

**KEMI-TORNION AMMATTIKORKEAKOULU
TEKNIikka**

Kuusela Esa

**Mittalaitteiden seurannan kehittäminen
sähköurakointiyrityksessä**

Sähkötekniikan koulutusohjelman opinnäytetyö
Sähkövoimatekniikka
Kemi 2010

TIIVISTELMÄ

Kemi-Tornion ammattikorkeakoulu, Tekniikan yksikkö	
Koulutusohjelma	Sähkötekniikka
Opinnäytetyön tekijä	Esa Kuusela
Opinnäytetyön nimi	Mittalaitteiden seurannan kehittäminen sähköurakointiyrityksessä
Työn laji	Opinnäytetyö
päiväys	11.11.2010
sivumäärä	45 + 2 liitesivua
Opinnäytetyön ohjaaja	Ins. Antero Martimo
Yritys	Paikallis-Sähkö Oy
Yrityksen yhteyshenkilö/valvoja	Ins. Leena Poutiainen

Sähköurakointitoiminnan harjoittajalta vaaditaan mittauskalustoa sähköasennusten turvallisuuden varmistamiseen. Sähköurakoitsijan valikoimasta löytyvät mittalaitteet sähköturvallisuuteen, sähkön laatuun, tehon analysointiin, vian hakuun, optiseen ja sähköiseen tietoverkkoon sekä moneen muuhun mittaukseen.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on kehittää sähköurakointiyrityksen laatujärjestelmää sähkölaitteistojen käyttöönotossa tarvittavien mittalaitteiden osalta. Opinnäytetyö on tehty sähköurakointiyritykselle, joka toimii pääasiassa Kainuun ja Oulun talousalueilla. Sillä on ollut käytössä yrityksen oman laatujärjestelmän piiriin kuuluva mittalaiteluettelo sekä mittalaitteille yksilöidyt tarkastusohjeet. Sähköurakointitoiminnan laajennuttua ja mittalaitteiden määrän lisääntyä on tullut tarpeelliseksi tarkistaa mittalaitteiden tarkistusmenetelmää ja kehittää mittalaiteluettelo vastamaan paremmin tarkoitustaan.

Työn tarkoituksena on päivittää mittalaiteluettelo sekä mittalaitteiden tarkastusohjeet vastaamaan nykytilannetta ja kehittää mittalaitteiden vertailumittausjärjestelmää, jonka avulla voidaan itse varmentaa mittalaitteiden luotettavuus käyttöönottomittauksissa.

Työn lopputuloksena sähköurakointiyrityksen mittalaiteluettelot saatiin ajan tasalle ja niitä kevennettiin poistamalla testauslaitteet. Mittalaiteluettelon toimintaa tehostettiin laatimalla uudenlainen pohja, joka automaattisesti lähettää sähköpostiviestin muistutukseksi kalibroinnista. Yrityksen omaa vertailumittausjärjestelmää kehitettiin Excel-taulukkopohjaisella työkirjalla, joka syötetyistä mittauksista laskee mittausepävarmuuden ja ilmoittaa, onko mittalaitteen toiminta vaatimusten rajoissa.

Asiasanat: mittauslaitteet, kalibrointi, laatujärjestelmät.

ABSTRACT

Kemi-Tornio University of Applied Sciences, Technology	
Degree Programme	Electrical Engineering
Name	Esa Kuusela
Title	Developing monitoring of measuring instruments in electrical contracting company
Type of Study	Bachelor's Thesis
Date	11 November 2010
Pages	45 + 2 appendixes
Instructor	Antero Martimo, BSc (El.eng)
Company	Paikallis-Sähkö Oy
Supervisor from Company	Leena Poutiainen, BSc (El.eng)

The Reason of this Bachelor's Thesis is the developing of a company's instrument list and the reference measurement equipment for electrical safety testers used in the introduction of the electrical equipment. The electrical contractor company is required to ensure safety of the electrical installations. This thesis is made for an electrical company which operates in Kainuu area and also nearby the city of Oulu. Company's certificated quality management system contains instrument list and inspection instructions for electrical measuring equipment for testing and measuring.

The aim of this study was to insure that the requirements of the authorities and electrical safety are met when it comes to measuring devices. The further developing of the company's metrological confirmation system for electrical measuring equipment was included.

As a results of this study, company's instrument list was updated, which contained removing unnecessary measuring devices from it. In addition, automatic e-mail notification was created into the instrument list.

Keywords: electricity safety quality, certification.

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ.....	I
ABSTRACT.....	II
SISÄLLYSLUETTELO.....	III
KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET.....	V
1. JOHDANTO.....	1
2. TERMINOLOGIA.....	2
3. MITTAUKSIA KOSKEVAT MÄÄRÄYKSET.....	4
3.1. Turvallisuusmääräykset.....	4
3.2. Laadunvarmistusvaatimukset.....	5
4. MITTALAITTEITA KOSKEVAT MÄÄRÄYKSET.....	7
5. KÄYTTÖÖNOTTOMITTAUKSET.....	8
5.1. Mittausten teoria.....	9
5.2. Eristysresistanssin mittaaminen.....	10
5.3. Suojajohtimen jatkuvuuden mittaaminen.....	11
5.4. Jännitteenmittaus.....	13
5.5. Kiertosuunnan tarkistus.....	14
5.6. Syötön automaattisen poiskytkennän mittaaminen.....	15
5.6.1. Vikasuojaus.....	15
5.6.2. Oikosulkusuojaus.....	17
5.7. Vikavirtasuojan toiminnan testaus.....	21
5.8. Moottoreiden ylivirtasuojaus.....	23
6. OMAN TYÖN VARMENNUSOIKEUS.....	24
7. MITTALAITTEET.....	25
7.1. Mittalaiteluettelo.....	25
7.2. Mittalaitteiden hankinta.....	26
7.3. Asentamisvaiheessa käytetyt mitta- ja testauslaitteet.....	26
7.4. Käyttöönottotarkastuksen mittalaitteet.....	26
7.5. Epätarkkuuden esittäminen.....	27
8. MITTAUSEPÄVARMUUS.....	28
8.1. Sisäinen epävarmuus.....	28
8.2. Sisäisen epävarmuuden määrittäminen.....	29
8.3. Ulkoinen epävarmuus.....	29
8.4. Ulkoisen epävarmuuden määrittäminen.....	29
8.5. Epävarmuuksien yhdistäminen ja laajennettu epävarmuus.....	30
9. VERTAILUMITTAUSMENETELMÄ.....	32
9.1. Menetelmä yleisesti.....	32
9.2. Organisointi.....	32
9.3. Tarkastettavat toiminnot.....	33
10. VERTAILUMITTAUSJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU.....	34
10.1. Tarkastusvälin määrittäminen.....	35
11. VERTAILUMITTAUKSEN LAITTEET.....	36
11.1. Pienohmimittaus.....	36
11.2. Jännitteen ja virran mittaaminen.....	37
11.3. Silmukkaimpedanssin mittaaminen.....	37

11.4.	Vikavirtasuojakytkimen testaus	39
11.5.	Eristysresistanssin mittauksen varmennus	39
12.	VERTAILUMITTAUKSEN DOKUMENTOINTI.....	41
13.	YHTEENVETO	42
14.	LÄHDELUETTELO	43
15.	LIITELUETTELO	45

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

ISO	International Organization of Standardization
KTMp	Kaupp- ja teollisuusministeriön päätös
SI	Kansainvälinen mittayksikköjärjestelmä

1. JOHDANTO

Sähköurakointiyrityksellä on sen omaa toimintaa ohjaava laatujärjestelmä. Laatujärjestelmän päämääränä on turvata tuotteen ja palvelun laatu, sähköliikkeellä erityisesti asennustyön laatu. Sähköurakoitsijalla erityisenä tavoitteena on laatujärjestelmän avulla osoittaa sähköturvallisuuslain vaatimukset.

Laatujärjestelmä vaatii tarkastus-, mittaus- ja testauslaitteiden seuranta. Seurannan avulla voidaan varmistua niiden avulla saatujen tulosten ja tietojen oikeellisuudesta. Sähköasennusten varmentamisessa käytettävät mittalaitteet ovat pääasiassa erilaisia asennustestereitä, joilla ensisijaisesti varmistutaan järjestelmän toimivuudesta, eikä niinkään mittaustulosten ehdottomasta tarkkuudesta.

Yrityksen laatujärjestelmään sisältyy mittalaiteluettelo, jossa sähköasennusten tarkastamiseen ja testaamiseen käytettävät mittalaitteet on lueteltu. Jokaiselle mittalaitteelle on annettu yksilöllinen juokseva seurantanumero. Nykyisen käytännön mukaan mittalaitteet on luokiteltu kahteen luokkaan niiden tarkastusohjeiden mukaan.

- Tarkastusohje 1 koskee toimipaikassa säilytettäviä, referenssilaitteina käytettäviä mittalaitteita. Nämä mittalaitteet kalibroidaan ja tarkastetaan akkreditoidussa kalibrintilaitoksessa.
- Tarkastusohje 2 on yleinen ohje, joka koskee muita mittaus- ja testilaitteita. Nämä mittalaitteet tarkistetaan vertailemalla toimipaikassa oleviin referenssilaitteisiin.

Mittalaiteluettelon monipuolistuminen ja mittalaitteiden määrän lisääntyminen on heikentänyt nykyisen tarkastuskäytännön toimivuutta. Jo pelkästään tarkastusohjeen 1 piiriin on tullut huomattava määrä uusia mittalaitteita, joilla tehdään sähkölaitteistojen käyttöönottomittauksia ja todetaan sähköturvallisuusmääräysten vaatimukset. Näistä syistä mittalaiteluettelon päivittäminen, mittauslaitteiden tarkastusohjeiden päivittäminen ja vertailumittauksen kehittäminen on tullut ajankohtaiseksi.

2. TERMINOLOGIA

Mittaus	Mittaus tarkoittaa sähkölaiteistoon liittyvien fysikaalisten suureiden mittaamista.
Testaus	Testauksella tarkastetaan sähkölaiteiston ja sen suoja- ja turvapiirien toimintaa sekä laitteiston sähköistä, mekaanista ja termistä kuntoa.
Akkreditointi	Toimivaltaisen elimen toteaminen siitä, että jokin elin on pätevä suorittamaan tiettyjä tehtäviä.
Kalibrointi	Toimenpiteet, joiden avulla saadaan mittauslaitteen tai mittausjärjestelmän antamien arvojen ja vastaavien mittanormaalien arvojen välinen yhteys. Kalibroititulosten avulla pystytään arvioimaan mittalaitteiden näyttämän virheet. Kalibrointitulokset esitetään todistuksena tai pöytäkirjana.
Jäljitettävyys	Mittauksien yhteys mittanormaalien katkeamattoman vertailuketjun kautta kansainvälisiin tai kansallisiin mittanormaaleihin.
Mittanormaali	Mittauslaite tai mittausjärjestelmä, jolla määritellään, realisoidaan tai säilytetään yksi tai useampi suureen mittayksikkö siirrettäväksi muihin mittalaitteisiin vertailumenetelmällä.
Mittausepävarmuus	Mittauksien liittyvä parametri, joka kuvaa arviota alueesta, jonka sisällä mittaussuureen oikean arvon arvioidaan olevan, tavallisesti tietyllä todennäköisyydellä. (SFS 3700, 3.9)
Kalibrointiepävarmuus	Kalibrointitapahtumaan liittyvä mittausepävarmuus. Mittauslaitteen tarkkuus muuttuu ajan myötä laitteen stabiiliudesta riippuen.
Stabiilius	Mittalaitteen kyky säilyttää metrologiset ominaisuutensa. Stabiilius ilmoitetaan yleensä ajan suhteen. Jos kyseessä on stabiilius jonkin muun suuren suhteen, on se ilmoitettava.
Tarkkuus	Mittaussuureen ja mittauksien arvojen yhteensopivuus.
Mittausten toistuvuus	Suureen saman arvon peräkkäisten mittauksien yhtäpitävyys, kun yksittäiset mittaukset tehdään lyhyin aikavälein, samalla menetelmällä, samoilla mittauslaitteilla, samojen henkilöiden toimesta, samassa paikassa, samoissa olosuhteissa.

Mittausten uusittavuus Saman suureen mittausten välinen yhtäpitävyys, kun yksittäiset mittaukset tehdään eri menetelmillä, eri mittauslaitteilla, eri paikoissa, eri henkilöiden toimesta, aikavälein, jotka ovat pitkät verrattuna yksittäisen mittauksen kestoajaan. /1/

3. MITTAUKSIA KOSKEVAT MÄÄRÄYKSET

Sähkö- ja sähköturvallisuusalaan liittyvät standardisointitehtävät kuuluvat SESKO ry:lle. SESKO ry on Suomen kansallinen sähkö- ja elektroniikka-alan standardisoimisjärjestö. Se on myös Suomen Standardisoimisliitto SFS ry:n jäsen ja toimialayhteisö. SESKO edustaa Suomea alan kansainvälisessä (IEC, International Electrotechnical Commission) ja eurooppalaisessa (CENELEC, European Committee for Electrotechnical Standardization) yhteistyössä, jonka tuloksista se laatii kansallisen tason SFS-standardieja.

SESKO ry kuuluu sähkölaitteiden kansalliseen ja kansainväliseen sertifiointitoimintaan, harjoittaa julkaisu-, neuvonta- ja tiedotustoimintaa, välittää alan kansainvälisiä standardeja sekä tekee yhteistyötä standardisointiin ja sertifiointiin osallistuvien yhteisöjen kanssa Suomessa ja ulkomailla.

3.1. Turvallisuusmääräykset

Sähkölaitteistolle on aina tehtävä käyttöönottotarkastus. Sähkölaitteistojen käyttöönottotarkastuksia koskevat viranomaisvaatimukset on annettu kauppa- ja teollisuusministeriön päätöksessä sähkölaitteistojen käyttöönotosta ja käytöstä (517/1996). Käytännössä käyttöönottotarkastus tehdään pienjänniteasennuksissa standardin SFS 600-6 mukaan. /16/

Sähköturvallisuusstandardissa SFS 600:2007 määritellään, että tarkastuksien tekemiseen tarvitaan ammattitaitoinen henkilö. Ammattitaitoisella henkilöllä on tehtävään soveltuva koulutus ja kokemus, joiden perusteella vältetään sähkön aiheuttamat riskit ja vaarat henkilöille, omaisuudelle ja asennukselle. Ammattitaitoa edellytetään myös siksi, että tarkastusta voidaan pitää luotettavana. /14/

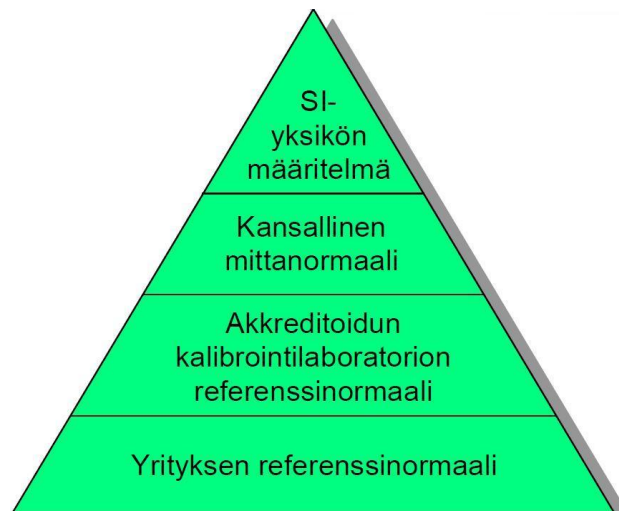
Sähkölaitteistoissa tapahtuvissa mittauksissa pitää:

- käyttää sopivia ja turvallisia mittalaitteita, vähintään kategoria CAT III mukaisia rakennusten sähköasennuksien mittauksissa.
- mittalaitteet tarkistaa ennen käyttöä ja tarvittaessa sen jälkeen.
- mittaajan tarvittaessa käyttää henkilökohtaisia suojarusteita tai suojata jännitteiset osat.
- tarvittaessa noudattaa standardin SFS 6002 työmenetelmien sääntöjä. /9/

3.2. Laadunvarmistusvaatimukset

Standardi ISO 10012-1 sisältää laadunvarmistusvaatimuksia, joiden tarkoituksena on varmistaa, että mittaukset suoritetaan niille tarkoitettulla tarkkuudella. Tärkeintä mittauksissa on niiden tulosten jäljitettävyys kansainvälisiin tai kansallisiin normaaleihin. Jäljitettävyydellä tarkoitetaan sitä tarkentuvien mittausten ketjua, joka johtaa suoritetusta mittauksesta suureen määritelmään. /13/

Laadunvarmennusstandardi toteaa, että toimijan on pystyttävä osoittamaan mittauksille mittausepävarmuus ja jäljitettävyys. Tämä saavutetaan mittauksilla, joilla varmennetaan asiakkaalle menevä tuote. Kuitenkaan laadunvarmennuksen auditoijat eivät tätä vaatimusta tarkastele, vaan tyytyvät mittalaitteiden kalibrointitodistusten olemassaoloon. Tästä seuraa se, että käyttäjillä on harvoin mittausepävarmuusanalyysiä itse mittauksesta. /11/



Kuva 1. Kansainvälinen mittanormaalijärjestelmä /7/

Kuvassa 1 on esitetty mittalaitteen jäljitettävyyden tuominen yrityksen omaan vertailumittauskalustoon tai referenssimittalaitteeseen. Kansainvälinen mittayksikköjärjestelmä (SI) antaa suosituksia mittayksikköjärjestelmän toteuttamisesta. Kansalliset mittanormaali-laboratoriot ylläpitävät huipputarkkoja kansallisia mittanormaali-laitteistoja ja kalibroivat akkreditoiduille kalibrointilaboratorioille työnormaaleja. Akkreditoidut kalibrointilaboratoriot kalibroivat työnormaalien avulla yritysten työnormaaleja. Yritysten kalibrointilaboratoriot kalibroivat työnormaalien avulla yrityksen tuotteita. /7/

Laatustandardi edellyttää, että organisaation tulee määrittää suoritettavat seurannat ja mittaukset sekä seuranta- että mittalaitteet, joiden avulla voidaan osoittaa tuotteen täyttävän määritetyt vaatimukset. Lisäksi organisaatiolta vaaditaan prosessit sen varmistamiseksi, että seuranta ja mittaukset voidaan suorittaa niille asetettujen vaatimusten mukaisesti. Tässä tapauksessa tuote voidaan korvata sanoilla sähköasennus/-laitteisto, jolle on tehtävä

käyttönottotarkastus. Samassa pykälässä edellytetään vielä kalibroinnin ja tarkastusten tuloksien tallentamista. /11/

Kun kyseessä on vain yrityksen oman laatujärjestelmän vaatimusten täyttäminen, eikä mikään virallinen vaatimus, riittää, että oma referenssimittalaite eli vertailulaite käytetään akkreditoidussa laitoksessa kalibroitavana tai että kalibrointi tehdään vertaamalla laitetta toiseen tarkempaan laitteeseen tai toiseen samanlaiseen laitteeseen, jolla on jäljitettävyys. Tässäkin tapauksessa on huolehdittava mittaustulosten riittävästä oikeellisuudesta. /13/

4. MITTALAITTEITA KOSKEVAT MÄÄRÄYKSET

Mittalaitteiden tulee olla laitteiston nimellisjännitteelle sopivia ja turvallisia. Tämän vuoksi kaikki markkinoilla olevat mittalaitteet eivät sovellu ammattikäyttöön. Taulukosta 1 nähdään mittalaitteiden luokittelu.

Taulukko 1. Mittalaitteiden kategoriat /12/

Kategoria	Selitys
CAT IV	Syöttötaso, ilmajohdot ja maakaapelit
CAT III	Jakelutaso, jakelumuuntajan jälkeiset asennukset
CAT II	Paikallistaso, kannettavat laitteet, kodinkoneet
CAT I	Signaalitaso, tietoliikenne- ja elektroniikkalaitteet

Rakennuksien sähköasennuksien mittauksissa on käytettävä vähintään CAT III mukaisia mittalaitteita. Taulukon kategoriavaatimukset käsittävät koko mittauslaitteiston, johon kuuluvat mittari, mittajohtimet ja mittapäät. /12/

Eurooppalainen EN 61557 -normi määrittää sähkölaitteiston käyttöönottomittauksissa käytettävien mittalaitteiden vaatimukset. Se sisältää yleisiä vaatimuksia testauslaitteelle, erityisvaatimuksia yhdistelmämittauslaitteelle sekä erityisvaatimuksia mittaukselle/testaukselle. Standardi EN 61010-1 käsittää mittaukseen, säätöön ja laboratoriokäyttöön tarkoitettujen sähköisten laitteiden turvallisuusvaatimukset. Standardi SFS-EN 61243-3 koskee kaksinaapaisia jännitteenkoettimia. /12/

Mittalaitteiden toiminnan varmistaminen on välttämätön osa laatujärjestelmää, jos yrityksen toimintoihin sisältyy mittauksia. Varmistaminen voidaan toteuttaa järjestämällä vertailumittauksia tai -toimenpiteitä sopiviin standardeihin.

Eri laatustandardien perusvaatimukset mittalaitteille ovat kutakuinkin yhdenmukaiset ja selkeät. Standardissa SFS 9001 vaatimusten pääsisältö on esitetty selkeästi.

”Toimittajan tulee luoda ja ylläpitää dokumentoidut valvonta-, kalibrointi ja ylläpitomenettelytavat niille tarkastus-, mittaus- ja testausvälineille (mukaan lukien testausohjelmistot), joita toimittaja käyttää osoittamaan, että tuote on määriteltyjen vaatimusten mukainen. Tarkastus-, mittaus- ja testausvälineitä tulee käyttää tavalla, joka takaa, että mittausepävarmuus on tiedossa ja vaaditun mittauskyvyn mukainen”. /7/

5. KÄYTTÖÖNOTTOMITTAUKSET

Sähköturvallisuuslain mukaan sähkölaitteistot on suunniteltava ja toteutettava niin, että niistä ei aiheudu vaaraa kenenkään terveydelle tai omaisuudelle eikä niistä aiheudu sähkömagneettisesti kohtuutonta häiriötä.

Standardin SFS 6000 61.1.1 mukaan jokainen sähköasennus on tarkastettava asennuksen aikana ja/tai sen valmistuttua ennen kuin se otetaan käyttöön. Lisäksi asennukselle on tehtävä sellaiset testit, joiden avulla todetaan, että standardin vaatimuksia on noudatettu. Näin varmistetaan sähkölaitteiston turvallinen käyttö. Sähkölaitteisto katsotaan otetuksi käyttöön, kun siihen kytketään jännite sen käyttöä varten. Kuitenkaan valvottua käyttötilannetta, kuten jännitteen kytkemistä koekäyttöä varten, ei katsota käyttöönotoksi. Sähkölaitteiston käyttöönototarkastuksessa tulee tehdä todettujen tulosten ja vaatimusten välinen vertailu. Tarkastus ja testaus on suoritettava niin, ettei siitä aiheudu vaaraa henkilöille, vahinkoa omaisuudelle ja asennetuille laitteille. Lisäksi, kun jo olemassa olevaa asennusta korjataan, muutetaan tai laajennetaan, on todettava, että toimenpide on vaatimusten mukainen ja ettei se heikennä vanhan asennuksen turvallisuutta. /14/

Ennen käyttöönottomittauksia tehdään silmämääräinen, tai aistinvarainen, tarkastus yleensä jännitteettömässä laitteistossa. Käytännössä silmämääräistä tarkastusta tehdään koko asennustyön ajan. Tähän kuuluvat muun muassa:

- käytettyjen tarvikkeiden vaatimuksenmukaisuus
- sähköiskulta suojaus
- palosuojaus
- johtimien tunnuksiset
- johtimien ja liitosten sopivuus
- dokumentaation olemassaolo.

Käyttöönottomittauksilla täydennetään silmämääräisiä tarkastuksia. Mittauksilla todetaan muun muassa suojausjärjestelmien toimivuus. Ennen mittauksien suorittamista asennuksien tulee olla testattavalta osaltaan täysin valmiit, eivätkä myöhemmät vaiheet saa vaikuttaa mittaustuloksiin. Tärkeintä mittauksien suorittamisessa ovat oikeat mittausten menetelmät ja se, että mittaustuloksia tulkitaan oikein. Lisäksi mittauskaluston on oltava luotettava. /10/

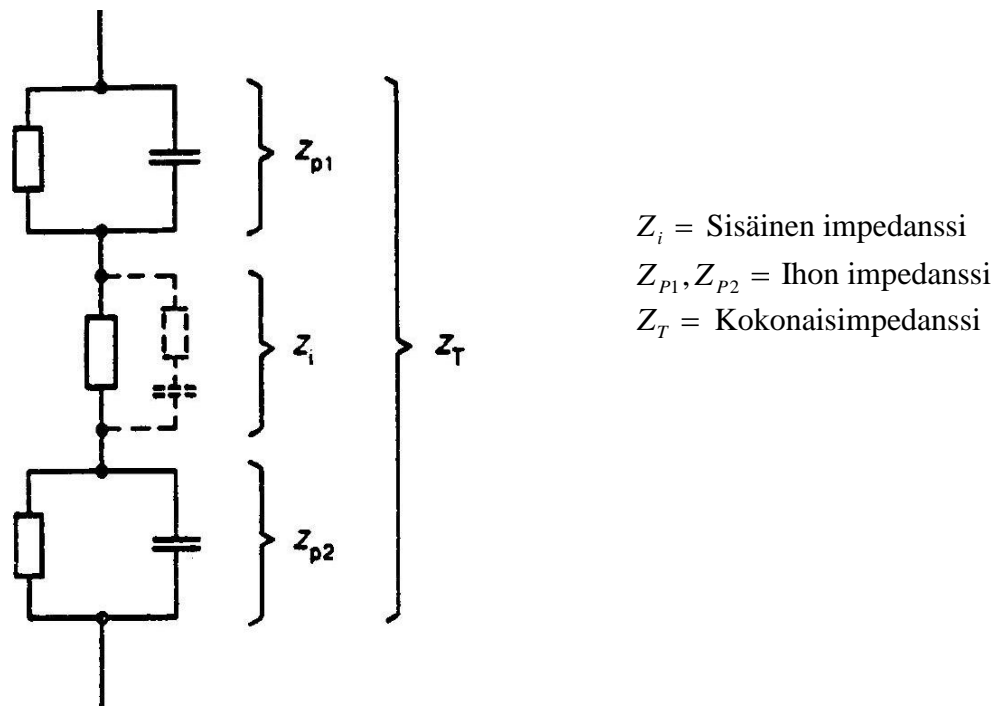
Seuraavat mittaukset on suoritettava tarkastuksessa:

- eristysresistanssi
- suojajohtimen jatkuvuus
- syötön automaattisen poiskytkennän toiminta
- vikavirtasuojakytkimen toiminta
- kiertosuunnan mittaus
- jännitteenmittaus.

Näiden varsinaisten käyttöönottomittauksien lisäksi on mitattava mahdollisten moottoreiden ylivirtasuojauksen toimivuus.

5.1. Mittausten teoria

Sähköturvallisuuden mittausten teoriassa olennaisena osana on sähkövirran vaikutus ihmiseen. Mittauksilla pyritään pienentämään riskiä, ettei sähkölaitteen käyttäjä tai muu henkilö joutuisi osaksi virtapiiriä ja näin tapahtuessa pyritään vähentämään sähkön haitallista vaikutusta ihmiskehoon. Sähkövirran vaarallisuus ihmiselle riippuu kehon läpi kulkevan virran suuruudesta ja kestoajasta. Ihmiskehon eri osat muodostavat sähkövirralle tietyn impedanssin, jossa on resistiivisiä ja kapasitiivisiä komponentteja. Näiden impedanssien arvot riippuvat tekijöistä, kuten virtatiestä, kosketusjännitteestä, virran vaikutusajasta, taajuudesta, ihon kosteudesta, kosketuspinta-alasta, kosketuspaineesta, lämpötilasta ja iästä. /17/



Kuva 2. Ihmiskehon impedanssit /17/

Yleisesti voidaan sanoa ihmiskehon impedanssin olevan pääosin resistiivinen ja 230 V:n jännitteellä ihmiskehon impedanssi on suuruusluokkaa 1-2 k Ω virtateillä käsi-käsi tai käsi-jalka. Ihon impedanssi alkaa oikosulkeutua 50 V suuremmilla jännitteillä ja 220 V:n jännitteellä iho on lähes kokonaan oikosulussa, jolloin virtatiehen vaikuttavat ainoastaan kosketusimpedanssi ja kehon sisäinen impedanssi. /17/

Sähkövirran vaikutuksen vaarallisuus riippuu kehon läpi kulkevan sähkövirran voimakkuudesta. Sähköturvallisuuden kannalta tärkeänä arvona voidaan pitää sydänkammiovärinän alinta raja-arvoa, joka on 30 mA. Huomattavaa on myös, että jo 10 mA:n virta voi aiheuttaa hengityslihaksien halvaantumisen ja lihaskouristuksia, jolloin jännitteellisessä kappaleessa kiinni oleva henkilö ei välttämättä pysty omin avuin irrottautumaan. /17/

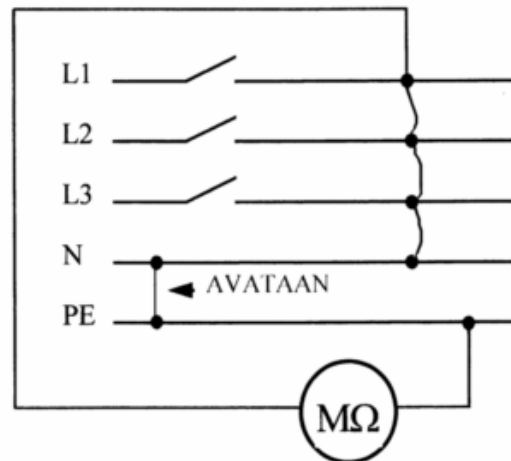
5.2. Eristysresistanssin mittauss

Eristysresistanssin mittauss suoritetaan ensimmäisenä. Sen tarkoituksena on varmistua, että jännitteiset osat ovat riittävästi erotettu maasta. Mittauss suoritetaan jännitteettömänä ja ennen laitteiston käyttöönottoa. Periaatteessa mittauss voidaan tehdä kattavasti yhdestä pisteestä valmiissa laitteistossa. Tämä mittauss suoritetaan silloin pääkeskukselta. Todellisuudessa mittaussia kertyy useita, koska osa laitteistosta halutaan ottaa käyttöön ennen laitteiston lopullista valmistumista. Eristysresistanssin mittausskytkennät TN-järjestelmissä on esitetty kuvissa 3 ja 4. /8/

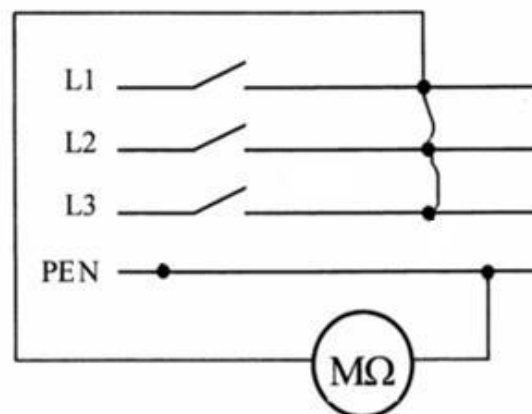
Taulukko 2. Eristysresistanssin pienimmät sallitut arvot /14/

Virtapiirin nimellisjännite, V	Koejännite (tasajännite), V	Eristysresistanssi, MΩ
SELV JA PELV	250	≥ 0,5
< 500 V, FELV mukaan luettuna	500	≥ 1,0
> 500 V	1000	≥ 1,0

Nousukaapelin nollajohdin on helpointa irrottaa lähtöpäästään. Näin saadaan syöttökaapeli ja keskus mitattua samalla kertaa. Nollajohtimen irrotusta liitinkiskosta ei tarvitse tehdä, jos mitattavan kohteen pääkytkin katkaisee sen. Yleensä näin ei ole, ainakaan teollisuudessa. Eristysresistanssimittaussella varmistetaan, että asennuksen virta- ja suojajohdinpiirien välillä on riittävän hyvä eristys. Eristysresistanssin on oltava vähintään 1,0 MΩ mittaussjännitteellä 500 V. Taulukossa 2 on esitetty eristysresistanssin vaatimukset eri koejännitteille. Jos vaadittua resistanssiarvoa ei saavuteta kertamittaussella, pilkotaan mittauss pienempiin osiin, esimerkiksi tehdään mittauss ryhmittäin ja paikannetaan vika. Sitten selvitetään, mistä alhainen resistanssi johtuu. Kontaktorilähdöt mitataan aina erikseen. /10/



Kuva 3. Eristysresistanssin mittauskytkentä TN-S -järjestelmässä /17/

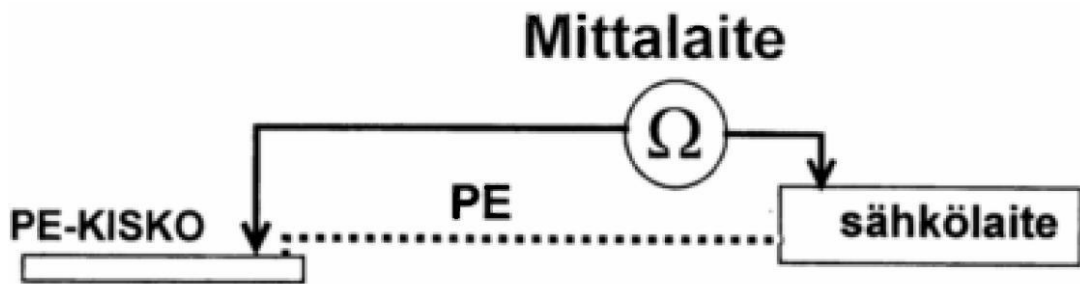


Kuva 4. Eristysresistanssin mittauskytkentä TN-C -järjestelmässä /17/

5.3. Suojajohtimen jatkuvuuden mittaus

Mittauksen tarkoitus on suojajohdinpiirien jatkuvuuden varmistus, jotta vikasuojauksen edellytykset täyttyvät. Suojajohtimia ovat suojamaadoitusjohtimet, maadoitusjohtimet, PEN-johtimet sekä potentiaalintasausjohtimet.

Jatkuvuuden mittaus tehdään jännitteettömässä laitteistossa mittaamalla jännitteelle alttiin osan, kuten pistorasian suojakoskettimen tai kiinteästi asennetun sähkölaitteen kosketeltavien johtavien osien sekä lähimmän potentiaalintasaukseen liitetyn pisteen välinen resistanssi. Mittauskytkentä on esitetty kuvassa 5. Mittauksen ajaksi on TN-S-järjestelmässä poistettava suojajohtimen ja nollajohtimen yhdistys. Näin saadaan selville onko nolla- ja suojajohdin vaihtanut paikkaa. /8/



Kuva 5. Suojajohtimen jatkuvuuden mittaus /17/

Mitattaessa käytetään vähintään 4 V:n ja enintään 24 V:n tasa- tai vaihtojännitettä, jonka minimivirta on 200 mA. Suojajohtimen jatkuvuus mitataan pitkän apukaapelin avulla. Apukaapelin resistanssi täytyy kompensoida, koska mitataan erittäin pieniä resistanssin arvoja. Tarkkaa vaatimusta ei resistanssin arvolle ole, mutta kokemuksen perusteella kuparikaapelilla resistanssi pysyy alle 2 Ω:ssa, jos jatkuvuus on kunnossa. Tosin jos suojajohtimet ovat pitkiä, voi arvo olla suurempikin. Taulukossa 3 on esitetty alumiini- ja kuparikaapeleiden resistanssiarvoja tyypillisimmille johtimen poikkipinta-aloille. Mitatun resistanssin arvon tulee olla vähintään:

$$R \leq \frac{50}{I_A} \quad (1)$$

missä

R on mitattu resistanssi

50 on suurin sallittu kosketusjännite 50 V

I_A on virta, jolla suojauspiiri toimii. /17/

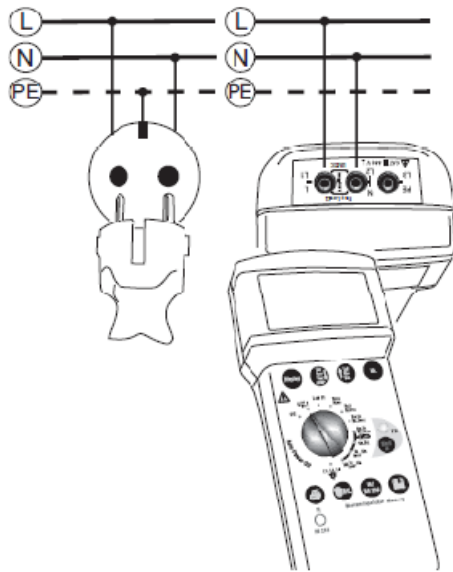
Taulukko 3. Kupari- ja alumiinijohtimien resistanssiarvoja /17/

Johdin- poikki-pinta- ala mm ²	Kuparijohdin		Alumiinijohdin	
	Resistanssi metriä kohti Ω	Resistanssi metriä 100 kohti / Ω	Resistanssi metriä kohti Ω	Resistanssi metriä 100 kohti / Ω
1,5	0,0115	1,15	-	-
2,5	0,0069	0,69	-	-
4	0,0043	0,43	-	-
6	0,0029	0,29	-	-
10	0,0017	0,17	-	-
16	0,0011	0,11	0,0018	0,18
21	0,0008	0,08	-	-
25	0,0007	0,07	0,0011	0,11
35	0,0005	0,05	0,0008	0,08
41	0,0004	0,04	-	-
50	0,00035	0,035	0,0006	0,06
57	0,0003	0,03	-	-
70	0,00025	0,025	0,0004	0,04
95	-	-	0,0003	0,03
120	-	-	0,00024	0,024
150	-	-	0,00019	0,019
185	-	-	0,00015	0,015

Pienessäkin kohteessa mittauksia kertyy varsin paljon. Mittaustuloksien dokumentointia ei yleisesti vaadita, vaan käyttöönottotarkastus pöytäkirjaan merkataan vain suurin esiintyvä arvo ja sen tarkka mittauskohta. /17/

5.4. Jännitteenmittaus

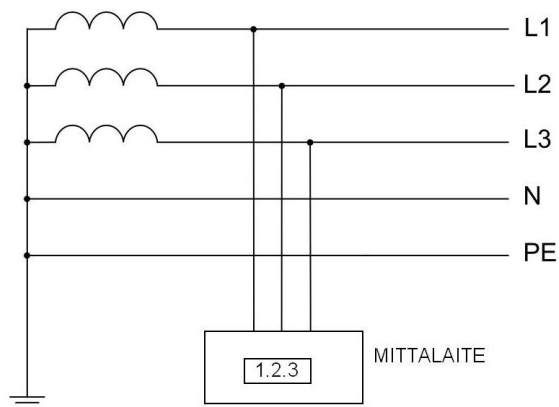
Oikean syöttöjännitteen mittaaminen on tavallisesti ensimmäinen mittaus jännitteen kytkennän jälkeen. Jos jännitettä ei ole ollenkaan tai se on liian korkea tai matala, tulee jänniteongelma ratkaista, ennen kuin käyttöönottoa jatketaan. Kuvassa 6 on jännitteenmittauskytkentä Amprobe Telariksella.



Kuva 6. Jännitemittaus Amprobe Telariksella /2/

5.5. Kiertosuunnan tarkistus

Monivaiheisissa piireissä on tarkastettava, että kiertosuunta säilyy. IEC/EN61557-7-standardi määrittelee vaihejärjestyksen mittaamisen. Tarkastus on tehtävä keskuskohtaisesti, jotta todetaan vaihejärjestyksen pysyminen samana kaikissa kiinteistön keskuksissa ja sähkölaitteissa. Lisäksi 3-vaiheisten pistorasioiden kiertosuunta on hyvä tarkistaa. Kentän väärä kiertosuunta voi rikkoa sähkölaitteita, koska 3-vaihemootorit pyörivät väärinpäin. Kiertosuunnan testaukseen riittää mittalaite, jolla voidaan varmasti todeta kentän kiertosuunta. Yksivaiheisessa kytkennässä tarkastus tehdään silmämääräisesti, jossa tarkastetaan vaihe- ja nollajohtimen oikea kytkentä. /10/



Kuva 7. Kiertosuunnan tarkistuskytkenä

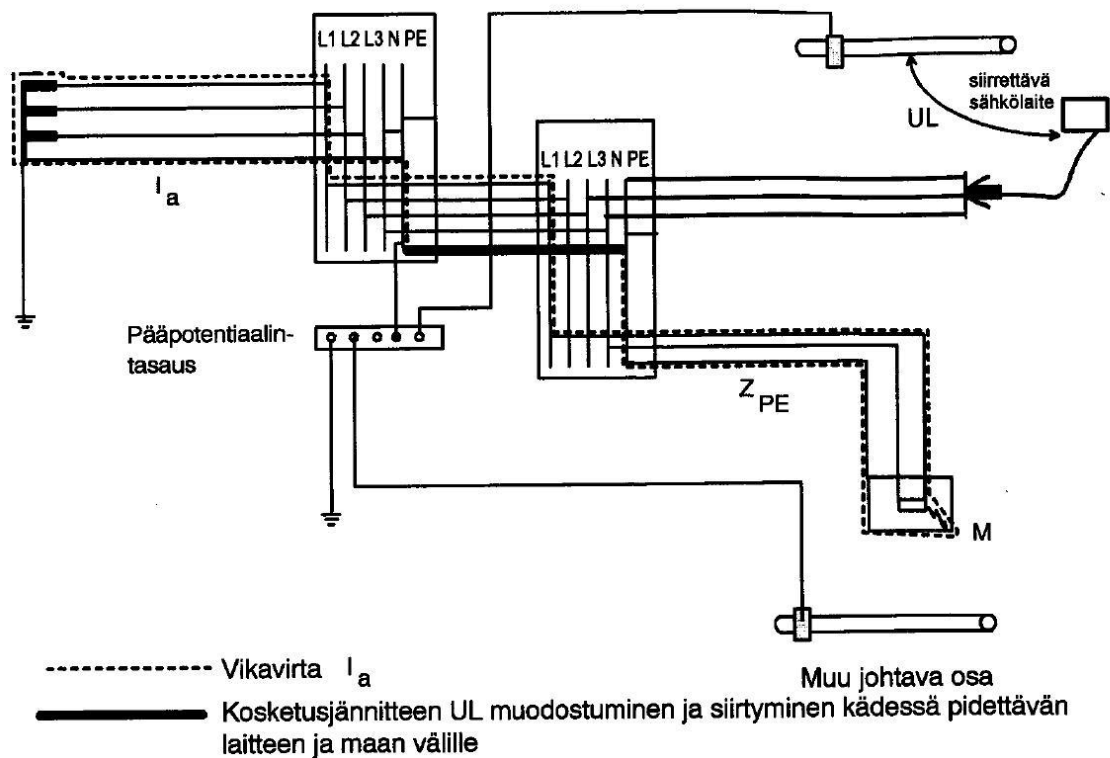
5.6. Syötön automaattisen poiskytkennän mittaus

Syötön automaattisen poiskytkennän mittauksessa todetaan kahden eri suojaustyypin toimivuus, vikasuojauksen ja oikosulkusuojauksen, jotka sekoitetaan toisinaan keskenään. Vikasuojauksessa suojataan vaarallisilta kosketusjännitteiltä, jotka esiintyvät eristysvian sattuessa sähkölaitteen rungossa. Tällöin jännite on kytkettävä pois niin, ettei siitä ehdi aiheutua vaaraa. Oikosulkusuojauksessa suojaudutaan oikosulkuvirran aiheuttamalta johtimien lämpenemiseltä ja sen myötä palovaaralta.

Vikasuojauksen ehtoja tulee tarkastella vaihejohtimen ja suojajohtimen välillä. Oikosulkusuojauksen tarkastelu on paljon työläämpää, koska siinä tulee tarkastella kaikkia mahdollisia oikosulkuja eri jännitteisten johtimien välillä sekä johdon loppu- että alkupäässä. Oikosulkusuojaukselle ei ole myöskään määritelty yksittäistä poiskytkentäaika, vaan aika riippuu oikosulkuvirran lisäksi johtimien ominaisuuksista, kuten johdinaine ja eriste sekä johtimen poikkipinnasta. /8/

5.6.1. Vikasuojaus

Vikasuojaus suojaa vaaralliselta kosketusjännitteeltä. Periaatteessa kosketusjännitteeltä suojaudutaan jo jännitteisten osien peruseristyksellä, erilaisilla suojuksilla ja koteloinneilla. Näiden perussuojauksien lisäksi vikasuojausta toteutetaan sähköasennuksissa potentiaalintasauksella ja automaattisen poiskytkennän avulla. Vikasuojaus tarvitsee toimiakseen kattavan suojamaadoituksen, suojaavan potentiaalintasauksen, sulakkeen ja joissakin tapauksissa myös vikavirtasuojakytkimen. Suojausmenetelmän vaatimukset ovat selkeät. Eristysvian aiheuttama vikavirta ja siitä syntyvä kosketusjännite on poistettava mahdollisimman nopeasti, ettei siitä aiheudu vaaraa. Enintään 32 A:n ryhmäjohdoilla vian täytyy kytkeytyä pois enintään 0,4 sekunnissa ja suuremmilla ryhmäjohdoilla ja kaikilla pääjohdoilla sallitaan enintään 5,0 sekunnin vian poiskytkentäaika. Taulukossa 4 on esitetty pisimmät poiskytkentäajat eri nimellisjännitteillä.



Kuva 8. Kosketusjännitteen siirtyminen siirrettävän sähkölaitteen ja maan välille, kun kiinteässä sähkölaitteessa syntyy eristysvika /17/

Toimiakseen kunnolla suojausmenetelmän on täytettävä kaksi ehtoa:

1. Virtapiirissä on oltava johtava yhteys, yleensä suojajohdin, joka mahdollistaa vikavirran kulkemisen. Vikavirtapiirin rakenne riippuu käytetystä maadoitusjärjestelmästä.

Ehto edellyttää kaikkien asennuksesta syötettävien sähkölaitteiden jännitteelle alttiiden osien yhdistämistä suojajohtimella maadoitusjärjestelmään siten, että syntyy vikavirtapiiri.

2. Vikavirta on kytkettävä pois sopivalla suojalaitteella. Poiskytkentäaika koskeva vaatimus riippuu eri tekijöistä, esimerkiksi kosketusjännitteestä. Sallittu kosketusjännite ja sen kestoaika perustuu sähkövirran vaikutuksista ihmiseen. Pisimmät sallitut poiskytkentäajat eri nimellisjännitteille on esitetty taulukossa 4.

Ehto edellyttää sellaisten suojalaitteiden asentamista, joiden ominaisuudet täyttävät niille erilaisissa maadoitusjärjestelmissä annetut vaatimukset. /17/

Taulukko 4. TN-järjestelmän pisimmät sallitut poiskytkentäajat /17/

Nimellisjännite U_0 V	Poiskytkentäaika s
120	0,8
230	0,4
277	0,4
400	0,2
400	0,1

5.6.2. Oikosulkusuojaus

Oikosulku- ja ylikuormitussuojauksen lähtökohtana on, että virtapiirin kaikissa kohdissa esiintyvät oikosulkuvirrat on katkaistava viimeistään silloin, kun johtimet saavuttavat suurimman rajalämpötilan. Enintään viisi sekuntia kestävässä oikosuluissa voidaan olla olevalla kaavalla 2 laskea aika t , jonka kuluessa lämpötila johdossa nousee sallittuun rajalämpötilaan. Oletuksena johto on suurimmassa sallitussa lämpötilassa ennen oikosulkua.

$$t = \frac{k^2 A^2}{I^2} \quad (2)$$

missä

t on aika

A johtimen poikkipinta (mm^2)

I tehollinen oikosulkuvirta

K kerroin, joka huomio johdinmateriaalin resistiivisyyden, lämpötilakertoimen ja lämmönvarauskyvyn sekä sopivat alku- ja loppulämpötilat.

Kaava perustuu siihen, että oikosulun kehittämä lämpö lämmittää kaapelia kokonaisuudessaan. Mikäli oikosulku kestää yli 5 sekuntia, alkaa johdin jo luovuttaa lämpöä pois. Tästä johtuen kaavaa käytetään alle 5 sekunnin oikosulkujen laskemiselle. Pidemmällä vikojen ajoilla voidaan laskea pienin oikosulkuvirta, joka lämmittää johtimen 5 sekunnissa rajalämpötilaan. Jos saatu oikosulkuvirta on tätä pienempi, ei haitallista lämpenemistä ehdi tapahtua 5 sekunnissa.

Käyttöönottotarkastuksissa ei ole mittausvaatimuksia oikosulkusuojauksen toimivuudesta. Käytännössä tämä olisi hyvin työlästä, koska ensin täytyisi selvittää, mikä on poiskytkentäaikavaatimus ja sitten myös selvittää kaikki mahdolliset oikosulkuilanteet.

Käytännössä oikosulkusuojauksen toteutuminen voidaan varmistaa käyttämällä apuna valmiiksi laskettuja taulukoita, esimerkiksi D1-2009 taulukko 43.2 tai käyttämällä suunnittelun apuna soveltuvaa laskentaohjelmaa. /17/

Ylikuormitussuoja tulee sijoittaa kohtaan, jossa johdinlaji, poikkipinta tai asennustapa muuttuvat. Haaroittamatonta ja pistorasiatonta johtoa, joka on standardin SFS 6000 443.3 mukaisesti oikosulkusuojattu, ei tarvitse suojata erikseen ylikuormitussuojalla. Ylikuormitussuojaus voidaan jättää pois myös kaapeleista, joita ovat muun muassa merkinanto-, ohjaus-, televiestintä- ja tietyt jakeluverkon kaapelit, joissa ylikuormitus ei aiheuta vaaraa. Kaapelia ylikuormitukselta suojaavan laitteen ominaisuuden tulee täyttää ehdot:

$$I_B \leq I_n \leq I_Z \quad (3)$$

$$I_2 \leq 1,45 * I_Z \quad (4)$$

missä

I_B on virta, jolle piiri on suunniteltu

I_Z on johtimen jatkuva kuormitettavuusvirta

I_n on suojalaitteen mitoitusvirta. /17/

Epäyhtälössä olevan I_2 :n arvo on annettu laitestandardeissa tai se on valmistajan antama. Se varmistaa suojalaitteen toimimisen suojalaitteelle määritellyssä toiminta-ajassa. Kerroin 1,45 ei riitä aina laukaisemaan suojalaitetta, esimerkiksi jos ylivirta on pitkään pienempi kuin I_2 . /15/

Mittauksella varmistetaan laukaisuvaatimusten toteutuminen vikatilanteessa. Vaatimukset toteutuvat, kun vikapiirin virta on tarpeeksi suuri laukaisemaan suojalaitteen vaaditussa ajassa. Mittaus suoritetaan syötön kannalta epäedullisimmasta pisteestä, kuten jokaisen ryhmäjohtokoon pisimmän ryhmän päästä ja jokaisen keskuksen kiskostosta.

Määräysten mukaan poiskytkentä voidaan suorittaa joko laskemalla tai mittaamalla. Mitattaessa oikosulkuvirtaa, täytyy mitattu tulos olla 25 % korkeampi kuin vaadittu arvo. Tämä johtuu siitä, että laskelmissa käytetään johtimien resistanssin arvoja esim. 80:n °C lämpötilassa, kun mitattaessa johtimet ovat yleensä huoneenlämmössä. /17/

Taulukko 5. Pienimmät johdonsuojakatkaisijoiden toimintavirrat /8/

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 0,4s 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

Taulukko 6. Pienimmät Gg-sulakkeiden toimintavirrat /8/

Nimellisvirta A	Gg-sulake 0,4s A	Vaadittu mitattu arvo A	Gg-sulake 5,0s A	Vaadittu mitattu arvo A
2	16	20	9	11,3
4	32	40	18	22,5
6	46,5	58,2	28	35
10	85	102,5	46,5	58,2
16	110	137,5	65	81,3
20	145	181,3	85	106,3
25	180	225	110	137,5
32	270	337,5	150	187,5
35	287	359	165	206,3
40	315	393,8	190	237,5
50	470	587,5	250	312,5
63	550	687,5	320	400
80	840	1050	425	531,3
100	1000	1250	580	725
125	1450	1812,5	715	893,8
160	1600	2000	950	1187,5
200	2100	2625	1250	1562,5
250	2800	3500	1650	2062,5
315	3700	4625	2200	2750
400	4800	6000	2840	3550
500	6400	8000	3800	4750
630	8500	10625	5100	6375

TN-maadoitusjärjestelmässä kaikki metalliosat ovat yhteydessä nollajohtimeen suojamaajohtimen ja syöttömuuntajan kautta. Asennusten turvallisuus tarkistetaan mittaamalla silmukkaimpedanssi tai laskemalla virran suuruus vikatilanteessa. Käytännössä mittalaite mittaa vikavirtapiirin silmukkaimpedanssiarvoa. Nimellisjännitettä hyväksi käyttäen asennustesteri suorittaa tarvittavat laskutoimitukset ja ilmoittaa oikosulkuvirta- ja silmukkaimpedanssiarvon.

$$Z_{\text{silmukka}} = Z_L + Z_{PE} + Z_{PEN} + Z_T \quad (5)$$

missä

Z_{silmukka} on silmukkaimpedanssi

Z_L on vaihejohtimen impedanssi

Z_{PE} on suojajohtimen impedanssi

Z_{PEN} on PEN-johtimen impedanssi

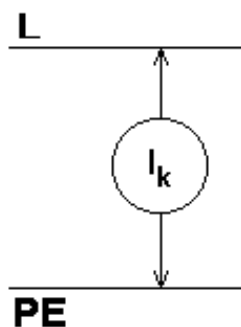
Z_T on syöttömuuntajan impedanssi

$$I = \frac{U_N}{Z_{\text{silmukka}}} \quad (6)$$

missä

I on vikavirranarvo

U_N on jännite vikatilanteessa



Kuva 9. Oikosulkuvirran mittauskytkentä

Nykyään kaikkien pistorasiaryhmien tulee olla varustettuna vikavirtasuojilla, muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta. Tällöin ei pystytä mittaamaan oikosulkuvirtaa tavalliseen tapaan vaihejohtimen ja suojamaajohtimen välillä. Ainoa mahdollisuus on mitata vaihejohtimen ja nollajohtimen välillä.

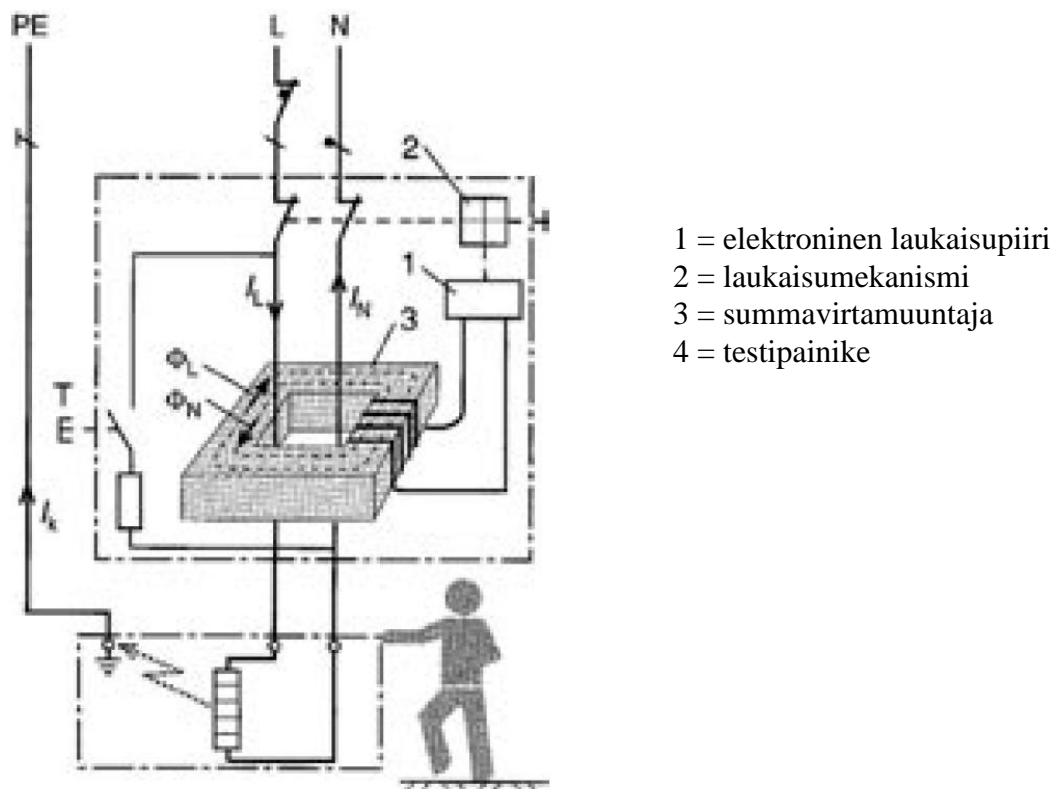
Ryhmäjohdoilla - joiden vikasuojaus on toteutettu vikavirtasuojalla - vikasuojauksen toimivuuden tarkistamiseksi riittää vikavirtasuojan toiminnan testaus sekä suojajohdon

jatkuvuuden varmistaminen, aistinvaraisen tarkastuksen lisäksi. Valaistus- ja pistorasiaryhmissä, joissa suojalaite toimii sekä ylikuormitus- että oikosulkusuojana, voidaan oikosulkuvirran riittävyttä tarkastella karkealla tasolla seuraavasti: Jos vaihe- ja nollajohtimen välinen oikosulkuvirta on 3,5-kertaa suojalaitteen nimellisvirta, kuitenkin enintään 63 A, suojaus on kunnossa. /15/

5.7. Vikavirtasuojan toiminnan testaus

Vikavirtasuojia käytetään yhdessä kosketussuojauksen kanssa suojaamaan ihmisiä, eläimiä ja omaisuutta vaaralliselta kosketusjännitteeltä ja tulipalovaaralta. Vikavirtasuoja mittaa vaihe- ja nollajohtimien summavirtaa summavirtamuuntajalla. Vikavirtasuoja toimii, kun summavirta eroaa nolasta vikavirtasuojan toimintavirran verran. Toimintaperiaate on tarkemmin kuvattu kuvassa 10.

Vikavirtasuojan toiminta edellyttää, että nolla- ja suojajohdinpiirit ovat erillään.



Kuva 10. Vikavirtasuojan toimintaperiaate /8/

Jokainen vikavirtasuoja on tarkastettava. Tarkastukseen kuuluu vikavirtasuojassa olevan testipainikkeen toiminnan tarkastus. Lisäksi on aina varmistettava mittaamalla, että laite

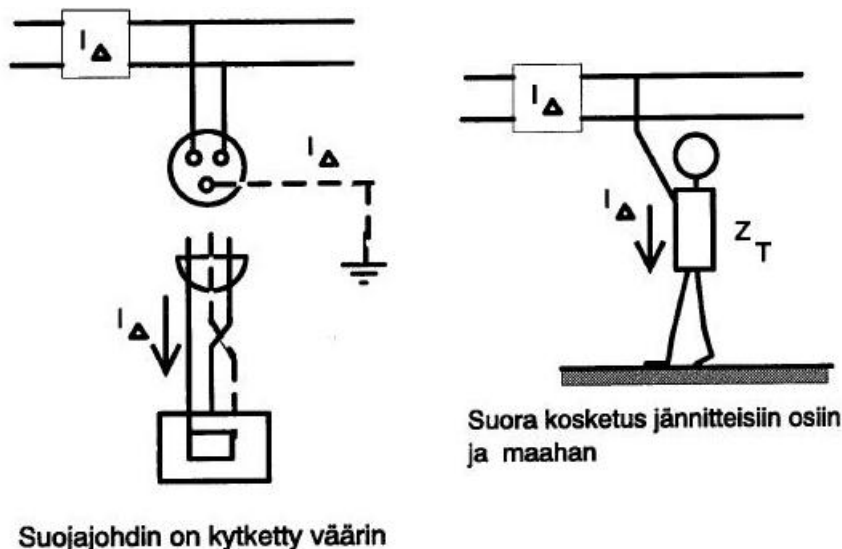
toimii enintään nimellistoimintavirrallaan. Yleisimpiä nimellisvirranarvoja ovat 10 mA, 30 mA, 100 mA, 300 mA ja 500 mA. Vikavirtasuojan toiminnan mittaamiseen suositellaan käytettävän ns. ramppitestiä, jolla saadaan selville vikavirtasuojan todellinen toimintavirta. Tässä testissä mittaus alkaa 0,3-kertaisella nimellisvikavirralla, jota mittalaite kasvattaa siihen asti, kunnes suojalaite laukeaa. Ramppitestillä voidaan varmistua myös siitä, ettei vikavirtasuoja ole liian herkkätoiminen. Laitestandardin mukaan vikavirtasuojakytkimen toimintavirta tulee olla 0,5-1-kertainen nimellistoimintavirtaansa nähden. Lisäksi suositellaan vikavirtasuojakytkimen toiminta-ajan mittausta, joka saadaan yleensä samalla ramppimittauksella mittalaitteesta riippuen. Taulukossa 7 ovat standardien mukaiset toiminta-ajat vikavirtasuojille.

Taulukko 7. Vikavirtasuojan toiminta-ajat standardien SFS-EN 61008 ja SFS-EN 61009 mukaan /14/

Tyyppi	I_n A	$I_{\Delta n}$ A	Standardin mukaiset vikavirtasuojan maksimi toiminta-ajan arvot ja arvot minimi ajoille, jolla vikavirtasuoja ei toimi s				
			$I_{\Delta n}$	$2 I_{\Delta n}$	$5 I_{\Delta n}^*$	500 A	
Yleinen tyyppi	kaikki arvot	kaikki arvot	0,3	0,15	0,04	0,04	maksimi toiminta-aika
S-tyyppi	≥ 25	$> 0,030$	0,5	0,2	0,15	0,15	maksimi toiminta-aika
			0,13	0,06	0,05	0,04	minimi aika, jolloin laite ei toimi

*Yleistyyppisillä vikavirtasuojilla jotka ovat osa pistorasiaa tai tarkoitettu käytettäväksi vain pistorasioiden kanssa ja yleisen tyyppin vikavirtasuojille, joiden $I_{\Delta n} \leq 30$ mA, vaihtoehtoisesti arvolle $5 I_{\Delta n}$ voidaan käyttää arvoa 0,25 A

Vikavirtasuoja toimii, jos eristysvian seurauksena virta pääsee kulkeutumaan suojajohtimeen tai ihmisen kautta maahan. Kuvassa 11 on eräitä tapauksia, jolloin vikavirtasuoja toimii lisäsuojana.



Kuva 11. Tapauksia, jolloin vikavirtasuoja toimii lisäsuojana /17/

5.8. Moottoreiden ylivirtasuojaus

Käyttöönottotarkastusmittauksien lisäksi täytyy tarkastaa moottoreiden ylivirtasuojauksen toimivuus. Moottorien ylivirtasuojaus on perinteisesti toteutettu kahdella erillisellä suojauslaitteella, sulakkeella ja lämpöreleellä, mutta nykyisin siinäkin käytetään usein elektronista suojalaitetta, joka sisältää kummatkin suojat.

Mittaus tehdään pihtiampeerimittarilla, moottoreiden ollessa normaalissa käyttötilassaan. Mittaustuloksista tulee tehdä pöytäkirja.

6. OMAN TYÖN VARMENNUSOIKEUS

Sähkölaitteistolle on tehtävä turvallisuuden varmistamiseksi varmennustarkastus, kun kyseessä on luokan 1-3 sähkölaitteisto. Sähkölaitteistojen luokat on esitetty KTMp (517/1996). Korkeintaan kaksi asuinhuoneistoa sisältävällä asuinrakennuksella ei ole sähkölaitteistoluokkaa eikä rakennuksen liittymää suojaavan ylivirtasuojan koko vaikuta asiaan. Tällaiselle rakennukselle ja sen muutostöille ei tarvitse tehdä varmennustarkastuksia. /6/

Varmennustarkastuksia saavat suorittaa valtuutetut tarkastajat ja valtuutetut laitokset, kuitenkin laitteistoluokassa 3a vain valtuutetut laitokset. Varmennustarkastus voidaan kuitenkin korvata, luokan 3a laitteistoa lukuun ottamatta, sähkölaitteiston rakentaneen tai rakentamisesta vastanneen urakoitsijan varmennuksella, jos urakoitsijalla on tähän erikseen myönnetty oikeus. /6/

Oman työn varmennusoikeus merkitsee siis sitä, ettei sähköurakoitsijan tarvitse käyttää ulkopuolista tarkastajaa muissa kuin vaativissa erikoistiloissa. Sähköurakoitsijan oman työn varmennusoikeuden edellytyksistä keskeisin on puolueettomasti arvioitu ja valvottu laatujärjestelmä. Sähköurakoitsijan tulee toimittaa vuosittain turvatekniikan keskukselle määräaikaissäädöinnin yhteydessä asiantuntijalaitokselta saatu lausunto laatujärjestelmän noudattamisesta ja sähköturvallisuusvaatimusten täyttymisestä.

Varmennusoikeuden saaneella sähköurakoitsijalla tulee olla sähköturvallisuuden varmistava järjestelmä. Tähän järjestelmään sisältyy mittalaitteita koskevia vaatimuksia. Urakoitsijalla tulee olla dokumentoidut valvonta-, kalibrointi- ja ylläpitomenettelytavat tarkastus-, mittaus- ja testausvälineille, joilla osoitetaan asennusten vaatimusten mukaisuus ja sähköturvallisuuslain vaatimukset. Mittalaitteiden kalibroinnissa voidaan huomioida se, miten tarkkoja tuloksia tarvitaan määräysten mukaisuuden varmentamisessa. Urakoitsijalta vaaditaan dokumentoitu ja riittävän luotettava menettely, jolla varmistetaan, että kaikille asennuksen osille on tehty tarpeelliset mittaukset ja tarkastukset ennen kuin asennus todetaan turvalliseksi ja otetaan käyttöön tai luovutetaan. /18/

7. MITTALAITTEET

Käyttöönnotossa käytettäviä mittalaitteita on lukematon määrä. Monet on tehty muutamaa yksittäistä mittausta varten ja toisissa voi olla useita mittaustoimintoja samassa. Sähköurakoitsija käyttää mittalaitteita urakkakohteissa niin työn edetessä kuin valmiiden töiden tarkastuksessa. Sähköisissä tietojärjestelmissä, kuten tietoverkko- ja antennijärjestelmissä ovat omat mittalaitteensa.

7.1. Mittalaiteluettelo

Mittalaitteiden seurannan kehittäminen vaatii olemassa olevan mittalaiteluettelon päivittämistä. Yrityksellä on toimipisteitä usealla paikkakunnalla ja jokaisessa toimipisteessä on oma mittalaiteluettelonsa ja mittalaitteista vastaava henkilö. Päivittäminen onnistuu helpoiten sähköpostin välityksellä tehtävällä kyselyllä. Kunkin toimipisteen sähkötöiden johtaja tai vastaava henkilö päivittää oman toimipaikkansa mittalaiteluettelon ja lähettää mahdolliset muutokset takaisin, minkä jälkeen päivitetty luettelot syötetään yrityksen verkkoon.

Nykyistä mittalaiteluettelo kevennetään poistamalla siitä jännitteenkoettimet ja niin sanotut schukotesterit. Ulkopuolinen laatujärjestelmän auditoija ei vaadi näiden henkilökohtaisessa käytössä olevien testauslaitteiden luetteloimista, kunhan niitä ei käytetä lopullisissa sähköturvallisuuden varmentavissa mittauksissa. Nämä testauslaitteet ovat kuitenkin kirjattuina henkilökohtaisten tavaroiden työnumerolle, joten niiden seuranta tapahtuu sen kautta. Näiden testauslaitteiden luetteloiminen nykyisellä menetelmällä on ollut hankalaa, koska niitä on vain vaihdettu varastossa uusiin entisten kadotessa tai rikkoontuessa, eikä näitä vaihtoja ole kirjattu mittalaiteluetteloon. Uudistuksen jälkeen nämä laitteet merkitään tarralla, jossa mainitaan ”ei sähköturvallisuuden varmentamiseen” laatuauditoijan ohjeiden mukaisesti.

Näin keventämällä mittalaiteluettelo sen toimivuus ja käytettävyys paranee. Henkilökohtaisista mittalaitteista luetteloon jätetään pihtivirtamittarit, joilla tehdään moottoreiden virtamittauksia ylivirtasuojauksen toimivuuden vuoksi. Näiden mittareiden luotettavuus on pystyttävä mahdollisessa vahinkotilanteessa ilmoittamaan. Tilaajat yleensä vaativat mahdollisten moottoreiden ylivirtasuojauksen toimivuudesta ilmoitusta ja ilmoitukseen tulee kirjata mittalaitteen tiedot.

Mittalaiteluettelo täydennetään lisäksi kalibrointiajankohdasta kertovalla toiminnolla. Kun mittalaitteen kalibrointipäivä lähestyy, mittalaiteluettelo lähettää automaattisen muistutuksen sähköpostiin kalibroinneista vastaaville henkilöille. Muistutus sisältää mittalaitteen tärkeimmät tunnistetiedot, esimerkiksi sarjanumeron, mahdollisen käyttäjän ja kyseisen mittalaitteen tarkastusmenetelmän. Näin mittalaitte saadaan kohtuullisella vaivalla, joko lähetettyä kalibroitavaksi tai vaihtoehtoisesti yrityksen omaan vertailumittaukseen. Liitteessä 1 on kuva uudistetusta mittalaiteluettelosta.

7.2. Mittalaitteiden hankinta

Yrityksen on ylläpidettävä mittalaiterekisteriä omistamistaan laitteista. Yrityksen on varmistettava mittalaitteiden laatu ja valvonta. Mainittujen vaatimusten täytyminen voidaan varmistaa hankintavaiheessa oikeanlaisella suunnittelulla. Mittalaitteiden hankinta yrityksessä tulisi olla hallittua ja ohjeita noudattavaa. Laitehankintoja tekevien täytyisikin tietää, mitä ollaan hankkimassa ja miksi.

Mittalaitteiden hankinnan tulisi noudattaa järjestystä, että vastaanotettu mittalaite tulisi ensiksi mittalaitteista vastaavan henkilön luokse. Jos mittalaitteella tullaan suorittamaan käyttöönottomittauksia, mittalaitteelle annetaan yrityksen oman järjestelmän seurantanumero. Laitteen tiedot syötetään mittalaiteluetteloon. Näitä tietoja ovat mittalaitteen nimi, tyyppi, sarjanumero, käyttäjän nimi ja tarkastusohjeen numero. Laite myös merkitään mittalaiteluettelon esittämällä tavalla, esimerkiksi tarralla mittalaitteen kylkeen. Myös seuraavan kalibroinnin ajankohta on hyvä merkitä laitteeseen. Jos laitteelle asetetaan käyttörajoituksia, myös ne merkitään jo tässä vaiheessa. Vasta tämän jälkeen mittalaite luovutetaan käyttötarkoitustaan vastaavaan käyttöön. Jos hankitulla mittalaitteella ei tehdä käyttöönottomittauksia, niin se merkitään tarralla ”ei sähköturvallisuuden varmentamiseen”.

7.3. Asentamisvaiheessa käytetyt mitta- ja testauslaitteet

Sähköasentajilla on käytössään aikaisemman mittalaiteluettelon mukaisia mittalaitteita, jotka kuuluivat tarkastusohjeen 2 piiriin. Tällaisia mittalaitteita ovat erilaiset jännitteenkoettimet, pihtivirtamittarit ja schokotesterit, joilla varmistetaan työturvallisuutta. Työmaan edetessä tulee yleensä tilanne, että osa sähkölaitteistosta on otettava käyttöön aikaisemmin. Tätä varten asentajilla on henkilökohtaisessa käytössä myös eristysresistanssin ja suojajohtimen jatkuvuuden mittalaitteita, joilla voidaan suorittaa määrätyt mittaukset ennen jännitteen kytkemistä. Näistä mittalaitteista vain pihtivirtamittarit ja eristysresistanssin mittarit jätetään vertailumittauksen piiriin, koska niillä mitattuja mittaustuloksia käytetään käyttöönottopöytäkirjan liitteinä.

7.4. Käyttöönottotarkastuksen mittalaitteet

Asennuksien lopullisissa käyttöönottotarkastusmittauksissa käytetään tarkastusohjeen 1 mittalaitteita. Aikaisemmin käyttöönottotarkastuksissa on käytetty Profitest 0100S -asennustestereitä, mutta nykyään Amproben Telaris 0100 plus -asennustesterit ovat korvanneet ne. Syynä on lähinnä ollut Amproben pieni koko ja mittaustulosten tallennusmahdollisuus. Molemmat mittalaitteet on hyväksytty standardin SFS 6000 mukaisesti sähkölaitteiden ja asennuksien testauksia varten ja sisältää kaikki käyttöönottomittauksissa tarvittavat toiminnot.

7.5. Epätarkkuuden esittäminen

Analogiamittarin epätarkkuus ilmoitetaan prosentteina mittausalueen täydestä näyttämästä. Digitaalimittareille epätarkkuus ilmoitetaan kaksiosaisesti, jossa ensin ilmoitetaan epätarkkuus lukemasta prosentteina ja sitten viimeisen näytetyn numeron resoluutio eli mittarin erottelukynnys. Kuvassa 12 on esimerkki digitaalimittarin tarkkuuden esittämisestä.

Jännitemittaus (Vac, Vdc):	
Mittausalue Vac	1...440VAC (taajuus 10...99,9Hz)
Mittausalue Vdc	1...±440VDC
Erottelukyky	1V
Tarkkuus	± (3% lukemasta + 3 lukemaa)
Sisäinen vastus	1 MΩ

Kuva 12. Digitaalimittarin tarkkuuden esittäminen /2/

8. MITTAUSEPÄVARMUUS

Mittaustuloksiin liittyy aina epävarmuutta, jonka suuruuteen vaikuttavat monet tekijät. Näitä ovat muun muassa mittalaitteen erottelukyky, mittausmenetelmä ja mittaaja itse sekä ympäristöolosuhteet. Mittaustuloksia tarkasteltaessa täytyy olla käsitys tulosten luotettavuudesta. Se saadaan määrittämällä mittausepävarmuus ja mittaustarkkuus.

Yleistä ohjetta mittausvirheiden käsittelytavalle ja käsitteille ei ole olemassa, minkä seurauksena syntyy väärinkäsityksiä. Mittausepävarmuus ja mittaustarkkuus ilmoitetaan yleensä vaihteluvälinä, jolla oikean tuloksen oletetaan tietyllä todennäköisyydellä olevan.

Mittausepävarmuutta voidaan käsitellä todennäköisyytenä, joka kuvaa mittaussuureen arvojen odotettua vaihtelua. Mittaustarkkuus puolestaan on kvalitatiivinen saadun mittaustuloksen ja mitattavan suureen tosiarvon yhteensopivuus. Yleisemmin kuitenkin mittaustuloksia ja niiden luotettavuutta arvioidaan mittausepävarmuuden avulla. Yleisesti mittaustulokset esitetään muodossa:

$$Y = y \pm U \quad (7)$$

missä

Y on mitattava suure

y on oikean arvon estimaatti

U on mittauksen epävarmuus

Tässä esitystavassa mitattava suure Y on mittaamalla saatu oikean arvon estimaatti eli mittaustulos ja se on todennäköisesti oikea mittauksen epävarmuuden U määäämissä rajoissa.

Epävarmuus muodostuu kahdentyyppisistä virhelähteistä. Näitä ovat sisäinen epävarmuus, tyyppi A ja ulkoinen epävarmuus, tyyppi B. Laskennallisessa epävarmuuden arvioinnissa muodostetaan seuraavanlainen mittauksen matemaattinen malli:

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_N) \quad (8)$$

Mallissa vaikuttavat epävarmuuskomponentit määritetään epävarmuustyyppien A ja B avulla. /3/, /4/

8.1. Sisäinen epävarmuus

Sisäinen epävarmuus on satunnaisvirheiden aiheuttama mittaasepävarmuuden komponentti, joita voidaan arvioida tilastollisin menetelmin. Epävarmuus tässä tapauksessa estimoidaan toistetuista mittaustuloksista. Sisäistä epävarmuutta kuvataan estimoiduilla variansseilla ja vapausasteiden lukumäärällä. /3/

8.2. Sisäisen epävarmuuden määrittäminen

Tyypin A epävarmuuden määrittäminen perustuu tilastolliseen menetelmään. Menetelmä vaatii, että käytössä on useamman erillisen mittauksen tulokset eli havainnot. Käytännössä mittaustapahtuma toistetaan useamman kerran, jotta voidaan laskea mittaustuloksien keskiarvon ja siihen liittyvän hajonnan. /3/

$$\text{Varianssi} \quad s^2(x_i) = \frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n (x_{i,k} - m(x_i))^2 \quad (9)$$

Tyypin A standardiepävarmuus on tulosten keskiarvon varianssin neliöjuuri.

$$\text{Standardi} \quad u_A(x_i) = \sqrt{s^2(X_i)} = \sqrt{\frac{s^2(x_i)}{n}} \quad (10)$$

8.3. Ulkoinen epävarmuus

Tyypin B epävarmuus johtuu virhelähteistä, kuten ympäristöolosuhteista ja mittaajasta itsestään. Tämän tyyppisen lähteen virhettä arvioidaan muilla tavoin kuin tilastollisin menetelmin. Tämän tyyppisen epävarmuuden arviointi riippuu mittauksen suorittajan näkemykseen virhelähteistä, jotka vaikuttavat mittaustapahtumaan. Näitä epävarmuustekijöitä kuvataan suureilla $u_j^2(x_i)$, joita voidaan pitää approksimaatioina vastaavien oletettujen todennäköisyysjakaumien mukaisille variansseille. Näitä suureita voidaan käsitellä samoin kuin variansseja. Suureita $u_j(x_i)$ voidaan käsitellä kuten keskihajontoja. /3/

8.4. Ulkoisen epävarmuuden määrittäminen

Kun epävarmuuden määrittämiseen ei ole käytettävissä havaintojoukkoa, kuten tyypin A epävarmuuden määrittämisessä, täytyy käyttää muita mahdollisia tietolähteitä, kuten:

- valmistajan antamat spesifikaatiot
- aikaisemmat mittaustulokset
- kokemus ja yleiset tiedot
- kalibrointiraportin tiedot
- käsikirjatiedot ym.

Tyyppin B epävarmuuden määrittäminen perustuu aikaisempaan kokemukseen ja yleisiin tietoihin. Kuitenkin tämän tyyppinen arviointi voi olla yhtä luotettava kuin tyyppin A tavalla toteutettu, varsinkin jos käytössä on ollut vähäinen määrä havaintoja.

Ulkoisten epävarmuuskomponenttien jakautumia ei yleensä tunneta. Jakautuma voidaan olettaa esimerkiksi tasaiseksi jollakin välillä. Tyyppin B standardiepävarmuus lasketaan kaavasta:

$$u_B(x_i) = \sqrt{\frac{(a_+ - a_-)^2}{12}} = \frac{a}{\sqrt{3}} \quad (11)$$

Muidenkin jakautumatyypin tapauksissa epävarmuus arvioidaan varianssimenetelmällä. Jos jakautumafunktio on jokin muu kuin normaalijakauma, voidaan se muuttaa vastaamaan normaalijakautunutta keskihajontaa σ . Esimerkiksi tasajakautumassa jaetaan ilmoitettu hajonta $\sqrt{3}$:lla ja kolmiojakauman tapauksessa $\sqrt{6}$:lla.

Yleensä tasajakautuneita epävarmuuskomponentteja ovat mittalaitteen resoluutio, valmistajan spesifikaatiot ja itse arvioidut suureet. Käytettäessä esimerkiksi valmistajien spesifikaatioita tai kalibrointitodistuksia, missä epävarmuus on ilmaistu keskihajontojen kerrannaisina, standardiepävarmuus $u(x_i)$ saadaan yksinkertaisesti jakamalla ilmoitettu arvo käytetyllä kertoimella. Varianssi saadaan korottamalla mainittu osamäärä toiseen potenssiin.

8.5. Epävarmuuksien yhdistäminen ja laajennettu epävarmuus

Epävarmuudet yhdistetään laskemalla yhteen kaikki epävarmuuskomponentit. Täydellisesti korreloivat komponentit summataan sellaisenaan.

$$u_C = u_1 + \dots + u_i \quad (12)$$

Jos komponentit eivät korreloi, summataan ne neliöllisesti.

$$u_C = \sqrt{u_1^2 + \dots + u_i^2} \quad (13)$$

Epävarmuustekijöistä muodostetaan yleensä laajennettu epävarmuus, joka saadaan kertomalla yhdistetty epävarmuus kattavuuskertoimella k , joka on yleensä 2. Tämä vastaa noin 95 prosentin suuruista luotettavuusväliä, eli ilmoitettujen mittausepävarmuusrajojen sisällä on noin 95 prosenttia tuloksista. Kattavuuskerroin 3 vastaa 99,7 prosentin varmuutta. Toisin sanoen tyyppin A ja tyyppin B epävarmuuksien neliösumman neliöjuuresta saadaan standardiepävarmuus. Kertomalla standardiepävarmuus halutun luottamustason

mukaisella kattavuuskertoimella saadaan parametrin laajennettu epävarmuus. Laajennettua epävarmuutta käytetään kalibrointitodistuksessa.

$$U = k\sqrt{u_1^2 + \dots + u_i^2} \quad (14)$$

9. VERTAILUMITTAUSMENETELMÄ

9.1. Menetelmä yleisesti

Vertailumittauslaitteisto tuo jäljitettävyyden käyttöönoton mittalaitteisiin. Tästä syystä laitteet on pyhitettävä kokonaan tähän käyttöön. Näille laitteille tulee käytöstä, kalibroinneista ja huollosta kertovat ohjeet. SFS-käsikirjassa 19 on esitetty mittauslaitteistoa koskeva määräys. Siinä sanotaan, että mittauslaitteiston tulee olla metrologisilta ominaisuuksiltaan käyttötarkoitustaan vastaava. Näitä ominaisuuksia ovat esimerkiksi tarkkuus, stabiilius, mittausalue ja resoluutio. Lisäksi siinä sanotaan, että laitteistoa ja dokumentaatiota tulee ylläpitää siten, että kaikki korjaukset, käyttöolosuhteet ja muut vaaditun suorituskyvyn saavuttamiseen vaikuttavat seikat on otettava huomioon.

Laitteista muodostetaan tallenne verkkoon laatuohjeistoon ja lisäksi tehdään kansio, johon kerätään kaikki mittauksista saatava dokumentaatio. Tallenteessa tulee olla ainakin: tarkastusjaksot, edellinen tarkastuspäivä, tarkastaja, tarkastusmenetelmä (ohjenumero), laitteen spesifikaatiot, mittautulokset, tulosten analysointi ja mittausepävarmuuslaskelmat.

Vertailumittaustallenteen tietoja voidaan myöhemmin käyttää järjestelmän toiminnan tehostamiseen. Esimerkiksi vertailumittausväliin voidaan tehdä muutoksia, kun tiedetään referenssilaitteiston käyttäytyminen. Mahdollisesti voidaan muodostaa edellisten vuosien tuloksista stabiilius-käyrä. Myös mittaajien tekemät satunnaisvirheet voitaisiin välttää. /11/

9.2. Organisointi

Vertailumittaustoiminnalle tulisi määrittää vastuuhenkilö ja sille mahdollisesti varamies. Tällä päästään siihen, että mittaustapahtumasta tulisi rutiininomainen ja mittaustuloksia olisi helpompi vertailla keskenään. Jos vertailumittauksia tekevää henkilöä ei määritetä, mittaustapahtumalle tulisi laatia yksiselitteiset ja kunnolliset ohjeet, joiden mukaan toimitaan.

9.3. Tarkastettavat toiminnot

Mittalaitteista tarkastettavia toimintoja ovat:

- pienohmi -mittaus
- jännite / virta
- oikosulkuvirta
- silmukkavastus
- vikavirtasuojan laukaisuaika/-virta
- eristysresistanssinmittausjännite
- eristysresistanssi.

10. VERTAILUMITTAUSJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU

Vertailumittausjärjestelmä muodostuu laitekohtaisista tai laiteryhmäkohtaisista ohjeista, mittalaitteista ja näiden laitteiden vertailuun käytettävistä laitteista, jotka ovat jäljitettävästi kalibroitu.

Järjestelmän suunnittelu aloitetaan pohtimalla mitkä mittalaitteet sijoitetaan ulkopuolisen kalibroinnin piiriin, mitkä oman vertailumittauksen piiriin ja mitkä mittalaitteet eivät tarvitse säännöllistä varmennusta. Seuraava vaihe suunnittelussa on mittaustoimintojen läpikäynti. Mitä mitataan milläkin mittalaitteella ja millaiseen tulostarkkuuteen halutaan päästä. Näiden kohtien jälkeen laaditaan mittalaiteluettelo tai päivitetään jo olemassa olevaa luettelo mittalaitteiden tarkastusohjeella. Tarkastusohjeeseen mietitään seuraavanlaisia asioita:

- säännöllisen kalibroinnin tarve
- kalibrointiväli
- haluttu mittaustarkkuus
- mittausepävarmuuden suuruus
- missä ja miten mittalaite kalibroidaan
- kalibroinnin vastuuhenkilö
- mittalaitteiden merkintä.

Sähkösuureiden mittalaitteiden kalibroinnissa on olosuhteisiin kiinnitettävä erityistä huomiota. Lämpötilan ja kosteuden lisäksi on varmistettava sähkönsyöttö, maadoitukset sekä sähköisten ja magneettisten häiriöiden suojaukset. Sähkösuureiden mittalaitteiden kalibrointiväli on valmistajien mukaan yleensä 1-2 vuotta riippuen käytön kovuudesta.

Mittalaitetta varmennettaessa tarkistetaan aina mittarin toiminnot. Vertailu tehdään vertaamalla mittalaitetta toiseen vastaavanlaiseen, jolla on jäljitettävyyys kunnossa. Vertailupisteiksi valitaan spesifikaatioista yhteisiä pisteitä mitta-alueiden välillä, minimi- ja maksimipisteet sekä mittauskokemuksen perusteella käytännön kannalta tärkeät mitta-alueen pisteet. Hajonnan selvittämiseksi on aluksi syytä tehdä jokaisesta pisteestä useampia mittauksia. Myöhemmin voidaan toistoista tinkiä, kun on kokemusta laitteen stabiiliudesta. /13/

10.1. Tarkastusvälin määrittäminen

Mittauslaitteiden tarkastusvälin maksimipituuden määrittäminen on tärkeää koko mittausjärjestelmän toiminnan kannalta. Tarkastusvälin pituuteen vaikuttavat monet eri asiat. Tärkeimpiä ovat seuraavat tekijät:

- laitetyyppi
- valmistajan suositukset
- edeltävät kalibrointitiedot
- käytön määrä ja kovuus
- ympäristön vaikutus
- tiedot ylläpidosta ja huollosta
- mittausten tavoitetarkkuus.

Vertailumittausvälin arvioimiseen on kaksi perustetta: mittalaitteen pysyvyys ja virhemittauksen seurausten riski. Vastuu vertailumittausvälien sopivuudesta samoin kuin mittausten oikeellisuudesta on aina käyttäjällä.

Vertailumittausvälit määritetään aluksi ammattitaidollisen tiedon, mittauskokemuksen ja mittalaittevalmistajan ohjeiden perusteella. Huomioon otettavia tekijöitä ovat myös laitteen käytön määrä ja kovuus sekä ympäristön vaikutus ja tavoiteltu mittaustarkkuus. Tämä määrittäminen tehdään jokaiselle mittalaitetyypille. Vertailumittausväli valitaan ensin tietoisesti oletettua lyhyemmäksi. Näistä tuloksista saadaan tallennettua historiatiedostoa. /4/

Vertailumittausten muuttuessa rutiininomaiseksi tarkastellaan historiatiedostoa ja mahdollisesti muutetaan tarkastusväliä lyhyemmäksi tai pidemmäksi. Näin voidaan optimoida riskien ja kustannusten tasapaino. Mittalaitteille, joissa on useita mittaustoimintoja, voidaan tarkastusväli määrittä tietyille toiminnoille erikseen. Vertailumittausvälien tarkastamiseen on useita menetelmiä. Menetelmät eroavat riippuen siitä,

- käsitelläänkö laitteita yksilöinä vai ryhmissä.
- johtuvatko laitteiden poikkeamat spesifikaatioista ajan myötä tapahtuneesta ajautumasta vai käytön määrästä.
- ovatko laitteiden aikaisemmat kalibrointitiedot saatavissa. /8/

11. VERTAILUMITTAUKSEN LAITTEET

Referenssimittareina käytetään Amprobe 0100 Telaris -mittalaitteita, jotka käytetään säännöllisesti valtuutetussa tarkastuslaitoksessa kalibroitavana. Näillä referenssimittareilla tehdään oma vertailumittaus muihin sähkölaitteistojen testauksissa ja tarkastuksilla käytettäviin mittalaitteisiin. Näitä ovat mittalaitteiden tarkastusohjeen 2 mukaiset mittalaitteet.

Virtamittauksen referenssimittari valitaan tarkimman ja suurimman näyttämän mukaan jo olemassa olevista virtamittareista. Vertailumittauskäytännön lähdettyä käyntiin on hyvä tarkistaa referenssimittarin tarkkuus ja soveltuvuus referenssimittariksi. Myöhemmin voidaan hankkia tarkempi mittari, koska vertailumittaus perustuu siihen, että verrataan muita mittalaitteita huomattavasti niitä tarkempaan referenssiin.

Vertailumittausjärjestelmän tarvikkeita ja laitteita on olemassa jo aikaisemmasta kehityskerrasta. Näitä yhdistelemällä ja parantamalla saadaan tehtyä uusi laitteisto, jolla on osittain mahdollista vertailla kaikkia sähkölaitteiston käyttöön otossa tarvittavia mittauksia.

11.1. Pienohmimittaus

Resistanssimittauksen vertailuun on aikaisemmin tehty laatikko (kuva 13), joka sisältää kuusi erikokoista vastusta: 0,33 Ω , 6,8 Ω , 6,8 k Ω , 470 k Ω , 4,7 M Ω ja 66 M Ω . Mittausjohtimien liittäminen on tehty ns. banaaniliittimien avulla ja itse vastukset on liitetty puristettavilla liittimillä. Pienohmimittauksessa suurimpia vastuksia ei tarvita eikä mittalaitteen näyttämä pienohmimittauksella riittäisikään.

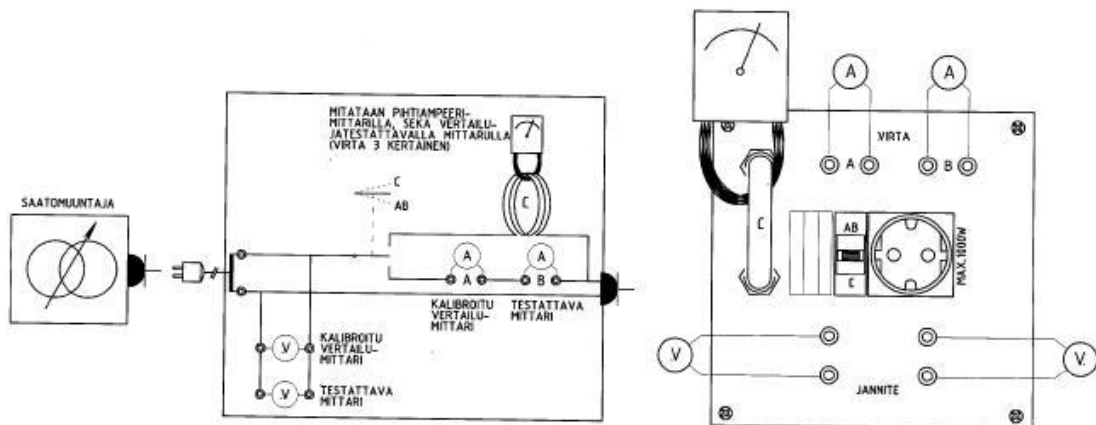


Kuva 13. Vastuslaatikko

Pieniä vastuksia voitaisiin lisätä, koska suojajohtimen jatkuvuuden mittauksissa jäädyään reilusti alle kahden ohmin.

11.2. Jännitteen ja virran mittaus

Jännitteen ja virran mittaamiseen/vertailemiseen on olemassa aikaisemmin tehty laitteisto (kuva 14), jossa on mahdollista mitata joko sarjaan kytkettävillä virtamittareilla tai pihtivirtamittareilla samanaikaisesti referenssimittarin kanssa. Jännitteenmittaus tapahtuu myös samanaikaisesti referenssin ja vertailtavan mittalaitteen kesken.



Kuva 14. Jännitteen ja virran vertailumittaus

11.3. Silmukkaimpedanssin mittaus

Silmukkaimpedanssi ja oikosulkuvirta mitataan jännitteisestä verkosta. Testeri kuormittaa mitattavaa piiriä ja mittaa, kuinka paljon jännite tippuu kuormituksen aikana. Kun jännitteet ja virta tunnetaan, voidaan laskea impedanssi ja sen jälkeen oikosulkuvirta. Eli testerit laskevat suurimman mahdollisen oikosulkuvirran kaavasta (6). Alun perin silmukkaimpedanssin mittauksen vertailu olisi tehty samasta pistorasiasta referenssillä ja vertailtavalla mittarilla. Ajatuksesta luovuttiin, koska mittaustulokseen vaikuttaa koko syöttävän verkon senhetkinen kuormitus. Tästä syystä silmukkaimpedanssin vertailumittauksen toteuttaminen luotettavasti vaatisi vakaan jännitelähteen ja tarkkoja resistanssiarvoja vastuksilta. /19/

Silmukkaimpedanssin vertailu onnistuu säädettävän jännitelähteen avulla. Yrityksellä on lääkintätilojen mittauksiin rakennettu oma mittalaite, joka sisältää säätömuuntajan (kuva 16). Tällä laitteella on suoritettu lääkintätilojen vanhojen määräysten mukaisia

absoluuttisia mittauksia 10 A:n mittausvirralla. Tätä laitetta apuna käyttäen voitaisiin vertailla silmukkaimpedanssin mittausta.

Vertailu tapahtuu mittaamalla säätömuuntajan syöttämä jännite ja virta rakennettavasta piiristä. Tämän jälkeen lasketaan saaduista arvoista oikosulkuvirta käyttäen verkosta saatavaa jännitettä. Kuvassa 16 on esitetty vertailumittauksen kytkentä.

Mittaus tehdään normaalin verkon ollessa irtikytkettynä ja muuntajan ensiöpuolen ollessa oikosuljettuna. Menetelmässä käytetään erillistä jännitelähdettä. Vikapiirin impedanssi lasketaan kaavasta

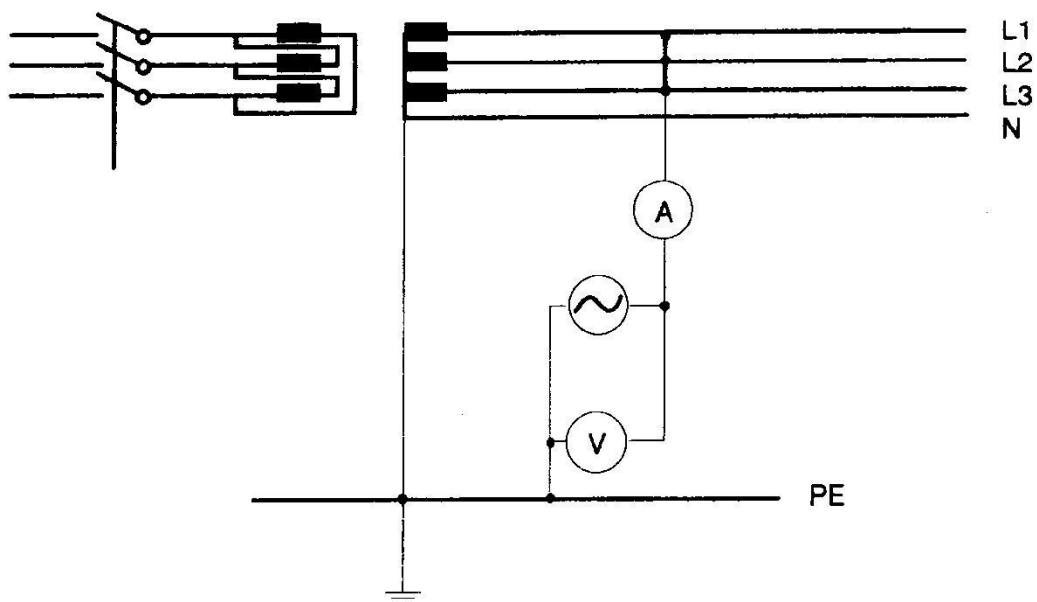
$$Z = \frac{U}{I} \quad (15)$$

missä

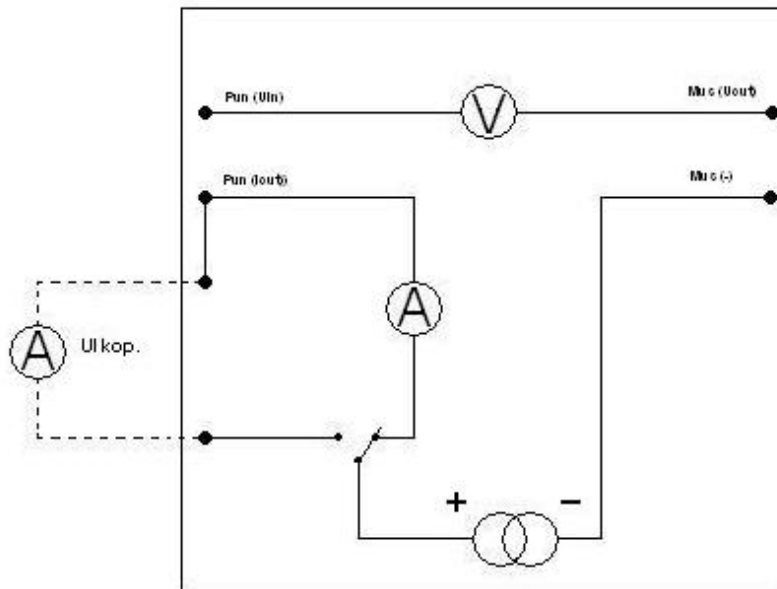
Z on vikavirtapiirin impedanssi

U on mitattu jännite

I on mitattu koevirta.



Kuva 15. Vikavirtapiirin impedanssin mittaaminen erillisen jännitelähteen avulla /5/



Kuva 16. Lääkintätilojen mittalaite

Vertailumittauksessa käytettäviä arvoja ovat esimerkiksi yleisimpien sulakkeiden vaatimat oikosulkuvirrat. Näitä ovat taulukoissa 3 ja 4 esitetyt johdonsuoja-automaattien ja Gg-sulakkeiden toimintavirrat.

Esimerkiksi 16 A:n johdonsuoja-automaatin pienin sallittu mitattu oikosulkuvirta on 200 A. Sen aikaansaamiseksi 230 V:n jännitteellä tarvitaan 1,15 Ω :n johdinresistanssi.

11.4. Vikavirtasuojakytkimen testaus

Tähän mittaukseen tarvitaan erilaisilla nimellisvirroilla olevia vikavirtasuojakytkimiä. Valitaan ainakin yleisimmin käytetty 30 mA:n ja sen lisäksi 300 mA:n nimellistoimintavirralla oleva vikavirtasuojaja. Vikavirtasuojien toiminta on varmaa. Vertailu tapahtuu laukaisemalla vikavirtasuojakytkin referenssilaitteella, jonka jälkeen vertailtavalla laitteella toistetaan sama.

11.5. Eristysresistanssin mittauksen varmennus

Mittalaitteiden syöttämä mittausjännite on yksi tarkastettavista toiminnoista. Mittaus suoritetaan yhdessä eristysresistanssin mittauksen kanssa. Eristysresistanssin mittauksen varmennuksessa käytetään vastuslaatikossa olevia vastuksia: 470 k Ω , 4,7 M Ω ja 66 M Ω . Nämä olemassa olevat resistanssiarvot riittävät koska asennuksilla pienin vaadittava

eristysresistanssinarvo on $1 \text{ M}\Omega$ ja kokemuksen perusteella mitatut tulokset vaihtelevat suurella haitarilla nolasta aina muutamaa kymmeniä megaohmeihin.

12. VERTAILUMITTAUKSEN DOKUMENTOINTI

Mittauslaitteiston laadunvarmistusstandardi edellyttää toimittajalta tiedostoja, jotka sisältävät kaikkien mittauskalustoon kuuluvien laitteiden tunnistetiedot. Näiden tulee osoittaa mittauslaitteiston soveltuvuus kyseisiin mittauksiin. Kalibrointitodistusten ja muun asiaan kuuluvaan tiedon laitteiston toimintaan tulee olla saatavilla.

Vertailumittauksen tulokset kirjataan riittävän yksityiskohtaisesti ja säilytetään, jotta mittausten jäljitettävyys voidaan näyttää toteen. Pöytäkirjaan tulee sisältyä ainakin laitteen kuvaus ja yksiselitteiset tunnistustiedot eli mittalaitteen numero. Lisäksi tiedoista täytyy löytyä päivämäärä, jolloin vertailumittaus on suoritettu loppuun.

Vertailumittauksista laaditaan pöytäkirjat, jotka liitetään osaksi mittalaiteluetteloa. Mittalaiteluettelo on tärkeä osa vertailumittausjärjestelmää. Vaikka mittalaitteet käytettäisiin kalibroitavana ulkopuolisessa yrityksessä, on tiedettävä, milloin mikäkin laite tarvitsee kalibrointia. Mittauspöytäkirjat sisältävät usein taulukoita, joissa tutkitaan laitteen tarkkuusvaatimusten toteutumista käytännössä. Laskentataulukot tehdään mahdollisimman automaattisiksi. Kaikki manuaalinen laskeminen minimoidaan mahdollisten virheiden poistamiseksi sekä ajan säästämiseksi. Mittaustulokset syötetään automaattiseen Excel-tilukkolaskentaohjelmaan. Taulukkoon syötetään mitatut arvot ja se laskee epävarmuudet. Laskentataulukosta vertailutulokset siirretään automaattisesti myös lopulliseen pöytäkirjaan.

Mittausepävarmuus määritellään laitekohtaisesti kunkin laitteen kalibrointitavan antamien mahdollisuuksien mukaan. Käytetään yhdistettyä A- ja B-tyypin mittausepävarmuutta ja ilmoitetaan se laajennettuna epävarmuutena. (Liite 2.)

13. YHTEENVETO

Tässä opinnäytetyössä kehitettiin sähköurakointiyrityksen laatujärjestelmää sähkölaitteistojen käyttöönotossa tarvittavien mittalaitteiden osalta. Selvitettiin viranomaisten vaatimuksia käyttöönototarkastuksissa käytettäville mittalaitteille sekä yrityksen oman laatujärjestelmän vaatimuksia mittalaitteiden seurantaan. Esiteltiin myös sähkölaitteiston käyttöönotossa tehtäviä mittauksia.

Opinnäytetyössä kehitettiin laatujärjestelmään kuuluvaa mittalaitteiden varmennusjärjestelmää, jonka avulla voidaan itse varmentaa mittalaitteiden luotettavuus käyttöönottomittauksissa. Tähän liittyen laadittiin Excel-taulukko, joka tekee vertailumittauksen epävarmuuslaskelmat automaattisesti. Lisäksi yhtenä osa-alueena oli päivittää mittalaiteluetteloa ja siihen liittyvää mittalaitteiden tarkastusohjetta vastaamaan paremmin tarkoitustaan.

Mittalaitteiden seuranta parannettiin kokoamalla uudet mittalaiteluettelot, joista karsittiin ylimääräiset testauslaitteet pois. Luetteloihin lisättiin automaattiset muistutukset mittalaitteiden kalibroinneista. Uusi mittalaiteluettelo lähettää automaattisesti sähköpostimuistutuksen kunkin toimipisteen mittalaittevastaavalle.

14. LÄHDELUETTELO

- /1/ Aumala, Olli, Mittaustekniikan perusteet, 8. painos, Otatieto Oy, 1989.
- /2/ Beha, Käyttöohje Telaris 0100 plus, 9/2003.
- /3/ EA 4/02EA-4/02, Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration, 1999.
- /4/ Guidelines for the determination of calibration intervals of measuring instruments, ILAC-G24, International, 2007.
- /5/ Hakala, Paavo, Rakennusten sähköasennusten käyttöönottotarkastus, ST-käsikirja, Sähkötieto ry, 1997.
- /6/ Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös sähkölaitteistojen käyttöönotosta ja käytöstä (517/1996), Sähköturvallisuuslaki, 23.2.2010.
- /7/ Kärhä, Petri, TKK-mittaustekniikka, Luento7: Mittausjärjestelmän kalibrointi ja mittausepävarmuus, 8.2.2010.
- /8/ Lintula, Reijo, Rakennusten sähköasennusten käyttöönottotarkastukset, ST-käsikirja, Sähkötieto ry, 2001.
- /9/ Mäkinen, P.A, SFS 6002 käytännössä, Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry, 2007.
- /10/ Saastamoinen, Arto, Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto, Kiinteistöjen sähköasennusten käyttöönottotarkastukset, 4. painos, Sähköinfo Oy, 2008.
- /11/ SFS-EN ISO 9001, Laadunhallintajärjestelmät, Suomen standardisoimisliitto SFS ry, 1994.
- /12/ SFS 6002, Sähkötyöturvallisuus, 2. painos, Suomen Standardoimisliitto SFS ry, 2010.
- /13/ SFS-ISO 10012-1 EN 30012-1, Mittauslaitteiston laadunvarmistusvaatimukset, Osa1: Mittauslaitteiston metrologinen varmennusjärjestelmä, 1. Painos, Suomen standardisoimisto SFS ry, 1994.
- /14/ SFS 6000-6, Suomen standardisoimisto SFS ry, 2007.
- /15/ Sähköasennustekniikkapäivä 2009, Luento 4- Ryhmäjohtotason mitoitusesimerkkejä, Sähköinfo Oy, 2009.
- /16/ Sähköturvallisuuslaki 14.6.1996/410 §17.
- /17/ Tiainen Esa, D1 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista, STUL ry, 2006

/18/ Tukes-ohje S9-98, Turvatekniikan keskus, 1998.

/19/ Vuoristo, Jussi, Sähköala-lehti, 1-2/2008.

15. LIITELUETTELO

LIITE 1 Uusi mittalaiteluettelo

LIITE 2 Vertailumittaustyökirja

MITTALAITELUETTELO:

Päivitetty: 15.9.2010 EK

PALUU

Tunniste N:o	Mittalaitte / tyyppi	Sarja N:o	Kalibrointi / Vertailu	Tarkastus- ohje	Käyttäjä	Edellinen Kalibrointi	Seuraava Kalibrointi	Muistutuksen Lähetys	Muistutus lähetetty
61001	Unitest Telaris 0100 Plus	0709-X	Kalibrointi	1	Toimisto		HETI	20.9.2010	
61002	Unitest Telaris 0100 Plus	SE-0506-2	Kalibrointi	1	Kajaani	10.6.2008	10.6.2010	20.9.2010	
61003	Unitest 0100 - Multitester 8991	U10052295	Kalibrointi	1	Toimisto		HETI	20.9.2010	
61004	Pihtiampööri mittari Unitest CHB 130	IM05022026	Vertailu	2	Toimisto		HETI	20.9.2010	
61005	Impedanssimittari TOA ZM-104	04A4016147			Toimisto				
61006	Kaapeliteite Ireland 5000E	1M99051326			Toimisto				
61007	Kometesteri BEHA 9032	U31028198	Kalibrointi	1	Toimisto		HETI	20.9.2010	
61008	Rakennetunnistin Würth MD 10	714641300			Toimisto				
61009	Kosteusmittari Unitest 94026	20040124			Toimisto				
61010	Puh.kaaopelitesteri CCME TRX-8/TRX-32				Toimisto				
61011	Ant.k.pit.m Riser Bond RB 1000	RB 53 74			Toimisto				
61012	Ant.m. Promax Prolink 3+	10497830002			Toimisto				
61013	Antennimittari	????			Toimisto				
61014	Unitest Telaris 0100 Plus		Kalibrointi	1	Kajaani	20.4.2009	20.4.2011	10.4.2011	

TYYPIN A STANDARDIEPÄVARMUUS

Aloitte mittaus referenssimittalaitteilla. Syötä mittaus tulokset sarakkeeseen x_i .
Taulukko laskee standardiepävarmuuden oikealle.

RESISTANSSI

A settetty

0,33					6,8				
MITTAUSTULOKSET					MITTAUSTULOKSET				
n	x_i	REF	x_i	VERT	n	x_i	REF	x_i	VERT
1	0,33		7,00	7,80					
2	0,34		7,00	7,80					
3	0,35		7,00	7,90					
4	0,33		7,00	7,80					
5	0,33		7,00	6,90					
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
summa	1,68		35	38,2					
KA	0,3360		7,0000	7,6400					

A settetty

0,33					6,8				
MITTAUSTULOKSET					MITTAUSTULOKSET				
n	x_i	REF	x_i	VERT	n	x_i	REF	x_i	VERT
1	0,33		7,00	7,80					
2	0,34		7,00	7,80					
3	0,35		7,00	7,90					
4	0,33		7,00	7,80					
5	0,33		7,00	6,90					
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
summa	1,68		35	38,2					
KA	0,3360		7,0000	7,6400					

YHDISTETTY JA LAAJENNETTU EPÄVARMUUS

Tyyppin A standardiepävarmuuden tulee automaattisesti.
Jokaiselle epävarmuuskomponentille syötetään nimellinen arvo ja +/- epävarmuus tai vaihtoehtoisesti % epävarmuus.
Jakaumatyyppi valitaan puodotusvalikosta.

Epävarmuuskomponentti	Syötä nimellisarvo ja +/- tai %				Standardi epävarmuus
	Nimellisarvo	Arvo +/-	Arvo +/- %	Jakaumatyyppi	
Tyyppin A epävarmuus Referenssi	5	0,004		Tasajakauma	0,00046188
Tyyppin A epävarmuus Vertailtava	5	0,005831		Tasajakauma	0,0006733
Referenssin mittausvirhe			0,03	Normaali k=2	0,015
Vertailtavan mittausvirhe			0,03	Normaali k=2	0,015
Yhdistetty standardi epävarmuus	1	0,02123	0,02		0,021228911
Laaennettu epävarmuus (k=2)	1	0,04246	0,04		0,042457822
Tyyppin A epävarmuus Referenssi	5	0		Tasajakauma	0
Tyyppin A epävarmuus Vertailtava	5	0,1860108		Tasajakauma	0,021478672
Referenssin mittausvirhe			0,03	Normaali k=2	0,015
Vertailtavan mittausvirhe			0,03	Normaali k=2	0,015
Yhdistetty standardi epävarmuus	1	0,00000	0,03		0,030188298
Laaennettu epävarmuus (k=2)	1	0,00000	0,06		0,060376596

TESTAUSRAPORTTI

Laite: _____
Numero: _____
Pvm: _____
Mittaja: _____

Resistanssin mittaus

Asettelu (Ω)	Referenssi	Lukema	Ero %	Epävarmuus %	Kunnossa
0,33	0,34	0,32	5,36 %	4,25 %	
6,8	7,00	7,64	-9,14 %	6,04 %	

Resistanssin mittausvirta

Asettelu	Referenssi	Lukema	ero %	Epävarmuus %	Kunnossa
0				0,00	
0				0,00	

Eristysresistanssin mittaus

Asettelu	Referenssi	Lukema	ero %	Epävarmuus %	Kunnossa	Mittausjännite DC

Jännite

Asettelu	Referenssi	Lukema	ero %	Epävarmuus %	Kunnossa

Lisätietoja:

Paikka ja Aika _____

Allekirjoitus _____