



LIKKUVAN TYÖKONEEN SÄHKÖ- JÄRJESTELMÄN KÄYTTÖÖNOT- TOTARKASTUS

Jani Haka

Opinnäytetyö
Syyskuu 2014
Sähkötekniikka
Sähkövoimatekniikka

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tampere University of Applied Sciences

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Sähkövoimatekniikka

HAKA, JANI:

Liikkuvan työkoneen sähköjärjestelmän käyttöönottotarkastus

Opinnäytetyö 59 sivua, joista liitteitä 8 sivua
Syyskuu 2014

Liikkuvan työkoneen sähköjärjestelmän käyttöönottotarkastus on yksi osa käyttöönotettavan laitteen testausprosessia. Käyttöönottotarkastuksella varmistetaan, että työkoneen sähköjärjestelmä on käyttäjilleen ja ympäristölleen turvallinen sekä käytettäessä että vikatilanteessa.

Työssä tarkasteltiin liikkuvan työkoneen sähköjärjestelmän käyttöönottotarkastukselle asetettuja vaatimuksia ja perehdyttiin käyttöönottotarkastuksen vaiheisiin. Tavoitteena oli löytää kokonaisvaltainen tapa tehdä käyttöönottotarkastus työkoneen pien- ja pienisjännitteisille järjestelmille. Työ tehtiin yhteistyössä liikkuvien työkoneiden suunnitteluun erikoistuneen Insinööritoimisto Comatec Oy:n kanssa.

Työkoneiden sähköjärjestelmien eroavaisuuksien vuoksi joudutaan käytännössä jokaiselle työkoneemallille tekemään oma sähköjärjestelmän käyttöönottotarkastusohje ja mittauspöytäkirjapohja. Konetyyppien tuotestandardit ohjeistavat kullekin konetyypeille tehtävät tarkastukset ja mittaukset. Mikäli konetyypiltä puuttuu tuotestandardi, tulee käyttöönottotarkastus tehdä standardissa SFS-EN 60204-1:2006 esitetyllä tavalla.

Asiasanat: käyttöönottotarkastus, sähköjärjestelmä, liikkuvatyökone

ABSTRACT

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

HAKA, JANI:

Commissioning Inspection of Mobile Machinery's Electrical System

Bachelor's thesis 59 pages, appendices 8 pages
September 2014

Commissioning inspection of mobile machinery's electrical installations is one part of the testing and quality process of machine production. The inspection ensures that the machine's electrical system is safe for users and the environment when used as well as in a fault situation.

The focus in this study was on the requirements and the phases of the commissioning inspection of mobile machinery's electrical installations. The aim was to try to find a comprehensive way to make the commissioning inspection for machine's low and extra-low voltage systems. The thesis was done in cooperation with Comatec Engineering Oy, which is specialized in designing mobile working machinery.

Every machine type and model has its own kind of electric system, which means that there has to be a machine model specific commissioning inspection and measurement record template in practice. Product standards of the machine types provide guidelines for each machine type's commissioning inspections and measurements. If the machine type does not have a product standard, the commissioning inspections and measurements should be done as the standard SFS-EN 60204-1:2006 shows.

Key words: commissioning inspection, electric system, mobile machinery

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
2	LIIKKUVA TYÖKONE	8
2.1	Liikkuvan työkoneen sähköjärjestelmä	8
2.1.1	Sähköjärjestelmältä vaaditut toiminnallisuudet	11
2.1.2	Jännitetasot ja syöttöjännitteen laadulliset tekijät	12
2.2	Ohjausjärjestelmä.....	14
2.3	CAN-väylä	16
2.3.1	Tiedonsiirto väylällä.....	16
2.3.2	Fyysinen rakenne	17
2.3.3	High-speed CAN-väylä.....	17
3	VELVOITTAVAT SÄÄDÖKSET	19
4	SFS-EN 60204-1 MUKAINEN KÄYTTÖÖNOTTOTARKASTUS	21
4.1	Asennusten vastaavuus teknillisiin dokumentteihin	21
4.2	Kosketusjännitesuojauksen todentaminen	22
4.2.1	Suojajohdinpiirin jatkuvuus	22
4.2.2	Syötön automaattisen poiskytkennän ehdot	24
4.2.3	Vikavirtapiirin impedanssi	26
4.3	Vikavirtasuoja	28
4.4	Eristysresistanssimittaus	29
4.4.1	Eristysresistanssi suojaerotuksessa ja sähköisessä erotuksessa	31
4.5	Jännitekoe	31
4.6	Sähkölaitteiston toiminnalliset testit ja jäännösjännitteen mittaaminen	32
5	TYÖKONEEN SÄHKÖJÄRJESTELMÄN TODENNUS	33
5.1	Jännitetasosta riippumaton aistinvarainen tarkastus	33
5.2	Pienoisjännitepiirien todentamisen vaiheet.....	34
5.2.1	Jännitteettömän järjestelmän resistanssimittaukset.....	34
5.2.2	Jännitteellisen pienoisjännitejärjestelmän mittaukset	36
5.2.3	Turvapiirien tarkastukset.....	36
5.2.4	Ohjausjärjestelmän toimintojen todentaminen.....	38
5.2.5	CAN-väylän mittaaminen	38
5.3	Pienjännitepiirien todentamisen vaiheet	39
5.3.1	Jännitteettömät mittaukset.....	40
5.3.2	Jännitteelliset mittaukset	42
5.4	Moottorikäyttöjen todentaminen.....	43
5.4.1	Perinteinen oikosulkumoottorikäyttö	43
5.4.2	Taajuusmuuttajakäyttö	44

5.4.3 Servokäyttö	46
5.5 Pienjännitemuuntajan käyttöönottotarkastus	46
5.6 Liukurenkailla varustetun kaapelikelaimen todentaminen	47
5.7 Todennusten dokumentointi	47
6 POHDINTA.....	49
LÄHTEET.....	50
LIITTEET	52
Liite 1. Laadulliset raja-arvot työkoneen sähkönsyötölle.	52
Liite 2. Vikavirtapiirin impedanssin ja oikosulkuvirran laskentaesimerkki.....	53
Liite 3. Sähköjärjestelmän käyttöönottotarkastuksen vaiheet.	58
Liite 4. Standardin SFS 6000-61.2 mukaiset aistinvaraiset tarkastukset.	59

LYHENTEET JA TERMIT

CAN	Controller Area Network, tiedonsiirtoon käytetty sarjaväylä
CE	Conformité Européenne, merkinnällä osoitetaan, että tuote tai pakkaus on EU:n vaatimusten mukainen
$\cos \varphi$	tehokerroin
EMC	electromagnetic compatibility. sähkömagneettinen yhteensopivuus
FELV	functional extra low voltage, pienoisjännitteinen järjestelmä
IEC	International Electro technical Commission, kansainvälinen sähkötekninen standardoimisjärjestö
OSI	Open Systems Interconnection Reference Model, avoin viitemalli tietokoneiden väliseen kommunikointiin
PELV	protective extra low voltage, pienoisjännitteinen järjestelmä, jossa toisiopuolen toinen navoista maadoitettu
PWM	Pulse-Width Modulation, pulssinleveysmodulaatio
RMS	Root-Mean-Square, vaihtovirran tai -jännitteen tehollinen arvo, (neliöllinen keskiarvo)
R_{PE}	suojajohdinpiirin resistanssin, Ω
SELV	safety extra low voltage, pienoisjännitteinen, maasta erotettu järjestelmä
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol, tiedonsiirron yhteyskäytäntö, joka tarjoaa yhteydellisen palvelun ylemmän tason Internet-protokollille
U_{diff}	jännite-ero, V
U_{high}	CAN-high signaalijohtimen jännite maahan nähden, V
U_{low}	CAN-low signaalijohtimen jännite maahan nähden, V
Z_{PE}	suojajohdinpiirin impedanssi, Ω
Z_s	silmukkaimpedanssin, Ω

1 JOHDANTO

Työkoneen sähköjärjestelmän toimivuudella on keskeinen rooli pitkälle automatisoidussa työkoneessa. Sen toimimattomuus heijastuu suoraan laitteen käytettävyyteen ja toimintaan. Työkoneiden valmistajilla onkin halu panostaa sekä pien- että pienoisjännitteisen sähköjärjestelmän käyttöönottotarkastukseen. Markkinoille saatettavan työkoneen tulee olla myös EU-lainsäädännön mukainen. Tuotteesta löytyvä CE-merkintä on osoitus tästä. EU:n lainsäädäntö velvoittaa kansallisen lainsäädännön kautta, valmistajaa tekemään laitteen sähköjärjestelmälle käyttöönottotarkastuksen. Suomessa tämä vaatimus esitetään sähköturvallisuuslaissa 410/1996.

Sarjatuotannollisesti valmistettavan työkoneen sähkö tarkastus on yksiosa työkoneen käyttöönottotarkastusta, johon kuuluvat myös mekaaniset ja -hydrauliset tarkastukset sekä käyttötestit. Sähkö tarkastuksen mittaukset ja koestukset ovat ennalta suunniteltuja ja yksityiskohtaisesti ohjeistettuja, jotta tarkastus tulisi tehtyä jokaiselle työkoneelle samalla tavalla. Näin myös varmistetaan, että tarkastukset tulisivat tehtyä kattavasti jokaiselle laitteelle.

Vaikkakin eri työkoneiden sähköjärjestelmät eroavat toisistaan merkittävästi, on niissä löydettävissä myös yhtymäkohtia. Tähän on syynä suunnittelua ohjeistavat standardit, joiden vaatimukset ohjaavat suunnittelijoita samankaltaisiin ratkaisuihin. Käytännössä kuitenkin jokaiselle työkone mallille on tehtävä oma käyttöönottotarkastusohje ja -pöytäkirjapohja.

Koneiden sähköjärjestelmien käyttöönottotarkastuksessa tehdään koneen tuotestandardin mukaiset mittaukset ja tarkastukset. Mikäli kuitenkin konetyypiltä puuttuu tuotestandardi, tulee käyttöönottotarkastus tehdä standardin SFS-EN 60204-1:2006 mukaisesti.

2 LIIKKUVA TYÖKONE

Liikkuvalla työkoneella tarkoitetaan konetta, joka käyttää liikkumiseen ja työtehtävän suorittamiseen omaa ajo- ja työvoimansiirtoa. Liikkuva työkone on usein moottorikäyttöinen pyörillä tai telaketjuilla varustettu laite, jossa työkoneisto muodostuu erilaisista toimilaitteista. (Hirvonen 2014, 1–3)

Nykyaikainen liikkuva työkone on monitekninen laite. Uudet koneet sisältävät yhä enenevässä määrin elektroniikkaa edeltäjiinsä verrattuna. Elektroniikkaa käytetään työkoneiden liikkeiden ja työstöjen ohjaamiseen, mikä puolestaan edellyttää toimiakseen sovellusohjelmiston. (Hokka 2014)

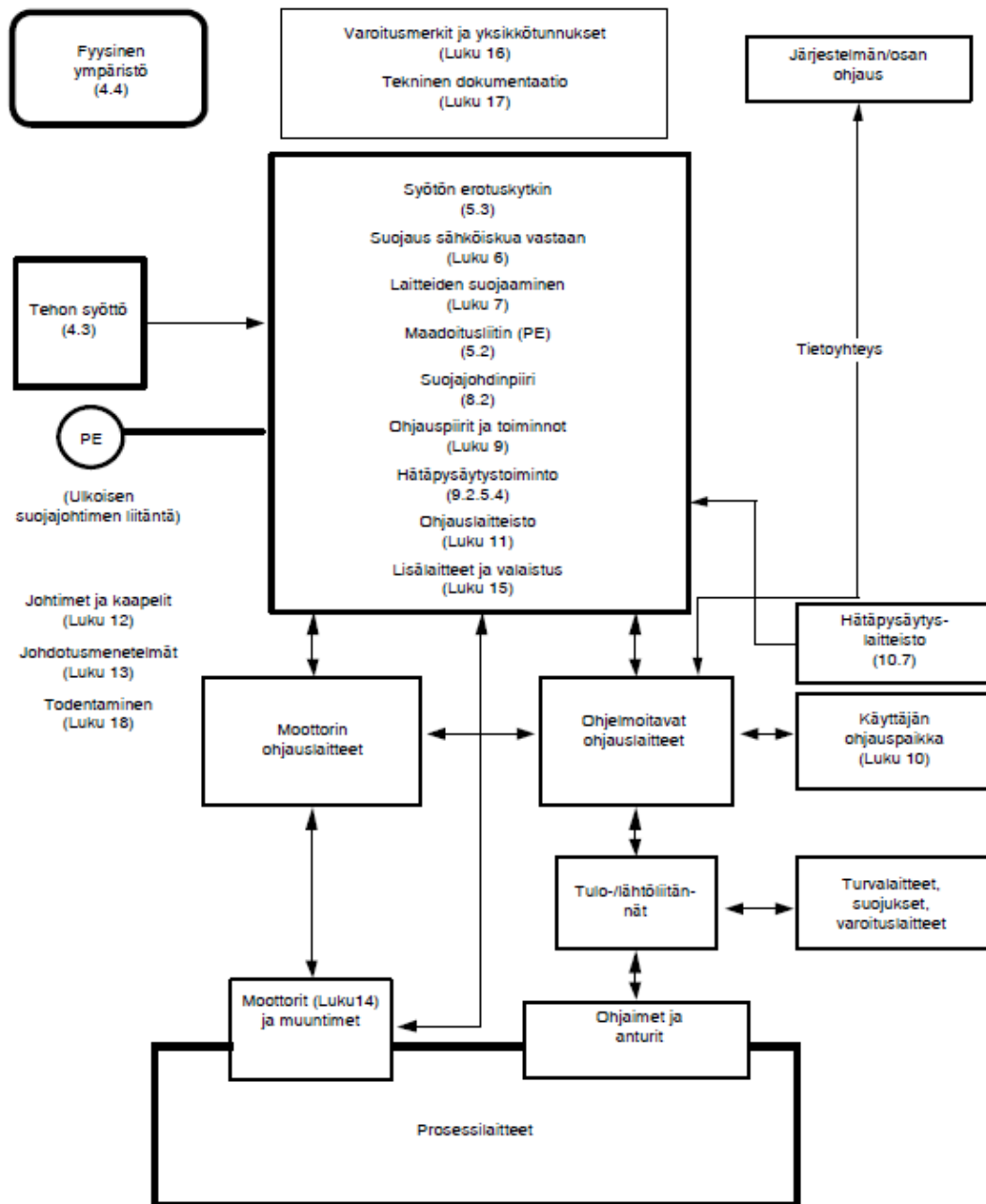
Yleisin tehonlähde työkoneissa on diesel- tai kaasukäyttöinen polttomoottori. Jotkin käyttöympäristöt eivät salli työkoneissa käytettävän polttomoottoria, vaan tarvittava siirto- ja työteho joudutaan tuottamaan sähkömoottoreilla. Tällöin työkoneen tarvitsema energia otetaan sähköverkosta tai koneen ladattavasta akustosta. Myös hybridikäyttöisiä työkoneita on markkinoilta saatavissa. Hybridikäyttöillä parannetaan työkoneen energiatehokkuutta. Hybridikäytöt soveltuvat erityisesti nosto- ja siirtotyötä tekeviin työkoneisiin, joissa kuormitustehon vaihtelut ovat suuria keskimääräiseen tehoon nähden. (Hietalahti 2011, 21)

Liikkuva työkone koostuu yleisesti kolmesta eri rakenteellisesta kokonaisuudesta: ohjaamosta, alustasta ja varsinaiseen työhön tarkoitettuun laitteistosta, kuten puomista ja siihen kiinnitetystä työvälisestä. Suurin osa työkoneen laitteistosta sijoitetaan sen alustalle, kuten polttomoottori, ajoon tarvittava voimansiirto, kompressorit ja hydraulikoneikot. Ohjaamo ei ole välttämätön rakenne työkoneissa, minkä vuoksi se jätetäänkin usein pois pienemmissä sovelluksissa. Ohjaamo korvataan tällöin alustalla olevalla käyttöpaikalla sekä mahdollisella etäohjauslaitteistolla. (Hokka 2014)

2.1 Liikkuvan työkoneen sähköjärjestelmä

Työkoneissa käytetään sekä tasa- että vaihtosähköjärjestelmiä. Yleensä vaihtosähköjärjestelmää käyttävä työkone pitää sisällään myös tasasähköjärjestelmän, josta ohjausjär-

jestelmä, ohjauspiirit, valaistus ja muut lisälaitteet saavat käyttöjännitteen. Vaihtosähköjärjestelmiä käytetään työkoneissa, joissa tarvittava työteho tuotetaan sähkömoottori-, taajuusmuuttaja- tai servokäyttöjen avulla. (SFS-EN 60204-1:2006, 42, 70, 148, 150) Hybridikäyttöisessä työkoneessa tuotettu sähköenergia vietään käyttöjen moottoreille tasajännitevälipiirin kautta. Tasajännitevälipiirin jännite voi olla merkittävästi korkeampi kuin laitteen akkupiirin. (Hietalahti 2011, 29–31) Kuviossa 1 on esitetty tyyppillisen pienjännitteisen koneen sähköjärjestelmän osa-alueet.



Kuvio 1. Pienoisjännitteellisen työkoneen sähköjärjestelmän periaatteellinen lohkokaa-
vioesitys. (SFS-EN 60204-1:2006, 18)

Liikkuvan työkoneen sähköjärjestelmä noudattaa kuvion 1 lohkokkaavio esitystä standardin SFS-EN 60204-1 velvoittamana. Kuvion 1 mukaisesti pienjännitteisen työkoneen sähköjärjestelmästä tulee löytyä suojaukset sähköiskua vastaan, hätäpysäytystoiminto, toimilaitteiden ohjaukseen ja tehonsyöttöön tarvittavat komponentit, laitesuojat ja jännitesyötön erotuskytkin. (SFS-EN 60204-1:2006, 18) Tyypillisesti koneiden sähköjärjestelmä muodostuu pääkeskuksesta ja siihen liitetyistä alakeskuksista. Pääkeskus pitää sisällään tehonsyöttöön ja jännitteenmuuntoon tarvittavat komponentit, kuten pääkatkaisijan, sulakkeet, muuntajat, moottorisuojat, kontaktorit ja releet. Alakeskukset ovat usein pienjännitekeskuksia, joissa on ristikytkennät logiikka- ja releohjauksille sekä anturoinnille. Lisäksi älykkääntyökoneen sähköjärjestelmään kuuluu CAN-väylä (Controller Area Network), jonka kautta tapahtuu tiedon siirto logiikka-yksiköiden välillä. CAN-väylään voidaan liittää myös toimilaitteita ja antureita. (Alkio 2014)

Työkoneiden sähköjärjestelmien erityispiirteinä voidaan pitää sitä, että ne altistuvat elinikänsä aikana rasitusta aiheuttaville tekijöille, kuten tärinälle, pölylle, kosteudelle, lämmölle, syövyttävälle yhdisteille ja haurastuttavalle säteilylle. Erityisesti kaapelit, johtosarjat ja liittimet altistuvat näille tekijöille. Sähköjärjestelmän kestävyyttä voidaan parantaa sen rakenneratkaisuilla, sijoittelulla ja komponenttivalinnoilla. (SFS-EN 60204-1:2006, 46–50)

Työkoneiden sähköjärjestelmät ovat suunniteltu konetyyppikohtaisesti, minkä vuoksi erilaisten työkoneiden sähköjärjestelmät eroavat toisistaan merkittävästi rakenteiltaan, komponenteiltaan ja jännitetasoiltaan. Käytettävien sähköjärjestelmien on kuitenkin täytettävä turvallisuuteen ja toiminnallisuuteen liittyvien standardien vaatimukset. Sähköjärjestelmän suunnittelussa huomioitavia standardeja ovat esimerkiksi (Alkio 2014):

- SFS-EN 60204-1 Koneturvallisuus. Koneiden sähkölaitteisto. Osa 1: Yleiset vaatimukset
- SFS-EN 6020-32 Koneturvallisuus. Koneiden sähkölaitteisto. Osa 32: Vaatimukset nostokoneille
- SFS 6000 (SFS käsikirja 600-1:2012). Pienjännitesähköasennukset
- SFS-EN ISO 12100:2010 Yleiset koneen suunnittelun periaatteet, riskin arviointi ja riskin pienentäminen menetelmät
- SFS-EN ISO 13850 Koneturvallisuus. Hätäpysäytys. Suunnitteluperiaatteet

- IEC 60947-5-5 Pienjännitekytkinlaitteet. Osa 5-5: Ohjauspiirin laitteet ja kytkinelementit. Mekaanisella lukitustoiminnolla varustetut sähköiset hätäpysäytyslaitteet
- SFS-EN 62061 Koneturvallisuus. Turvallisuuteen liittyvien sähköisten, elektronisten ja ohjelmoitavien elektronisten ohjausjärjestelmien toiminnallinen turvallisuus
- SFS-EN ISO 13849-1 Koneturvallisuus. Turvallisuuteen liittyvät ohjausjärjestelmien osat. Osa 1: Yleiset suunnitteluperiaatteet
- SFS-EN ISO 13849-2 Koneturvallisuus. Turvallisuuteen liittyvät ohjausjärjestelmien osat. Osa 2: Kelpuutus
- SFS-EN 61000 EMC-standardiperhe.

Lisäksi on olemassa maakohtaisia ja asiakaskohtaisia standardeja ja vaatimuksia, jotka vaikuttava suunnitteluun. Mikäli suunniteltavalla laitteella ei ole laitetyyppikohtaista standardeja, sovelletaan suunnittelussa yleisiä standardeja. (Alkio 2014)

2.1.1 Sähköjärjestelmältä vaaditut toiminnallisuudet

Standardin SFS-EN 60204-1 mukaisesti liikkuvantyökoneen sähköjärjestelmässä tulisi löytyä seuraavat turvallisuuteen ja toiminnallisuuteen liittyvät tekijät (SFS-EN 60204-1:2006, 50–55):

- mahdollisuus syötön erotukseen ja katkaisuun eri kuormitustilanteissa
- suojaus sähköiskulta suorasta ja epäsuorasta kosketuksesta
- laitteiston suojaus
- toiminnallinen ja suojaava maadoitus
- ohjauspiirit ja ohjaukselliset toiminnallisuudet, kuten moottoreiden käynnistykset ja pysäytykset, työkoneen liikkeiden ohjaus ja hätäseis-toiminto.

Lukittava sähkönerotuskytkin tulisi löytyä koneen jokaisesta sekä ulkoisesta että sisäisestä teholähteestä tulevasta sähkönsyötöstä. Erotuskytkimillä tulee olla riittävä virran katkaisukyky, jotta työkone voidaan erottaa tarvittaessa syöttöverkosta. Kytkimen (erotin, pistokytin, katkaisin) tulisi pystyä katkaisemaan virta, joka syntyy työkoneen suurimman moottorin juutuessa kiinni työkoneen normaalissa kuormituksessa. (SFS-EN 60204-1:2006, 50–55)

Työkoneen sähkölaitteisto ei saa aiheuttaa sähköiskun vaaraa henkilölle suorasta tai epäsuorasta kosketuksesta. Suojaus voidaan toteuttaa kosketussuojauksella tai kosketusjännitesuojauksella. Kosketussuojauksessa pyritään sähköjärjestelmän jännitteelliset osat koteloimaan, eristämään ja sijoittelemaan siten, että ne eivät aiheuta vaaraa. Liikkuvilla työkoneissa käytännöllisempi tapa on toteuttaa suojaus kosketusjännitesuojauksena, joka voidaan toteuttaa estämällä vaarallisen kosketusjännitteen syntyminen tai käyttämällä syötön automaattista poiskytkentää. Liikkuvilla työkoneissa käytetään myös suojaavia pienoisjännitteitä SELV:iä (Safety extra low voltage) ja PELV:iä (Protective extra low voltage). (SFS-EN 60204-1:2006, 56–64)

Työkoneen sähkölaitteisto, kuten johtimet, moottorit, ohjausventtiilit ja anturit, tulee olla suojattu oikosulusta aiheutuvasta ylivirralla, moottorin ylikuormitukselta ja jäähtymisen menettämiseltä, epätavallisilta lämpötiloilta, syöttöjännitteen alenemiseltä ja häviämislähtöä, maasulku/vuotovirralla, virheelliseltä vaihejärjestykseltä, ukkosen tai kytkennän aiheuttamalta ylijännitteeltä ja yllämpenemiseltä. (SFS-EN 60204-1:2006, 64–74)

Työkoneen potentiaalintasausta muodostuu suojamaadoituksesta ja toiminnallisesta maadoituksesta. Suojamaadoituksessa koneen jännitteelle alttiit osat ja johtavat rakenneosat maadoitetaan samaan potentiaaliin. Suojamaadoitus ja sen jatkuvuus on edellytys kosketusjännitesuojaukselle. Toiminnallisella maadoituksella minimoidaan koneen toimintaan vaikuttavien eritysvikojen ja sähkömagneettisten häiriöiden seuraukset. (SFS-EN 60204-1:2006, 74–83)

2.1.2 Jännitetasot ja syöttöjännitteen laadulliset tekijät

Vaihtosähkökäyttöisissä työkoneissa tarvittava ajo- ja työteho luodaan sähkömoottorikäyttöillä. Sähköteho muutetaan moottorikäyttöillä mekaaniseksi liikkeeksi, hydraulisen tai ilman paineeksi ja virtaukseksi. Vaihtosähkökäyttöiset työkoneet liitetään syöttökaapelistaan pienjänniteverkkoon ($U_N \leq 1000V$). Työkoneen sähköjärjestelmä voi itsessään sisältää muuntajan, jonka avulla pienjänniteverkon vaihe- tai pääjännite saadaan muunnettua sopivaksi moottorikäyttöille. Muuntajan ensiöjännite määräytyy usein asiakkaan käyttämän sähköverkon perusteella. Vaihtosähkökäyttöisessä työkoneessa

ohjausjärjestelmän tarvitsema tasasähkö tuotetaan SELV tai PELV tason muuntajalla vaihtojännitteestä. (Alkio 2014)

Sähkömoottorikäyttöjen tarvitsema sähköenergia voidaan ottaa myös akustosta. Tällöin sähkömoottorikäyttö tulee olla varustettu taajuusmuuttajalla, jonka välipiiriin akusto on kytketty. Tällainen toteutus on hybridikäytöissä tyypillinen. (Hietalahti 2011, 2931)

Tasasähköjärjestelmiä käytetään yleisesti polttomoottorikäyttöjen kanssa, milloin tyypillinen jännitetaso työkoneissa on 12 VDC tai 24 VDC. Polttomoottorikäytöissä sähköenergian lähteenä toimivat akusto ja voimakoneeseen liitetty laturi. (Hietalahti 2011, 29-31)

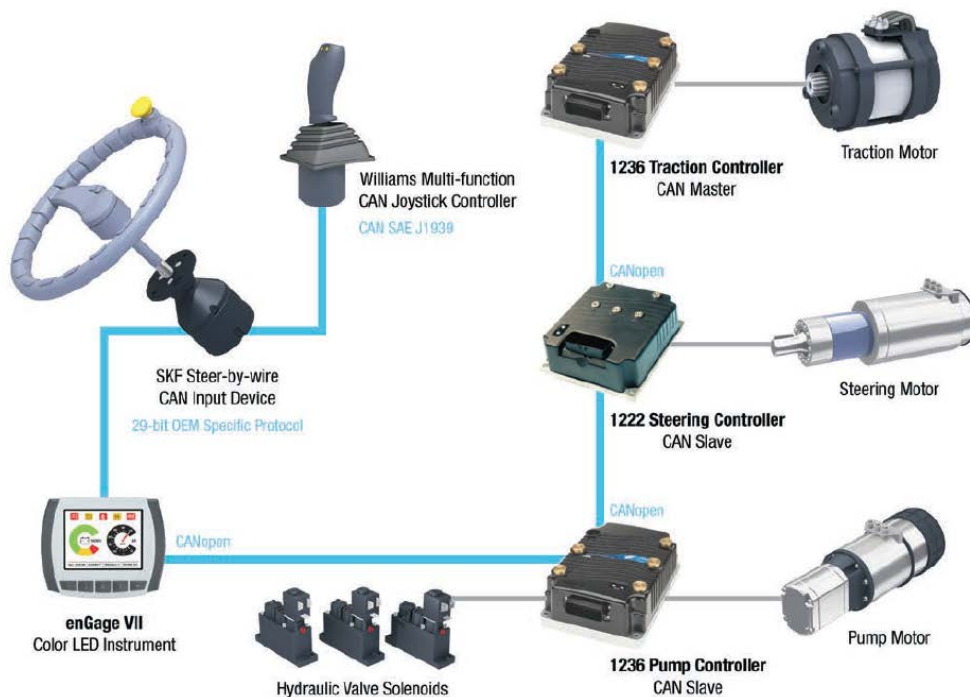
Standardin SFS-EN 60204-1:2006 luvuissa 4.3.2 ja 4.3.3 määritellään työkoneen AC ja DC syöttöjännitteiden sallitut laadulliset vaihtelut. Laadullisia tekijöitä ovat syöttöjännitteen taso, taajuus, yliaaltosisältö, jännite-epäsymmetrisyys, jännitekatkos ja jännitteenalenema. Raja-arvot on esitetty liitteen 1 taulukossa 1 ja 2. Työkoneen sähkölaitteisto tulisi olla sellainen, että syöttöjännitteen sallitut vaihtelut eivät aiheuta koneen sähkölaitteiston vikaantumista tai toimintamuutoksia järjestelmään. Myöskään työkoneen sähköjärjestelmän ei tulisi itsessään heikentää syöttöjännitettä siten, että laadulliset raja-arvot ylitetään. (SFS-EN 60204-1:2006, 42)

Syöttöjännitteiden laadulliset raja-arvot voidaan ylittää, mikäli toiminnanharjoittaja tätä edellyttää. Laitetoimittajan on hyväksyttävä muutokset ja varmistettava, että raja-arvojen ylityksestä huolimatta, laitteen toiminta vastaa suunniteltua. Opastava kyselypohja toiminnanharjoittajan tekemään määrittelyyn löytyy standardin SFS-EN 60204-1 liitteestä B. (SFS-EN 60204-1:2006, 42)

Laitetoimittaja voi poiketa itsenäisesti laadullisista raja-arvoista, kun työkoneessa on erityinen teholähde, kuten generaattori. Edellytyksenä on kuitenkin, että muutokset eivät vaikuta koneen sähkölaitteiston toimintaan. (SFS-EN 60204-1:2006, 42–44)

2.2 Ohjaujärjestelmä

Nykyaikaisen liikkuvan työkoneen ohjaujärjestelmä pohjautuu CAN-väyläteknikkaan. Työkoneen mekaaniset ja manuaaliset ohjaimet on korvattu elektronisilla ohjainlaitteilla ja ohjaukset tapahtuvat toimilaitteelle asti sähköisesti. Kuviossa 2 on esitetty väyläohjatun työkoneen ohjaujärjestelmän arkkitehtuurikuva. (Hokka 2014)



Kuvio 2. Väyläohjatun liikkuvan työkoneen ohjaujärjestelmän arkkitehtuurikuva (Ankers & Green 2012, 75)

Arkkitehtuurikuvasta (kuvio 2) nähdään, että ohjaujärjestelmän komponentit ovat yhdistetty CAN-runkoväylään, jonka kautta ohjau- ja mittaviestit välittyvät ohjauslaitteiden ja toimilaitteiden välillä. Käytettävät toimilaitteet voivat olla suoraan väylään liitettäviä tai logiikkayksikön kautta käytettäviä toimilaitteita, kuten magneettiventtiileitä, antureita ja moottoreita. Logiikkayksikköä käytetään kääntämään CAN-viestit analogiseksi ja digitaalisiksi ohjauksiksi sekä päinvastoin tulkitsemaan analogisen mittaustiedon CAN-viesteiksi. Logiikkayksiköitä käytetään myös reaaliaikaisten ohjauksen laskentaan ja suorittamiseen. (Hokka 2014)

Yksinkertaisimmillaan, ohjaujärjestelmällä ohjataan logiikkayksikön yksittäisen ulostulon lähtöjännitteen suuruutta 0-24 VDC:n välillä. Lähtöjännite voi olla binäärimäinen

tai pulssileveysmoduloitu, (PWM-ohjattu). Ohjausjännitteen suuruudella voidaan edelleen vaikuttaa toimilaitteiden toimintaan, kuten liikkeiden nopeuksiin. Vaativimmat ohjaustoiminnot, kuten automaattinen asemointi vaatii runsaasti laskentatehoa, mikä vaikuttaa käytettävien komponenttien valintaan. (Hokka 2014)

Sähköisesti toimivat toimilaitteet mahdollistavat työkoneen toimintojen automaattisoinnin sekä ohjaustavan kehittämisen. Liikkuvia työkoneita voidaan ohjata manuaalisesti, etäohjatusti, teleoperoidusti ja automaattisesti. Ohjaustavat eivät ole toisiaan poissulkevia, mutta kahden tai useamman ajotavan samanaikainen käyttö saattaa aiheuttaa työkoneen ohjattavuuden menettämisen, minkä vuoksi niitä ei käytetä samanaikaisesti. Manuaalisessa ajotavassa työkoneita ohjataan perinteisellä tavalla ohjaamosta ratin, polkimien ja joystickien avulla. Suurimmassa osassa liikkuvista työkoneista tämä ajotapana on ainut mahdollinen. Etäohjatussa ajossa työkoneita ohjataan kädessä pidettävällä ohjaimella, milloin koneen ohjaaja havaitsee omin silmien työkoneen liikkeitä. (Hokka 2014)

Teleoperoidussa ajossa koneen kuljettaja ohjaa konetta ohjauskeskuksesta käsin. Ohjauskeskus ei ole työkoneen välittömässä läheisyydessä, eikä sieltä ole välttämättä suoraa näköyhteyttä työkoneeseen. Etäoperointikeskukseen lähetetään videokuvaa joko ohjattavassa koneessa olevasta kamerajärjestelmästä tai työaluetta kuvaavasta kamerajärjestelmästä. Välitetyn videokuvan perusteella etäoperointipaikassa oleva koneen kuljettaja ohjaa työkoneita. Järjestelmä mahdollistaa sen, että yksi kuljettaja voi ohjata useampaa työkoneita samanaikaisesti, mikäli työtehtävän luonne sen mahdollistaa. (Hokka 2014)

Automaattisessa ajossa työkone suorittaa työtehtävät omatoimisesti ilman kuljettajaa. Työkoneen suorittamat työtehtävät ovat ennalta suunniteltu ja työkone suorittaa eräänlaista ”ruokaohjetta” vaihe vaiheelta kunnes työtehtävä on suoritettu tai kone havaitsee vika- tai vaaratilanteen. Nykyisille ohjausalgoritmeille muuttuvat tilanteet mallinnetussa ympäristössä aiheuttavat vielä ongelmia, minkä vuoksi automaattisen ajon piirissä olevat työkoneet toimivat suljetulla ja rajoitetulla alueella vahinkojen välttämiseksi. (Hokka 2014)

2.3 CAN-väylä

Tiedonsiirtoväylänä liikkuvissa työkoneissa käytetään yleisesti CAN-väylää, joka on alun perin kehitetty Robert Bosch GmbH toimesta ajoneuvoteollisuuden käyttöön 1980-luvulla. CAN-väylä itsessään toteuttaa tietoliikennearkkitehtuurin OSI-mallista (Open Systems Interconnection Reference Model) vain kerrokset 1 ja 2 (fyysisen ja siirtoyhteyskerroksen), minkä vuoksi se tarvitsee sovelluskerroksen toimiakseen ohjauksjärjestelmässä. Yksi käytetyimmistä sovelluskerroksen protokollista on CANopen. Se on TCP/IP:n (Transmission Control Protocol/Internet Protocol) kaltainen protokollaperhe. (Saha 2005,6–12)

CAN-väylä on rakenteeltaan modulaarinen eli väylälle voidaan lisätä ja poistaa väyläkomponentti, kuten anturi, ilman, että muutos häiritsee muiden väyläkomponenttien toimintaa. Väyläkomponentteja kutsutaan solmuiksi, joka muodostuu lähettimestä, vastaanottimesta, CAN-protokollapiiristä ja sitä ohjaavasta mikroprosessorista. (Pfeiffer, Ayre & Keydel 2008. 203–219)

2.3.1 Tiedonsiirto väylällä

Väylällä kulkevat viestisanomat ovat kaikkien solmujen luettavissa. Solmu päättelee viestin tunnisteesta onko viesti tarkoitettu sen luettavaksi. Väyläsolmuilla on yhtä suuri oikeus lähettää viestejä väylälle. Viestejä ei voida kuitenkaan lähettää samanaikaisesti solmuista. Viestien lähetysjärjestys määräytyy viestin prioriteetin eli kiireellisyyden mukaan, mikä on määritelty lähetettävän sanoman tunniste ID:ssä. Mitä alhaisempi tunniste viestillä on, sitä kiireellisempi on sen sisältö. Jos kahta viestiä aletaan lähettää yhtä aikaa, pienempi prioriteettisen viestin omaava lähettäjä luopuu lähetyksestä. Lähetettävän viestin maksimipituus on 8 tavua, (64 bittiä). (Pfeiffer, Ayre & Keydel 2008. 203–219)

Toimivalla väylällä on kaksi tilaa resessiivinen ja dominanttinen. Resessiivinen tila, (looginen 1:nen) vallitsee väylällä, kun kaikki väylän solmut lähettävät loogista 1:stä väylälle tai kun väylällä ei ole liikennettä. Dominanttinen tila, (looginen 0) vallitsee väylällä, kun jokin solmuista lähettää väylälle loogista 0:a. Väylän looginen tilan määräytyy siis loogisen AND-portin avulla. (Pfeiffer, Ayre & Keydel 2008. 203–219)

2.3.2 Fyysinen rakenne

CAN-väylä muodostuu johdinparista, CAN-high:sta ja CAN-low:sta. Väyläjohdinpari yhdistää solmut toisiinsa ja se terminoidaan molemmista päistään 120 Ω :n päätevastuksella. Päätevastuksia käytetään vaimentamaan signaalien reunojen aiheuttamia heijastuksia, mikä puolestaan edesauttaa kanttiaaltomaisen signaalin muodon pysyvyyttä. (Pfeiffer, Ayre & Keydel 2008. 203–219)

Väylä voi olla topologialtaan väylämäinen, tähtimäinen tai puumainen. On myös mahdollista, että väylän rakenne on hybridimäinen eli se on tehty hyödyntäen useampaa topologiaa. Väylän suunnittelussa ja toteutuksessa tulisi välttää ratkaisuja, joissa solmu liittyy väylälle T-haaramaisesti droplinea muodostaen. Droplineksi kutsutaan kaapeliosuutta, joka yhdistää solmun runkoväylään. Dropline heikentää väylän tiedonsiirtoa, minkä vuoksi niiden pituus tulisi pitää mahdollisimman lyhyenä, (maksimissaan 20-30 cm). Droplinen syntymistä voidaan välttää käyttämällä Y-haaraa solmujen liittämässä väylälle tai käyttämällä komponentteja, joissa on sisään- ja ulostuloportti väylälle. (Pfeiffer, Ayre & Keydel 2008. 203–219)

CAN-väylä voidaan toteuttaa erilaisilla fyysisen kerroksen ratkaisuilla. Yleisin käytetty fyysinen kerros on high-speed CAN, joka määritellään standardissa ISO 11898-2. Muita ratkaisuja ovat autoteollisuuden käyttämä Fault-tolerant CAN, joka määritellään standardissa ISO 11898-3, ja Single Wire CAN, joka on puolestaan pohjautuu standardiin SAE J2411. (Saha 2005,6–12)

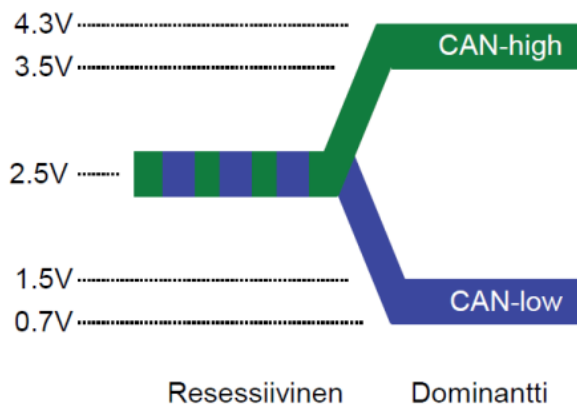
2.3.3 High-speed CAN-väylä

High-speed CAN-väylästä suositun tekee sen suuri tiedonsiirtonopeus muihin CAN-väylä ratkaisuihin nähden. Tiedonsiirtonopeus voi high-speed väylällä olla suurimmillaan 1 Mbit/s. (Pfeiffer, Ayre & Keydel 2008. 217–219) Myös liikkuvissa työkoneissa nopea tiedonsiirtoväylä on etu. Sillä mahdollistetaan työkoneen tarkkuutta ja nopeutta vaativat ohjaukset, kuten automaattinen asemointi. (Hokka 2014)

CAN-väylässä käytetty tiedonsiirtonopeus vaikuttaa väylän kokonaispituuteen. Väylän pituutta joudutaan lyhentämään tiedonsiirtonopeuden kasvaessa. 1 Mbit/s siirtonopeu-

della toimiva väylä voi pisimmillään olla n. 40 m. Kun taas 125 kbit/s siirtonopeudella, voidaan väylän pituus kasvattaa 500 metriin. Väylän pituuden rajoittaminen johtuu väylän kilpavarusteperiaatteesta ja kehyksen sisäisestä kuittausbitistä, koska väyläliikenne ei ole aikasidonnaista täytyy pituutta rajoittaa suhteessa väyläliikenteen nopeuteen. (Pfeiffer, Ayre & Keydel 2008. 217–219)

High-speed CAN-väylässä tiedonsiirto perustuu differentiaaliseen signalointiin eli jännite-eron mittaamiseen CAN-high:n ja CAN-low:n väliltä, ($U_{diff} = U_{high} - U_{low}$). Menetelmä lisää tiedonsiirron häiriönsietoa, koska ulkoapäin kytkeytyvät häiriöt summautuvat väyläsignaaleihin samanmerkkisinä ja kumoavat toisensa jännite-eron laskennassa. Kuviossa 3 on esitetty High-speed CAN väylän jännitetasot. (Saha 2005,6–12)



Kuvio 3. High-speed väylän jännitetasot resessiivisessä ja dominanttisessa tilassa. (Saha 2005,8)

Kuten kuviosta 3 nähdään, on High-speed CAN-väylä resessiivisessä tilassa, kun jännite-ero, U_{diff} on 0 V. Tällöin molempien johtimien jännite maahan nähden on n. 2,5 V. Dominanttisessa tilassa väyläjohtimien jännite-ero, U_{diff} on välillä 2 V – 3,6 V, riippuen väyläjohtimien jännitteistä.

3 VELVOITTAVAT SÄÄDÖKSET

Työkoneiden suunnitteluun ja käyttöön pohjautuvien säädöksiä ja standardien tarkoitus on ennen kaikkea yhtenäistää ja edistää koneturvallisuutta. Nykyisten koneturvallisuuden säädösten ja standardien pohjana Suomessa sekä EU:n talousalueella käytetään konedirektiiviä 2006/42/EY. (Koneturvallisuuden standardit 2014, 2–5)

Konedirektiivissä 2006/42/EY esitetään yleiset koneiden suunnittelussa käytettävät terveys- ja turvallisuusvaatimukset. Tarkemmat vaatimukset on sisällytetty koneturvallisuuden standardeihin. Konedirektiivi edellyttää, että markkinoille saatettavalle koneelle on tehty turvallisuussuunnittelu (riskien arviointi ja toimenpiteet niiden pienentämiseksi) ottaen huomioon kaikki koneeseen liittyvät terveys- ja turvallisuusriskit koneen elinkaaren aikana. Turvallisuussuunnittelun pohjalta tulee kone suunnitella ja rakentaa turvallisiksi ja tarkoitettuun käyttöön soveltuvaksi. (Koneturvallisuuden standardit 2014, 2–5)

Koneen valmistajan on noudatettava direktiiviin pohjautuvaa kansallista lainsäädäntöä. Suomessa valtioneuvosto säätää konedirektiivin pohjalta koneasetuksen 400/2008. Asetuksessa säädetään koneiden suunnitteluun ja rakentamiseen liittyvistä olennaisista terveys- ja turvallisuusvaatimuksista sekä niiden vaatimustenmukaisuuden osoittamisesta, markkinoille saattamisesta ja käyttöönotosta. Kun kone on suunniteltu ja rakennettu olennaisten terveys- ja turvallisuusvaatimusten mukaisesti, laadittu tekninen dokumentointi, tehty vaatimustenmukaisuusvakuutus ja kiinnitetty CE-merkintä, voidaan kone saattaa markkinoille. (Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta 12.6.2008/400)

Koneasetuksen lisäksi suunniteltavaa konetta koskevat usein muutkin säädökset. Valmistajan tekemästä riskin arvioinnista riippuu, mitä säädöksiä on tarpeen soveltaa. Tällaisia säädöksiä ovat esimerkiksi (Koneturvallisuuden standardit 2014, 2–5) :

- sähköturvallisuuslaki (410/1996)
- sähköturvallisuusasetus (498/1996)
- KTM:n päätös sähkölaitteiden turvallisuudesta (1694/1993)
- valtioneuvoston asetus sähkölaitteiden ja -laitteistojen sähkömagneettisesta yhteensopivuudesta (1466/2007)
- valtioneuvoston asetus räjähdyskelpoisten ilmaseosten työntekijöille aiheuttaman vaaran torjunnasta (576/2003)

- painelaitelaki (869/1999)
- ajoneuvoja koskevat säännökset.

Lisäksi konelaisissa (1016/2004) ja työturvallisuuslaissa (738/2002) on esitetty koneen-turvallisuuteen liittyviä näkökohtia, jotka tulee huomioida koneen suunnittelussa. (Kone-turvallisuuden standardit 2014, 2–5)

Sähköturvallisuuslaki 410/1996 velvoittaa tekemään sähköjärjestelmälle käyttöönotto-tarkastuksen, jossa tulee selvittää, ettei sähkölaitteistosta aiheudu sähköturvallisuus-laissa (410/1996) 5§ tarkoitettua vaaraa tai häiriötä. Koneiden sähköjärjestelmien käyt-töönotto-tarkastuksessa on tehtävä koneen tuotestandardin mukaiset mittaukset ja tarkas-tukset, mikäli tuotestandardi puuttuu konetyypiltä, tulee käyttöönotto-tarkastus tehdä standardin SFS-EN 60204-1:2006 mukaisesti (SFS-EN 60204-1:2006, 158).

Sähköturvallisuuslaki pohjautuu pienjännitedirektiiviin 2006/95/EY, jonka tarkoitukse-na on taata, että pienjännitteinen sähköjärjestelmä/laitte on turvallinen oikein käytettynä, asennettuna ja huollettuna eikä vaaranna henkilöiden, kotieläinten tai omaisuuden tur-vallisuutta. Direktiiviä sovelletaan kaikkiin sähkölaitteisiin, jotka on suunniteltu käytet-täviksi vaihtovirralla nimellisjännitealueella 50–1000 V (AC) ja tasavirralla nimellis-jännite-alueella 75–1500 V (DC). (Tukes: LVD-Sähköturvallisuus 2013)

4 SFS-EN 60204-1 MUKAINEN KÄYTTÖNOTTOTARKASTUS

Standardissa SFS-EN 60204-1 määritellään koneiden sähkölaitteiston yleiset turvallisuusvaatimukset, jotka koneen sähköjärjestelmän tulee täyttää. Vaatimukset todennetaan käyttöönottotarkastuksessa silmämääräisesti ja mittauksin. Standardin SFS-EN 60204-1:2006 (158) mukaan koneen sähköjärjestelmästä on vähinään tarkistettava seuraavat seikat:

- todennetaan, että asennettu sähkölaitteisto vastaa laadittuja suunnitteludokumentteja
- tarkistetaan, että kosketusjännitesuojaus toteuttaa sille asetetut ehdot, kun se on toteutettu automaattisella poiskytkennällä
- testataan sähkölaitteiston toiminnot ja sähköturvallisuuteen kuuluvat toiminnot.

Lisäksi käyttöönottotarkastukseen voidaan sisällyttää myös

- eristysresistanssimittaus
- jännitekoe
- jäännösjännitemittaus.

Mikäli konetyypille on olemassa tuotestandardi, jossa määritellään konetyypille tehtävät todennukset, tulee sähköjärjestelmä testata tuotestandardissa esitetyllä tavalla. Todennus on syytä tehdä myös muutostöiden jälkeen soveltuvin osin. Tehdyt testaukset ja mittaukset dokumentoidaan tarkastuspöytäkirjaan, johon myös merkitään niistä saadut tulokset. (SFS-EN 60204:2006-1, 158–166)

4.1 Asennusten vastaavuus teknillisiin dokumentteihin

Tarkastettavan työkoneen sähköasennusten tulisi vastata koneen teknillisessä dokumentaatiossa esitettyä sähköjärjestelmää. Teknillisessä dokumentaatiossa kuuluu esittää tarvittavat tiedot, joita tarvitaan koneen sähkölaitteiston asennuksessa, käytössä ja kunnossapidossa. Dokumentit tulee olla tarkoituksenmukaisia ja esitystapana voi olla esimerkiksi piirustus, piirros, kaavio, taulukko ja ohje. (SFS-EN-60204-1:2006, 152–155)

Sähkötarkastuksen kannalta tärkeimmät tekniset dokumentit ovat piirikaaviot, sähkökoonpanojen rakennekuvat ja osaluettelot ja asennusdokumentaatio. Mikäli sähköasennus poikkeaa dokumentaatiosta, tulee asennusta muuttaa dokumentaation mukaiseksi. On myös tilanteita, joissa dokumentaatiosta on virheitä tai dokumentaatiosta on esitetty käytäntöön soveltumattomia ratkaisuja, mikä on yleistä työkoneneiden kehitysvaiheessa. Tällöin virheet on korjattava dokumentaatioon ja etsittävä soveltuvampi sekä standardin mukainen ratkaisu. (SFS-EN-60204-1:2006, 152–155)

4.2 Kosketusjännitesuojauksen todentaminen

Standardi SFS-EN 60204-1:2006 (56–66) velvoittaa, että kosketusjännitesuojaus on tehtävä jokaiselle laitteen virtapiirille ja sähkölaitteiston osalle soveltaen ainakin yhtä seuraavista suojaustavoista:

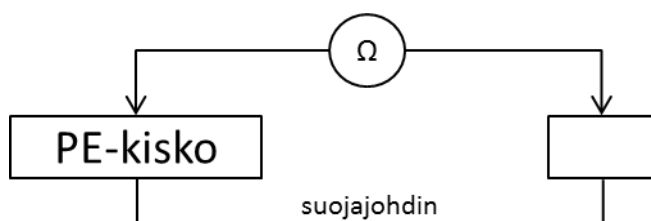
- käyttäen luokan II sähkölaitetta tai vastaavaa eristystä
- käyttäen sähköistä erotusta tai
- käyttäen syötön automaattista poiskytkentää.

Kaksi ensimmäistä tapaa estää laitteistossa vaarallisen kosketusjännitteen esiintymisen. Mikäli koneen kosketusjännitesuojaus toteutetaan syötön automaattisella poiskytkennällä, tulee seuraavat todennukset tehdä, jotta varmistutaan suojauksen toimivuudesta vika-tilanteessa (SFS-EN-60204-1:2006, 160) :

- tarkistetaan laitteen suojajohdinpiirien jatkuvuus ja
- todennetaan, että syötön automaattisella poiskytkennällä toteutetun suojauksen ehdot toteutuvat.

4.2.1 Suojajohdinpiirin jatkuvuus

Suojajohdinpiirin jatkuvuuden todentamisella on tarkoitus selvittää, että suojajohdinpiirit ovat koko matkaltaan jatkuvia ja niissä olevat liitokset ovat kunnolla tehtyjä. Suojajohdinten jatkuvuus on edellytys syötön automaattisella poiskytkennällä toteutetun kosketusjännitesuojauksen toimimiselle. (Tiainen E 2010, 325–326) Kuviossa 4 on esitetty periaatteellinen mittauskytkentä jatkuvuuden todentamiselle.



Kuvio 4. Suojajohtimen jatkuvuuden todentaminen. (Saastamoinen 2007, 22)

Todentaminen tulee tehdä jännitteettömässä järjestelmässä mittaamalla jännitteelle alttiiden osien (potentiaalitasaukseen liitetyt osat, kiinteästi asennetun sähkölaitteen johtavien osien ja pistorasian suojakoskettimen) ja näitä lähinnä olevan pääpotentiaalitasaukseen liitetyn pisteen välinen suojajohtimen resistanssi (kuvio 4). Mittaamisessa olennaista on, että jokainen suojajohdinyhteys mitataan ja että mittaus tehdään laite/komponenttikohtaisesti. (Tiainen E 2010, 325–326)

Resistanssin mittaamisessa on käytettävä virtaa, jonka suuruus on välillä 0,2 A – 10 A. Mittaamiseen käytetyn virtalähteen tulee olla syöttöjännitteestä erotettu, kuten SELV, jonka jännite kuormittamattomana on 24 VAC tai VDC. Ennen suojamaadoituspiirin jatkuvuuden mittaamista on muistettava kompensoida mittajohtimien resistanssi. (SFS-EN 60204-1, 160)

Mitatulle resistanssin arvolle ei ole olemassa tarkkaa raja-arvoa, vaan suojajohdinkiirin resistanssi määräytyy käytetyn suojajohtimen pituudesta, poikkipinnasta ja materiaalista. Siten mitattua arvoa tulisi verrata resistanssiin, joka on arvioitavissa mitatun suojajohdinkiirin edellä mainituista ominaisuuksista. Mikäli mitattu arvo poikkeaa oleellisesti oletetusta, tulee poikkeaman syy selvittää. Yleisesti resistanssin arvon ylärajana pidetään n. 1 Ω , joka pitkällä suojajohtimilla voi kuitenkin ylittyä. Mittauksen tarkkuutta voidaan lisätä käyttämällä mittauksessa suurempia virtoja (Tiainen 2010, 325–326). Tällöin erityisesti pienten resistanssien mittauksen tarkkuus paranee (SFS-EN 60204-1, 160).

Myös suojajohtimen poikkipinta-alan riittävyys ja kaapelimerkinnot on syytä todentaa jatkuvuusmittausten yhteydessä (SFS-EN 60204-1, 160). Suojajohtimien kaapelimerkinnoista tulisi tarkastaa, että PE-merkintää on käytetty vain ilmaisemaan ulkoista suojajohdinta ja ulkoista maadoitusjärjestelmää. Lisäksi on todennettava, että suojajohtimina käytetyt johtimet ovat tunnistettavissa vaipaltaan keltavihreiksi. Kaapeloinnissa on kuitenkin huomioitava työkoneen kohdemaan vaatimukset. (SFS-EN 60204-1, 48–50)

Taulukossa 1 on esitetty suojajohtimen poikkipinta vaatimus vaihejohtimen poikkipintaan nähden.

Taulukko 1. Kuparisen suojajohtimen poikkipinta vaatimus (SFS-EN 60204-1, 50)

Laitteistoa syöttävien kuparisten vaihejohtimien poikkipinta $S \text{ mm}^2$	Ulkoisen kuparisen suojajohtimen pienin poikkipinta $S_p \text{ mm}^2$
$S \leq 16$	S
$16 < S \leq 35$	16
$S > 35$	$S/2$

Kuparisen suojajohtimen poikkipinta-ala pitää olla vähintään sama vaihejohtimen kanssa 16 mm^2 asti. Suojajohtimeksi riittää 16 mm^2 aina 35 mm^2 vaihejohtimille asti, mutta kun vaihejohtimen poikkipinta-ala kasvaa yli 35 mm^2 tulee suojajohtimen poikkipinta-ala olla puolet vaihejohtimen poikkipinnasta. Mikäli suojajohtimen materiaali on muuta kuin kuparia, tulee sen poikkipinnaltaan olla vähintään 16 mm^2 ja johtokyvyltään vähintään sallitun kuparijohtimen suuruinen. (SFS-EN 60204-1, 50, 78)

4.2.2 Syötön automaattisen poiskytkennän ehdot

Syötön automaattisella poiskytkennällä toteutetun suojauksen ehdot täyttyvät, kun

- vian aiheuttama vaarallinen kosketusjännite kytkeytyy automaattisesti pois vaatimusten edellyttämästä ajassa tai
- vian aiheuttama kosketusjännite rajoittuu vaarattomaan arvoon. (SFS-EN 60204-1, 168)

Työkoneissa syötön poiskytkentäaika katsotaan riittävän lyhyeksi, kun se ei ylitä 5 sekuntia. Kuitenkin, mikäli koneessa on virtapiirejä, jotka syöttävät suoraan tai pistorasian kautta kädessä pidettävää tai siirrettävää luokan 1 laitetta, tulee poiskytkentäaika olla kyseisissä virtapiirissä taulukon 2 mukainen. (SFS-EN 60204-1, 168)

Taulukko 2. Sallitut virtapiirin poiskytkentä ajat TN- järjestelmässä. (SFS-EN 60204-1, 168)

$U_0^{a)}$ V	Poiskytkentäaika s
120	0,8
230	0,4
277	0,4
400	0,2
> 400	0,1
^{a)} U_0 on vaihtojännitteen nimellisarvo (r.m.s.) maahan. HUOM. 1 Jännitteisiin, jotka ovat standardissa IEC 60038 ilmoitettujen toleranssien sisällä, sovelletaan sopivan nimellijännitteen poiskytkentäaika. HUOM. 2 Välissä oleville jännitteille sovelletaan seuraavaksi suuremman jännitteen mukaista arvoa.	

Taulukosta 2 nähdään, että vaadittu poiskytkentäaika pienentyy sähköjärjestelmän vaihejännitteen kasvaessa. Mikäli poiskytkentäaikoihin ei jostakin syystä päästä, tulee lisätoimenpiteillä estää, ettei kosketusjännite virtapiirissä ylitä 50 VAC tai 120 VDC (sykkeetöntä). Lisätoimenpiteenä voidaan käyttää lisäpotentiaalintasausta, milloin vikavirran näkemä suojajohdinpiirin impedanssi pienentyy. Lisäpotentiaalitasaus voi koskettaa koko asennusta, asennuksen osaa, laitetta tai paikkaa. (SFS-EN 60204-1, 168)

Kosketusjännitteen 50 VAC raja-arvo saavutetaan, kun suojajohdinpiirin impedanssi, Z_{PE} [Ω] täyttää kaavassa 1 esitetyn ehdon (SFS-EN 60204-1, 170) :

$$Z_{PE} \leq \frac{50 \text{ V}}{U_0} \cdot Z_S, \quad (1)$$

missä Z_{PE} on suojajohdinpiirin impedanssi koneen PE-liittimen ja laitteiston osan välillä tai samanaikaisesti kosketeltavissa olevien jännitteelle alttiiden tai muiden johtavien osien välillä, [Ω]

U_0 on vaihejännitteen nimellisarvo (r.m.s.) maahan nähden, [V]

Z_S on vikapiirin impedanssi, joka käsittää jännitelähteen, vaihejohtimen vikapaikkaan saakka sekä suojajohtimen vikapaikan ja jännitelähteen välillä, [Ω].

Vaatimuksen täyttyminen voidaan varmistaa mittaamalla suojajohdinpiirin resistanssi, R_{PE} koneen PE-liittimeen ja laitteiston osan välillä tai samanaikaisesti kosketeltavissa olevien jännitteelle alttiiden tai muiden johtavien osien välillä. Vaatimukset täyttyvät,

kun mitattu suojajohdinpäihin resistanssin, R_{PE} suuruus on toteuttaa seuraavan ehdon (SFS-EN 60204-1, 170) :

$$R_{PE} \leq \frac{50 V}{I_a(5s)}, \quad (2)$$

missä $I_a(5s)$ on suojalaitteen 5 sekunnin toimintavirta, [A].

Ylivirtasuojien soveltuvuus todennetaan laskettujen tai mitattujen vikavirtapiirien impedanssien ja silmämääräisen tarkastelun perusteella. Silmämääräisellä tarkastelulla todennetaan, että virtapiirien suojalaitteiden ominaisuudet ja asetteluarvot ovat toiminnallisesti riittävät (laukaisuaika, kosketusjännite) vikasuojaukseen. (SFS-EN 60204-1, 168–170)

4.2.3 Vikavirtapiirin impedanssi

Vikavirtapiirien impedanssit voidaan määrittää, joko laskemalla tai mittaamalla. Mikäli impedanssit tai suojajohtimien resistanssit ovat määritelty laskennallisesti, voidaan impedanssien mittaaminen korvata suojajohtimen jatkuvuuden mittaamisella. Lisäksi tällöin tulee pystyä todentamaan asennuksesta johtimien todelliset pituudet ja poikkipinta-alamat. Liitteessä 2 on laskettu esimerkki vikavirtapiirin impedanssin ja sen oikosulkuvirran määrittämisestä. (SFS-EN 60204-1, 170)

Impedanssien mittaamista ei tarvitse tehdä kattavana. Lähtökohtaisesti mittaus suoritetaan keskuskohtaisesti sen epäedullisimmiksi arvioiduista pisteistä, jotka ovat yleensä löydettävissä pitkistä ja poikkipinnaltaan pienistä ryhmäjohtoista (johtimien kauimmaisesta pisteestä suojaukseen nähden). Näiden mittaustulosten perusteella voidaan päätellä lisämittausten tarve. Mittaus voidaan tehdä myös systemaattisesti, jolloin impedanssi mitataan jokaisen ryhmäjohto- ja suojalaitteeseen sekä erilaisten suojalaitetyypin pisimmän ryhmäjohtoon päästä. (Saastamoinen 2007. 31–32)

Vikavirtapiirien impedanssit mitataan ns. silmukkavastusmittarilla. Mittalaitteesta riippuen tulokseksi saadaan pelkästään silmukkaimpedanssi tai myös vikavirtapiirin oikosulkuvirta. Mittaus tehdään piirin nimellistaajuudella koneen ollessa verkkoon kytkettynä. Ennen impedanssien mittaamista suojajohdinpäihin jatkuvuus tulee todentaa ja

syötön liitännät ja ulkoisen suojajohtimen liitäntä koneen PE-liittimeen on todennettava erikseen tarkastamalla. (SFS-EN 60204-1 2006. 160, 170)

Vikavirtapiirin impedanssi mitataan yleensä huoneenlämpöisistä kuormittamattomista johtimista. Kuitenkin todellinen vikavirta on merkittävästi suurempi kuin mittaussvirta ja saa aikaan johtimissa lämpötilan nousua, mikä kasvattaa johtimen resistanssia. Tämän vuoksi mitatun silmukkaimpedanssin, Z_s tulisi täyttää yhtälön 3 ehdon (SFS-käsikirja 600-1 2012, liite 6C.61.3.6)

$$Z_s(m) \leq \frac{4}{5} \cdot \frac{U_0}{I_a(t)}, \quad (3)$$

missä U_0 on vaiheen ja maan välinen jännite, [V]

$I_a(t)$ on virta, joka aiheuttaa suojan toimimisen t :n määrittelemässä ajassa, [A].

Mikäli saatu vikavirtapiirin impedanssia toteuttaa yhtälön 3 ehdon, vikavirtapiirin suojaus on kunnossa. Yhtälöstä 3 nähdään, että mikäli mittauksesta saatu impedanssi tulee olla 0,8-kertainen nähden määritettyyn arvoon, niin kasvattaa se vaaditun mitatun virran suuruuden 1,25-kertaiseksi määritettyyn arvoon nähden, koska vaihejännite pysyy samana. Taulukossa 3 on esitetty johdonsuojakatkaisijoiden pienimmät toimintavirrat ja vaaditut mitatut arvot. (SFS-käsikirja 600-1 2012, liite 6C.61.3.6)

Taulukko 3. Johdonsuojakatkaisijoiden pienimmät toimintavirrat ja vaaditut mitatut arvot. (Saastamoinen 2007. 33)

Nimellis- virta A	B-tyyppi 0,4 s ja 5,0 s A	Vaadittu mitattu arvo A	C-tyyppi 0,4 s ja 5,0 s A	Vaadittu mitattu arvo A	K ja G- tyypit 0,4 s ja 5,0 s A	Vaadittu mitattu arvo A	D-tyyppi 0,4 s ja 5,0 s A	Vaadittu mitattu arvo A
6	30	37,5	60	75	84	105	120	150
10	50	62,5	100	125	140	175	200	250
16	80	100	160	200	224	280	320	400
20	100	125	200	250	280	350	400	500
25	125	156,3	250	312,5	350	437,5	500	625
32	160	200	320	400	448	560	640	800
50	250	312,5	500	625	700	875	1000	1250
63	315	393,8	630	787,5	882	1102,5	1260	1575
80	400	500	800	1000	1120	1400	1600	2000
125	625	781,3	1250	1562,5	1750	2187,5	2500	3125

Taulukosta 3 nähdään, että vaaditut mitatut virta arvot ovat suurempia, kuin sulakkeiden nimelliset arvot. Lisäksi eri sulakekäyrätyypeillä on selkeästi erilaiset toiminta-arvot, jotka tulee tarkastuksen yhteydessä huomioida. (Saastamoinen 2007. 31–32)

4.3 Vikavirtasuoja

Laitteistoon asennettujen vikavirtasuojien toiminta on todennettava suojakohtaisesti. Jokaisesta vikavirtasuojasta on tarkistettava, että suojan testipainike toimii tarkoituksen mukaisesti, ja että suojan toimintavirta ei ylitä sen nimellistoimintavirtaa. Suositeltavin tapa mitata vikavirtasuojan toimintavirta on mitata se nousevalla vikavirralla. Testivirta voi myös olla vikavirtasuojan nimellistoimintavirran suuruinen. (Tiainen 2010, 333) Tällöin voidaan myös todentaa, että suoja ei ole liian herkkätoiminen. Vikavirtasuojan todellinen toimintavirta on hyvä kirjata ylös tarkastuspöytäkirjaan. Vikavirtasuojan poiskytkentäaika suositellaan mitattavaksi kaikissa tapauksissa. Poiskytkentäajan mittaaminen on pakollista seuraavissa tapauksissa (Saastamoinen 2007. 34) :

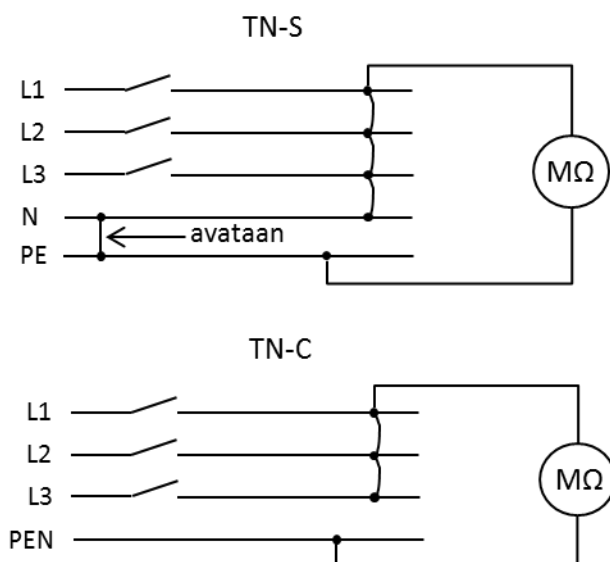
- kun asennetaan aikaisemmin käytössä ollut vikavirtasuoja
- kun vikavirtasuojaa käytetään vikasuojaukseen ja lisäsuojaukseen
- kun olemassa olevaan asennukseen tehdään muutos- ja laajennustöitä, joissa olemassa olevia vikavirtasuojia käytetään muutos- ja laajennusosien poiskytkentälaitteina.

Halutessa vikavirtasuojalle voidaan tehdä ramppitesti, jolla saadaan määritettyä todellinen toimintavirta. Tällä testillä voidaan todentaa myös, että suoja ei ole liian herkkätoiminen. (Saastamoinen 2007. 34)

Työkoneessa olevan vikavirtasuojan todentamisessa on ennen mittausta tarkistettava, että jännitesyötön liitännät ja ulkoisen suojajohtimen liitännät koneen PE-liittimeen on olemassa. Mittaus tulee tehdä piirin nimellistääjuudella koneen ollessa verkkoon kytkettynä. (SFS-EN 60204-1, 160)

4.4 Eristysresistanssimittaus

Eristysresistanssimittauksella varmistetaan, että jännitteiset osat ovat riittävästi eristettyjä maasta. Lisäksi mittauksella tarkistetaan, ettei SELV-, PELV-, FELV- (Functional extra low voltage), suojaerotettu ja vikavirtasuojattu järjestelmän osa ole yhteydessä muihin järjestelmän piireihin. Standardin SFS-EN 60240-1 mukaisesti koneen pääpiiri- en jännitteellisten johtimien (TN-S- järjestelmässä vaihe ja nolla) ja suojajohdinpiirin välisen eristysresistanssin tulee olla, 500 V:n tasajännitteellä mitattuna, vähintään 1 M Ω . Mikäli sähkölaitteisto sisältää kiskostoja, laahauskisko- ja laahausjohtojärjestelmiä tai liukurenkaita, voi eristysresistanssi näissä osissa sähkölaitteistoa olla pienempi kuin 1 M Ω , mutta kuitenkin vähintään 50 k Ω . Kuviossa 5 on esitetty periaatteellinen eristysresistanssimittauskytkentä TN-C- ja TN-S -järjestelmälle. (Saastamoinen 2007. 22–23)



Kuvio 5. Eristysresistanssin mittaaminen TN-C- ja TN-S -järjestelmästä.

Mittauksessa äärijohtimet eli nolla- ja vaihejohtimet voidaan kytkeä yhteen eli rinnan, mikä nopeuttaa mittauksen tekemistä (kuvio 5). Rinnankytkentä pienentää laitteistoon kytkettyjen elektronisten laitteiden vikaantumisriskiä mittauksen aikana. Vikaantumisriskiä voidaan pienentää käyttämällä mittauksessa koejännitteenä ensiksi standardin vaatimusta alemmaa jännitettä, mikäli mitattavassa piirissä ei havaita poikkeavaa, voidaan mittaus toistaa standardin mukaisella jännitteellä. Mittaukset suoritetaan eristysresistanssimittarilla. (Saastamoinen 2007. 22–23)

Mikäli koneen sähkölaitteistossa on ylijännitesuojia, joiden toimimisen mittaus todennäköisesti aiheuttaa, voidaan ylijännitesuojat irrottaa mittauksen ajaksi tai mittausjännite alentaa ylijännitesuojien toiminta-arvoja pienemmäksi, mutta ei syöttöjännitteen (vaiheen ja nollan välistä) huippuarvoa pienemmäksi. (SFS-EN 60204-1, 164) Mikäli mittauksessa käytetään mittausjännitteenä pienempää jännitettä kuin 500 VDC, olisi tästä hyvä tehdä kattavat merkinnät mittauspöytäkirjaan. Taulukossa 4. on esitetty standardissa SFS 6000-6 määritetyt eristysresistanssin pienimmät sallitut arvot koejännitteen mukaan.

Taulukko 4. Eristysresistanssin pienimmät sallitut arvot (SFS-käsikirja 600-1 2012, 356)

Virtapiirin nimellijännite	Koejännite (DC), [V]	Eristysresistanssi, [MΩ]
SELV ja PELV	250	≥ 0,5
≤ 500 V, FELV mukaan luettuna	500	≥ 1,0
> 500 V	1000	≥ 1,0

SELV- ja PELV- piireissä eristysresistanssi tarvitsee olla puolet siitä mitä sen tulee olla muissa virtapiireissä, (taulukko 4). Mittaus voidaan tehdä koko asennukselle tai asennuksen yksittäisille ryhmille riippuen asennuksen luonteesta ja monitahoisuudesta. Mittattaessa on kuitenkin varmistuttava siitä, että mitattava laitteisto tai laitteiston osa tulee mitattua kokonaisuudessa. Mittauksen aikana mitattavan virtapiirin mekaanisten kytkimien, kuten keskusten pääkytkimien, vikavirtasuojakytkimien ja johdonsuojakatkaisijoiden, on oltava suljettuna (I-asennossa) sekä virtapiirin sulakkeiden on oltava paikallaan. (Tiainen 2010, 327–328)

Ryhmäkohtainen mittaus tehdään aina silloin, kun lähdössä on laite, esim. kontaktori, joka aukaisee piirin jännitteettömänä tai kun kyseessä on SELV-, PELV-, FELV- tai suojaerotettu piiri. SELV- ja PELV-järjestelmissä eristysresistanssi määritetään ensiö- ja toisiopiirien väliltä eli piirien eristystila. Lisäksi SELV-järjestelmässä eristysresistanssi määritetään ensiöpuolen PE-maadoituksen ja toisiopiirin väliltä, koska SELV-järjestelmän toisiopiiriä ei maadoiteta. Mikäli SELV- ja PELV-piirin johtimet ovat kosketuksissa muun järjestelmän virtapiirien kanssa, tulee myös eristysresistanssi mitata näiden järjestelmien väliltä. (Tiainen 2010, 327–328)

Mikäli lähdön komponentti erottaa virtapiirin kaikkinaisesti, on sen jälkeinen virtapiiri mitattava erikseen. Myös sellaisessa tilanteessa, jossa mitattu eristysresistanssin arvo

alittaa sallitun rajan, tulee mitattu virtapiiri pilkkoa pienemmiksi mittauskokonaisuuksiksi. Yksittäistä ryhmäjohtotasoa pienemmäksi ei mittausaluetta kuitenkaan saa pienentää. Jollei raja-arvo saavuteta pilkkomisella, tulee syy alhaiseen eristysresistanssiin selvittää ja tehdä tarvittavat toimenpiteet resistanssin saattamisesta vaaditulle tasolle. Korjaustoimenpiteiden jälkeen eristysresistanssi mitataan uudelleen. (Tiainen 2010, 327–328)

4.4.1 Eristysresistanssi suojaerotuksessa ja sähköisessä erotuksessa

Galvaanisesti suojaerotettujen virtapiirien tapauksessa eristysresistanssimittauksella varmistetaan, että ensiön- ja toisiopuolen ovat toisistaan galvaanisesti erillään, ja että toisiopuoli ei ole yhdistetty suojamaadoitukseen. (Saastamoinen 2007, 26–28)

Sähköisessä erotuksessa käytetyn muuntajan eristysrakenne poikkeaa suojaerotusmuuntajien rakenteesta. Suojausrakenne on muuntajassa vain yksinkertainen ensiö- ja toisiopuolen välillä, kun se suojaerotusmuuntajissa on kaksinkertainen. Tästä syystä eristysresistanssin tulee olla taulukon 4 mukainen muuntajan toisiopuolen ja muiden virtapiirien välillä sekä muuntajan toisiopuolen ja maan välillä. (Saastamoinen 2007, 26–28)

4.5 Jännitekoe

Jännitekokeessa käytetyn testausjännitteen tulee olla kaksinkertainen nähden laitteiston mitoitusjännitteeseen tai aina vähintään 1000 V. Lisäksi testausjännitteen taajuuden tulee olla joko 50 Hz tai 60 Hz. Koejännitteen on vaikutettava n. yhden sekunnin ajan pääpiirin johtimien (vaiheet ja nolla) ja suojajohtimen välillä. Jännitekoe on hyväksytty, mikäli läpilyöntiä ei laitteistossa synny. (SFS-EN 60204-1, 166)

Järjestelmässä olevat laitteet ja komponentit, joille tuotestandardien mukainen jännitekoe on tehty tai jotka eivät kestä jännitekoetta, voidaan erottaa tai irrottaa koneesta kokeen ajaksi. Jännitekoe tulisi tehdä standardin IEC 61180-2 mukaisella mittalaitteella. (SFS-EN 60204-1, 166)

4.6 Sähkölaitteiston toiminnalliset testit ja jäännösjännitteen mittaaminen

Testattavan työkonteen sähkölaitteiston monimutkaisuus määrittelee sille tehtävien toiminnallisten testien laajuuden. On suotavaa, että toiminnallisten testien tekemiseen on olemassa testausohje, jotta todentamisesta tulee riittävän kattavaa. Tarkastuksessa on tehtävä siten, että sähkökomponenttien, kuten lukituslaitteiden, releiden ja suojalaitteiden, muodostamat toimintaketjut tulee tarkastetuksi kokonaisuudessaan. (Tiainen 2010. 334)

Mikäli järjestelmän jännitteisten osien jäännösjännite on suurempi kuin 60 V syötön katkaisun jälkeen, tulee jäännösjännite saattaa 60 V:iin 5 sekunnin kuluessa katkaisusta. Jäännösjännitteen purkamisen ei saa häiritä laitteen toimintaa. Jäännösjännitteen purkamista ei edellytetä komponenteilta/laitteilta, joiden varaus ei ole 60 μC suurempi. (SFS-EN 60204-1, 60)

Jäännösjännitteen purkautumisaika ei saa ylittää 1 sekuntia, mikäli katkaisussa käytettävästä laiteosasta, kuten pistotulpasta tai vastaavasta laitteesta, avaamisen (virtapiirin katkaisun) yhteydessä paljastuu kosketukselle alttiita johtimia, (esim. tappeja). Aikavaadetta purkautumiselle ei ole, mikäli kosketukselle alttiit osat on suojattu suojausluokkien IP2x tai IPXXB mukaisesti. Jos aikavaadetta (1 s) tai suojausluokkia ei voida saavuttaa joistakin syistä laitteessa, on järjestettävä lisäerotuslaitteet tai tarkoituksenmukaiset varoituslaitteet. (SFS-EN 60204-1, 60)

5 TYÖKONEEN SÄHKÖJÄRJESTELMÄN TODENNUS

Liikkuvat työkoneet rakentuvat monista erilaisista järjestelmistä ja toiminnallisuuksista, joiden yhteen sovitetusta toiminnasta syntyy lopullinen suunniteltu toiminnallisuus. Tästä syystä sähköjärjestelmän asennusten todentaminen vaatii laitetyyppikohtaisen lähestymistavan ja usein myös moduulimaisen esitestauksen. Usein kone muodostuukin erilaisista esitestatuista moduuleista, jotka voidaan nostaa koneen alustalle ja yhdistää sähköisesti, hydraulisesti ja mekaanisesti toisiinsa. Varsinainen sähköjärjestelmän käyttöönottotarkastus tehdään liikkuvalla työkoneella sen loppukokoonpanon valmistuttua. Sähköjärjestelmän todentaminen liitetään useasti yhdeksi osaksi koneen testausprosessia, joka alkaa laitteen kokoonpanon valmistuttua ja päättyy testausvaiheen jälkeiseen huoltoon. Usein työkoneiden valmistajat suosivat kattavampaa ja yksityiskohtaisempaa käyttöönottotarkastusta, mitä standardit ja säädökset sen vaativat olevan.

Sähköasennusten tarkastus on syytä tehdä turvallisuuskohdista katsoen. Mikäli on mahdollista, niin sähkö tarkastus kannattaa aloittaa ohjausjärjestelmän pienisjännitteistä ja edetä ohjausjärjestelmän sähköisten toiminnallisuuksien testaukseen. Kun ohjausjärjestelmä on todettu toimivaksi ja oikein käytettynä vaaraa aiheuttamattomaksi, voidaan turvallisesti edetä laitteen pienjännitejärjestelmän mittauksiin ja todennuksiin. Liitteessä 3 on esitetty lohkoaviokuvaus sähköjärjestelmän käyttöönottotarkastuksen vaiheista ja niihin sisältyvistä mittauksista.

5.1 Jännitetasosta riippumaton aistinvarainen tarkastus

Standardi SFS-EN 60204-1 (158) ei vaadi varsinaista aistinvaraista tarkastusta suoritettavaksi työkoneen käyttöönottotarkastuksessa. Aistinvarainen tarkastus on kuitenkin syytä pitää osana liikkuvan työkoneen käyttöönottotarkastusta, koska sillä voidaan osaltaan varmistaa, että sähköasennus on määräysten mukainen ja vastaa vaadittua tuotannollista laatua. Liitteessä 4 on esitetty standardin SFS 6000-61.2 määrittelemän aistinvaraisen tarkastuksen todennukset, joista tärkeimpiä ovat tarkastukset, jotka kohdistuvat suojausien toiminnallisiin, komponenttien kuormitettavuuteen ja merkintöihin.

Aistinvaraista tarkastelua on syytä tehdä koko asennustyön ajan jännitteettömälle järjestelmälle. Havaitut puutteet ja virheet on syytä korjata työn edetessä, kun korjaus on vielä tehtävissä helposti. Valmiissa työkoneessa korjaukset joudutaan tekemään ahtaissa väleissä tai pahimmassa tapauksessa asennuksia joudutaan purkamaan, mikä hidastaa ja vaikeuttaa korjauksen tekemistä.

Liikkuvan työkoneen aistinvaraisessa tarkastuksessa olisi erityisesti kiinnitettävä huomiota kaapeloinnin toteutukseen ja reititykseen, koska siihen kohdistuu merkittävää rasitusta koneen elinkaaren aikana. Seuraavat tekijät olisi syytä tarkistaa laitteiden kaapeloinnista:

- kaapelit ja johtimet on kiinnitetty ja asiaankuuluvat vedonpoisto on tehty
- kaapeleiden reititykset ovat tarkoitusten mukaisia ja eikä niihin kohdistu haitallista hankaus-, veto-, kierto- tai taivutusrasitusta
- kaapeleihin on jätetty tarpeellinen joustovara, joka on riittävä huomioiden työkoneen liikkuvien moduulien liikeradat
- kaapeleiden läpiviennit ovat tiiviit
- kaapelit on varustettu kaapelitunnuksilla.

5.2 Pienoisjännitepiirien todentamisen vaiheet

Liikkuvissa työkoneissa pienoisjännitteitä käytetään ohjausjärjestelmän lisäksi esimerkiksi mittauksien, ohjausten, akustojen, valaistuksen ja hätätoimintojen virtapiireissä. Pienoisjännitepiirit ovat oleellinen osa työkoneen turvallisuutta ja toiminnallisuutta.

Todentamattomat pienoisjännitepiirit voivat aiheuttaa väyläohjatun työkoneen hallinnan menetyksen pahimmassa tapauksessa. Työkoneiden valmistajat panostavatkin merkittävästi myös pienoisjännitepiirien todentamiseen.

5.2.1 Jännitteettömän järjestelmän resistanssimittaukset

Ennen kuin työkoneen pienoisjännitejärjestelmä kytketään teholahteeseen (akustoon tai AC/DC-muuntimeen) on mielekästä todentaa, että suoria oikosulkukytkentöjä ei ole tehty oikosulkusuojaamattomiin kaapelivetoihin ja tarvittavat maadoitukset ovat kun-

nossa. Oikosulkusuojaamattomia kaapelivetoja ovat usein pienoisjännitteen jotkin päävirtapiirit, kuten AC/DC-muuntimelta lähtevät nousukaapelit, akustolta lähtevät syöttökaapelit, akuston ja sen pääkytkimien väliset kaapelit, akuston pääkytkimen ja starttimoottorin väliset kaapelit, akuston pääkytkimen ja laturin väliset kaapelit ja akuston pääkytkimeltä lähtevät ohjausjärjestelmän nousukaapelit.

Käynnistys- ja latausvirtapiirin oikosulkukytkentä on löydettävissä helposti mittaamalla vastusarvo akuston liityntäkaapeleiden päistä. Riippuen kytkennästä ja virtapiirin komponenteista hyväksyttävän resistanssin suuruus voi olla $k\Omega$ tai $M\Omega$.

Mitattavia maadoituksia ovat, esimerkiksi maadoituspisteen ja apurunkojen väliset kaapelit, maadoituspisteen ja polttomoottorin rungon välinen kaapelointi, maadoituspisteen ja starttimoottorin maan välinen kaapelointi ja akuston pääkytkimen ja akun miinusnavan välinen kaapelointi.

Toinen merkittävä testattavakokonaisuus pienoisjännitejärjestelmässä ovat ohjaus- ja mittakeskukset. Laitteeseen asennettavat pienoisjännitekeskukset ovat usein valmiiksi kalustettuja ja testattuja, minkä vuoksi niitä ei ole syytä enää loppukokoonpanossa uudelleen testata. Mikäli kuitenkin valmiisiin keskuksiin joudutaan lisäämään syöttöjä tai lähtöjä, on lisätyt kytkennät syytä todentaa silloin, kun ne vaikuttavat koneen käytön turvallisuuteen liittyviin toiminnallisiin.

Pienoisjännitesähkökeskuksen tarkastuksessa tulisi todentaa, että sen sisäiset kytkennät vastaavat piirikaaviota, sulakkeiden ketjutukset ovat dokumentin mukaisia ja keskuksessa ei ole sisäisiä oikosulkukytkentöjä. Kyseiset mittaukset on mielekästä tehdä yleismittarilla resistanssimittauksin, mikä on pienoisjännitepiirien tapauksessa mahdollista. Johtimen jatkuvuutta mitattaessa resistanssimittauksella tulisin sen resistanssin suuruus olla $\leq 1 \Omega$. Resistanssin suuruuteen keskuksen sisäisissä mittauksissa vaikuttavat mitattavassa virtapiirissä olevat komponentit, kuten kelat ja johdinten liitokset.

Mikäli pienoisjännitevirtapiiri on kosketuksissa, syötettynä tai kytkettävissä pienjännitepiiriin, tulee näiden piirien välinen eristysresistanssi mitata. Eristysresistanssi hyväksyttävä suuruus riippuu käytettävästä pienoisjännitejärjestelmästä. Eristysresistanssin vaatimukset on esitetty taulukossa 4. Eristysresistanssi mittaukset tulisi tehdä SFS-EN 60204-1 mukaisin mittauksin, mutta tällöin on huomioitava, että piireihin mahdollisesti

kytketyt elektroniikka laitteet saattavat vaurioitua mittausjännitteistä ja -virroista. Mitattavissa virtapiireissä saattaa olla komponentteja joiden eristysvastus on suuruudeltaan kymmeniä k Ω :a, minkä vuoksi hyväksyttävät eristysresistanssiarvot voivat olla huomattavasti alhaisempia kuin 1M Ω . Alhaisen eristysresistanssin syy tulisi kuitenkin selvittää ja kirjata saatu arvo pöytäkirjan huomioineen.

5.2.2 Jännitteellisen pienoisjännitejärjestelmän mittaukset

Kun jännitteettömät mittaukset on tehty ja ilmenneet puutteet ja viat on korjattu, voidaan siirtyä jännitteellisiin mittauksiin. Jännitemittauksilla on tarkoitus todentaa vielä, että kytkimien ja sulakkeiden kiinniasentoon laittaminen jännitteistää oikean virtapiirin työkonteen tarkoituksenmukaisen toiminnallisuuden kannalta katsottuna ja eikä vuoto- virtoja esiinny. Ennen jännitteen kytkemistä tulisi huolehtia, että järjestelmä on seuraavan kaltaisessa tilassa:

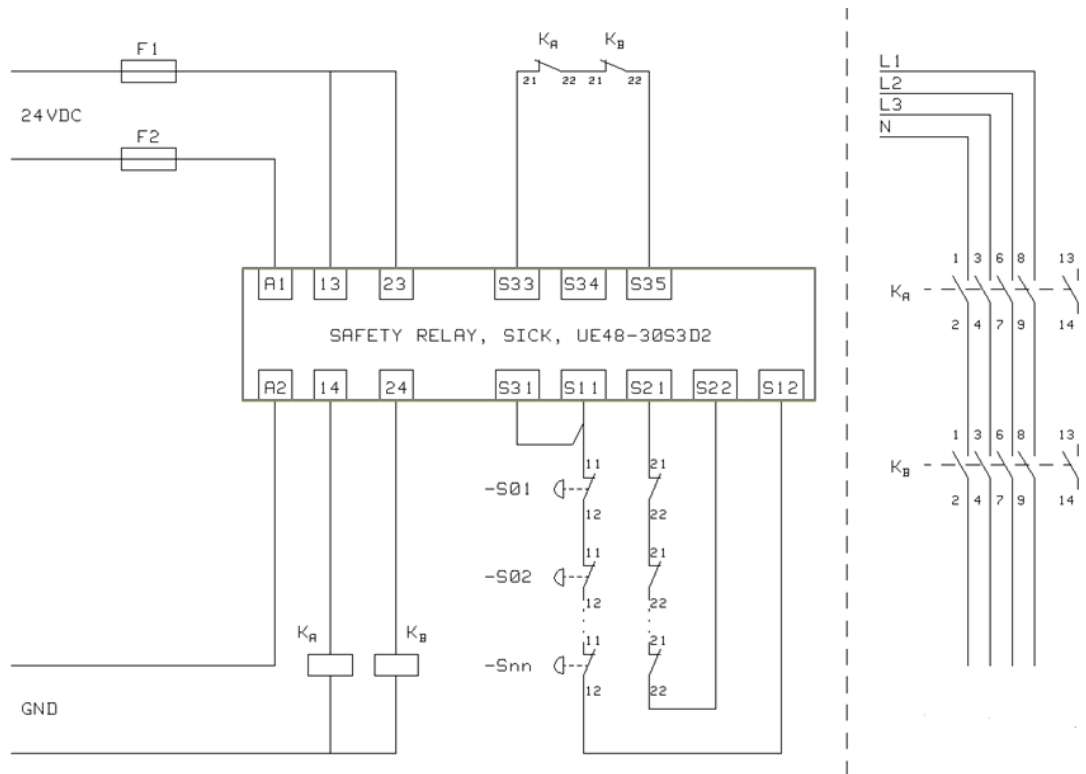
- pienoisjännitepääpiirin kytkimet ja releiden ohjauskytkimet, kuten avainkytkimet on asetettu auki/”0” asentoon
- keskusten sulakkeet ja mahdolliset kontaktorit ovat auki asennossa
- ulkoisen syötön liittäminen järjestelmään on estetty lukituksin ja ohjekilvin tarkastuksen ajaksi.

Jännitemittaukset on mielekästä tehdä siten, että liitetään järjestelmästä jännitesyötön piiriin yksitellen päävirtapiirikokonaisuuksia, jotka ovat kytkimien, kontaktoreiden tai sulakesyöttöjen takana. Tämän jälkeen todennetaan mittauksin, että vain tarkoituksenmukainen osa järjestelmästä tuli vain jännitteiseksi. Jännitemittauksista ei ole syytä tehdä kattavana, vaan laitteen turvallisuuteen ja merkittäviin toiminnallisuuksiin liittyville virtapiireille. Lisäksi jännitenapaisuus on syytä todentaa sellaisista liitinrajapinnoista, joissa kytkettävä komponentti saattaa vikaantua.

5.2.3 Turvapiirien tarkastukset

Työkoneessa olevat turvapiirit on todennettava yksitellen. Tarkastuksissa on todennettava, että jokainen turvapiirissä oleva turvakomponentti (releet, logiikat, kytkimet, anturit ja painikkeet) aiheuttaa suunnitellun toiminnallisen seurauksen. Turvapiirin toiminta

katkaisee usein jännitesyöttö turvatoiminnossa käytetyn releen tai kontaktorin jälkeisestä piiristä, mikä voidaan todentaa jännitemittauksin. Turvakomponenttien tilat on syytä todentaa myös jokaisen testauksen yhteydessä niissä mahdollisesti olevasta näytöstä tai merkkivaloista sekä mahdollisesti laitteen käyttöjärjestelmästä. Kuviossa 6 on esitetty esimerkinomaisesti turvareleellä toteutettu kaksi kanavainen turvapiiri.



Kuvio 6. Turvareleellä ohjattu hätäseis-piiri.

Kuvion 6 hätäseis-piiri laukeaa, kun jotakin sarjaan kytketyistä hätäseis painikkeesta, S01 - Snn painetaan. Piirin lauetessa releiden KA:n ja KB:n NO-kärjet avautuvat ja tehon syöttö niiden jälkeiselle piirille katoaa. Hätäseis-piiri kuittaantuu, kun painettu hätäseis-painike vapautetaan ja turvareleen automaattinen kuittauspiiri S33- S35 on samaisena hetkenä suljettu. Releiden KA:n ja KB:n kelat jännitteistyvät ja releiden NO-kärjet sulkeutuvat. Kyseinen turvapiirin toiminta voidaan todentaa, esimerkiksi kärkien KA ja KB jälkeisestä piiristä jännitemittauksin.

5.2.4 Ohjausjärjestelmän toimintojen todentaminen

Ohjausjärjestelmän toiminnallisuuden testaus on syytä sisällyttää osittain sähkö tarkastukseen. Testauksen tarkoitus on todentaa, että laitteessa olevat logiikkaohjaukset on johdotettu ja ohjattu oikein. Toiminnallisuudet voidaan todentaa usealla eri tavalla, mutta helpoin tapa on tarkistaa toiminnallisuudet käynnistämällä ja pysäyttämällä laitteen toimintoja, kuten valoja, äänimerkkejä, vilkkuja, kateluukkuja, ikkunoiden pyyhkijöitä ja pesureita, ohjauspainikkeista ja todentaa että ohjaukset toimivat. Ohjauksien tila voidaan tarkastaa myös venttiilihattujen tai logiikka-yksikköjen merkkivaloista ja laitteen mahdollisesta ohjelmallisesta diagnostiikka näytöstä.

Myös anturoinnin kaapelointi ja antureiden toiminta on syytä tarkistaa sähkö tarkastuksen yhteydessä. Antureiden toiminta voidaan todentaa käyttöjärjestelmän näytöltä tai mittaamalla. Kaikkien antureiden toimintaa ei välttämättä voida tarkistaa sähkö tarkastuksen yhteydessä käytännöllisten seikkojen vuoksi. Antureiden lähettämät analogiset/digitaaliset viestit voidaan kuitenkin simuloida ohjausjärjestelmään liittämällä anturikaapeliin säädettävä virta-, jännite- tai digitaalilähetin.

5.2.5 CAN-väylän mittaaminen

CAN-väylä on työkoneen ”hermosto”, joka vikaantuessaan häiritsee tai halvaannuttaa koneen toimintoja tai pahimmassa tapauksessa pysäyttää kaikki koneen toiminnot. Tämän vuoksi CAN-väylän asennus on syytä todentaa ennen laitteen ensimmäistä käyttöönottoa.

Liikkuvassa työkoneessa voi olla useita erillisiä CAN-väyliä, joita ei ole yhdistetty toisiinsa fyysisellä siirtotiellä. Jokainen itsenäinen väylä tulisi todentaa erikseen. Väylän toiminnallisuus voidaan todentaa yleismittarilla resistanssimittauksin tai oskilloskoopilla jännitemittauksin.

Resistanssimittauksella saadaan todettua väyläkaapeloinnin johdinten väliset kytkennät. Väyläkaapeloinnissa käytettävien johtimien määrä on riippuvainen sovelluskohteesta. Tyypillisesti CAN-väylä on toteutettu neljällä johtimella, jolloin kaapeloinnissa CAN-high:n ja CAN-low:n lisäksi kuljetetaan tehonsyöttö väyläkomponenteille. Usein käyte-

tään suojavaipallista väyläkaapelia, jolloin ”viidenneksi johtimeksi” voidaan laskea suojavaippa. Esimerkiksi viidellä johtimella toteutetulle CAN-väyläkaapeloinnille voidaan tehdä taulukon 5 mukainen tarkistusmittaus. Lisäksi väylän jännitesyötön napaisuus on syytä todentaa.

Taulukko 5. CAN-väyläkaapeloinnin resistanssimittaukset.

	CAN L	CAN H	+VDC	GND	Shield	Mittaustulos
Mittaus 1	x	x				60 Ω
Mittaus 2	x		x			kΩ - MΩ
Mittaus 3	x			x		kΩ - MΩ
Mittaus 4	x				x	kΩ - MΩ
Mittaus 5		x	x			kΩ - MΩ
Mittaus 6		x		x		kΩ - MΩ
Mittaus 7		x			x	kΩ - MΩ
Mittaus 8			x	x		≥ 500 Ω
Mittaus 9			x		x	kΩ - MΩ
Mittaus 10				x	x	0 Ω

Kuten taulukosta 5 nähdään, ei väylän vastusmittauksille ole yksiselitteistä hyväksyttävää arvoa suurimmassa osassa mittauksia, vaan se on riippuvainen väylässä käytettyjen komponenttien sisäisistä eristyksistä. Oikein kytketyn ja kunnossa olevan väylän CAN-high:n ja CAN-low:n johtimien välinen resistanssi on 60 Ω. Mikäli väyläjohtimien välinen resistanssi on 120 Ω, on toinen väylän päätevastuksista vioittunut tai se puuttuu kokonaan väylältä.

CAN-väylässä tyypillisesti esiintyviä vikoja ovat vioittunut väyläkomponentti, päätevastus tai väyläkaapeli, kytkentävirheet väylän kaapeloinnissa ja huonot kytkentäliitokset. Lukemalla CAN-väylän viestiliikennettä voidaan väylän toiminnallisuutta tutkia syvemmin. Tällöin voidaan tulkita yksittäisen väyläkomponentin tila ja toiminnallisuus.

5.3 Pienjännitepiirien todentamisen vaiheet

Pienjännitepiirien todentaminen on sähköturvallisuusnäkökulmasta käyttöönottotarkastuksen tärkein osa-alue. Pienjännitepiirien mittaukset on syytä jakaa selkeästi jännitteetömiin ja jännitteellisiin mittauksiin, jotta tarkastus olisi mahdollisimman turvallinen tekijälleen.

Tehtävät tarkastusmittaukset tulisi tehdä seuraavassa järjestyksessä: suojajohtimen jatkuvuuden tarkistus, eristysresistanssin mittaaminen, vikavirtapiirin impedanssin ja oikosulkuvirran mittaaminen, vikavirtasuojakytkinten koestus, jännitekoee, kiertosuunnan tarkistukset, jäännösjännitteen mittaaminen ja sähköjärjestelmän toiminnallinen testaus. Oheisella mittausjärjestyksellä minimoidaan sähköiskun tapahtumisen riskiä.

5.3.1 Jännitteettömät mittaukset

Jännitteettömälle järjestelmälle suoritettavat mittaukset on tehtävä kattavasti koko asennetulle järjestelmälle. Ennen mittausten aloittamista on syytä varmistaa, että järjestelmä on jännitteetön ja jännitelähteet ja ulkopuoleiset jännitesyöttöjä ovat irrotettu ja syötönerotuskytkimet on lukittu 0-asentoon.

Jännitteettömään sähkölaitteistoon tehtävät todennukset ovat suojajohtimien jatkuvuusmittaukset, asennusten eristysresistanssimittaukset mukaan lukien SELV-, PELV- ja suojaerotettujen piirien eristysresistanssimittaukset. Myös jännitekoee tehdään jännitteettömälle järjestelmälle.

Työkoneeseen asennettujen suojajohtimien jatkuvuus on syytä todeta luvun 4.2.1 mukaisesti. Jotta jokaisen suojajohtimen jatkuvuus tulisi todennettua, olisi mittauspöytäkirjassa tai sen ohjeessa oltava listaus mitattavista johtimista ja mittauspisteistä. Mittaus voidaan aloittaa pääpotentialikiskosta ja siirtyä säteittäin keskuskohtaiseen testaukseen. Tarkastuspöytäkirjaan riittävät merkinnät siitä, että suojajohtimien jatkuvuusvaatimukset täyttyvät keskusalueittain. Saadut resistanssi arvot voidaan kuitenkin merkitä maadoituskaavioon tai tasokuvaan referenssitiedoksi.

Työkoneissa usein sähkökomponenttien rungot ovat mekaanisen kiinnityksen takia johdettavassa yhteydessä maadoitettuun laitteen runkoon ja siten myös maadoituskiskoon, jolloin kytkemätöntä tai poikkinaista suojajohdinta ei välttämättä mittauksessa huomata. Mikäli halutaan varmistua, että mitattava suojajohdin on jatkuva, tulisi mitattava suojajohdin irrottaa kytkennästä ja tehdä mittaus irrotetulle johtimelle. Kuitenkin jatkuvuusmittaus tulisi tehdä sähkökomponentin rungosta, johon suojajohdin kiinnitetään. Komponentin rungosta tehtävällä mittauksella varmistutaan, että kosketussuojauksella on edellytys toimia vikatilanteessa.

Suojajohtimien jatkuvuuden todentamisen jälkeen todennetaan, että sähköjärjestelmän jännitteellisten osien ja suojajohtimen välinen eristysresistanssi on riittävä. Eristysresistanssimittauksen yleiset vaiheet ovat seuraavat:

1. Tehdään mitattava laitteisto jännitteettömäksi.
2. Varmistetaan, että nolapiiriin ei ole kytketty jännitteisiä laitteistoja.
3. Varmistetaan laitteiston jännitteettömyys.
4. Varmistetaan, että mitattavalla alueella olevien nousujen ja sähkölaiteryhmien kytkimet ovat kiinni ja varokkeet, kuten johdonsuojat tai tulppasulakkeet ovat paikallaan.
5. Irrotetaan tarvittaessa suoja- ja nolajohtimen liitos
6. Suoritetaan mittausta ja tehdään tarvittavat toimenpiteet mittaustuloksen perusteella.
7. Palautetaan laitteisto toimintakuntoon päinvastaisessa järjestyksessä.

Lähdöissä voi olla komponentteja, kuten askelreleitä ja vikavirtasuojakytkimiä, jotka katkaisevat lähdön. Tällaiset komponentit tulee kytkeä kiinni eristysresistanssimittauksen ajaksi, jotta virta piiristä saadaan jatkuva. Kontaktori- ja pitovirtareleilähtöjen eristysresistanssit on syytä mitata erikseen lähtökohtaisesti. Erikseen mitattavia piirejä ovat myös pienoijännitteiset ja suojaerotetut piirit. Pöytäkirjassa on hyvä olla merkintä laitteiston piireistä, jotka suljetaan mittauksen ajaksi, mutta tulee avata ennen jännitteen uudelleenkytkentää.

Jännitekokeen tekemistä työkoneille ei velvoiteta standardissa SFS-EN 60204-1:2006. Jännitekokeen tekeminen mahdollistaa kuitenkin vikojen löytymisen järjestelmästä, mitkä saattavat muuten jäädä löytymättä ja aiheuttaa sattumien summana vaaratilanteen laitteen käyttäjälle.

Jännitekokeessa koejännitteen annetaan vaikuttaa n. yhden sekunnin ajan pääpiiriin johtimien (vaiheet ja nolla) ja suojajohtimen välillä. Koe on hyväksytty, mikäli läpilyöntiä ei mittausspiirissä tapahdu. Jännitekoe joudutaan tekemään käytännössä sähköjärjestelmän osakokonaisuuksille, koska jännitekokeen ajaksi on virtapiireistä irrotettava sellaiset komponentit, jotka eivät kestä käytettävää koestusjännitettä. Lisäksi sellaiset järjestelmän osat tai komponentit voidaan jättää koestamatta, mitkä on jo koestettu valmistajan toimesta niitä koskevan tuotestandardin mukaisesti.

Jännitekokeen tekemisestä on mielekästä tehdä erillinen ohje, jotta se tulisi tehtyä tarkastajan toimesta samalla tavalla ja turhilta komponenttien rikkoutumisilta voitaisiin välttyä. Myös pöytäkirjaan tulisi tehdä merkintä jännitekokeen tekemisestä. Lisäksi koeksessa käytety(t) jännitetasot tulisi merkitä ylös.

5.3.2 Jännitteelliset mittaukset

Jännitteelliseen sähkölaitteistoon tehtävät tarkastusmittaukset ovat syötön automaattisen poiskytkennän todennus, vikavirtasuojakytkinten koestus, napaisuuden ja moottoreiden kiertosuunnan tarkistus, jäännösjännitemittaukset ja sähköjärjestelmän toiminnalliset testit. Ennen jännitteellisten mittausten suorittamista tulisi jännitteettömissä mittauksissa löytyneiden vikojen ja puutteiden olla korjattuna. Tämä lisää käyttöönotto tarkastuksen jännitteellisten mittausten tekemisen turvallisuutta. Erityisesti suojajohtimien jatkuvuus tulisi olla hyväksytysti todennettuna.

Automaattisen poiskytkennän todennusta ei tarvitse tehdä kattavana. Tarkastukset tulee tehdä jokaisesta keskuksista ja kunkin keskuksen epäedullisimmiksi arvioituista pisteistä. Jokaista sulakekokoa ja tyyppiä sekä johdintyyppiä ja sen poikkipinta-alaa kohden yksi tai muutama mittaus, ellei muuten voida varmistua kaikissa tapauksissa nopean poiskytkennän toteutumisesta. Pöytäkirjaan tulisi merkitä mitatut ryhmät/sulakkeet mittaustuloksineen (oikosulkuimpedanssi ja -virta).

Työkoneen sähköjärjestelmän vaihejärjestys on syytä todeta jokaisesta keskuksista sekä silmämääräisesti, että mittaamalla. Mittauspisteinä voidaan käyttää nousukaapelin liitäntä pistettä.

Vikavirtasuojat tulee testata testipainikkeella ja nimellistoimintavirralla. Laukaisuaikaa ei tarvitse mitata, kun asennetaan uusi vikavirtasuojaj lisäsuojana virtapiiriin, mutta tällaisessakaan tapauksessa laukaisuajan mittauksesta ei ole haittaa. Vikavirtasuojan toimintavirran suuruus saadaan selville testaamalla suoja nousevalla vikavirralla. Tarkastuspöytäkirjaan on hyvä merkata vikavirtasuojakohtaisesti tehdyt mittaukset ja saadut mittaustulokset.

Mikäli työkoneen kokoonpanolliset seikat mahdollistavat, että sähkö tarkastuksen yhteydessä voidaan tehdä pienjännitteellisten toimilaitteiden, kuten moottorikäyttöjen, (muuntajat ja lämmittimet) laadullisia ja toiminnallisia todennuksia, on ne luonnollista liittää osaksi sähkö tarkastusta.

5.4 Moottorikäyttöjen todentaminen

Työkoneissa on erilaisia toiminnallisuuksia, joissa käytetään erilaisia sähkömoottoreita (oikosulku-, tasavirta-, servo- ja karamoottoreita). Käytetyt moottorikäytöt voivatkin olla hyvin erilaisia kytkennöiltään ja toiminnoiltaan.

Moottorikäytön tarkastuksessa on syytä ensiksi varmistua siitä, että kytkennät ja asennetut komponentit ja suojalaitteiden asettelut vastaavat sähködokumentointia, ja että käytöstä löytyy oikeanlainen moottori (kilpiarvot). Lisäksi asennetussa moottorissa käytetty kytkentä (Y tai D) soveltuu moottorille käytettäväksi syötön jännitetasossa. Moottorin kiinnitys tulee tarkistaa ennen sen käynnistämistä kuin myös moottorin akselin vapaa pyörintä. Kunnossa olevan moottorin akselin saa pyörimään helposti käsivoimin ja akselin pyörinnän tulisi olla äänetöntä.

5.4.1 Perinteinen oikosulkumoottorikäyttö

Moottorikäytön tarkastusmittaukset on syytä aloittaa moottorin käämien eristysresistanssin mittaamisella, mikäli sitä ei ole tehty asennusvaiheessa. Eristysresistanssi tulisi määrittää vaihekäämien väliltä sekä vaihekäämien ja moottorin rungon väliltä. Mitattaessa eristysresistanssi moottorin jokaisesta vaihekäämistä erikseen moottorin runkoon nähden, tulisi moottorikaapeli ja liitäntäkotelon kytkentäliuskat irrottaa käämien navoista mittauksen ajaksi. Mikäli halutaan samalla eristysresistanssimittauksella todeta myös käämien välisten eristysten toimivuus, yhdistetään mittauksen ulkopuolella olevien vaiheiden käämit moottorin runkoon mittauksen ajaksi. Saadut resistanssi arvot kirjataan ylös, mitä voidaan käyttää myöhemmin vertailuarvoina moottorin käämien kunnoseurannassa. Itse mittauksessa mittausjännitteen tulee olla vähintään moottorin nimellijännitteen suuruinen, mutta enintään 1000 V. Eristysvastuksen hyväksyty suuruus riippuu valmistajasta ja moottorin tehollisesta koosta. Moottorin valmistaja ilmoittaa moottorin

teknisessä dokumentoinnissa pienimmän sallitun eristysresistanssin, mutta nyrkkisään-
tönä voidaan pitää 1 M Ω (1000 V, 20 °C). Mittauksessa on huomioitava, että eristysvas-
tuksen arvo pienentyy lämpötilan noustessa ja on esimerkiksi 60 °C asteen lämpötilassa
vain n. 30 % siitä mitä se on 25 °C lämpötilassa. Moottorin käämien kunto voidaan to-
dentaa myös mittaamalla moottorin vaihevirratt, (I1, I2 ja I3) moottorilähdöstä pihtiam-
peerimittarilla. Mikäli vaihevirratt poikkeavat toisistaan yli 5 %, on moottorin käämityk-
sessä vikaa.

Lisäksi moottorilähdöstä tulee todentaa ennen moottorin käynnistystä, että käytön syöt-
tökaapelin suojajohtin on jatkuva keskuksen maadoituskiskon ja moottorin rungon vä-
lillä, lähdön eristysresistanssi kontaktorien ja mahdollisen käynnistimen jälkeisestä vir-
tapiiristä on > 1M Ω (myös vaiheiden välillä), kosketusjännitteen automaattisen poisky-
kennän toimivuus ja, että moottorille on kytketty kaikki pääjännitteet, (L1-L2, L2-L3 ja
L1-L3). Pääjännitteet voidaan mitata moottorilähdön riviliittimiltä tai kontaktorilta. Jo-
kaisesta mittauksesta, tulisi saada arvoksi verkon pääjännite, johon moottori on kytket-
ty.

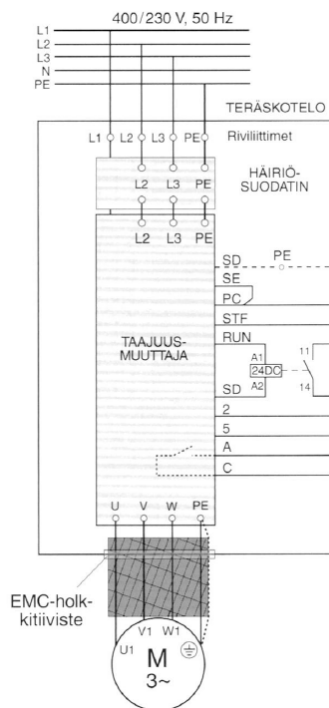
Moottorin akselilla oleva kuorma tulisi mahdollisuuksien mukaan irrottaa sen ensim-
mäisessä käynnistyksessä, jotta moottorin akselin mahdollinen väärä kiertosuunta ei
rikkooisi työkoneneen laitteistoa. Moottorin kuormallisen akselinpää (D, drive end) tulisi
pyöriä myötäpäivään, kun kytkentä tehty seuraavasti L1-U, L2-V ja L3-W. Moottorin
tuulettimen oikea pyörimissuunta on tässä yhteydessä myös todennettavissa.

5.4.2 Taajuusmuuttajakäyttö

Taajuusmuuttajakäytön käyttöönottotarkastuksessa on huomioitava, että taajuusmuutta-
ja saattaa vaikuttaa käyttöönottotarkastuksen mittauksiin sekä vaurioitua käytetyistä
testausjännitteistä. Tämän vuoksi taajuusmuuttaja tulee erottaa virtapiiristä eristysresis-
tanssimittauksen ja jännitekokeen ajaksi.

Taajuusmuuttajan piiristä irrottamisen myötä on erikseen mitattava taajuusmuuttajan
edeltävä ja jälkeinen sähköjärjestelmä. On suotavaa, että ennen syötön kytkemistä taa-
juusmuuttajaan olisi käytöstä todennettu syötön suojajohtimen jatkuvuus, automaattisen
poiskytkennän toiminta ja syöttöjännitteen tasot. Taajuusmuuttajan jälkeisestä piiristä

on tarkistettava moottorikaapeloinnin ja moottorin käämien eristysresistanssit ja suoja-johtimen jatkuvuus. Tarkastusmittaukset on tehtävä ennen moottorikaapelin kiinnittämistä taajuusmuuttajaan. Kaapeleiden eristysmittaus on syytä tehdä myös vaiheiden väliltä. Tyypillinen taajuusmuuttajakäyttö on nähtävissä kuviossa 7.



Kuvio 7. Taajuusmuuttajakäyttö (Ahoranta 2011. 302)

Taajuusmuuttajakäyttö koostuu häiriösuojasta, taajuusmuuttajasta, moottorinsyöttökaapelista ja moottorista (kuvio 7). Turvallisinta on kytkeä syöttö taajuusmuuttajaan vasta siinä vaiheessa, kun käytölle tehdään koekäyttö, koska riippuen taajuusmuuttajan asetuksista saattaa taajuusmuuttaja antaa jännitteen ulostuloihin heti sen verkkoon kytkemisen jälkeen. Taajuusmuuttajakäytön koekäyttö on hyvä sisällyttää sähkötarkastukseen, mikäli työkoneneen muu laitteisto ja testausympäristö mahdollistavat taajuusmuuttajakäytön käyttöarvojen mittaamisen. Ennen koekäyttöä tulee taajuusmuuttajaan asettaa sovelluskohtaiset parametrit. Aseteltavia parametreja ovat käytön moottorin nimellisarvot (jännite, taajuus, virta, pyörimisnopeus, teho ja $\cos \varphi$) ohjattavan prosessin määrittelemät moottorin ohjausparametrit (minimi- ja maksimitaajuus, momenttikäyrä, käynnistys- ja pysäytysasetukset ja moottorin ylivirtaraja) ja lukitus- ja estoparametrit. Moottorin oikosulkusuojaus ja ylivirtasuojaus toteutetaan taajuusmuuttajan ylivirtarajan parametrisoinnilla, jonka arvo tulisi dokumentoida mittauspöytäkirjaan.

Käytön häiriösuojan toimivuus on mielekästä todentaa mittaamalla syöttävän verkon jännitesärö ennen käytön kytkemistä verkkoon ja kytkemisen jälkeen. Käytön synnyttämän särön suuruus on syytä merkitä tarkastuspöytäkirjaan. Mikäli taajuusmuuttajan jälkeisestä sähköjärjestelmästä halutaan tehdä jännite- ja virtamittauksia käytön ollessa päällä tulisi ne tehdä True RMS-mittalaitteella, jotta saadaan luotettavat mittaustulokset taajuusmuuttajan tuottamasta sinimuotoisen kaltaisesta jännitteestä ja virrasta.

5.4.3 Servokäyttö

Servokäytön käyttöönottotarkastus noudattelee pitkälle taajuusmuuttajakäytön käyttöönottotarkastusta. Käytöstä tarkistetaan erikseen servo-ohjaimen edeltävä ja jälkeinen sähköjärjestelmä.

Tarkistuksen ajaksi servokäytön ohjainyksikkö on hyvä irrottaa virtapiiristä mahdollisen rikkoutumisen estämiseksi. Ennen servokäytön jännitteistämistä tulisi käytöstä mitata kaapeloinnin suojajohtimen jatkuvuus, kaapeloinnin eristysresistanssi ja tehdä kaapeloinnin EMC-suojauksen todennus ja jännitekoelähdölle. Lisäksi käytön toiminta on koetettava parametrisoinnin jälkeen.

5.5 Pienjännitemuuntajan käyttöönottotarkastus

Työkoneiden keskuksessa voi olla myös pienjännitemuuntaja, jolla tehdään käyttöverkon jännite sopivaksi työkoneen sähköjärjestelmälle erityisesti moottorikäyttöille. Laitteeseen asennetusta kytkemättömästä pienjännitemuuntajasta tarkistetaan vaihekäämien välinen eristysresistanssi ensiö- ja toisiopuolelta, kaikkien vaihekäämien eristysresistanssi muuntajarunkoon nähden ja ensiö- ja toisiopuolen käämien välinen eristysresistanssi toisiinsa nähden. Saadut eristysresistanssi arvot merkitään tarkastuspöytäkirjaan.

Myös muuntajan rungon maadoitus todennetaan jatkuvuusmittauksella. Muuntajan ensiö- ja toisiopuolen kytkentä on tarkistettava, että ne vastaavat dokumentteja. On myös syytä todeta jännitemittauksin muuntajan toisiopuolen pääjännitteiden tasot.

5.6 Liukurenkailla varustetun kaapelikelaimen todentaminen

Ulkopuoleinen tehon syöttö sähkökäyttöiseen liikkuvaan työkoneeseen tuodaan yleensä kaapelilla, joka on varastoitu kelalle kaapelikelaimen. Kaapelikelain on varustettu liukurenkailla, joiden avulla teho siirto tapahtuu kelaimen ja laitteen sähköjärjestelmän välillä.

Kaapelikelaimen käyttöönotossa on kelaimesta todennettava seuraavat seikat:

- liukurenkaiden määrä ja kunto
- liitokset (visuaalisesti)
- hiiliharjojen paikoitus, tiukkuus ja kunto
- kytkentäkaapelien kireys liukurengas paketilla
- kytkentäkaapelien koko ja kunto
- kaapelin vedonpoiston toteutus
- liukurengaskotelon kannen rajakytkimen toiminta ja ohjauspiirin tarkastus
- liukurengaskotelon kannen maadoitus
- kaapelikelan pyörimissuuntien testaus
- kaapelikelan painerajan säätö
- kaapelikelan vastapaineen säätö
- kaapelikelan nopeuden säätö (ulospäin)
- kaapelikelan nopeuden säätö (sisäänpäin).

Lisäksi suojajohtimen jatkuvuus ja jännitteellisten johtimen eristysresistanssi suojamaahan nähden tulee mitata kaapelikelaimen liukurengasyksikön läpi syöttökaapelin päästä aina työkoneen keskuksen liitospisteeseen asti.

5.7 Todennusten dokumentointi

Tarkastusmittaukset tulee dokumentoida tarkastuspöytäkirjaan, jossa tulee esittää vähintään seuraavat tiedot:

- kaikkien eristysresistanssimittausten tulokset
- silmukkaimpedanssien mittaustulokset
- vikavirtasuojien mittaustulokset
- jatkuvuusmittausten todentamisen merkinnät

- moottoreiden ja keskusten kiertosuuntien tarkastuksen merkinnät.

Lisäksi pöytäkirjasta tulee käydä ilmi kohteen yksilöintitiedot, selvitys sähkölaitteiston säännösten ja määräysten mukaisuudesta ja yleiskuvaus käytetyistä tarkastusmenetelmistä. Tarkastusten tekijän on allekirjoitettava ja päivättävä tarkastuspöytäkirja.

Sarjatuotannossa pöytäkirjojen määrä ja niissä oleva tietomäärä kohoavat suureksi, mikä on pitkällä tähtäimellä haastava ylläpitää ja hallita. Käyttöönottotarkastuksista saatava mittaustieto onkin mielekästä tallentaa sähköiseen tietokantaan. Mittaustulokset voidaan tallettaa tietokantaan reaaliaikaisesti yksittäisen mittauksen jälkeen. Tietokannasta pystytään luomaan hakutoimintojen avulla tarkastuspöytäkirja tarkastuksen päätyttyä allekirjoitettavaksi. Tietokantaan tallennettu mittaustieto on helposti ja nopeasti analysoitavissa ja siten myös hyödynnettävissä suunnittelussa, tuotannon laadullisessa seuraamisessa, laadun parantamisessa ja takuuasioiden selvittelyssä. Tietokantapohjainen pöytäkirjajärjestelmä mahdollistaa myös yksityiskohtaisen mittauksen ohjauksen. Mittausohjeet mittaustulostietoon voidaan siirtää mittalaitteen näytölle sitä mukaa kuin mittaus etenee ja siten yhdenmukaistaa mittaustapahtuma eri tarkastajien välillä.

6 POHDINTA

Liikkuvien työkoneiden sähköjärjestelmät eroavat toisistaan merkittävästi työkoneiden erilaisuuden vuoksi. Työkoneen sähköjärjestelmä myötäilee koneelle asetettuja ja koneen asettamia vaatimuksia, mikä näkyy sähköjärjestelmissä käytetyissä ratkaisuisa, jännitetasoissa ja komponenttivalinnoissa. Kuitenkin sähköjärjestelmissä on paljon yhteneväisyyksiä, mikä on seurausta suunnittelua ohjeistavasta standardoinnista.

Liikkuvan työkoneen sähköjärjestelmän käyttöönottotarkastus on sidoksissa laitteen tuotannolliseen kokoonpanoon, joka osaltaan vaiheistaa käyttöönottotarkastuksen suorittamista. Työkoneiden erilaisuudesta johtuen, jokainen työkone malli vaatii oman käyttöönottotarkastussuunnitelman ja mittauspöytäkirjapohjan, joista käy selkeästi ilmi mittauksen kulku mittauksineen ja mittauspisteineen. Myös mittauksen hyväksytyt raja-arvot tulisi pöytäkirjassa olla esillä helpottamassa mittauksen tekemistä. Ennalta suunnitellulla ja ohjeistetulla mittaus- ja tarkastusohjeella mahdollistetaan tehokas ja harkittu työskentely tarkastuksessa. Sarjatuotantolaitteen tarkastusmittauksista syntyvä tietomäärä kasvaa suureksi, minkä vuoksi mittauksista saatava tieto olisi mielekästä tallentaa tietokantapohjaiseen sovellukseen, jota voidaan myös hyödyntää mittauksien ohjeistuksessa.

Työkoneen käyttöönottotarkastus tulee pohjautua konetyyppikohtaiseen tuotestandardiin tai mikäli konetyypiltä puuttuu tuotestandardi, tulee käyttöönottotarkastus tehdä standardin SFS-EN 60204-1:2006 mukaisesti. Yksityiskohtaiset mittausohjeet mittauspisteineen tulisi tehdä jokaiselle konemallille erikseen.

LÄHTEET

Ahoranta J. 2011. Kiinteistöjen sähköasennukset. 2.painos. WSOYpro Oy. Helsinki. ISBN 978-951-0-38574-6

Alkio J. 2014. SFS-EN 60204-1:2006 standardin koulutustilaisuuden materiaali. Henkilöstön koulutustilaisuus 24.4.2014. Sandvik Mining and Construction Finland Oy. Tampere.

Ankers M. & Green K. 2012. Yes Can do!. Advanced Lift-truck Technology International 2012. Viitattu 20.5.2014.
sa <http://viewer.zmags.com/publication/4f378ae8#/4f378ae8/2>

Aura L. & Tonteri A. 2006. Sähkökoneet ja tehoelektroniikan perusteet. WSOY. Porvoo. ISBN 951-0-20167-7

Hietalahti L. 2011. Sähkökäyttö- ja hybriditekniikka ajoneuvo- ja työkonekäyttöön. 1.painos. AMK-Kustannus Oy Tammertekniikka. Vantaa. ISBN 978-952-5491-71-5.

Hirvonen, S-M. 2014. Liikkuvan työkoneen turvallisuus. Automaation koulutusohjelma. Tampereen teknillinen yliopisto. Diplomityö.

Hokka, J. Automation Engineering Manager UG-drills. Sandvik Mining and Construction Finland Oy. 2014. Haastattelu 20.5.2014. Haastattelija Haka, J.

Koneturvallisuuden standardit – esite. 2014. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. Viitattu 20.5.2014. Saatavissa: <http://www.sfs.fi/files/63/koneturvallisuusesite2014web.pdf>

Pfeiffer, O. Ayre, A. and Keydel, C. 2008. Embedded Networking with CAN and CAN-open. 535 s. Copperhill Technologies Corporation

Saha H., CAN-väylä, Fluid Finland 4-2005 pp. 6-12.
sa: <http://www.canopen.fi/artikkelit/CAN.pdf>

Saastamoinen, A, 2007. ST-käsikirja 33. Rakennusten sähköasennusten tarkastukset. 2.uusittu painos. Tammer-Paino Oy. Tampere. ISBN 978-952-5600-59-9

SFS-EN 60204-1:2006 Koneturvallisuus. Koneiden sähkölaitteisto. Osa 1: Yleiset vaatimukset.

SFS-käsikirja 600-1. 2012. Sähköasennukset. Osa 1: SFS 6000 Pienjännitesähköasennukset.

Sähköturvallisuuslaki 14.6.1996/410

Tiainen E. 2010. D1-2009 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista. Sähkö- ja teleura-koitsijaliitto STUL ry. 17.painos. Painokurki Oy. Helsinki. ISBN 978-952-231-004-0

Tukes. 2013. LVD-Sähköturvallisuus. Luettu 21.5.2014 <http://www.tukes.fi/fi/Toimialat/Sahko-ja-hissit/Sahkolaitteet1/Sahkolaitteiden-vaatimukset/LVD-sahkoturvallisuus/>

Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta 12.6.2008/400

LIITTEET

Liite 1. Laadulliset raja-arvot työkoneneen sähkönsyötölle.

Taulukko 1. Vaihtosähkön raja-arvot (SFS-EN 60204-1:2006. 42)

AC, Vaihtosähkösyötöt	
Jännite	Jännitteen pysyvä tila 0,9 - 1,1 -kertainen nimellisjännitteestä
Taajuus	0,99 - 1,01 -kertainen nimellistaajuudesta (jatkuva)
	0,98 - 1,02 -kertainen nimellistaajuudesta (lyhytkestoinen)
Yliaallot	Toisesta viidenteen harmonisten yliaaltojen summana saatu suhteellinen yliaaltosisältö ei ylitä 10 % vaiheiden välisestä jännitteen tehollisarvosta (r.m.s.). 2 % lisäys vaiheiden välisestä jännitteen tehollisarvosta (r.m.s.) kuudennesta kolmanteenkymmenenteen harmonisten yliaaltojen summasta sallitaan.
Jännite-epäsymmetriat	Kolmivaihesyötön jännitteen vastakomponentin ja nollakomponentin arvo ei saa ylittää 2 % myötäkomponentin arvosta.
Jännitekatkos	Syötön jakson millä tahansa hetkellä esiintyvä jännitekatkos tai nollajännite ei ylitä 3 ms kestoaikaa. Peräkkäisten katkosten välisen ajan on oltava yli 1 s.
Jännitekuopat	Jännitekuopat eivät saa olla suurempia kuin 20 % syöttöjännitteen huippuarvosta yhtä jaksoa pitemmän ajan. Peräkkäisten jännitekuoppien välisen ajan on oltava yli 1 s.

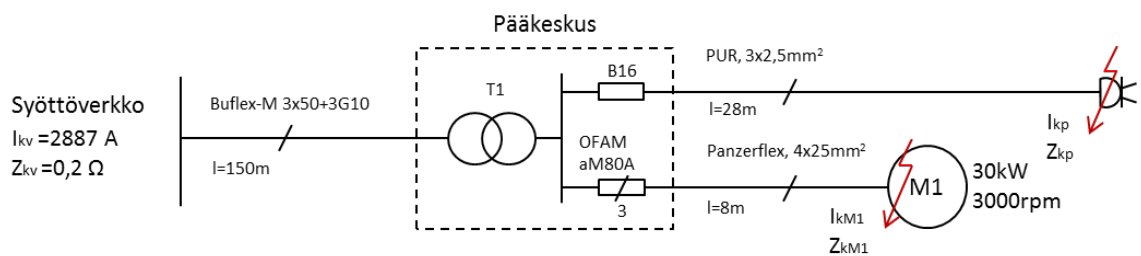
Taulukko 2. Tasasähkön raja-arvot (SFS-EN 60204-1:2006. 42)

DC, Tasasähkösyötöt	Paristo-, ja akkusyötöt	Muuttajalaitesyötöt (konvertteri)
Jännite	0,85 - 1,15-kertainen nimellisjännitteestä ja 0,7 - 1,2 -kertainen nimellisjännitteestä, kun kyseessä on akkukäyttöinen ajoneuvo.	0,9 - 1,1 -kertainen nimellisjännitteestä
Jännitekatkos	Ei ylitä 5 ms.	Ei ylitä 20 ms. Peräkkäisten jännitekatkosten välisen ajan on oltava vähintään 1 s.
Vaihtosähkökomponentti		Ei ole yli 0,15 -kertainen nimellisjännitteestä (huipusta huippuun)

Liite 2. Vikavirtapiirin impedanssin ja oikosulkuvirran laskentaesimerkki

1(5)

Esimerkissä työkonene on liitetty nousukaapelilla 1kV:n syöttöverkkoon, (TN-C). Työkoneessa on oma muuntaja, jonka muuntosuhde on 1kV/0,4kV. Työkoneessa käytetään TN-S:n mukaista sähköjärjestelmää. Tarkastellaan laskennallisesti kosketusjännitesuojauksen toiminnallisuutta kahdessa eri oikosulkutapauksessa, (kuvio 1).



Kuvio 1. Työkoneen sähköjärjestelmä.

Pienin oikosulkuvirta, jonka tulisi pystyä laukaisemaan kosketussuoja määritetyssä poiskytkentäajassa, syntyy 1-vaiheisessa oikosulussa. Työkoneissa syötön poiskytkentäaika moottorilähdössä katsotaan riittävän lyhyeksi, kun se ei ylitä 5 sekuntia. Pistorasian suojauksen tulee kuitenkin toimia 0,4 sekunnissa, kun siihen voidaan liittää luokan 1 kädessä pidettävä tai siirrettävä sähkölaite. Yksivaiheinen oikosulku saadaan laskettua yhtälöllä 1 (Tiainen 2010. 92–93).

$$I_k = c \cdot U / (\sqrt{3} \cdot Z_v) , \quad (1)$$

missä Z_v on oikosulkuvirtapiirin impedanssi, [Ω]

c on kerroin, joka ottaa huomioon jännitteenalenneman,

U on verkon pääjännite, [V]

I_k on oikosulkuvirta, [A].

1) Moottorilähdön yksivaiheinen oikosulkuvirta

Määritetään ensiksi oikosulkuvirtapiirin impedanssi, Z_{kM1} , joka muodostuu syöttöverkon Z_{kv} , nousukaapelin, Z_j , muuntajan, Z_M ja moottorikaapelin Z_{jm} , impedanssista.

(jatkuu)

2(5)

Nousukaapelin oikosulkuimpedanssi, Z_j saadaan laskettua yhtälöllä 2 seuraavasti (Tiainen 2010. 92–93)

$$Z_j = l \cdot (R_j + jX_j), \quad (2)$$

missä l on kaapelin pituus, [km]

R_j kaapelin resistanssiarvo +80 °C:ssa, [Ω /km]

X_j kaapelin reaktanssiarvo +80 °C:ssa [Ω /km].

Nousukaapelina käytetään Buflex-M 3x50+3G10, jonka vaihejohtimen resistanssi on 0,490 Ω /km (80 °C) ja reaktanssi on 0,078 Ω /km (80 °C). Kaapelin PE-johtimen vastausarvot ovat 2,41 Ω /km (80 °C) ja 0,087 Ω /km (80 °C).

Vaihejohtimen impedanssiksi saadaan 1000V tasossa

$$Z_{jV 1000V} = 0,15 \text{ km} \cdot \left(0,490 \frac{\Omega}{\text{km}} + j0,078 \frac{\Omega}{\text{km}} \right) = 0,0735 \Omega + j0,0117 \Omega$$

ja nousukaapelin PE- johtimen, (3 rinnakkain) impedanssiksi

$$Z_{jPE 1000V} = 0,15 \text{ km} \cdot \left(\left(3 \cdot \left(2,41 \frac{\Omega}{\text{km}} + j0,087 \frac{\Omega}{\text{km}} \right)^{-1} \right)^{-1} \right)$$

$$Z_{jPE 1000V} = 0,1205 \Omega + j0,0044 \Omega .$$

Redusoidaan nousukaapelin vaiheen ja PE-johtimen oikosulkuimpedanssit 400 voltin jännitetasoon yhtälön 3 mukaisesti (Aura & Tonteri 2006. 7–38)

$$Z'_j = \left(\frac{U_{1n}}{U_{2n}} \right)^2 \cdot Z_j, \quad (3)$$

missä Z'_j on johtimen impedanssi alemmassa jännitetasossa, [Ω]

Z_j on johtimen impedanssi ylemmässä jännitetasossa, [Ω]

U_{1n} on muuntajan toision jännite, [V]

U_{2n} on muuntajan ensiön jännite, [V].

(jatkuu)

3(5)

Vaihejohdin

$$Z'_{jV\ 400V} = \left(\frac{400V}{1000V}\right)^2 \cdot (0,0735\ \Omega + j0,0117\ \Omega) = 0,0118\ \Omega + j0,0019\ \Omega$$

PE- johdin

$$Z'_{jPE\ 400V} = \left(\frac{400V}{1000V}\right)^2 \cdot (0,1205\ \Omega + j0,0044\ \Omega) = 0,0193\ \Omega + j0,0007\ \Omega .$$

Määritetään muuntajan oikosulkuimpedanssi, Z_M yhtälön 4 avulla (Aura & Tonteri 2006. 7–38)

$$Z_M = R_M + jX_M = z_k \cdot \frac{U_N^2}{S_N}, \quad (4)$$

missä R_M on muuntajan oikosulkuresistanssi, [Ω]

X_M on muuntajan oikosulkureaktanssi, [Ω]

z_k on muuntajan suhteellinen oikosulkuimpedanssi, [%]

U_N on muuntajan ensiöjännite, [V]

S_N on muuntajan nimellinäennäisteho, [VA].

Laskennassa tarvittavat työkoneen muuntajan arvot ovat seuraavat:

$$S_N = 100\text{kVA},$$

$$U_{1N}/U_{2N} = 1000\text{V}/400\text{V},$$

$$z_k = 4\ \% \text{ ja}$$

$$P_k = 1300\ \text{W}.$$

Oikosulkuimpedanssiksi saadaan siten

$$Z_{M\ 1kV} = 0,04 \cdot \frac{1000^2}{100\text{kVA}} = 0,4\ \Omega .$$

Määritetään muuntajan oikosulkuresistanssi ja -reaktanssi. Muuntajan oikosulkuresistanssi, R_M saadaan laskettua yhtälöllä 5 ja oikosulkureaktanssi, X_M yhtälöllä 6 (Aura & Tonteri 2006. 7–38)

$$R_{M\ 1kV} = \frac{P_k}{S_N} \cdot \frac{U_N^2}{S_N}, \quad (5)$$

missä P_k on muuntajan kuormitushäviöt, [W]

(jatkuu)

4(5)

U_N on muuntajan ensiöjännite, [V]

S_N on muuntajan nimellinäennäisteho, [VA].

Muuntajan oikosulkureaktanssi

$$X_{M\ 1kV} = \sqrt{Z_M^2 - R_M^2}. \quad (6)$$

Muuntajan oikosulkuresistanssiksi saadaan

$$R_{M\ 1kV} = \frac{1300W}{100kVA} \cdot \frac{1000V^2}{100kVA} = 0,13\ \Omega$$

ja oikosulkureaktanssiksi

$$X_{M\ 1kV} = \sqrt{0,4\Omega^2 - 0,13\Omega^2} = 0,3783\ \Omega,$$

jolloin muuntajan oikosulkuimpedanssi on

$$Z_{M\ 1kV} = 0,13\ \Omega + j0,3783\ \Omega$$

Redusoidaan muuntajan oikosulkuimpedanssi muuntajan alajännitepuolelle

$$Z'_{M\ 400V} = \left(\frac{U_{1n}}{U_{2n}}\right)^2 \cdot Z_{M\ 1kV} = \left(\frac{400V}{1000V}\right)^2 \cdot (0,13\ \Omega + j0,3783\ \Omega)$$

$$Z'_{M\ 400V} = 0,0208\ \Omega + j0,0605\ \Omega.$$

Lasketaan moottorin syöttökaapelin impedanssi. Moottorin syöttökaapelina käytetään Panzerflex, 4x25mm², jonka resistanssi on 0,986 Ω /km (80 °C) reaktanssi 0,082 Ω /km (80 °C).

$$Z_{jm} = 0,008\ \text{km} \cdot (0,986\ \Omega + j0,082\ \Omega) = 0,0079\ \Omega + j0,0007\ \Omega$$

Redusoidaan syöttöverkon impedanssi, Z_{kv} 400V jännitetasoon

$$Z'_{kv\ 400V} = \left(\frac{U_{1n}}{U_{2n}}\right)^2 \cdot Z_{kv\ 1kV} = \left(\frac{400V}{1000V}\right)^2 \cdot (0\ \Omega + j0,2\ \Omega) = 0\ \Omega + j0,032\ \Omega.$$

Kun tiedetään kaikki piirin impedanssiarvot, voidaan moottorilähdön kokonaisuikosulkuimpedanssi, Z_{kM1} laskea.

(jatkuu)

5(5)

$$Z_{kM1} = Z'_{kv\ 400V} + Z'_{jV\ 400V} + Z'_{jPE\ 400V} + Z'_{M\ 400V} + Z_{jm}$$

$$Z_{kM1} = (0\ \Omega + j0,032\ \Omega) + (0,0118\ \Omega + j0,0019\ \Omega) + (0,0193\ \Omega + j0,0007\ \Omega) + \\ (0,0208\ \Omega + j0,0605\ \Omega) + (0,0079\ \Omega + j0,0007\ \Omega)$$

$$Z_{kM1} = (0,0598\ \Omega + j0,0958\ \Omega)$$

Moottorilähdön oikosulkuvirraksi, I_{kM1} saadaan yhtälön 1 avulla

$$I_{kM1} = 0,9 \cdot 400V / (\sqrt{3} \cdot (0,0598\ \Omega + j0,0958\ \Omega)) = 974A.$$

Laskennasta saatu oikosulkuvirta, 974 A on suurempi kuin aM80A sulakkeen vaatima 650 A virta vaaditulla 5 s poiskytkentäajalla. Lähdön kosketusjännitesuojaus voidaan siten todeta toimivaksi.

2) Pistorasian yksivaiheinen oikosulkuvirta

Lasketaan pistorasian syöttökaapelin impedanssi, Z_{jp}

$$Z_{jp} = 0,028\ \text{km} \cdot (8,770\ \Omega + j0,1100\ \Omega) = 0,2456\ \Omega + j0,0031\ \Omega$$

Lasketaan pistorasialähdön kokonaisuikosulkuimpedanssi, Z_{kp} . Käytetään hyödyksi edellä laskettuja impedanssin arvoja.

$$Z_{kp} = Z'_{kv\ 400V} + Z'_{jV\ 400V} + Z'_{jPE\ 400V} + Z'_{M\ 400V} + Z_{jp}$$

$$Z_{kp} = (0\ \Omega + j0,032\ \Omega) + (0,0118\ \Omega + j0,0019\ \Omega) + (0,0193\ \Omega + j0,0007\ \Omega) + \\ (0,0208\ \Omega + j0,0605\ \Omega) + (0,2456\ \Omega + j0,0031\ \Omega)$$

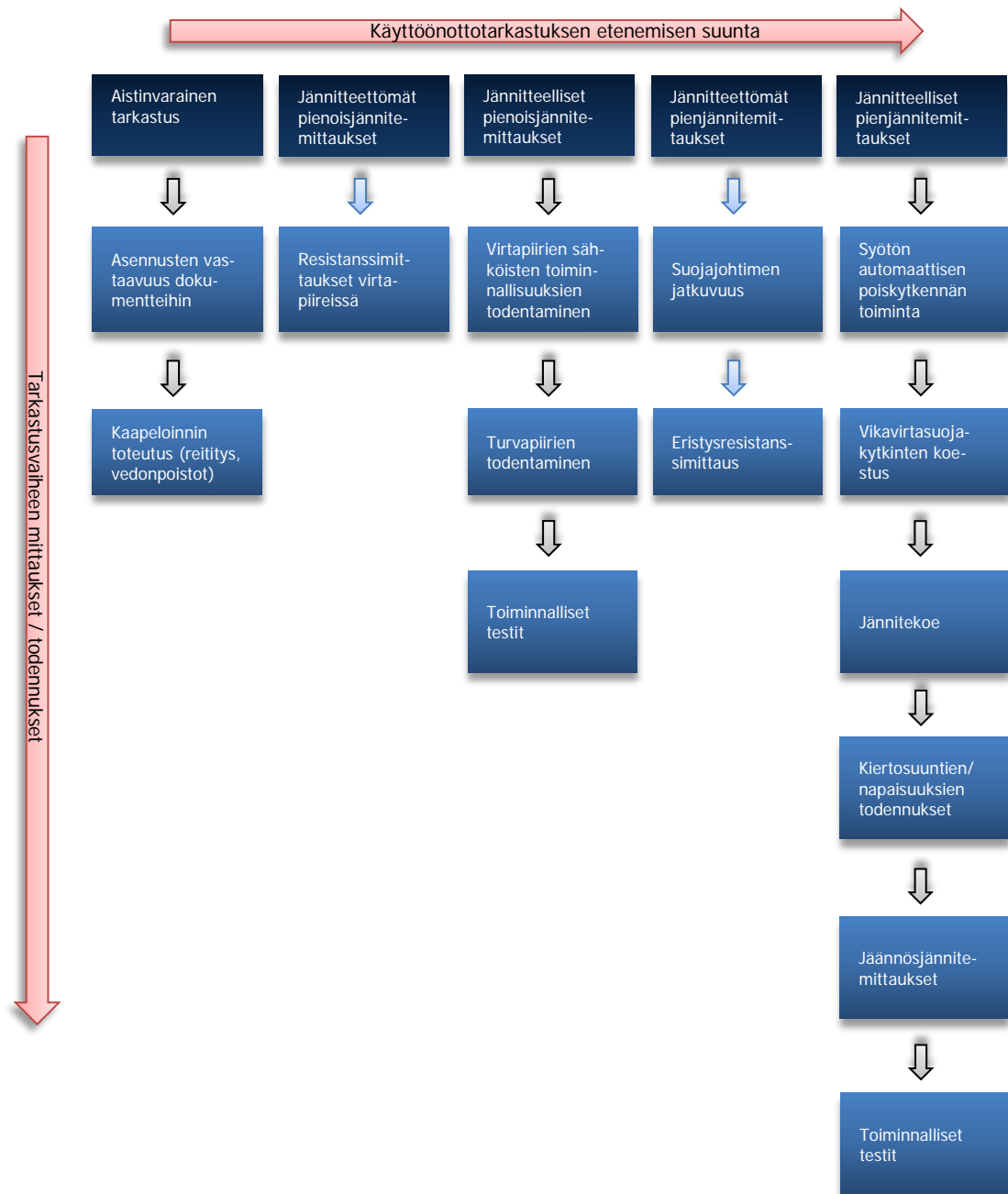
$$Z_{kp} = (0,2975\ \Omega + j0,0982\ \Omega)$$

Pistorasialähdön oikosulkuvirraksi, I_{kp} saadaan siten

$$I_{kp} = 0,9 \cdot 400V / (\sqrt{3} \cdot (0,2975\ \Omega + j0,0982\ \Omega)) = 630A$$

Saatu oikosulkuvirta 630 A on huomattavasti suurempi kuin C16-johdonsuojalta vaadittu 160 A, joten pistorasian kosketussuojauksen automaattinen poiskytkentä voidaan todeta toimivaksi.

Liite 3. Sähköjärjestelmän käyttöönottotarkastuksen vaiheet.



Kuvio 1. Liikkuvan työkonteen sähköjärjestelmän käyttöönottotarkastuksen etenemisen vaiheet.

Liite 4. Standardin SFS 6000-61.2 mukaiset aistinvaraiset tarkastukset.

Standardin SFS 6000-61.2 määrittelemä aistinvarainen tarkastus pitää sisällään seuraavat todennukset sähköjärjestelmälle:

- sähköiskulta suojaukseen käytettyjen menetelmät
- palosuojauksien käyttö ja muut palon leviämisen estämiseksi ja lämpövaikutuksilta suojaamiseksi tehdyt toimenpiteet
- johtimien valinta kuormitettavuuden, sallitun jännitteen aleneman ja häiriösuojauksen kannalta
- suoja- ja valvontalaitteiden valinta ja asettelu
- erotus- ja kytkentälaitteiden valinta ja oikea sijoitus
- sähkölaitteiden ja suojausmenetelmien valinta ulkoisten tekijöiden vaikutuksen mukaan
- nolla- ja suojajohtimien tunnuksot
- yksivaiheisten kytkinlaitteiden kytkentä äärijohtimiin
- piirustusten, varoituskilpien tai vastaavien tietojen olemassaolo
- virtapiirien, varokkeiden, kytkimien, liittimien, yms. merkinnät
- johtimien liitosten sopivuus
- suojajohtimien, potentiaal- ja lisäpotentiaalitasausjohtimien olemassa olo ja sopivuus
- sähkölaitteiston käytön, tunnistamisen ja huollon vaatima tila