varavirtajärjestelmäksi. Akkuvarmennetun tehonsyöttöjärjestelmän etuina ovat pieni tilantarve sekä täysin katkeamaton sähkönsyöttö heti sähkökatkon alkaessa.

Akkuvarmennetun tehonsyöttöjärjestelmän luotettavuutta voidaan parantaa huomattavasti kytkemällä kaksi järjestelmää rinnakkain syöttämään samaa kuormaa. Tätä kutsutaan varavirtajärjestelmän kahdentamiseksi. Kahdennetussa varavirtajärjestelmässä



molempien järjestelmien vikaantuminen samanaikaisesti on erittäin epätodennäköistä. Tällöin myös mahdolliset huoltotoimenpiteet, jotka vaativat yhden järjestelmän sammuttamista, onnistuvat ilman, että varavirta katkeaa turvattavasta laitteistosta.

Elconin päätuotteena ovat asiakaskohtaiset tehonsyöttöjärjestelmät, joista nykyään valtaosasta käytetään markkinointinimeä Elcon Toivo -järjestelmät. Elcon Toivo -tehonsyöttöjärjestelmät ovat usein akkuvarmennettuja, jolloin ne toimivat varavirtajärjestelminä.

Järjestelmät valmistetaan räätälöidysti asiakkaan toiveiden mukaisesti. Asiakkaan valittavana on useita eri vaihtoehtoja järjestelmän ominaisuuksille, kuten tulo- ja lähtöjännitteelle, lähtöteholle, akustolle, järjestelmäkaapin ominaisuuksille, ja lisävarusteille. Yhteen järjestelmään on mahdollista saada eri teholähdetyyppejä käyttämällä ulostuloja useille eri lähtöjännitteille, vaihto- ja tasasähkölle. [3]

Tyypillinen järjestelmä koostuu valvojayksiköstä, teholähdemuoduuleista, akustosta, sekä sähkön syötön ja jakelun komponenteista.

## 2.1 Valvojayksikkö

Valvojayksikkö on järjestelmän ohjauslaite, jolla käyttäjä voi muuttaa järjestelmän parametreja ja seurata järjestelmän ilmoittamia mittauksia ja mahdollisia hälytyksiä.

Järjestelmän mukana toimitettavalla ohjelmistolla käyttäjän on mahdollista hallita valvojaa tietokoneella. Joissain malleissa valvoja voidaan liittää verkkoon, jolloin järjestelmän etähallinta on mahdollista.

Valvojalla voidaan säätää lukuisia järjestelmän parametreja, kuten teholähdemuoduulien lähtöjännitettä ja -virtaa. Valvoja sisältää myös lämpötilakompensoinnin, joka seuraa akuston lämpötilaa ja muuttaa lähtöjännitettä akustolle sopivaksi lisäten näin akuston elinikää.

Valvojalla voidaan muuttaa järjestelmän toimintatilaa. Järjestelmän eri toimintatiloja ovat kestovaraus, tasausvaraus, pikavaraus, ja akuston testaus. Kestovaraus on yleisemmin käytössä oleva toimintatila, niin sanottu järjestelmän normaalitila. Kestovarauksella pidetään yllä akuston ideaalista jännitettä. Tasausvarauksella järjestelmä tasaa akkujen välisiä jännite-eroja varaamalla akustoa kestovarausta korkeammalla jännitteellä ennalta määrätyn ajan. Näin voidaan lisätä akuston elinikää. Pikavaraustoiminnolla järjestelmä

nostaa akuston latausjännitteen mahdollisimman korkeaksi, jolloin tyhjentyneet akut ladataan mahdollisimman nopeasti kuitenkaan vahingoittamatta niitä. Akuston testaus-toiminnolla järjestelmä purkaa akustoa ja tarkkailee sen jännitettä. Jos akuston jännite on laskenut alle määriteltyjen raja-arvojen, järjestelmä antaa siitä ilmoituksen. Tasausvaraus ja akuston testaus voidaan asettaa myös suoritettavaksi automaattisesti halutuun väliajoin. [4]

Valvojalla voidaan määrittää hälytysrajoja järjestelmän hälytyksille, joita ovat esimerkiksi hälytykset ali- ja ylijännitteelle sekä -virralle. Muita tärkeimpiä valvojan ilmoittamia hälytyksiä ovat lämpötilahälytykset, järjestelmän syöttöjännitteen katkeamisesta ilmoittava hälytys, teholähdemoduulien tilasta ilmoittavat hälytykset sekä järjestelmään kytkettyjen sulakkeiden laukeamisesta ilmoittavat hälytykset. Käyttäjän omia hälytyksiä varten valvojassa on kuusi digitaalista sisääntuloa, joihin käyttäjä voi määritellä haluamansa hälytykset esimerkiksi ulkoisille yli- ja alijännitereleille. [5]

## 2.2 Teholähdemoduulit

Järjestelmään on mahdollista sisällyttää tasasuuntaaja-, vaihtosuuntaaja- sekä konvertterimoduuleja. Kaikki teholähdemoduulit ovat liitettävissä valvojajyksikköön. Teholähdemoduuleja on saatavana eri lähtöjännitteillä ja eritehoisina. Järjestelmään voidaan asiakkaan toivomuksesta asentaa ylimääräisiä moduulipaikkoja, jolloin järjestelmän tehoa voidaan tarvittaessa myöhemmin lisätä. [5]

## 2.3 Akusto

Tyypillisesti käytettävä akusto koostuu 12 V:n suljetuista lyijyakuista, mutta myös muun tyyppisiä akkuja käytetään käyttökohteen perusteella. Esimerkiksi 110 V:n järjestelmän akusto koostuu tyypillisesti yhdeksästä 12 V:n akusta. Akusto on sijoitettu järjestelmäkaapin sisälle, erilliseen akkukaappiin tai asiakkaan akkutilaan. Akusto on suojattu akkusulakkeella akuston ylivirran varalta.

## 2.4 Sähkön syötön ja jakelun komponentit

Järjestelmään kytketään sen tehon tai järjestelmää syöttävän sähköverkon tyyppin perusteella joko yksi- tai kolmivaihesyöttöjännite. Järjestelmässä on pääkytkin, jolla

syöttöjännite saadaan tarvittaessa katkaistua, sekä tulosulakkeet sähkön syötön ylivirran varalta.

Järjestelmän lähtöjännite on yleensä kytketty jakelusulakkeisiin, joihin asiakas liittää oman laitteistonsa kuormaksi. Jakelusulakkeita on erityyppisiä, esimerkiksi kahvasulakkeita ja automaattisulakkeita. Jakelu- ja akkusulakkeisiin on usein liitetty hälytyskomponentit, jotka välittävät valvojalle tiedon ylivirran vaikutuksesta lauenneista sulakkeista.

### **3 TUOTANNON KOKOONPANO-OHJEET ELCON TOIVO - JÄRJESTELMILLE**

Tuotannon kokoonpano-ohjeiden perustana käytettiin tuotannossa hyväksi havaittuja käytäntöjä, ja työmenetelmiä kehitettiin edelleen vastaamaan standardien vaatimuksia. Ohjeet tehtiin vastaamaan jakokeskuksia koskevaa yleistä standardia SFS-EN 60439-1 + A1. Havaittuihin ongelma-kohtiin kiinnitettiin erityistä huomiota, ja niiden ratkaisut pyrittiin tuomaan mahdollisimman hyvin esille sijoittamalla ne ohjeessa omaan tekstikehykseen.

Tuotannon kokoonpano-ohjeet sisältävät kahdeksan osaa, jotka ovat etusivu, liitteet, ja tuotannon eri vaiheet jaoteltuna kuuteen osaan. Ohjeet on koottu Elconin verkkopalvelimelle, jolloin ne ovat helposti saatavilla.

#### **3.1 Kokoonpano-ohjeiden etusivu**

Tuotannon Kokoonpano-ohjeiden etusivu sisältää järjestelmän kokoonpanossa huomioitavia turvallisuusohjeita sekä ohjeiden sisällysluettelon.

Turvallisuusohjeissa on kiinnitetty erityistä huomiota akkujen kanssa työskentelyyn, sillä akut ovat suurin yksittäinen turvallisuusriski tuotannossa. Akkujen turvallisuusohjeita laadittaessa perehdyttiin akkujen ja akkuasennusten turvallisuusvaatimuksia koskevaan standardiin SFS-EN 50272-2. Akut muodostavat paitsi sähköisen ja kemiallisen vaaran, myös mekaanisen vaaran. Loukkaantumisia ei ole tiedossa, mutta lukuisia ”läheltä piti” -tilanteita on sattunut. Akkuja on ollut tapana käsitellä ilman tarvittavia suojarusteita. Erityisen riskin aiheuttaa akkujen siirtely ilman turvakenkiä. Useimmissa akuissa on todella heikot kantokahvat, ja niiden pettäminen tai irtoaminen on mahdollista. Yksi akku voi painaa 50 kg, joten pudotessaan jalalle se voi aiheuttaa vakavan työtaturman.

#### **3.2 Dokumentit**

Kokoonpano-ohjeiden kohdassa ”1. Dokumentit” on esitetty järjestelmän kokoonpanossa tarvittavat dokumentit, jotka ovat järjestelmän tilausvahvistus, piirikaavio, layout- eli mekaniikkakuva ja komponenttiluettelo.

## **Tilausvahvistus**

Tilausvahvistus on järjestelmän myyjän laatima dokumentti, jossa on mainittu kaikki asiakkaan kanssa sovitut järjestelmän ominaisuudet. Tilausvahvistus on järjestelmän muiden dokumenttien perusta, sillä piirikaavio ja mekaniikkakuva laaditaan tilausvahvistuksesta ilmenevien tietojen perusteella. Tilausvahvistuksen toteutuksen katsottiin olevan riittävä, eikä siihen ollut tarvetta tehdä muutoksia.

## **Piirikaavio**

Piirikaavio on järjestelmän kokoonpanossa johdotuksen kannalta tärkein dokumentti. Piirikaaviossa on esitetty järjestelmän komponenttien väliset johdotukset. Tuotannon ohjeita tehtäessä päätettiin piirikaaviota kehittää lisäämällä kokomerkinnot käytettäville johtimille, jolloin kokoonpanossa ei tarvitse enää käyttää aikaa johdinkokojen mitoittamiseen. Näin myös mahdollisuus käyttää väriä johdinkokoja pienenee. Järjestelmän suunnittelijalla on yleensä johdotuksien suunnitteluvaiheessa käytössään samantyyppiseen järjestelmään perustuva pohja, johon suunnittelija tekee tarvittavat muutokset johdotuksiin ja johdinkokoihin.

## **Mekaniikkakuva**

Järjestelmäkaappi kalustetaan layout- eli mekaniikkakuvan perusteella. Mekaniikkakuvassa on esitetty järjestelmän komponenttien sijoittelu järjestelmäkaappiin. Mekaniikkakuvan toteutuksessa ei löydetty kehityskohteita, joten siihen ei ollut tarvetta tehdä muutoksia.

## **Komponenttiluettelo**

Kokoonpano-ohjeita tehtäessä otettiin käyttöön uusi dokumentti, komponenttiluettelo, josta selviää piirikaaviossa mainitut komponentit. Komponenttiluettelosta on suuri hyöty kerätessä järjestelmän kokoonpanossa tarvittavia komponentteja.

### **3.3 Komponentit**

Kokoonpano-ohjeiden osassa ”2. Komponentit” on lueteltu järjestelmässä tarvittavat komponentit. Käytössä olleeseen menettelyyn, jossa kerätään komponentit ennen varsinaista kokoonpanon aloittamista liikuteltavaan hyllyyn, ei ollut tarvetta puuttua sillä se on käytännössä hyväksi havaittu.

Ohjeessa on komponenttien keräämisen helpottamiseksi jaettu järjestelmän komponentit kuuteen eri ryhmään. Jako on tehty komponenttien sijainnin perusteella mekaniikkakuvan mukaisesti.

### 3.4 Järjestelmäkaapin kalustaminen

Järjestelmäkaapin kalustamisohjeet sisältävät mekaanisten osien, kuten erilaisten kiinnityskiskojen eli "orsien", ja akkuhyllyjen, sekä muiden komponenttien, kuten akkujen, asentamisen järjestelmäkaappiin.

Järjestelmäkaapin kalustamisohjeita tehtäessä keskityttiin korjaamaan vanhojen työmenetelmien puutteita. Puutteita havaittiin esimerkiksi standardin SFS-EN 60439-1 + A1 mukaisissa eristysväleissä, sekä kosketussuojauksessa, jota on käsitelty tarkemmin ohjeen kohdassa "6.1 Kosketussuojaus". Puutteita havaittiin myös virranmittaukseen liittyvien komponenttien sijoituksessa, sekä komponenttien liittimien oikeissa kiristysmomenteissa.

Ohjeessa on kohdassa "3.1.2 Akkujen kytkinvarokepelti" tehty tarkennus vanhaan menettelyyn koskien järjestelmän virranmittaukseen liittyvien suojavastuksien sijoitusta, ja uuden menettelyn mukaisesti suojavastukset kytketään virranmittaukseen mahdollisimman lyhyillä johtimilla. Tällöin suojavastukset suojaavat paremmin valvojaa ja mittajohtimia [5].

#### **Eristysvälit**

Jakokeskusten yleisiä vaatimuksia käsittelevä standardi SFS-EN 60439-1 + A1 määrittää erinapaisten osien väliset ja erinapaisten sekä maadoitettujen osien väliset ilma- ja pintavälit. Nämä eristysvälit määrittävät osaltaan keskuksen hyvän eristystilan, joka on eräs tärkeimmistä tekijöistä käyttövarmuuden ja turvallisuuden kannalta [6]. Standardissa oleva taulukko eristysväleistä otettiin kokoonpano-ohjeeseen liitteeksi 2, "Ilma- ja pintaväliden suositellut vähimmäisarvot millimetreinä standardin SFS-EN 60439-1 + A1 mukaisesti".

## **Komponenttien liittimien kiristysmomentit**

Komponenttien liittimien oikeisiin kiristysmomentteihin ei ole aikaisemmin kiinnitetty tarpeeksi huomiota. Väärä kiristysmomentti voi aiheuttaa esimerkiksi liitoksen löystymisen tärinän tai venymisen vaikutuksesta [7]. Puutteen korjaamiseksi kokoonpano-ohjeessa viitataan ohjeen liitteeseen 1, jossa on kerättyinä käytetyimpien komponenttien kiristysmomentteja. Tiedot komponenttien kiristysmomenteista on kerätty komponenttien manuaaleista ja komponenttivalmistajilta.

### **3.5 Johdotus**

Kokoonpano-ohjeen kohdassa ”4. Johdotus” on ohjeistettu järjestelmän eri osien johdotukset. Erityistä huomiota on kiinnitetty oikeisiin asennustapoihin joissa oli havaittu puutteita. Puutteet koskivat pääasiassa jakokeskusten yleisiä vaatimuksia käsittelevän standardin vaatimuksia, jotka koskevat liittimien käyttöä, johtimien kiinnittämistä ja suojaamista, johtimissa syntyviä häiriöitä, sekä jo aiemmin mainittuja eristysvälejä ja komponenttien liittimien kiristysmomentteja.

Suurin tuotantoa kehittävä muutos oli lisätä johdinkokomerkinnyt piirikaavioon. Tällöin johdinkokojen määrittäminen ei jää tuotannon työntekijän tehtäväksi, mikä on aikaisemmin saattanut aiheuttaa epäselvyyttä ja asennusvirheitä.

### **Liittimet ja liitokset**

Liittimien ja liitosten osalta puutteita havaittiin useita. Jakokeskusten yleisiä vaatimuksia käsittelevässä standardissa on maininta sähköistä kosketusta välittävien ja samalla mekaanisena liitoksena toimivien kiinnitysruuvien oikeasta kiinnityksestä varmistamalla liitos jousialuslevyllä. Tämänkaltaisia kiinnityksiä on käytössä järjestelmän kokoonpanossa, ja niiden toteutus on vaihdellut tekijästä riippuen. Yleisesti liittimien käytöstä on ollut epäselvyyttä, esimerkiksi yhteen liittimeen on liitetty useita johtimia eli käytetty liitintä haaroitusliittimenä vaikka liitintä ei ole siihen tarkoitettu. Myös kaapelikenkiä on kytketty virheellisesti useita päällekkäin, jolloin ei ole huomioitu kaapelikengän virrankestoa. Kytkettäessä useita kaapelikenkiä päällekkäin voi alimpien kaapelikengien nimelliskestävyys ylittyä koska niiden läpi kulkee useamman kaapelikengän virta. [6]

## Johtimien suojaus

Huomattava sekaannusta aiheuttanut asia tuotannossa on ollut johtimien suojaus, ja toteutustapoja on ollut monia. Tarvittavista kohdista on puuttunut suojauksia, tai ne ovat voineet olla vajaita. Ohjetta tehtäessä selvitettiin jakokeskusten yleisiä vaatimuksia käsittelevän standardin vaatimukset johtimien suojauksesta. Standardissa on mainittu, että peruseristetyt johtimet eivät saa nojata paljaita eri potentiaalissa olevia jännitteisiä osia tai teräviä reunoja vastaan, ja ne on tuettava riittävästi. Oikosulkusuojaamattomat johtimet on asennettava siten, että mahdollisuus maasulkuun tai sisäiseen oikosulkuun vaiheiden välillä on hyvin vähäinen. Toivo-järjestelmässä oikosulkusuojaamattomiksi johtimiksi luetaan johtimet, jotka yhdistävät teholähdemoduulien lähdön ja järjestelmän jakelukomponentit, sekä muut johdotukset, jotka on kytketty teholähdemoduulien lähtöön. [6]

Taulukossa 1 on esitetty erityyppisten oikosulkusuojaamattomien johtimien valinta- ja asennusvaatimukset. Toivo-järjestelmien kokoonpanossa käytetään peruseristettyjä johtimia, joiden suurin sallittu käyttölämpötila on vähintään 90 °C. Taulukossa on määritelty enimmäispituudeksi 3 m sellaisille johtimille, joiden oikosulkusuojauslaite on kuorman puolella. Toivo-järjestelmässä käytettävät oikosulkusuojaamattomat johtimet ovat lyhyitä, korkeintaan 2 m:n pituisia.



**Taulukko 1.** Johtimien valinta- ja asennusvaatimukset. [6]

Johtimen tyyppi	Vaatimukset
Paljaat tai peruseristetyt johtimet, esim. IEC 60227-3 mukaiset johtimet.	Johtimien kosketus toisiinsa tai johtaviin osiin on estettävä käyttämällä erotuslevyjä.
Peruseristetyt johtimet, joiden suurin sallittu käyttölämpötila on vähintään 90 °C, esim. IEC 60245-3 mukaiset johtimet, tai IEC 60227-3 mukaiset lämmönkestävät PVC-eristeet.	Johtimien kosketus toisiinsa tai johtaviin osiin on sallittua, jos ne eivät puristu toisiinsa. Kosketusta teräviin kulmiin ei ole sallittu. Mekaanisen vahingoittumisen vaaraa ei saa esiintyä.  Näitä johtimia saa kuormittaa vain niin paljon, että niiden käyttölämpötila nousee enintään 80 %:iin ko. johtimien suurimmasta sallitusta käyttölämpötilasta.
Peruseristetyt johtimet, esim. IEC 60227-3 mukaiset johtimet, jotka on varustettu lisäeristyksellä, esim. kukin johdin on vedetty omaan muoviputkeen tai -letkuunsa.	Ei aseteta lisävaatimuksia, jos ei esiinny mekaanisen vahingoittumisen vaaraa.
Johtimet, joiden eristys on erikoislujasta materiaalista, esim. etyleeni-tetrafluori-etyleenistä (ETFE-eristys), tai kaksoiseristetyt johtimet, joissa on vaippa, joka on mitoitettu kestämään 3 kV, esim. IEC 60502 mukaiset kaapelit.	
Vaipalliset yksi- ja monijohdinkaapelit, esim. IEC 60245-4 tai IEC 60227-4 mukaiset kaapelit.	
HUOM. Paljaat tai eristetyt johtimet, jotka on asennettu taulukon mukaisesti ja joiden oikosulkusuojalaite on kuorman puolella (lähtöyksikössä), saavat olla pituudeltaan enintään 3 m.	

Kokoonpano-ohjeen kohdassa "4.2 DC-lähdön johdotukset" on ohjeistettu suojaamaan peruseristetyt johtimet tuotannossa käytettävällä muovisella sidontaspiraalilla, jos ne nojaavat paljaita eri potentiaalissa olevia jännitteisiä osia tai teräviä reunoja vastaan. Standardin SFS-EN 60439-1 + A1 mukaan oikosulkusuojamattomat johtimet voivat koskea toisiinsa tai johtaviin osiin, jos ne eivät puristu toisiinsa. Mekaanisen vahingoittumisen vaaraa, kuten johtimien kosketusta järjestelmän mekaanisten osien teräviin kulmiin, ei saa esiintyä. Oikosulkusuojamattomien johtimien jättämistä

mekaanisesti suojaamattomiksi hankaloittaa se, että tällaisia johtimia saa kuormittaa vain niin paljon, että niiden käyttölämpötila nousee enintään 80 %:iin johtimen suurimmasta sallitusta käyttölämpötilasta. Tämä tarkoittaa että johdinta saa kuormittaa virralla joka on enintään 80 % johtimen virrankestosta. Tuotannon työntekijällä ei ehkä ole varmaa tietoa virrasta joka johtimessa tulee kulkemaan, joten epäselvissä tilanteissa ohjeistetaan suojaamaan johdin sidontaspiraalilla, jolloin johdinta saa kuormittaa sen täydellä virrankestolla. Standardi SFS-EN 60439-1 + A1 ei aseta mekaanisesti suojuille oikosulkusuojaamattomille johtimille lisävaatimuksia, kunhan mekaanisen vahingoittumisen vaaraa ei esiinny. Akkukaapelit suojataan koko matkalta, sillä ne ovat sijoitettu ahtaisiin väleihin ja saattavat osua akkuhyllyjen ja kaapin rungon kulmiin. [6]

Johtimien kiinnittämistä koskien kokoonpano-ohjeessa ohjeistetaan standardin SFS-EN 60439-1 + A1 mukaisesti olemaan niputtamatta tiukasti raskaasti kuormittuvia johtimia yhteen, jotta ne eivät lämpenisi liikaa. Suurissa nipuissa johtimet eivät pääse kunnolla jäähtymään. Myös liian voimakkaasti kiristetyt nippusiteet voivat vahingoittaa johtimien eristystä kun johtimen eriste pehmenee sen lämmitessä. [6]

Teholähdemoduulivalmistajan ohjeiden mukaisesti ohjeessa neuvotaan pitämään AC- ja DC-johdotukset mahdollisimman erillään toisistaan, ja jos ne joutuvat ohittamaan toisensa, ne asennetaan kohtisuoraan toisiinsa nähden. Tällä pyritään minimoimaan AC-johdotuksien aiheuttamat häiriöt DC-johdotuksiin, ja erityisesti järjestelmän valvojan tiedonsiirtokaapeleihin. [5]

### 3.6 Merkinnät

Standardi SFS-EN 60439-1 + A1 määrittää merkitsemään järjestelmän kytkimet niiden käyttötarkoituksen osoittavalla piirikaavion mukaisella tunnuksella, ellei käyttötarkoitusta voi pitää selvänä ilman lisämerkintää. Jos kytkimissä on useampia kosketinasentoja kuin pois ja päälle, niiden merkitys selvennetään kytkimien viereen kiinnitetyllä lisätekstillä. Standardi mainitsee myös väritunnuksella varustetut riviliittimet, kuten sininen nollaliitin ja keltavihreä suojaliitin, joiden värimerkintää ei yleensä pidetä riittävänä liittimen tunnistamiseen. [6]

Kokoonpanon puutteet merkintöjen osalta ovat koskeneet lähinnä kytkimien toiminnan puutteellista merkitsemistä. Riviliitin- ja komponenttimerkinnät ovat olleet standardin vaatimuksien mukaisia.

Kokoonpano-ohjeen kohdassa "5. Merkinnät" on ohjeistettu merkitsemään kytkimet standardin mukaisesti kytkimen toimintaa selventävällä tekstillä. Riviliittimet merkitään väritunnuksen lisäksi myös liitinkilvillä. Akut merkitään sarjanumeroilla, jotka tehdään kokoonpano-ohjeen liitteen 4, "Akkujen sarjanumerointi", mukaisesti.

### 3.7 Kokoonpanon viimeistely

Kokoonpanon viimeistely sisältää järjestelmän kosketussuojauksen, maadoituksen, ja moduulikehikon viimeistelyn.

#### **Kosketussuojaus**

Kosketussuojaus tarkoittaa ihmisen, eli järjestelmän käyttäjän, suojausta sähköiskulta. Toivo-järjestelmän kosketussuojaus on kokoonpano-ohjeessa toteutettu osittaisena kosketussuojauksena.

Standardin SFS-EN 60439-1 + A1 mukaan osittaista kosketussuojausta voidaan pitää riittävänä kosketussuojauksen tasona, jotta sähköalan ammattihenkilö tai tehtävään opastettu henkilö voi käyttää ja huoltaa järjestelmää muuna kuin jännitetyönä, vaikka järjestelmä on jännitteisenä. [6]

Osittainen kosketussuojaus toteutuu standardin mukaisesti, jos jännitteiset osat on kosketussuojattu sormien ja muiden kehonosien ulottumisalueelta. Käsiteltävät komponentit on sijoitettava siten, että sen sivuilla ei ole syvyysuunnassa paljaita jännitteisiä osia. Standardissa määritellään sormien ulottumisalueeksi sivusuunnassa 100 mm ja syvyysuunnassa 80 mm etäisyydelle käsiteltävästä komponentista ulottuvaa aluetta. [6]

Kokoonpano-ohjeen kohdassa "6.1 Kosketussuojaus" on käsitelty järjestelmän kosketussuojausta yleisesti, sekä kohdassa "6.1.1 Akkujen kytkinvarokepellin suojaus" akkujen kytkinvarokkeiden kosketussuojausta erikseen. Toivo-järjestelmissä ei yleensä ole tarvetta lisätä erillisiä kosketussuojia akkujen kytkinvarokkeiden kosketussuojan lisäksi, sillä jännitteiset osat ovat järjestelmän takana, jolloin käyttäjä ei pääse niihin vahingossa käsiksi. Akkujen kytkinvarokkeet ovat sen sijaan hyvin esillä, ja vaativat erillisen kosketussuojan jotta standardin vaatimukset osittaisesta kosketussuojauksesta täyttyvät.

## Suojamaadoitus

Kokoonpano-ohjeen kohdassa "6.2 Suojamaadoitus" käsitellään järjestelmän suojausta suojamaadoituspiiriä käyttäen. Standardissa SFS-EN 60439-1 + A1 on määritelty, että järjestelmän suojamaadoituspiiri koostuu joko erillisistä suojajohtimista tai järjestelmän johtavista rakenteista, tai molempien yhdistelmästä. Suojamaadoituspiirin tarkoitus on suojata käyttäjää keskuksessa ilmenevän vian vaikutuksilta ja keskuksen syöttämän ulkoisen piirin vian vaikutuksilta. Keskus on rakennettava siten, että jännitteelle alttiit kosketeltavat osat keskenään sekä nämä osat ja verkon suojamaadoituspiiri ovat johtavassa yhteydessä toisiinsa. Suojamaadoituspiirin jatkuvuus on varmistettava keskuksen osien välisillä luotettavilla liitoksilla tai erillisillä suojajohtimilla. Yhteenliitettyjen järjestelmän metalliosien katsotaan muodostavan luotettavan suojamaadoituspiirin, jos liitokset ovat pysyviä ja hyvin johtavia. Maalattujen osien ruuviliitoksien luotettava suojamaadoitusyhteys varmistetaan erillisellä suojajohtimella tai kokoonpanoruuvien kannan ja mutterien alle sijoitettavilla maalipinnan tehokkaasti rikkovilla aluslevyillä. Keskuksessa olevia pieniä jännitteelle alttiita osia ei tarvitse liittää suojamaadoituspiiriin, jos on varmistettu, etteivät ne voi joutua kosketuksiin jännitteisten osien kanssa. [6]

Toivo-järjestelmän suojamaadoituspiiri koostuu verkon suojamaadoituspiirin liittimestä, siihen yhteydessä olevasta järjestelmäkaapin rungosta, sekä mekaanisista osista jotka on asennettu järjestelmäkaappiin. Järjestelmäkaapin ovi liitetään suojamaadoituspiiriin erillisellä suojajohtimella, vaikka sitä ei vaadita metallisaranoilla varustetuilta ovilta joihin ei ole asennettu sähkölaitteita [6]. Ovien johdot asennetaan siten, etteivät ne vahingoitu ovia liikuttaessa.

Kokoonpano-ohjeita tehtäessä esiin tuli Toivo-järjestelmien suojamaadoituspiirin mahdollinen puutteellisuus. Suojamaadoituspiirin tarkistamiseen ei ole ollut aikaisemmin olemassa ohjetta, jolloin se on saattanut jäädä puutteelliseksi. Asian korjaamiseksi kokoonpano-ohjeen kohdassa "3. Järjestelmäkaapin kalustaminen" on ohjeistettu käyttämään kiinnityksissä järjestelmäkaapin maalipinnan rikkovia tähtialuslevyjä, jolloin standardin vaatimukset suojamaadoituspiirin jatkuvuudesta täyttyvät [6].

### **Moduulikehikon viimeistely**

Kokoonpano-ohjeen kohdassa "6.3 Moduulikehikon viimeistely" on koottu ohjeet oikosulkupalojen eli "jumpperien" ja moduulikehikkojen välisten kaapeleiden asentamisesta. Tiettyihin järjestelmissä käytettävistä moduulikehikoista tarvitsee asentaa oikosulkupalat, jotta ne toimivat halutulla tavalla. Oikosulkupaloilla asetetaan järjestelmä toimimaan oikein, kun järjestelmään on asennettu useita moduulikehikkoja päällekkäin. Oikosulkupaloilla vaikutetaan moduulikehikkojen ja järjestelmän valvojan väliseen tiedonkulkuun. Jos oikosulkupalat on asennettu väärin, järjestelmän valvoja ei tunnista kaikkia moduulikehikkoihin asennettuja teholähdemoduuleja. [8]

## 4 TESTAUSOHJE JA TESTAUSRAPORTTI ELCON TOIVO - JÄRJESTELMILLE

Tehonsyöttöjärjestelmille tehdään kahdentyyppisiä testejä, tyyppitestejä ja kappaletestejä.

Tyyppitestauksella todetaan mahdollisimman hyvin tyyppillistä järjestelmää vastaavan mallijärjestelmän vaatimustenmukaisuus. Tyyppitesti sisältää lämpenemistestin, jännitetestin, oikosulunkestävyyden testauksen, suojamaadoituspiirin tehokkuuden tarkastuksen, ilma- ja pintavälien tarkastuksen, mekaanisen toiminnan tarkastuksen, kotelointiluokan tarkastuksen sekä EMC- eli sähkömagneettisen yhteensopivuuden testauksen. Jos tyyppitestattuun järjestelmään tehdään myöhemmin muutoksia, tyyppitestiä ei tarvitse uusida, jos muutokset eivät vaikuta epäedullisesti aiemmin tehdyn tyyppitestin tulokseen. [6]

Kappaletestaus tehdään jokaiselle valmistetulle järjestelmälle, ja sillä todetaan tuotannossa olevan järjestelmän pysyminen tyyppitestatun järjestelmän mukaisena. Kappaletestauksen tarkoitus on varmistaa, että testattava tuote vastaa sille asetettuja laatuvaatimuksia, ja havaita tuotteessa mahdollisesti olevat materiaali- ja valmistusviat, jotta viallinen tuote ei päädy asiakkaalle. Kappaletestauksella varmistetaan myös se, että tuote vastaa siitä tehtyjä dokumentteja. Puutteellisesta testauksesta voi olla seurauksena laadun heikkeneminen sekä asiakkaille päätyneistä viallisista tuotteista aiheutuvat kustannukset. Kappaletestauksen uusimista lopullisella asennuspaikalla ei vaadita. Kappaletestauksen tarkoitus ei ole etsiä tuotteen suunnitteluvirheitä, vaan todentaa asiakkaan vaatimusten ja järjestelmän toteutuksen yhteneväisyys. Kappaletestaus sisältää järjestelmän ja sen johdotuksen tarkistuksen ja tarvittaessa sähköisen toiminnan testauksen, jännitetestauksen sekä suojausmenetelmien ja suojamaadoituspiirin sähköisen jatkuvuuden tarkastuksen. Järjestelmän kappaletestistä tehdään testausraportti, josta käy ilmi testattu järjestelmä, testaaja sekä testauksen tulokset. Testausraportti on oltava saatavilla mahdollisten tulevien ongelmien varalta. Tässä opinnäytetyössä käsitellään kappaletestausta, ja tästä eteenpäin tässä opinnäytetyössä testauksella tarkoitetaan kappaletestausta. [6]

### 4.1 Testausohjeen ja testausraportin toteutus

Testausohjeen tarkoitus on selventää testauksen kulku testausraportissa mainittujen testien mukaisessa järjestyksessä. Testausraporttia tehtäessä selvitettiin standardin

SFS-EN 60439-1 + A1 vaatimukset, jotka koskevat Toivo-järjestelmien testausta, ja ne lisättiin jo olemassa olevaan testausraporttiin.

Toivo-järjestelmien testausohjeen ja testausraporttipohjan lisäksi tehtiin myös oma erillinen testausohje akuille, vianhakutaulukot Toivo-järjestelmille ja vanhoille järjestelmätyypeille sekä lopputarkastuspöytäkirjapohja ja -ohje.

#### 4.1.1 Testausohjeen etusivu

Testausohjeen etusivulla on mainittu testauksessa huomioitavia tietoja käytettävistä mittalaitteista ja testauksessa huomioitavia tietoja turvallisuudesta. Etusivulla on myös testausohjeen sisällysluettelo.

Mittalaitteiden kunto on olennaista mittaustuloksien luotettavuutta arvioitaessa. Mahdollisimman luotettavien mittaustuloksien varmistamiseksi on mittalaitteiden kalibrointi oltava voimassa, eivätkä mittareiden paristot saa olla liian tyhjä, jolloin niiden mittaustarkkuus voi heikentyä. Elconilla on käytäntönä merkitä mittalaitteisiin tarralla seuraava kalibrointiaika.

Turvallisuusohjeet ovat pääosin samat kuin kokoonpano-ohjeiden vastaavat, jotka on käsitelty aikaisemmin luvussa 3.2.1. Lisänä kokoonpano-ohjeiden turvallisuusohjeisiin testauksen turvallisuusohjeissa on mainittu varoituskilpien käyttö sekä testauksessa käytettävän kuorman tarkastus.

#### 4.1.2 Dokumentit

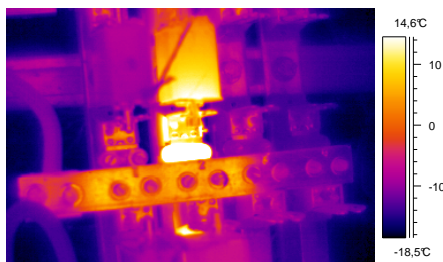
Standardi SFS-EN 60439-1 + A1 vaatii, että järjestelmän tulee vastata siitä tehtyjä piiri- ja johdotuskaavioita, kokoonpanokuvaa ja muita siitä annettuja teknisiä tietoja. [6]

Testausohjeen kohdassa ”1.1 Testausvaihe 1” on ohjeistettu testausraportin kohta ”1. Documents”, jossa verrataan järjestelmän valmistusdokumenteja toisiinsa ja järjestelmän toteutukseen. Vanhassa testausraportissa ei ollut omaa testausvaihetta dokumenteille, vaan piirikaavio ja mekaniikkakuva tarkastettiin osana järjestelmän fyysistä ja visuaalista tarkastusta. Vanhassa testausraportissa ei ollut mainintaa tilausvahvistuksen tarkistamisesta, joten tilausvahvistuksen vertaaminen muihin järjestelmän dokumentteihin saattoi jäädä testaajalta tekemättä.

### 4.1.3 Järjestelmän fyysinen ja visuaalinen tarkastus sekä sähköistäminen

Testausohjeen kohdassa "2.1 Testausvaihe 2" on ohjeistettu testausraportin kohta "2. Physical and visual inspection". Testausvaiheessa 2 tarkastetaan järjestelmäkaapin maalipinta, mekaaniset kiinnitykset, johtimien kiinnitykset ja reititykset, merkinnät, järjestelmän maadoituksen jatkuvuus, kosketussuojaus, suojausluokka sekä tyyppikilpi.

Testausvaiheeseen 2 liittyen standardi SFS-EN 60439-1 + A1 edellyttää mekaanisten toimivien järjestelmien, lukitusten, lukkojen ja muiden mekaanisten osien asianmukaisen toiminnan tarkastuksen, kaapeleiden oikean sijoittelun ja laitteiden oikean asennuksen tarkastuksen, merkintöjen ja tyyppikilven tarkastuksen sekä ilmoitetun kotelointiluokan ja eristysvälien silmämääräisen tarkastuksen. Liitoksien osalta standardin vaatimuksien täyttämiseksi riittää esimerkiksi pistokokein tehty tarkastus riittävän kosketuksen varmistamiseksi [6]. Toivo-järjestelmien testausohjeessa päädyttiin kuitenkin tarkastamaan kaikki liitokset, sillä se ei ole erityisen aikaa vievä työvaihe. Tätä tukee se, että jos viallinen liitos jää testauksessa huomaamatta, voi löysistä liitoksista aiheutua asiakkaan käytössä suuria ongelmia. Huono kosketus liitoksessa aiheuttaa liitoksen voimakasta lämpenemistä kuvassa 1 esitetyllä tavalla; esimerkiksi järjestelmän jakelusulake, jonka läpi kulkee tyypillisesti suuri virta, voi syttyä lämpenemisen vaikutuksesta palamaan.



**Kuva 1.** Lämpökuva sähkölaitteen alapuolen liitoksesta, jossa on huono kontakti. [9]

Vanhasta testausraportista puuttui johtimien merkintöjen, järjestelmän maadoituksen jatkuvuuden, kosketussuojauksen, suojausluokan sekä tyyppikilven tarkastus. Lisäämällä edellä mainitut tarkastukset testausraporttiin saatiin testauksesta näiltä osin standardin SFS-EN 60439-1 + A1 vaatimusten mukainen. Järjestelmän suojausluokan tarkastamista varten testausohjeeseen lisättiin liite 1, jossa on esitetty IP-kotelointiluokitus standardin IEC 60529 mukaisesti, sekä eristysvälien tarkastamista varten liite 2, jossa on esitetty ilma-



ja pintavälien suositellut vähimmäisarvot millimetreinä standardin SFS-EN 60439-1 + A1 mukaisesti.

Testausohjeen kohdassa ”2.2 Järjestelmän sähköistäminen” on ohjeistettu syöttöjännitteen kytkeminen järjestelmään. Syöttöjännitteen kytkeminen on pyritty ohjeistamaan niin, että laitteiston vaurioitumisen ja sähkötapaturman riski olisi mahdollisimman pieni.

Testausohjeen kohdassa ”2.3 Testausvaihe 2.9” on ohjeistettu testausraportin kohta ”2.9 SM-3x display, backlight and keypad”, jossa testataan järjestelmän valvojan näytön ja näppäimistön toiminta. Valvojan testaukselle oli tarpeellista lisätä oma testausvaihe testausraporttiin, sillä järjestelmän testaus on mahdollista suorittaa tietokoneella käytettävällä ohjelmistolla, jolloin valvojan näppäimistö saattaa jäädä epähuomiossa kokonaan testaamatta.

#### 4.1.4 Lähtöjännitteen maadoitus

Testausohjeen kohdassa ”3. DC-lähtöjännitteen maadoitus” on ohjeistettu testausraportin kohta ”3. DC-output earthing”. Testausvaiheessa 3 tarkastetaan DC-lähtöjännitteen maadoitus. DC-lähtöjännite on kytketty plus- tai miinusmaadoitetuksi, tai kelluvaksi. DC-lähtöjännitteen maadoituksen tarkastus suoritetaan mittaamalla järjestelmän DC-lähdön plus- ja miinus-napojen ja järjestelmän maadoituksen välinen jännite. Tämä testausvaihe oli olemassa jo aikaisemmassa testausraportissa, eikä sen toteutuksessa havaittu parannettavaa.

#### 4.1.5 Akut

Testausohjeen kohdassa ”4. Akut” on ohjeistettu testausraportin kohta ”4. Battery”. Tämä kohta testausraportissa ei ole varsinainen testausvaihe, sillä siinä ei suoriteta varsinaista testausta, vaan määritetään järjestelmään asennetun akuston tiedot. Akustosta määritettäviä tietoja ovat akkujen tyyppi, akuston kennojen lukumäärä, rinnankytkettyjen akustojen lukumäärä sekä akuston suurin sallittu latausvirta. Akuista tarvittavien tietojen löytymistä on nopeutettu keräämällä akkuvalmistajien toimittamia tuoteoppaita Elconin lähiverkkoon, ja testausohjeeseen on tehty linkki kyseiseen kansioon. Ennen tätä käytäntöä akkujen tuoteoppaat etsittiin akkuvalmistajien verkkosivuilta. Testausvaiheen sisältö on uudessa testausraportissa vastaava kuin aikaisemmassa testausraportissa.

#### 4.1.6 SM-3x valvojan asetukset

Testausvaiheessa ”5. SM-3x supervisory module settings”, määritetään järjestelmän valvojan asetukset järjestelmän ominaisuuksien mukaisiksi. Testausvaihe 5 on ohjeistettu testausohjeen kohdassa ”5. SM-3x valvojan asetukset”.

Valvojan asetusten määrittämiseksi oli jo aikaisemmin olemassa suppea ohje. Siinä on esitetty valvojan tärkeimmät asetukset, mutta siitä myös puuttuu monia asetuksia jotka on tarpeellista määrittää jotta järjestelmä toimisi oikein. Ohjeessa ei ole selvennetty siinä mainittujen asetusten tarkoitusta, joten se soveltuu lähinnä kokeneen testaajan muistin tueksi. Vanha ohje on seuraava:

1. ”Battery capacity” (Charge -valikko).

Purkaustaulukosta 4 h ja 10 h arvot (kennojännite 1,80 V).

2. ”Load current high setpoint” (Alarms -valikko).

Arvoksi asetetaan 90 % varaajien kapasiteetista.

3. ”Battery current high” (Alarms -valikko).

Purkaustaulukosta 1 h arvo.

4. ”System current limit” (Control -valikko).

Arvoksi asetetaan varaajien maksimi lähtövirta.

5. ”Battery charge current limit” (Control -valikko).

Arvoksi asetetaan valmistajan suosittelema arvo. Tyypillisesti 20 % akun kapasiteetista.

6. ”Temperature compensation sensor” (Charge -valikko).

Aktivoidaan, mikäli lämpötilasensori on mahdollista kytkeä akustoon.

7. ”Battery discharge threshold” (Alarms -valikko).

Raja, jolloin valvoja tulkitsee akuston purkautuvan. Arvoksi hieman järjestelmän kapasiteetista riippuen 5...10 A.

Valvojan asetukset määritetään tietokoneella käytettävällä ohjelmistolla. Testauksessa määritettävät asetukset on jaettu uudessa testausohjeessa yhdeksään osaan ohjelmiston valikoiden mukaisesti. Vastaavat testausvaiheet testausraportissa ovat kohdat 5.1-5.10. Seuraavassa on esitetty valvojan tärkeimmät asetukset sekä suurimmat muutokset vanhaan ohjeeseen.

Testausvaiheessa ”5.2 Alarms (Levels)” asetetaan järjestelmän hälytysrajat. Hälytykset jakautuvat virtahälytyksiin, lämpötilahälytyksiin, AC-hälytyksiin, jännitehälytyksiin, sekä alijännitekatkaisun asetusarvoihin. Hälytysrajoiksi asetetaan oletusarvot testausohjeen mukaisesti. Hälytysrajojen oletusarvoilla järjestelmä hälyttää vasta selvästi poikkeavassa tilanteessa, esimerkiksi tilanteessa, jossa järjestelmän lähtövirta on yli 90 % järjestelmän kapasiteetista. Näin vältetään turhilta hälytyksiltä esimerkiksi järjestelmän kuormana olevan laitteiston normaaleissa virrankulutuksen muutoksissa. Asiakkaalla on myös mahdollisuus muuttaa hälytysrajoja haluamukseen valvojan ohjelmiston avulla, jos tiukemmat hälytysrajat ovat tarpeen.

Testausvaiheessa ”5.3 Power module control” asetetaan järjestelmään asennettujen tehölähdemoduulien asetukset, joista tärkeimpiä ovat tasasuuntaajien, konverttereiden ja inverttereiden jänniteasetukset sekä tehölähdemoduulien lukumäärä järjestelmässä. Yksi tärkeä asetus, jolle ei aikaisemmin ole ollut määrittelyohjetta on järjestelmän kestovarausjännite. Kestovarausjännite on jännite, jonka tasasuuntaajat tuottavat toimiessaan normaalitilassa eli järjestelmän kestovaraus-asetuksella. Koska tasasuuntaajien lähtöjännite on yhteydessä järjestelmän akustoon ja sillä ylläpidetään akuston varausta, tulee kestovarausjännite määrittää akustolle sopivaksi. Jännite voi vaihdella akuston tyypistä riippuen, joten testausohjeessa ohjeistetaan selvittämään akkuvalmistajan suosittelema kestovarausjännite.

Testausvaihe ”5.4 Control” sisältää järjestelmän virranmittaukseen ja virranrajoitukseen liittyvien asetusten määrittämisen. Virranmittausvastuksen mittaaman akuston virran perusteella valvoja laskee myös järjestelmän lähtövirran vertaamalla akkuvirtaa tehölähdemoduulien kokonaisvirtaan. Järjestelmän akuston virta kulkee virranmittausvastuksen läpi, ja virranmittausvastus muuttaa mittaamansa virran jänniteviestiksi, joka välittyy valvojalle. Valvojaan määritetään virranmittausvastuksen arvo, jotta virranmittaus toimii oikein. Akuston virranmittauksen avulla voidaan myös rajoittaa akuston latausvirtaa. Testausohjeessa ohjeistetaan selvittämään akkuvalmistajan suosittelema suurin sallittu latausvirta kyseiselle akkutyypille. Suurin sallittu latausvirta ilmoitetaan prosentteina akun kapasiteetista. Liian suuri latausvirta aiheuttaa akun elektrolyytin liiallista kaasuuntumista, ja näin akun kuivumista, joka vaikuttaa akun suorituskykyyn [5].

Testausohjeen kohdassa "5.5 Charge" ohjeistetaan järjestelmän eri toimintatilojen, akuston kapasiteetin, ja lämpötilakompensoinnin asetukset. Valvoja laskee akuston suurimman sallitun latausvirran akuston kapasiteetin ja testausvaiheessa 5.4 määritettyjen arvojen perusteella. Jos järjestelmässä on useita akustoja, on akuston kapasiteetti kerrottava akustojen lukumäärällä, jotta valvoja laskee akuston latausvirran rajoituksen oikein koskemaan kaikkia järjestelmän akustoja. Tätä ei ollut ohjeistettu vanhassa testausohjeessa, joten vanhan testausmenettelyn mukaisesti toimittaessa akuston latausvirran rajoitus on saattanut määrittyä liian pieneksi. [5]

#### 4.1.7 Akuston mittaukset

Testausohjeen kohdassa "6. Akuston mittaukset" ohjeistetaan testausraportin testausvaiheen "6. Battery measurements" suorittaminen. Testausvaiheessa 6 tarkastetaan järjestelmän käynnissä pysyminen ilman verkkosyöttöä akuston varassa, sekä tarkastetaan akuston virranmittauksen toimivuus ja tarkkuus. Ohjeessa on ohjeistettu järjestelmään kytkettävän kuorman mitoittaminen akuston purkamista varten. Akuston sopivaksi purkuvirraksi on käytännössä havaittu noin 20 % akuston kapasiteetista, jolloin akuston virta ei varmuudella kasva liian suureksi, mutta on kuitenkin riittävä järjestelmän virranmittauksen tarkkuuden varmistamiseksi.

#### 4.1.8 Moduulit

Testausvaiheessa "7. Module settings" tarkastetaan järjestelmän teholähdemoduulien toiminta. Testausvaiheen suorittaminen on ohjeistettu testausohjeen kohdassa "7. Moduulit". Järjestelmän eri teholähdemoduulityypeille tehdään toisiaan vastaava testaus, jossa tarkastetaan moduulien sisääntulojännite, lähtöjännitteen ja -virran mittauksen tarkkuus, sekä tarkastetaan moduulien lähtövirran jakautuminen eri moduulien kesken. Testausraporttiin lisättiin kohta, johon kirjataan teholähdemoduulien sarjanumerot. Teholähdemoduulien sarjanumeroilla voi olla myöhemmin käyttöä vikatilanteita selvittäessä.

#### 4.1.9 Hälytykset ja releet

Testausohjeen kohdassa "8. Hälytykset ja releet" ohjeistetaan testausvaihe "8. Alarms and relays", jossa tarkastetaan järjestelmän hälytyksien ja hälytyksistä ilmoittavien releiden toiminta. Releiden toiminta ja releisiin kytkettyjen riviliittimien väliset kytkennät

tarkastetaan aiheuttamalla järjestelmään hälytys, jolloin myös kyseisen hälytyksen toiminta tulee tarkastettua. Testausohjeessa on neuvottu eri hälytyksien aiheuttaminen järjestelmään.

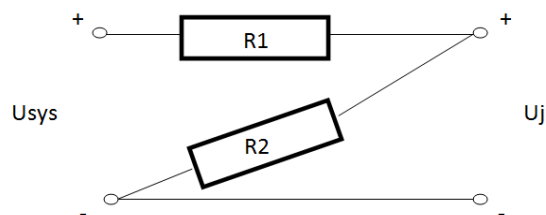
#### 4.1.10 Optiot

Testausvaiheessa ”9. Options” tarkastetaan järjestelmään lisävarusteena saatavan jännitevirtamuuntimen toiminta. Jännitevirtamuunnin muuntaa järjestelmän lähtöjännitteen analogiseksi virtaviestiksi, jonka avulla voidaan tarkkailla järjestelmän lähtöjännitettä. Jännitevirtamuuntimen virtaviestin alue on teollisuudessa yleisimmin käytetty 0...20 mA. Virtaviestin etuna jänniteviestiin verrattuna on virtaviestin parempi häiriönsieto ja tarkkuus, sillä virtaviesti ei aiheuta jännitehäviötä siirtojohtoon. [10]

Aikaisemmin käytössä ollut testausmenettely käsitti jännitevirtamuuntimen toiminnan suurpiirteisen tarkastuksen, jossa mitattiin järjestelmän lähtöjännite ja jännitevirtamuuntimen lähtövirta. Mitattuja arvoja verrattiin toisiinsa ja todettiin niiden olevan samaa suuruusluokkaa. Testausvaihetta kehitettiin laatimalla laskukaava, jolla saadaan tarkka vertailuarvo mitatuille arvoille. Seuraavassa on selvennetty kaavan toteutus vaiheittain:

#### Vaihe 1. Jännitemuunnin

Jännitemuunnin muuttaa järjestelmän lähtöjännitteen 0...10 V alueelle. Jännitemuuntimen periaatekuva on esitettyä kuvassa 2.



**Kuva 2.** Jännitemuuntimen periaatekuva.

Jännitemuuntimen sisääntulojännite jaetaan jännitemuuntimessa jännitejaolla, jolloin jännitemuuntimen lähtöjännite määräytyy jännitemuuntimessa olevien vastuksien arvojen suhteen mukaisesti. Vastuksien arvot riippuvat järjestelmän tyypistä, eli järjestelmän lähtöjännitteestä. Jännitemuuntimen lähtöjännite saadaan laskettua kaavan 1 mukaisesti.

$$U_j = \frac{R_1}{R_t} U_{sys} \quad , \text{jossa} \quad (1)$$

$U_{sys}$  = järjestelmän lähtöjännite

$U_j$  = jännitemuuntimen lähtöjännite (0 ... 10 V)

$R_t = R_1 + R_2$ .

## Vaihe 2. Jännite-virtamuunnin

Jännitemuuntimen lähtöjännite on kytketty jännite-virtamuuntimeen, jonka tulojännite on 0...10 V. Jännite-virtamuunnin muuntaa jännitemuuntimen lähtöjännitteen virtaviestiksi, joka on alueeltaan 4...20 mA. 4 mA vastaa jännite-virtamuuntimen 0 V:n tulojännitettä, ja 20 mA vastaa 10 V:n tulojännitettä. Jännite-virtamuuntimen tulojännite jaetaan jännite-virtamuuntimen lähtövirran alueella, jolloin osamääräksi saadaan jännite-virtamuuntimen tulojännite, joka vastaa jännite-virtamuuntimen lähtövirran arvoa 1 mA. Saatu osamäärä kerrotaan jännite-virtamuuntimen lähtövirralla. Koska jännite-virtamuuntimen lähtövirran alue ei ala arvosta 0 mA, täytyy kaavaa jatkaa vähentämällä siitä alue joka vastaa jännite-virtamuuntimen tulojännitettä 0 V. Jännitemuuntimen lähtöjännite, eli jännite-virtamuuntimen tulojännite saadaan laskettua kaavan 2 mukaisesti.

$$U_j = \frac{U_1}{I_1} I_{out} - \left( I_2 \frac{U_1}{I_1} \right) \quad , \text{jossa} \quad (2)$$

$U_j$  = jännitemuuntimen lähtöjännite, eli jännite – virtamuuntimen tulojännite (0...10 V)

$U_1$  = jännitemuuntimen suurin lähtöjännite (10 V)

$I_1$  = jännite – virtamuuntimen lähtövirran alue (4 ... 20 mA = 16 mA)

$I_2$  = jännite – virtamuuntimen lähtövirta, kun  $U_j = 0$  V (4 mA)

$I_{out}$  = jännite – virtamuuntimen lähtövirta.

### Vaihe 3. Jännite-virtamuuntimen lähtövirta

Jännite-virtamuuntimen lähtövirta voidaan laskea kaavalla 4, joka saadaan muokkaamalla kaavaa 3. Kaavassa 3 on yhdistetty edellisten vaiheiden kaavat 1 ja 2.

$$\frac{R_1}{R_t} U_{sys} = \frac{U_1}{I_1} I_{out} - \left( I_2 \frac{U_1}{I_1} \right) \quad (3)$$

$$I_{out} = \left[ \left( \frac{R_1}{R_t} U_{sys} + I_2 \frac{U_1}{I_1} \right) \frac{I_1}{U_1} \right] \quad (4)$$

#### 4.1.11 Muut toimenpiteet

Testausvaiheessa "10. Other procedures" tarkastetaan järjestelmän tuulettimen ja lämpötilakompensoinnin kaapelin toiminta, sekä suoritetaan eristysresistanssimittaus.

Standardi SFS-EN 60439-1 + A1 vaatii testattavan järjestelmän eristysresistanssin määrittämisen. Eristysresistanssin määrittäminen on tehtävä järjestelmille, joille ei ole suoritettu standardin SFS-EN 60439-1 + A1 mukaista eristetestiä, joka on huomattavasti työläämpi ja vaikeammin toteutettavissa oleva testaus kuin eristysresistanssin määrittäminen. Eristysresistanssin määrittäminen puuttui aikaisemmin käytössä olleesta testausmenettelystä. [6]

Testausohjeen kohdassa "10.3 Eristysresistanssimittaus" on ohjeistettu standardin mukainen eristysresistanssin määrittäminen. Eristysresistanssin määrittäminen toteutetaan mittaamalla eristysresistanssimittarilla järjestelmän jännitteisten osien ja jännitteelle alttiiden kosketeltavien osien välinen eristysresistanssi järjestelmän jokaisessa piirissä. Järjestelmän eri piirit käsittävät järjestelmän syöttöjännitteen piirin, sekä järjestelmän eri lähtöjännitteiden piirit.

## 4.2 Akkujen testausohjeen toteutus

Toivo-järjestelmien akustoille suoritetaan järjestelmän testauksen yhteydessä niiden kunnan tarkastus. Akut testataan Midtronics Celltron Essential CTE-1000 -akkuanalysointilaitteella, joka mittaa akkujen jännitteen ja konduktanssin eli akun sähkönjohtavuuden.

Akkujen testausohjeessa on selvitetty akuston testauksen suorittaminen. Akuston testaukselle ei ollut aikaisemmin olemassa ohjetta. Akuston testausohjetta laadittaessa otettiin käyttöön akkuanalysaattorin mukana toimitettu ohjelmisto, jolla mittaustiedot saadaan siirrettyä akkuanalysaattorista tietokoneelle pdf-tiedostona. Aikaisemmin käytäntönä oli kirjata mittaustulokset käsin akkuanalysaattorista tietokoneelle, joka vei tarpeettoman paljon aikaa. Akkuanalysaattorin ohjelmisto analysoi mittaustulokset ja vertaa mitattuja jännite- ja konduktanssiarvoja akustosta annettuihin vertailuarvoihin. Akkuanalysaattorin valmistaja suosittelee mittaamaan vertailuarvot itse perustuen mitattujen akkujen keskiarvoihin, sillä vain harva akkuvalmistaja ilmoittaa akkujen konduktanssiarvot. Akkuanalysaattorin valmistajan verkkosivuilta on myös ladattavissa lista muutamien akkutyypin konduktanssiarvoista. Akkujen konduktanssimittauksen vertailuarvoille luotiin taulukko, johon on kerätty testattujen akkutyypin vertailuarvoja. [11]

### 4.3 Vianhakutaulukoiden toteutus

Toivo-järjestelmien testauksen tueksi toteutettiin vianhakutaulukko, jonka tarkoitus on nopeuttaa testauksessa ilmenevän vian sekä jo asiakkaalla olevan järjestelmän vian selvittämistä. Erillinen vianhakutaulukko tehtiin myös vanhoille järjestelmätyypeille. Vianhakutaulukoihin on kerätty erilaisia testauksessa esiintyneitä vikatapauksia noin 2 vuoden ajalta. Vianhakutaulukot on toteutettu Microsoft Excel -ohjelmalla, ja erityyppiset viat on jaettu taulukoissa eri välilehdille taulukoiden selkeyttämiseksi.

### 4.4 Lopputarkastuspöytäkirjan ja -ohjeen toteutus

Lopputarkastuspöytäkirja on dokumentti, joka täytetään järjestelmän testauksen jälkeen. Lopputarkastuspöytäkirjan tarkoitus on varmistaa, että järjestelmä on valmis toimitettavaksi asiakkaalle. Lopputarkastuspöytäkirjasta oli ennen tämän opinnäytetyön tekemistä olemassa aikaisempi versio, jota kehitettiin tarvittavilta osin. Lopputarkastuspöytäkirjan täyttämistä varten tehtiin ohje, jossa on selvennetty lopputarkastuspöytäkirjassa esiintyvät tarkastukset.



## 5 YHTEENVETO

Työn tuloksena syntyi tavoitteenmukaiset työohjeet akkuvarmennettujen tehonsyöttöjärjestelmien kokoonpanoon ja testaukseen. Tulokset osoittavat vanhojen työmenetelmien osittain huomattavan kehitystarpeen.

Tuloksia arvioitaessa huomataan, että uudet työohjeet sisältävät lukuisia muutoksia aikaisempiin työmenetelmiin. Muutokset koskevat sekä kokoonpanoa että testausta. Muutokset johtuvat pääasiassa standardin SFS-EN 60439-1 + A1 vaatimuksista, jotka on otettu huomioon työohjeita tehtäessä.

Työn tuloksena akkuvarmennettujen tehonsyöttöjärjestelmien kokoonpanoa saadaan kehitettyä standardin SFS-EN 60439-1 + A1 vaatimusten mukaiseksi. Lisäksi kokoonpanovirheiden määrää saadaan vähennettyä, mikä vaikuttaa positiivisesti järjestelmien läpimenoaikaan. Testauksen osalta testausvarmuus kasvaa yhtenäisten työmenetelmien avulla.

Työn tuloksena syntyneitä työohjeita on tulevaisuudessa mahdollista käyttää lähtökohtana uudentyyppisten järjestelmien työohjeita laadittaessa. Työohjeiden perustana käytetyn standardin SFS-EN 60439-1 + A1 vaatimukset koskevat laaja-alaisesti erilaisia tehonsyöttöjärjestelmiä.

## 6 LÄHTEET

- [1] Kokkonen, S., Standardit työmaakeskuksen suunnittelussa. Opinnäytetyö. Sähkötekniikan koulutusohjelma. Savonia-ammattikorkeakoulu, 2011.
- [2] Riikkula, V., Käsittelylinjojen työohjeiden laatiminen. Opinnäytetyö. Konetekniikan koulutusohjelma. Kemi-Tornion ammattikorkeakoulu, 2011.
- [3] Elcon Solutions Oy, Yritysesittely. [www-dokumentti]. Saatavilla: <http://www.elcon.fi>. (Luettu: 9.5.2011.)
- [4] Alpha Technologies Ltd, Cordex Controller Software Manual. Kanada: Alpha Technologies Ltd, 2010.
- [5] Enatel Ltd, SM31/SM32 Supervisory Module User Manual. Uusi-Seelanti: Enatel Ltd, 2009.
- [6] Suomen standardoimisliitto SFS ry, SFS-käsikirja 154, Jakokeskukset. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS ry, 2005.
- [7] Ferrometal Oy, 7. Ruuviliitokset. [www-dokumentti]. Saatavilla: [http://www.ferrometal.fi/docs/teknisetsivut/teknisetsivut\\_ruuviliitokset.pdf](http://www.ferrometal.fi/docs/teknisetsivut/teknisetsivut_ruuviliitokset.pdf). (Luettu: 9.5.2011.)
- [8] Enatel Ltd, ARS-4 Backplane Manual. Uusi-Seelanti: Enatel Ltd, 2009.
- [9] Oulun kosteustutkimus Oy, Kiinteistöjen lämpökuvaukset. [www-dokumentti]. Saatavilla: <http://www.oulunkosteustutkimus.fi/index.php?p=kiinteistojenlampokuvaukset>. (Luettu: 9.5.2011)
- [10] Kajaanin ammattikorkeakoulu, Talotekniikka, Kiinteistöautomaation tiedonsiirto. [www-dokumentti]. Saatavilla: [http://gallia.kajak.fi/opmateriaalit/yleinen/honHar/ma/KAT\\_Viestit.pdf](http://gallia.kajak.fi/opmateriaalit/yleinen/honHar/ma/KAT_Viestit.pdf). (Luettu: 9.5.2011)
- [11] Midtronics, Celltron Essential Instruction Manual. [www-dokumentti]. Saatavilla: <http://www.midtronics.com/stationary-services-and-support/stationary-product-manuals>. (Luettu: 9.5.2011)