



Topi Virta

# Käyttöönottotarkastukset jakeluverkossa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkövoimatekniikka

Insinöörityö

6.5.2022

## Tiivistelmä

Tekijä: Topi Virta  
Otsikko: Käyttöönottotarkastukset jakeluverkossa  
Sivumäärä: 34 sivua + 2 liitettä  
Aika: 6.5.2022

Tutkinto: Insinööri (AMK)  
Tutkinto-ohjelma: Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma  
Ammatillinen pääaine: Sähkövoimatekniikka  
Ohjaajat: Lehtori Kai Virta  
Sähkötöiden johtaja Jukka Heiskanen

Opinnäytetyössä perehdytään sähköasennusten ja -laitteistojen käyttöönottotarkastuksiin jakeluverkon näkökulmasta. Opinnäytetyö pyrkii vastaamaan sellaisiin käyttöönottotarkastuksia koskeviin kysymyksiin kuten mitä, miten ja miksi käyttöönottotarkastuksia tehdään. Vastaukset näihin kysymyksiin on pyritty löytämään alaa koskevista määräyksistä ja standardeista.

Tarkastuksiin liittyvien taustojen avaamiseksi, työssä käsitellään myös jakeluverkon rakennetta, maadoituksia, suojausmenetelmiä sekä määräyksiä.

Työn tuloksena saatiin Voimatel Oy:lle toimintaohje käyttöönottotarkastusten suorittamiseen. Ohjeesta pyrittiin saamaan mahdollisimman yleispätevä ja useimmille sähköverkkoyhtiöille toimiva pohja, joten ohjeeseen ei sisällytetty erikoismittauksia tai -testauksia eikä verkkoyhtiöiden yksilöllisiä tarpeita.

Opinnäytetyön liitteenä oleva toimintaohje on työn toimeksiantajan toivomuksesta julistettu salaiseksi.

---

Avainsanat: käyttöönottotarkastus, jakeluverkko, sähköturvallisuus, tarkastusohje

## Abstract

Author: Topi Virta  
Title: Commissioning Inspection of Distribution Network  
Number of Pages: 34 pages + 2 appendices  
Date: 6 May 2022

Degree: Bachelor of Engineering  
Degree Programme: Electrical and automation engineering  
Professional Major: Electrical power engineering  
Supervisors: Kai Virta, Senior lecturer  
Jukka Heiskanen, Electrical work supervisor

---

This bachelor's thesis aims to acquaint the reader with commissioning inspection of electrical installations and equipment from a distribution network perspective. This thesis seeks to answer such questions as what, how and why commissioning inspections are carried out. Electrical standards and regulations were used as sources.

To open up background related to the inspections, this thesis also discusses distribution network's structure, grounding, protection methods and safety regulations.

As a result of this thesis work an instruction manual for commissioning inspection of electrical installations was created. The instruction manual was aimed to be suitable for most distribution network companies. Because of this, the instruction manual did not include any special measurements or individual needs of distribution network companies.

The instruction manual is confidential information and only for the use of the commissioner.

---

Keywords: commissioning inspection of electrical installations, distribution network, electrical safety, inspection manual

## Sisällys

### Lyhenteet

1	Johdanto	6
1.1	Työn toimeksiantaja	7
2	Suomen sähkönjakeluverkko	7
2.1	Solmupisteet jakeluverkossa	8
2.2	Jakelujärjestelmä	9
2.3	Maadoitukset jakeluverkossa	11
3	Suojausmenetelmät	13
3.1	Keskijänniteverkon suojaus	13
3.1.1	Keskijänniteverkon ylikuormitus- ja oikosulkusuojaus	14
3.1.2	Keskijänniteverkon maasulkusuojaus	15
3.2	Pienjänniteverkon suojaus	15
3.2.1	Pienjänniteverkon oikosulkusuojaus	16
3.2.2	Pienjänniteverkon ylikuormitussuojaus	18
4	Käyttöönottotarkastusten perustana	18
4.1	Lait ja asetukset	19
4.2	Standardit	20
5	Käyttöönottotarkastukset	21
5.1	Yleistä	21
5.2	Aistinvaraiset tarkastukset	22
5.3	Mittaukset ja testaukset	23
5.3.1	Mittalaitteet	24
5.3.2	Eristysresistanssi- ja vaipaneheysmittaus KJ	25
5.3.3	Vaiheisuuden toteaminen	26
5.3.4	Eristysresistanssimittaus PJ	26
5.3.5	Jännitteenmittaus ja kiertosuunta	27
5.3.6	Oikosulkuvirta ja silmukkaimpedanssi	28
5.3.7	Vikavirtasuojat	29
5.3.8	Maadoitusmittaukset	32

5.3.9	Suojajohtimien eheys ja jatkuvuus	34
5.3.10	Muuntajakoneen mittaukset	35
5.4	Tarkastuspöytäkirjat	35
6	Yhteenveto	36
	Lähteet	38
	Liitteet	
	Liite 1: Toimintaohje jakeluverkon käyttöönottotarkastusten suorittamiseen	
	Liite 2: Esimerkkikuvia mittauksista	

## Lyhenteet

AJK:	Aikajälleenkytkentä.
FTIR:	Fourier muunnettu Infrapunaspektroskopia.
KJ:	Lyhenne sanasta Keskipännite, jännitetaso 20 kV.
PEN:	Yhdistetty nolla ja suojamaadoitus johdin.
PEX:	Ristisilloitettu polyeteeni.
PJ:	Lyhenne sanasta Pienjännite, jännitetaso 0,4 kV.
PJK:	Pikajälleenkytkentä.
SF6:	Rikkiheksafluoridi (SF6), sähkölaitteiden eristekaasu.
U <sub>E</sub> :	Maadoitusjännite.
U <sub>TP</sub> :	Kosketusjännite.
Z <sub>E</sub> :	Maadoitusimpedanssi.

# 1 Johdanto

Käyttöönottotarkastuksella varmistetaan rakennetun sähkölaitteiston turvallisuus ja, että se on rakennettu suunnitelmien ja voimassa olevien standardien mukaiseksi. Työn tarkoituksena on perehtyä käyttöönottotarkastuksiin jakeluverkon rakentamisen näkökulmasta. Lisäksi työssä perehdytään tarkastusten edellyttämällä laajuudella Suomen sähkönjakeluverkon rakenteeseen, suojausmenetelmiin sekä tarkastuksia koskeviin asetuksiin ja standardeihin.

Työn tavoitteena on tehdä toimintaohje jakeluverkon käyttöönottotarkastusten suorittamiseen, jonka avulla yrityksessä voidaan kehittää ja yhtenäistää toimintatapoja käyttöönottotarkastusten osalta. Näin pidetään yllä hyvää ammattitaitoa sekä kannustetaan huolella tehtäviin käyttöönottotarkastuksiin.

Jakeluverkon käyttöönottotarkastuksiin kuuluvat sekä ilmajohtoverkon että maakaapeliverkon osat 20 kV:n ja 0,4 kV:n jännitealueilta. Tarkastuskohteet muodostuvat muun muassa pylväistä, ilmajohdoista, muuntamoista, erotinasemista, jakokaapeista, liittymistä sekä maakaapeleiden tarkastuksista. Aiheen laajuuden ja edelleen kasvaneen maakaapelointi asteen vuoksi, käyttöönottotarkastuksia on käsitelty ensisijaisesti kaapeliverkon näkökulmasta.

Opinnäytetyön ja toimintaohjeen sisältöä jaoteltiin siten, että tarkastuksiin liittyvää teoriaa käsitellään ensisijaisesti opinnäytetyössä, kun taas toimintaohjeessa keskitytään käsittelemään yksityiskohtaisemmin mittausten ja tarkastusten suorittamista käytännössä. Sisällön jaottelun avulla toimintaohjeesta saatiin mahdollisimman hyvin asentajia palveleva käsikirja.

## 1.1 Työn toimeksiantaja

Työn toimeksiantajana toimii Voimatel Oy. Voimatel Oy:ssä suhtaudutaan työturvallisuusasioihin vakavasti, minkä vuoksi sähköverkon käyttöönottotarkastuksille haluttiin laatia yhtenäiset ohjeistukset. Näin varmistetaan, että sähköverkon rakentamisen parissa työskentelevillä henkilöillä on riittävät tiedot ja taidot suorittaa käyttöönottotarkastukset huolellisesti ja turvallisesti.

Voimatel Oy:n toimenkuvaan kuuluu sähköverkkojen rakennus-, suunnittelu- ja kunnossapitotyöt. Vastaavat palvelut toimivat myös tietoverkkojen sekä elinkaari- ja energiapalveluiden puolella. Sähköverkkojen näkökulmasta merkittävimpiä asiakkaita ovat Suomen siirto- ja jakeluverkkoyhtiöt. Voimatelin noin 1000 palveluammattilaisen organisaatio palvelee asiakkaita Suomesta ja Virosta käsin. Voimatelin omistaa suomalainen osuuskunta KPY. [1.]

## 2 Suomen sähköjakeluverkko

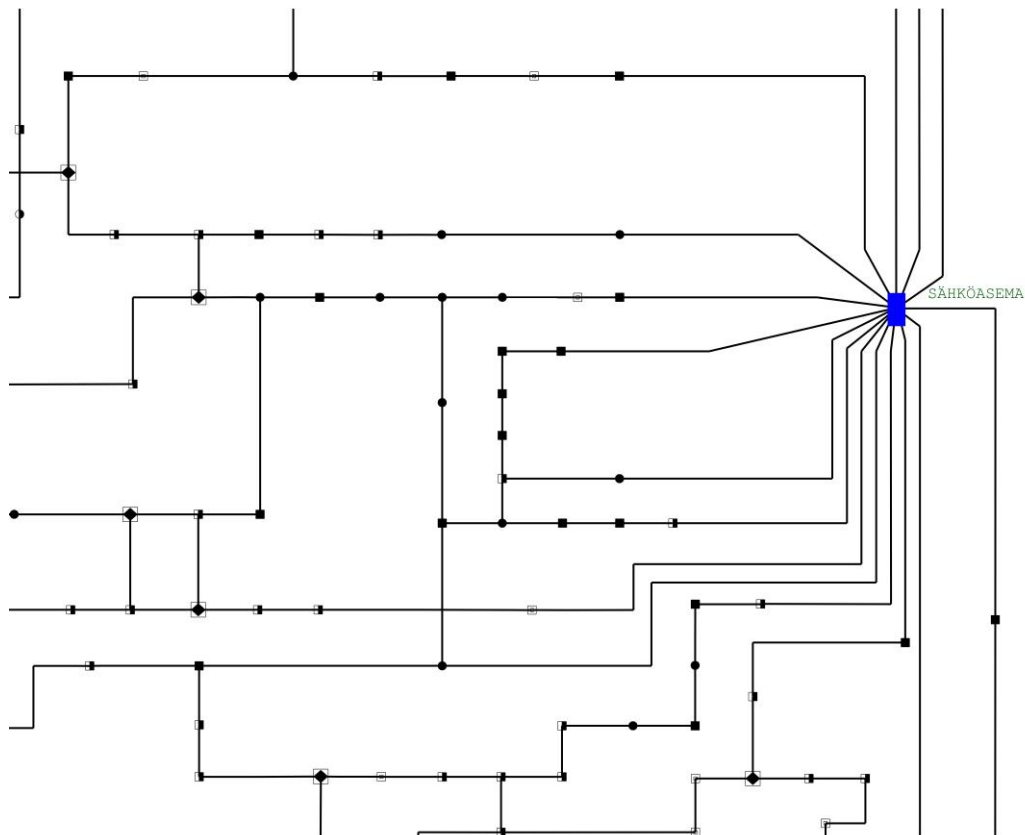
Sähköverkot jaetaan käytetyn jännitetaso perusteella siirto-, alue- ja jakeluverkkoihin. Siirtoverkkoihin kuuluvat Suomessa 400 kV:n, 220 kV:n ja 110 kV:n johdot. Kantaverkon ja siihen kuuluvat sähköasemat omistaa Fingrid Oyj, jonka omistajina ovat Suomen valtio ja suomalaiset eläkeyhtiöt [2].

Kantaverkkoon kuulumattomat 110 kV:n johdot ja sähköasemat sekä harvinaiset 45 kV:n johdot muodostavat eri sähköyhtiöiden omistaman alueverkon. Alueverkon kautta siirretään sähköä kantaverkosta jakeluverkkoon. Edelleen sähköyhtiöiden omistamat jakeluverkot voidaan jakaa keski- ja pienjänniteverkkoihin, joita vastaavat jännitetasot ovat 20 kV ja 0,4 kV. Joissain tapauksissa jakeluverkkoon voi kuulua myös 1 kV:n johdon osia. [3, s. 1.]



## 2.1 Solmupisteet jakeluverkossa

Tyypillisesti päämuuntajan jälkeen 20 kV:n keskijännite jaetaan kiskostojen ja suojalaitteiden kautta sähköaseman johtolähtöihin, jotka voivat muodostaa tähti-, säteittäis- tai rengasverkkoja. Keskijänniteverkkoa käytetään yleensä säteittäisenä, vaikka se onkin usein rakennettu monilta osin rengasverkoksi (kuva1). Rengasverkossa jakorajoina toimivat tavallisesti käsin- tai kauko-ohjattavat erotimet. [4, s. 13.]

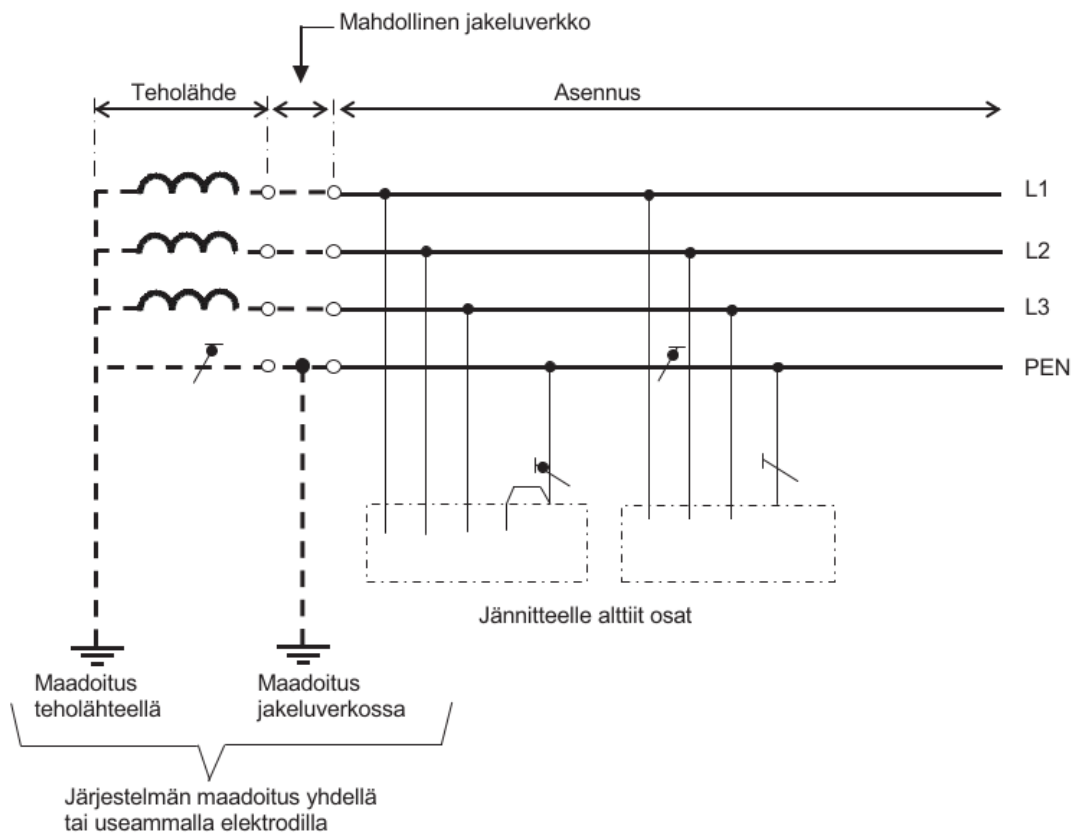


Kuva 1. Esimerkki verkkotopologiasta. Jakorajoja muuttamalla voidaan jakeluverkon syöttösuuntaa vaihtaa esimerkiksi vikatilanteissa.

Keskijänniteverkko on usein yhdistelmä ilmajohto- ja maakaapeliverkkoa, jossa solmupisteinä voivat olla erotinasemat sekä jakelumuuntamoiden KJ-kojeistot. Jakelumuuntamot voidaan jakaa puisto-, kiinteistö-, ja pylväsmuuntamoihin. Jakelumuuntajalla 20 kV:n keskijännite muutetaan 0,4 kV:n pienjännitteeksi. Vastaavasti myös PJ-verkko muodostuu ilmajohto- ja maakaapeliverkosta, jossa solmupisteinä ovat muuntamoiden PJ-kojeistot sekä jakokaapit.

## 2.2 Jakelujärjestelmä

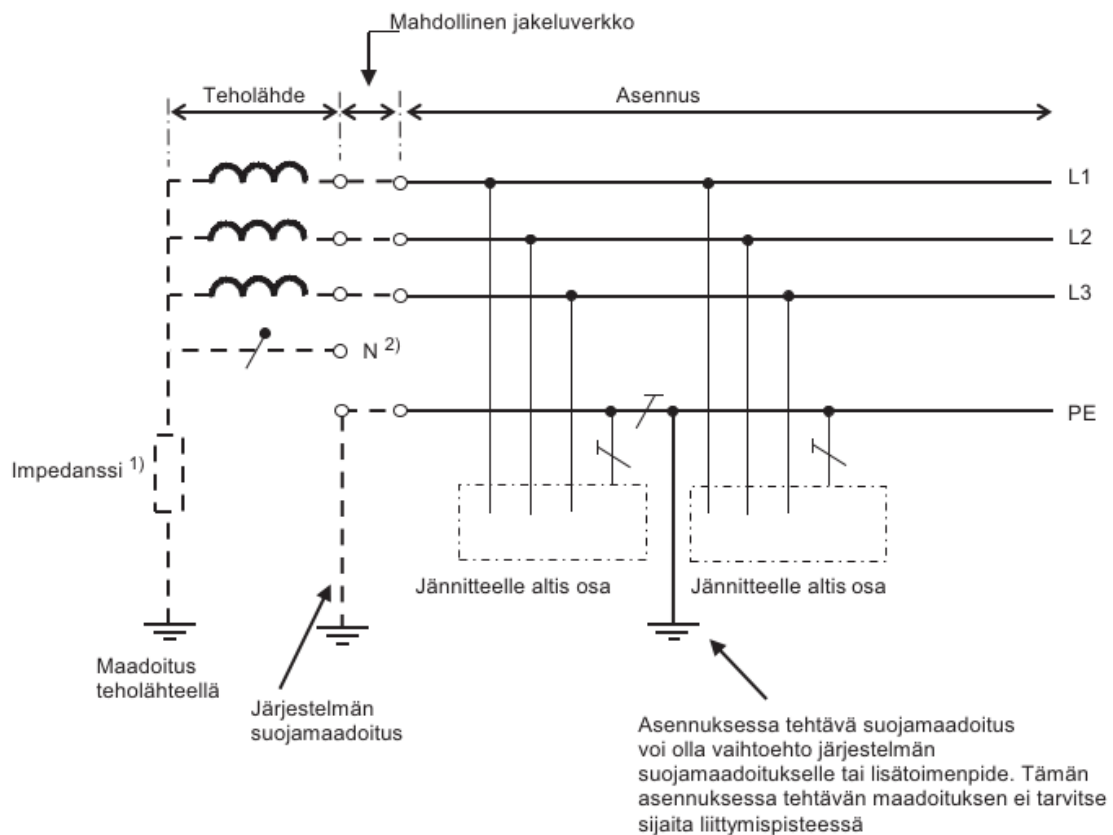
Käytettävät jakelujärjestelmät sähkölaitteistossa määritellään maadoitustavan perusteella IT-, TT- tai TN-järjestelmäksi. TN-järjestelmä luokitellaan vielä suojajohtimen käytön perusteella. Pienjännitejakeluverkko kuuluu yleisesti TN-C-järjestelmään (kuva 2), jossa nolla- ja suojamaadoitusjohdintoiminnot ovat yhdistetty yhteen johtimeen (PEN) koko järjestelmässä. TN-C -järjestelmässä myös tähtipiste on maadoitettu. [5, s. 39–42.]



IEC 2275/05

Kuva 2. TN-C-järjestelmä [5, s. 47].

Keskijänniteverkon jakelujärjestelmänä käytetään tyypillisesti IT-järjestelmää (kuva 3), jossa kaikki jännitteiset osat ja tähtipiste on eristetty maasta. Vaihtoehtoisesti tähtipiste voi olla yhdistetty maahan suuren impedanssin kautta. Jännitteelle alttiit osat voidaan maadoittaa yhdessä tai erikseen. Suomen maaperän ominaisjohtavuus on pääasiassa huono, jolloin jakelumuuntamoilla ja erotinaseimilla käytettävien suojamaadoitusten sekä PJ-verkon käyttömaadoitusten maadoitusresistanssit ovat tyypillisesti melko suuria. Maaperän huonon johtavuuden vuoksi suomessa KJ-verkko on maasta erotettu, jolloin maasulun aiheuttamat maadoitusjännitteet pysyvät kohtuullisina. [4, s.176, 182.]



Kuva 3. IT-järjestelmä [1. s.46].

## 2.3 Maadoitukset jakeluverkossa

Yleisesti ottaen maadoituksia tehdään pääasiassa seuraavista syistä

- Estämään vaarallisten kosketusjännitteiden syntyminen vikatapauksissa.
- Estämään ylijännitteiden aiheuttamia vaurioita ja vaaratilanteita.
- Järjestämällä vikavirralle luotettava reitti varmistetaan suojalaitteiden nopea ja selektiivinen toiminta. [6, s. 34]

Käytännössä jakeluverkon maadoitusjärjestelmän rakenne valitaan standardissa SFS 6001 määrätyn suurimman sallitun kosketusjännitteen mukaan. Sallittujen kosketusjännite  $U_{TP}$  arvojen täyttämiseksi asetetaan maadoitusjännitteelle  $U_E$  olosuhteiden mukainen tavoitetaso kaavan 1 mukaan. [7, s. 87–94.]

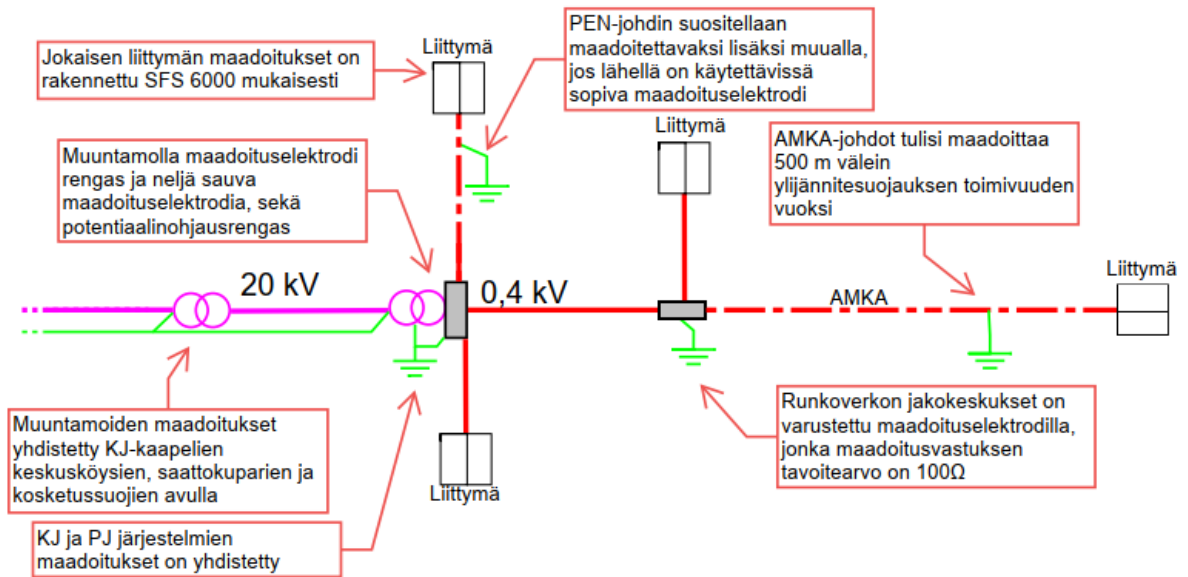
$$U_E = F \times U_{TP} \quad (1)$$

Kaavassa 1  $F$  on kerroin, joka ottaa huomioon muuntopiirin olosuhteet ja toteutetut maadoitusasennukset. Suomessa kertoimen  $F$  sallittu arvo on yleensä 2, josta voidaan tietyissä tapauksissa poiketa. Esimerkiksi huonoissa maadoitusolosuhteissa voi maadoitusjännitteen tavoitetaso  $2U_{TP}$  olla teknisistä tai taloudellisista syistä hankala saavuttaa. Tällöin voidaan käyttää korkeampia kertoimen  $F$  arvoja kuten 4 tai 5. Korkeampia arvoja käytettäessä on standardissa SFS 6001 asetettu lisävaatimuksia maadoitusjärjestelmän rakenteelle. [7, s.143.]

Vaadittu maadoitusimpedanssi  $Z_E$  saadaan kaavasta 2:

$$Z_E = \frac{U_E}{I_E} \quad (2)$$

Edellä mainittujen menetelmien avulla määräytyvät käytettävät maadoitusrakenteet muuntamoilla ja erotinasemilla, sekä keski- ja pienjänniteverkossa. Kuvassa 4 on esitetty tavanomainen jakeluverkon maadoitusrakenne.



Kuva 4. Esimerkki jakeluverkon maadoitusten topologiasta huonoissa maadoitusolosuhteissa. Maadoitusjännitteen tavoitetaso 4UTP. [4, s. 199 muokattu.]

Maadoitusjärjestelmät voidaan jaotella yhteen liittyvyyden perusteella paikalliseen maadoitusjärjestelmään, yhteen liitettyyn maadoitusjärjestelmään ja laajaan maadoitusjärjestelmään [7, s. 20]. Käyttöönottotarkastusten kannalta on olennaista tietää, millaisessa maadoitusjärjestelmässä sähkölaitteisto sijaitsee mm. maadoitusmittausten kannalta.

Paikallinen maadoitusjärjestelmä on yksittäinen maadoitusjärjestelmä, joka ei ole maadoitusten kannalta yhteydessä muihin järjestelmiin. Tällainen järjestelmä voi olla esimerkiksi pylväserotinasema tai -muuntamo, jonka etäisyydet muihin järjestelmiin ovat pitkät. Yhteen liitetty maadoitusjärjestelmä on yhtenäinen maadoitusjärjestelmä, jossa paikalliset maadoitusjärjestelmät on kytketty yhteen. Tällainen voi olla esimerkiksi usean muuntopiirin ketju, jossa yhdistykset on toteutettu riittävän suurella poikkipinnalla varustetulla kaapelin kosketussuojalla/metallivaipalla ja/tai keskusköysien ja/tai erillisen johtimen avulla. Usein kuitenkin muuntamoiden välit ovat liian pitkiä tai riittävän useita yhteyksiä muihin järjestelmiin ei ole, jotta kyseinen järjestelmä voitaisiin määritellä laajaksi. [7, s. 20, 145, 150.]

Laaja maadoitusjärjestelmä on monin tavoin samankaltainen kuin yhteen liitetty maadoitusjärjestelmä. Lisä vaatimuksena on, että jokainen muuntopiiri on yhdistetty vähintään kahden muun muuntopiirin maadoitukseen, lisäksi yhdistyksiä muihin muuntopiireihin tulee olla riittävin välein enemmän kuin kaksi. Yleisesti järjestelmä on verkkomaisesti silmukoituva ja muuntamoiden väliset etäisyydet ovat lyhyet. [7, s. 146, 149.]

Käyttöönottettava maadoitusjärjestelmän maadoitusvastukset on laskettava tai mitattava järjestelmällisesti sekä kosketusjännitteiden tarkistus on tarvittaessa tehtävä mittauksin tai laskelmin. Laajan maadoitusjärjestelmän sisäpuolella maadoitusjärjestelmän perussuunnitelma on kuitenkin riittävä, eikä maadoitusvastuksen todentaminen ole tarpeen. [7, s. 132.] Maadoitusjärjestelmän mittauksia on käsitelty kappaleessa 6.3.8.

### **3 Suojausmenetelmät**

Käyttöönottotarkastusten ja erityisesti niihin kuuluvien mittausten tekeminen edellyttää jakeluverkon suojausmenetelmien perustason tuntemusta.

Suomessa käytössä olevat sähköturvallisuusstandardit SFS 6000 ja 6001 määrittelevät joukon yleisiä suojausvaatimuksia, jotka jokaisen jakeluverkkoyhtiön on omalla verkkoalueellaan täytettävä. Erityistä huomiota tulee kiinnittää siihen, että jakeluverkon suojausta koskevat määräykset eroavat merkittävästi kiinteistö-sähköasennusten vaatimuksista.

Perusvaatimuksia tehokkaammalla suojauksella voidaan kuitenkin usein parantaa sähkönjakelun luotettavuutta sekä nostaa verkon arvoa [4, s. 176].

#### **3.1 Keskijänniteverkon suojaus**

Keskijänniteverkon erityispiirteitä ovat säteittäinen syöttötapa ja tähtipistemaadoitusten sekä nollajohtimen puuttuminen. Tähtipistemaadoituksen ja nollajohtimen puuttuminen aiheuttaa erityisvaatimuksia maasulun tunnistamiseen ja

paikantamiseen, sillä se poikkeaa luonteeltaan monin tavoin tavanomaisesta oikosulusta. Toisaalta taas säteittäinen syöttötapa yksinkertaistaa selektiivisen suojauksen toteuttamista. [5, s. 176–177.]

Keskijänniteverkossa suojaus on usein keskitetty sähköaseman lähtöihin, jossa kaikki kennot ovat releistettyjä. Kuitenkin itse verkossa välikatkaisijoita ja kytkemöitä on vähän tai ei ollenkaan.

### 3.1.1 Keskijänniteverkon ylikuormitus- ja oikosulkusuojaus

Ylikuormitus- ja oikosulkusuojaus on keskijänniteverkossa helpointa yhdistää toisiinsa. Suojauksen tavoitteena on pyrkiä estämään laitteistojen lämpenemismuutokset. Ilmajohdoverkossa ylikuormitus on harvinainen johtimien hyvän lämmönluovutuksen vuoksi. Maakaapeliverkossa ylikuormitussuojaus on erityisen tärkeä, sillä kaapelit eivät kestä ylikuormitusta pitkiä aikoja. [4, s. 176.]

Oikosulkusuojauksen tavoitteena on pyrkiä katkaisemaan oikosulkuvirta luotettavasti ja niin nopeasti, että siitä ei aiheudu vaaraa. Oikosulkuvirta aiheuttaa laitteistojen nopean lämpenemisen ohella myös staattisia ja dynaamisia raskaita laitteistoille [8, s. 63]. Standardin SFS 6001 mukaan laitteistot on suojattava automaattisesti toimivilla laitteilla, jotka poiskytkävät kolmivaiheiset ja kaksivaiheiset oikosulut [7, s. 27].

Käytännössä tähän tarkoitukseen käytetään vakioaikaylivirtarelettä, jonka toiminta-aikaa porrastamalla saadaan suojaus selektiiviseksi. Selektiivisessä suojauksessa lähinnä vikapaikkaa oleva suoja toimii ensimmäisenä ja irrottaa vikaantuneen osan muusta verkosta. [8, s. 64.] Rele sisältää usein myös isoilla virroilla hetkellislaukaisutoiminnon, jolloin samat releet toimivat myös järjestelmän ylivirtasuojina [4, s. 176].

Hetkellislaukaisua eli momenttilaukaisua käytetään lähellä sähköasemaa olevien vikojen poistamiseen. Samalla estetään jännitekuoppien syntyminen ja varmistetaan, etteivät läheisten johto-osien oikosulkukestoisuudet ylity. [4, s. 176.]

### 3.1.2 Keskijänniteverkon maasulkusuojaus

Maasulku on oikosulku, joka tapahtuu vaihejohtimen ja maan tai maadoitetun osan välille. Maasulku aiheuttaa vikapaikassa maadoitusjännitteen, joka määrittyy vikavirran suuruuden ja maadoitusresistanssin tulon perusteella. Avojohtojen tapauksissa valtaosa vikatapauksista on valokaarimaasulkuja. [8, s. 61–62.]

Standardi SFS 6001 edellyttää, että laitteistot on suojattava automaattisesti toimivilla laitteilla, jotka poiskytkävät tai ilmaisevat maasulun. Laitteiden valinta riippuu maadoitustavasta. [7, s. 27.] Käytännön maasulkusuojaus toteutetaan maasulun yleensä suuntareileillä, jotka yleensä sijaitsevat sähköasemalla. Suojan toiminta perustuu maasulun aiheuttamaan vaihevirtojen epäsymmetriaan ja tähtipistejännitteen kohoamiseen. [4, s.190.]

Keskijänniteverkko on Suomessa joko maasta erotettu verkko tai sen erityismuoto sammutettu verkko, missä verkon tähtipisteeseen on kytketty sammutuskuristin (induktanssi) [5, s. 182–183].

Maasta erotetussa avojohtoverkossa 90 % maasuluista on selvitettävissä PJK:n ja AJK:n avulla. Puhtaissa maakaapeliverkoissa ei jälleenkytkentöjä yleensä käytetä, koska vika on usein pysyvä. Sammutetussa verkossa maasulkuvirtoja voidaan pienentää, joka parantaa mahdollisuuksia valokaarimaasulun itsestään sammumiseen. [8, s. 62–63.]

## 3.2 Pienjänniteverkon suojaus

Pienjänniteverkon ja -laitteiden tehokas suojaus ja sen tarkastaminen on tärkeä toimenpide sähkötapaturmien ennaltaehkäisemiseksi. Toisaalta teknillisestä näkökulmasta ei ole järkevää käyttää yhtä tehokkaita ja kalliita suojalaitteita kuin keskijänniteverkon suojausjärjestelmässä. Tämän vuoksi suojaus pienjänniteverkossa toteutetaan yhä varokkein. [5, s. 162–163, 176.]



### 3.2.1 Pienjänniteverkon oikosulkusuojaus

Perusvaatimukset sähköasennusten oikosulkusuojaukselle on annettu standardissa SFS 6000.

Kun sattuu vika mitättömän pienen impedanssin kautta äärijohtimen ja jännitteelle alttiin osan tai suojajohtimen välillä, suojalaitteen on automaattisesti katkaistava syöttö piirin tai laitteen äärijohtimista [9, s. 8].

TN-järjestelmässä korkeintaan 5 s poiskytkentäaika on sallittu pääjohdoille ja piireille [9, s. 9].

Käytännössä pienjänniteverkossa syötön automaattinen poiskytkentä on hoidettu varokkeilla, jotka sijoitetaan jakelumuuntamolle, jakokaapille tai joissain tapauksissa johdon varrelle. Sen sulake mitoitetaan siten, että se kestää normaalitilanteessa vaikuttavan kuormitusvirran, mutta toimii riittävän nopeasti verkon loppupäässä tapahtuvasta yksivaiheisesta oikosulusta. Oikosulkuvirran tulee olla riittävän suuri sulakkeen nopeaan palamiseen. [4, s. 162–164.]

Pienjänniteverkossa yleisesti sekä liittymien osalta oikosulku on kytkettävä pois enintään viidessä sekunnissa [4, s. 202]. Yleensä jakeluverkkoyhtiöt pyrkivät mitoittamaan suojauksen siten, että uuteen verkkoon rakennettavien liittymien pääsulakkeilla on kaikissa tapauksissa vähintään taulukon 1 mukaiset oikosulkuvirtatasot [10, s. 15].

Taulukko 1. Suositeltava minimioikosulkuvirta sähköliittymällä [10, s. 15].

	<b>Jakeluverkon oikosulkuvirran minimi arvo liittymän pääsulakkeella [A]</b>	
<b>Pääsulakkeen koko</b>	<b>Asemakaavoitetulla taajama-alueella</b>	<b>Muulla taajama- sekä haja-asutusalueella</b>
16 A	200	200
25 A	250	250
35 A	250	250

50 A	320	250
63 A	425	320
80 A	580	425
100 A	715	580
125 A	950	715
160 A	1250	950
200 A	1650	1250
250 A	2200	1650
315 A	2840	2200

Edellyttäen, että liittymiä koskevat vaatimukset täyttyvät voidaan muun jakeluverkon osalta noudattaa standardin SFS 6000 kohdan 801.411.3.2 vaatimuksia.

Jakeluverkkojen luonteesta ja sijoituksesta johtuen voidaan jakeluverkossa verkon haltijan harkinnan mukaan hyväksyä pidemmät poiskytkentäajat [11, s. 6].

Muiden kuin liittymien osalta voidaan siis hyväksyä yli viiden sekunnin poiskytkentäaikoja, kuitenkin yli 15 s:n toiminta-aikaa ei saa ylittää. Taulukossa 2 on annettu oikosulkuvirtatasot, joissa poiskytkentä saattaa ylittää 5 s. [11, s. 7.]

Taulukko 2. Jakeluverkon automaattisen poiskytkennän minimoioikosulkuvirrat gG-sulakkeille [11, s. 7].

Ylivirtasuoja	Pienin 1-vaiheinen oikosulkuvirta jakeluverkossa
gG-sulake $I_N \leq 63$ A	$2,5 \times I_N$
gG-sulake $I_N > 63$ A	$3,0 \times I_N$

Huomioitavaa on, että monissa verkkoyhtiöissä on käytössä standardin suosittelema oikosulkuvirran 250 A:n minimivaatimus pienjännitejakeluverkoissa [4, s. 202].

Erikoistapauksissa, kuten pidempien poiskytkentäaikojen salliminen liittymien osalta sekä aiemmin rakennettuun verkkoon liityttäessä tulee voimassa olevat vaatimukset tarkistaa standardista SFS 6000-8-801.

### 3.2.2 Pienjänniteverkon ylikuormitussuojaus

Vaatimukset pienjänniteverkon ylikuormitussuojaukselle on annettu standardissa SFS 6000-8-801.

Maakaapeleilla ja paljailla tai itsestään sammuvalla johdineristeellä varustetuilla avojohdoilla asennetuista jakeluverkon johdoista voidaan ylikuormitussuojaus jättää pois [11, s. 8].

Riippukierrekaapeli (AMKA) pitää varustaa ylikuormitussuojalla [4, s. 8].

Maakaapeloidussa jakeluverkossa kaapelit on yleensä asennettu palonkestävästi, jolloin niitä ei tarvitse suojata ylikuormitukselta. Ainoastaan liittymiskaapelit ja AMKA-johdot vaativat ylikuormitussuojauksen. Mahdollisten kaapelivaurioiden ehkäisemiseksi ylikuormitussuojaus kuitenkin kannattaa toteuttaa kaikille kaapeleille. [4, s. 200.]

Käytännössä pienjänniteverkossa ylikuormitussuojaus on toteutettu johdon loppupäässä olevilla sulakkeilla. Tällöin ylikuormitussuojana toimivat liittymän pääsulakkeet, joiden yhteenlaskettu nimellisvirta ei saa ylittää johtimen kuormitettavuutta. [4, s. 201.]

## 4 Käyttöönottotarkastusten perustana

Sähkölaitteistojen turvallisuutta ja käyttöä koskevat vaatimukset ja velvoitteet on esitetty laissa ja standardeissa. Käytännössä käyttöönottotarkastusten tarkoitus on näyttää toteen, että sähkölaitteisto on rakennettu näiden vaatimusten mukaisesti. Olennaisimmat lait ja standardit, joita jakeluverkon haltijan ja rakentajan on noudatettava, ja joita vastaan käyttöönottotarkastus tehdään ovat

- sähköturvallisuuslaki 1135/2016

- valtioneuvoston asetus sähkölaitteistoista 1434/2016
- valtioneuvoston asetus sähkölaitteiden turvallisuudesta 1437/2016
- SFS 6000 pienjännitesähköasennukset
- SFS 6001 suurjännitesähköasennukset
- SFS-EN 50341-1 vaihtosähköilmajohdot yli 1 kV jännitteillä. Osa 1 yleiset vaatimukset ja yhteiset määrittelyt
- SFS-EN 50341-2-7 vaihtosähköilmajohdot yli 1 kV jännitteillä. Osa 2–7 Suomen kansalliset velvoittavat määrittelyt.

#### 4.1 Lait ja asetukset

Säköturvallisuuslain 6. §:ssä esitetään kaikkia sähkölaitteistoja koskevia yleisiä vaatimuksia sähköturvallisuus tason ylläpitämiseksi.

Sähkölaitteet ja -laitteistot on suunniteltava, rakennettava, valmistettava ja korjattava niin sekä niitä on huollettava ja käytettävä käyttötarkoituksensa mukaisesti niin, että:

- 1) Niistä ei aiheudu kenenkään hengelle, terveydelle tai omaisuudelle vaaraa.
- 2) Niistä ei sähköisesti tai sähkömagneettisesti aiheudu kohtuutonta häiriötä.
- 3) Niiden toiminta ei häiriinny helposti sähköisesti tai sähkömagneettisesti. [12, 6 §.]

Jos sähkölaitteisto ei täytä edellä mainittuja vaatimuksia, sitä ei saa ottaa käyttöön tai luovuttaa toiselle. Sähkölaitteiston saa ottaa käyttöön vasta kun sen katsotaan täyttävän kaikki sähköturvallisuuslaissa tarkoitetut turvallisuusvaatimukset. Varsinaiseksi käyttöönotoksi katsotaan se ajankohta, jolloin sähkölaitteistoon kytketään jännite ja tila, johon sähkölaitteisto on rakennettu, otetaan suunniteltuun käyttötarkoitukseensa. Käyttöönotoksi ei katsota kuitenkaan valvottuja käyttötilanteita, jotka ovat välttämättömiä laitteiston koekäytössä tai käyttöönototarkastuksissa. [12, 42 §, 41 §.]

Sähkölaitteiston käyttöönototarkastuksista sähköturvallisuuslaki edellyttää sen 43. §:ssä seuraavasti:

Sähkölaitteisto saadaan ottaa käyttöön vasta, kun käyttöönottotarkastuksessa on riittävässä laajuudessa selvitetty, että siitä ei aiheudu 6 §:ssä tarkoitettua vaaraa tai häiriötä. Käyttöönottotarkastus on tehtävä myös sähkölaitteiston muutos- ja laajennustöille. Sähkölaitteiston rakentajan tulee huolehtia sähkölaitteiston käyttöönottotarkastuksesta. Jos rakentaja laiminlyö velvollisuutensa tai on estynyt huolehtimaan niistä, tulee sähkölaitteiston haltijan huolehtia tarkastuksesta.

Sähkölaitteiston rakentajan tulee laatia käyttöönottotarkastuksesta sähkölaitteiston haltijan käyttöön tarkastuspöytäkirja vähäisiksi katsottavia töitä lukuun ottamatta. Näissäkin tapauksissa on sähkölaitteiston testausten tulokset kuitenkin tarvittaessa annettava sähkölaitteiston haltijalle. [12, 43 §.]

Valtioneuvoston asetuksilla säädetään tarkemmin muun muassa tarkastuspöytäkirjan sisällöstä sekä olennaisista turvallisuusvaatimuksista.

## 4.2 Standardit

Sähköalan standardeissa on määritelty tarkemmin, mitä sähköturvallisuuslain tarkoittamaan riittävään laajaan käyttöönottotarkastukseen tulee sisällyttää. Yleisesti käyttöönottotarkastuksista ja niiden sisällöstä on kerrottu pienjännitestandardi SFS 6000:ssa:

- Käyttöönottotarkastukseen tulee aina sisältyä tuloksen ja vaatimuksen välinen vertailu.
- Tarkastus on suoritettava siten, että siitä ei aiheudu vaaraa ihmisille tai kotieläimille eikä vahingoita omaisuutta tai laitteita, vaikka tarkastettava piiri olisi viallinen.
- Tarvittavat dokumentit ja tiedot on annettava tarkastusta suorittavien käyttöön.
- tarkastuksen tulee sisällyttää aistinvarainen tarkastus sekä mittaus ja testaus. [13, s. 8.]

Aistinvaraisten tarkastusten ja testausten sisällöstä on yksityiskohtaisemmin kerrottu standardin SFS 6000-6 kohdissa 6.4.2 ja 6.4.3. Jakeluverkkoa koskeviin tarkastuskohteisiin ja erityisvaatimuksiin otetaan kantaa standardissa SFS 6000-8-801.

Aistinvaraisessa tarkastuksessa tarkastuksen kohteena ovat SFS 6000-6 kohdan 6.4.2 tarkastuskohteiden lisäksi ilmajohtojen mekaaniset rakenteet kuten johtojen asennuskorkeudet, johtimien mekaaninen kunto, pylväiden kunto ja upotussyvyys sekä harusten kunto ja merkinnät sekä erillisten suojajohtimien kunto, suojaus ja liitokset. Tarkastukseen kuuluu myös johtokatujen riittävyden varmistaminen. Maa- ja vesistökaapeleista tarkastetaan mm. asennussyvyydet ja mekaaniset suojaukset. [11, s. 13.]

Sähkötyöturvallisuus standardissa SFS 6002 käyttöönottotarkastusmittaukset on luokiteltu toimenpiteiksi, joita vain sähköalan ammattihenkilöt saavat tehdä. Mittauksia tehtäessä tulee olla nimetty työnaikaisen sähköturvallisuuden valvoja, jonka tulee valvoa mittausten aikaista sähkötyöturvallisuutta. Hän voi myös itse osallistua mittausten tekemiseen tai tehdä sen kokonaan itse. Tarkastusmittauksiin osallistuvalla on annettava koulutusta ja opastusta sekä mittalaitteen käyttöohjeet. [14, s. 20.]

## 5 Käyttöönottotarkastukset

### 5.1 Yleistä käyttöönottotarkastuksista

Kaikille suur- ja pienjännitesähköasennuksille pitää tehdä sähköturvallisuuslain (1135/2016) mukainen käyttöönottotarkastus. Vastuu käyttöönottotarkastuksen tekemisestä on yleensä sähköurakoitsijalla. Käyttöönottotarkastuksella sähköurakoitsija voi osoittaa tilaajalle, että asennus ja laitteet vastaavat niille asetettuja vaatimuksia. Käyttöönottotarkastus tehdään

- aistinvaraisilla tarkastuksilla
- toiminnan testauksilla
- mittauksilla [15, s. 12].

Tarkastuksen laajuus, sovellettavat standardit ja dokumentointitapa riippuvat tilaajan ja hankkeen vaatimuksista sekä yrityksen käytännöistä.

Laadukkaan ja ammattitaitoisen sähköurakoitsijan tulee hallita käyttöönottotarkastusten suorittaminen asentamissaan kohteissa. Laadukkaan käyttöönottotarkastuksen edellytyksenä on hyvien tarkastustapojen omaksuminen. Esimerkiksi

aistinvaraisten tarkastusten tekemiselle ei yleensä varata erityistä ajankohtaa, vaan sen tulisi olla jatkuvaa asentajien oman työn laadunvalvontaa. Myös kaikkien testausten samoin kuin aistinvaraisten tarkastustenkin tekeminen ajoittuu ainakin osittain lähes koko työsuorituksen ajalle, eikä yksin rakentamisen loppuvaiheeseen. Suoritettaessa käyttöönottotarkastuksia mahdollisimman vaivattomasti ja kustannustehokkaasti, tulee ottaa huomioon tarkastusten oikea-aikaisuus jo tarkastuksia suunniteltaessa.

## 5.2 Aistinvaraiset tarkastukset

Aistinvaraisen tarkastuksen tarkoituksena on todeta, että tehdyt sähköasennukset ovat niitä koskevien turvallisuusvaatimusten mukaisia, oikein asennettuja ja ehjiä. Käytännössä aistinvarainen tarkastus on työmaa-aikaista tarkastusta ja havainnointia. Tarkastus on yleensä tehtävä ennen testauksia koko asennuksen ollessa jännitteetön. Aistinvaraiseen tarkastukseen tulee sisältyä myös kiinteän asennuksen osana olevien sähkölaitteiden tarkastus. Yleisesti aistinvaraiseen tarkastukseen tulee sisältyä ainakin seuraavien kohtien tarkistus:

- Sähkölaitteiden mitoitus- ja ominaisarvojen tarkastus (käyttöolosuhteet huomioiden).
- Jännitteisten osien sekä jännitteisten osien ja maan välisten vähimmäisetäisyyksien tarkastus.
- Käyttötäajuinen jännitetesti kaapeleille.
- Suojaetäisyyksien tarkastus.
- Suojaus-, valvonta-, mittaus-, ja ohjauslaitteiden asetusarvojen tarkastus.
- Merkintöjen, turvakilpien ja turvalaitteiden tarkastus.
- Dokumenttien oikeellisuuden tarkastus.
- Tarpeellisten työ, suoja- ja käyttövälineiden tarkastus.
- Käyttö- ja huolto-ohjeiden tarkastus.
- Ilmajohtojen mekaanisten rakenteiden tarkastus
  - korkeusvaatimusten tarkastus
  - johtimien mekaaninen kunto ja liitokset
  - pylväiden kunto ja asennussyvyys

- harusten kunto ja merkinnät
- maadoitusjohtimien kunto, suojaus ja liitokset
- johtokatuja riittävyys.
- Maa- ja vesistökaapeli tarkastus
  - asennussyvyys
  - taivutussäteet
  - mekaaninen suojaus
  - kaapeli merkinnät
  - kaapelin vaipan eheys (silmämääräisesti)
  - kaivuujäljet. [15, s. 12–13].

Liitteessä 1 on kerrottu yksityiskohtaisemmin, mitä aistinvaraisessa tarkastuksessa tarkastetaan ja testataan.

### 5.3 Mittaukset ja testaukset

Käyttöönototarkastuksiin kuuluvilla mittauksilla selvitetään muun muassa, ettei jännite ole virheellisen kytkennän seurauksena päässyt sellaiseen järjestelmän osaan, jossa sitä ei saa olla. Mittaukset tehdään siinä vaiheessa, kun asennuksen myöhemmät vaiheet eivät enää vaikuta tulokseen. SFS 6000-6:n mukaan mittaukset ja testaukset tehdään mieluiten seuraavassa järjestyksessä

- suojajohtimien jatkuvuus
- eristysresistanssin testaus
- syötön automaattisen poiskytkennän toiminnan testaus
- lisäsuojauksen (vikavirtasuojat) toiminnan testaus
- kiertosuunnan mittaus
- muut toimintatellit
- jännitteenalenema [5, s. 8–9].

Liitteessä 1 on käsitelty yksityiskohtaisemmin mittausten suorittamista sekä tulosten arviointia.



### 5.3.1 Mittalaitteet

Jakeluverkkoasentajan perusvarustukseen tulee mittalaitteiden osalta kuulua ainakin eristysvastusmittari, asennustesteri, jännitteenkoetin, maavastusmittari sekä yleismittari (pihtimittari). Tärkein näistä lienee työturvallisuusmielessä jännitteenkoetin, jonka tulee olla yhteensopiva asennuksen jännitetason (20 kV ja 0,4 kV) ja rakenteen kanssa.

Asennustesterillä voidaan yleensä todentaa koko PJ-puolen asennusten olennaiset turvallisuusvaatimukset. Asennustesterin lisäksi verkostopuolella tarvitaan muutamia erityismittalaitteita esimerkiksi KJ-kaapeleiden ja maadoitusten mittaamiseen. Myös yleismittari on hyvä kuulua varustukseen.

Yksi merkittävimmistä käyttöönottotarkastuksiin liittyvistä seikoista onkin tarkoituksenmukaisten mittalaitteiden hankinta ja niiden käytön opettelu [15, s. 9]. Kuvassa 5 on esitetty erään asennustesterin mittaustoimintoja.



Kuva 5. Asennustesteri fluke 1653:n ominaisuuksia.

### 5.3.2 Eristysresistanssi- ja vaipaneheysmittaus KJ

Eristysresistanssimittauksella todetaan asennuksen ja siihen mahdollisesti kuuluvien jatkosten ja päätteiden eristystilan vaatimuksien täyttyminen. Standardeissa ei kuitenkaan edellytetä esimerkiksi KJ-kaapeleiden eristysresistanssin mittaamista, jolloin mittaukselle ei ole annettu myöskään raja-arvoja. Mittaus tulisi suorittaa, mikäli tilaaja tai valmistaja sitä vaatii.

Keskijännitekaapeleiden eristysresistanssi voidaan mitata ennen, kuin kaapeli kytketään jännitteiseksi. Yleensä mittaukseen käytetään riittävän koejännitteen omaavaa eristysvastusmittaria. Mittauksessa kaapeliin ladataan 5 kV:n tasajännite, jonka aiheuttama virta mitataan. Mittari laskee vastusarvon ohmin lain mukaan. Mittaus tehdään kaapelin vaihejohtimien sekä vaihejohtimien ja maan väliltä.

Sähkölaitteistoja koskeva IEEE-standardi suosittelee eristysresistanssin vähimmäisarvoksi  $n+1 \text{ M}\Omega$ , missä  $n$  on asennuksen jännitetaso. Täten voidaan nyrkkisääntönä esittää suurjänniteasennusten tapauksessa vähimmäisarvoksi  $1 \text{ M}\Omega / \text{kV}$ . Kyseessä on kuitenkin nyrkkisääntö, joka ei ota huomioon esimerkiksi kaapelien pituuksia. [16.]

5 kV:n tasajännitteellä saatu mittaustulos paljastaa yleensä vakavimmat eristysviat, mutta ei kuitenkaan anna yksiselitteistä kuvaa eristyksen kunnosta vähäisempien vaurioiden osalta. Tämän vuoksi onkin esitetty näkemyksiä, ettei tasajännitteellä tehtävä mittaus sovi PEX-eristeisten kaapeleiden mittaukseen. Tasajännitteellä eriste polarisoituu, jolloin varaukset saattavat aiheuttaa eristevaurioita alun perin ehjään kaapeliin. [15, s. 13.]

Vaihtoehtoisia mittaustapoja kaapelin eristyksen kunnan toteamiseksi ovat esimerkiksi FTIR-analyysi ja osittaispurkausmittaus. Osittaispurkausmittauksella voidaan löytää ja paikallistaa kaapeleissa esiintyvät piilevät osittaispurkaukset, jotka voivat aiheuttaa läpilyöntejä kaapelin eristeessä. [15, s. 13.]

Vaipaneheysmittaukseen pätee suurilta osin samat asiat kuin edellä esitettyyn eristysresistanssimittaukseen. Käytännössä vaipaneheysmittaus on KJ-kaapelin kosketussuojan ja maan välille tehtävä eristysresistanssimittaus. Standardeissa vaipaneheysmittaukselle ei ole esitetty erikseen vaatimuksia. Vaipaneheysmittausta pidetään ns. asennustyön laatua tarkkailevana mittauksena ja siksi se on usein vaadittu standardissa mainittujen käyttöönottomittausten lisäksi. [16.]

### 5.3.3 Vaiheisuuden toteaminen

Keskijänniteverkon saman vaiheisuuden toteaminen on tärkeä toimenpide ennen kuin kaksi erillään olevaa jännitteistä osaa voidaan kytkeä yhteen. Kun kaapeliin on käyttöönottomittausten jälkeen kytketty jännite, tarkastetaan sen vaiheisuus aina vastapään kojeistossa. Testaus toimenpide riippuu sähkölaitteiston kojeistorakenteesta.

SF6-kaasueristeisessä kojeistossa vaiheistamiseen voidaan käyttää tarkoitukseen soveltuvaa kapasitiivista vaihevertailijaa tai vaiheisuuden oikeellisuus voidaan todeta esimerkiksi yleismittarilla. SF6 kojeistorakenteessa on kapasitiivinen jännitteenmuuttaja, joka alentaa jännitteen sopivalle tasolle, jotta sen voitavallisella jännitemittarilla mitata. Mittalaite kytketään saman vaiheen erottimen eripuolia mittaaville mittauspisteille, jolloin vaiheistuksen ollessa oikea jänniteero mittauspisteiden välillä on noin 0 V. [16.]

Ilmaeristeisessä kojeistossa vaiheistus voidaan tehdä käyttämällä eristesauvalista vaihevertailijaa. Vaihevertailijaa käytetään vuorotellen esimerkiksi erottimen ylä- ja alapuolella samassa vaiheessa, jolloin laite indikoi, onko vaiheisuus oikea. [16.]

### 5.3.4 Eristysresistanssimittaus PJ

SFS 6000-8 kohdan 801.6 mukaan eristysresistanssi tulee mitata aina, kun asennukseen kuuluu maakaapeleita. Ilmakaapeleiden osalta eristysresistanssi

pitää mitata, kun asennuksen nimellisjännite on yli 230/400 V. Muissa tapauksissa eristysresistanssin mittaaminen on suositeltavaa. [11, s. 13.]

Mittaus suoritetaan jännitteettömässä asennuksessa kaikkien vaihejohtimien ja maan väliltä sekä erikseen sovittaessa myös kaikkien vaihejohtimien väliltä esimerkiksi pääjohtojen osalta. Jakeluverkon TN-C -järjestelmässä eristysresistanssi mitataan vaihejohtimien ja PEN-johtimen väliltä. TN-S -järjestelmässä kannattaa vaihejohtimet ja nollajohtimet kytkeä yhteen. [13, s. 9]

Asennuksen eristystaso on riittävän hyvä, jos eristysresistanssin arvo mitattuna on taulukon 3 mukainen.

Taulukko 3. Eristysresistanssin pienimmät sallitut arvot [13, s. 9].

Nimellisjännite	Koejännite VDC	Eristysresistanssin minimiarvo
SELV JA PELV	250	0,5Ω
≤500 V JA FELV	500	1 MΩ
≥500 V	1000	1 MΩ

### 5.3.5 Jännitteenmittaus ja kiertosuunta

Jännitemittauksella todetaan sähkölaitteiston jännitetaso ja napaisuus. Mittaus suoritetaan koekäyttöön otetussa jännitteisessä sähkölaitteistossa. Jännitteet mitataan verkonhaltijan tai tilaajan kanssa sovituista pisteistä. Mittaus tehdään kaikkien vaiheiden väliltä sekä vaiheiden ja PEN-johtimen väliltä [16]. Taulukossa 4 on annettu suosituksia jännitealueista ja jännitteenalenemista jakeluverkossa.

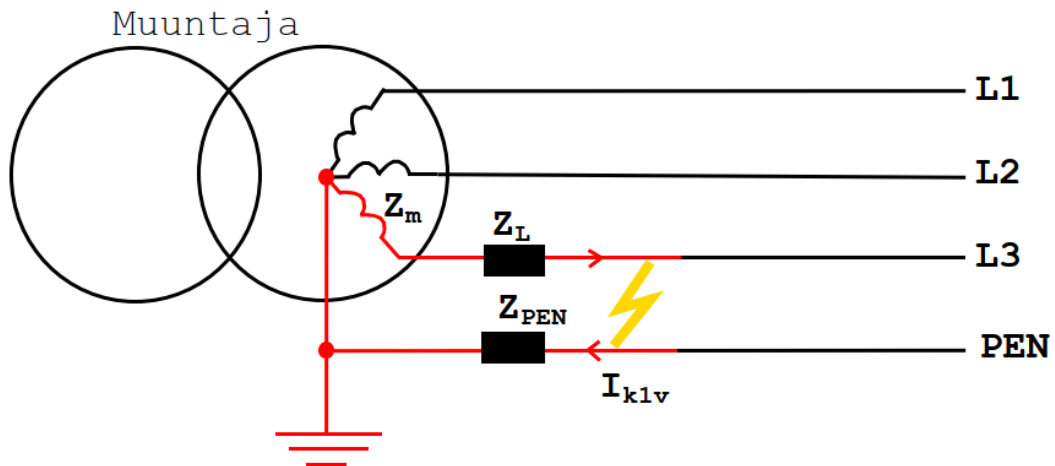
Taulukko 4. Suosituksia jännitteen vaihtelualueelle ja alenemalle [17, s.29].

Osaverkko	Jännitteen vaihtelualue		Jännitteenalenema		
	Min	Max	korkea laatu	Suunniteltu laatu	normaali laatu
Keskijänniteverkko	19 kV	22 kV	± 4%	± 4%	± 6%
Pienjännitejakelu	207 V	253 V	± 4%	± 6%	± 10%
Muuntamo	220 V	253 V		1-2%	
Pienjänniterunkoverkko	210 V	253 V		3-5%	
Liittymisjohto	207 V	253 V		± 2%	1-3%
Sisäjohtoverkko	198 V	253 V			1-4%

Oikean jännitetason lisäksi tulee kaikista kolmivaiheisista piireistä tarkistaa myös vaihejärjestys. Väärävaihejärjestys voi aiheuttaa laiterikkoja esimerkiksi sähkömoottoreiden pyöriessä väärään suuntaan. Vaikka keskijännitepuolen vaiheellisuus olisikin todettu oikeaksi, voi olla, että muuntajan KJ- tai PJ-päätteet on kytketty väärässä järjestyksessä. Tämän vuoksi myös pienjännitepuolen vaihejärjestys eli kiertosuunta tulee varmistaa. Kiertosuunta mitataan samoista pisteistä kuin jännitteetkin. [16.]

### 5.3.6 Oikosulkuvirta ja silmukkaimpedanssi

Oikosulkuvirran mittauksella varmistetaan syötön automaattisen poiskytkennän toimivuus vikatilanteessa. Mittauksessa mitataan yksivaiheista oikosulkuvirtaa, jossa yksi vaihe muodostaa vikapiirin maata vasten. Oikosulkuvirran suuruus riippuu silmukkaimpedanssista, joka muodostuu muuntajan impedanssista  $Z_m$  sekä vaihe- ja PEN-johtimien impedansseista  $Z_L$  ja  $Z_{PEN}$ . Oikosulkuvirta pienee verkoston silmukkaimpedanssin kasvaessa kohti lähdön kauimmaista pistettä. Kuva 6 havainnollistaa yksivaiheisen oikosulkuvirran  $I_{k1V}$  muodostumista.



Kuva 6. Vikapiiri yksivaiheisen oikosulun aikana.

Käytännössä mittalaite mittaa vikavirtapiirin silmukkaimpedanssia ja laskee sen avulla oikosulkuvirran arvon. Yleensä oikosulkuvirta mitataan lähdön epäedullisimmasta (kauimmaisesta) pisteestä. Tämän lisäksi oikosulkuvirta mitataan verkonhaltijan kanssa sovituista pisteistä, kuten lähtö- ja solmupisteistä sekä liittymistä. Mitatun oikosulkuvirran arvon tulee olla riittävän suuri, jotta pienjänniteverkon sulakesuojaus toimii standardeissa vaaditussa ajassa. [16.] Suosituksia oikosulkuvirran minimiarvolle liittymien osalta on annettu taulukossa 1 sekä muiden kuin liittymien osalta taulukossa 2.

Mittaustuloksista voidaan myös tehdä päätelmiä asennuksen laadusta. Jos esimerkiksi vaiheiden välillä on merkittäviä eroja, saattaa asennuksessa olla huonoja liitoksia. Jos taas oikosulkuvirta on huomattavan pieni, voidaan epäillä nollavikaa. [16.]

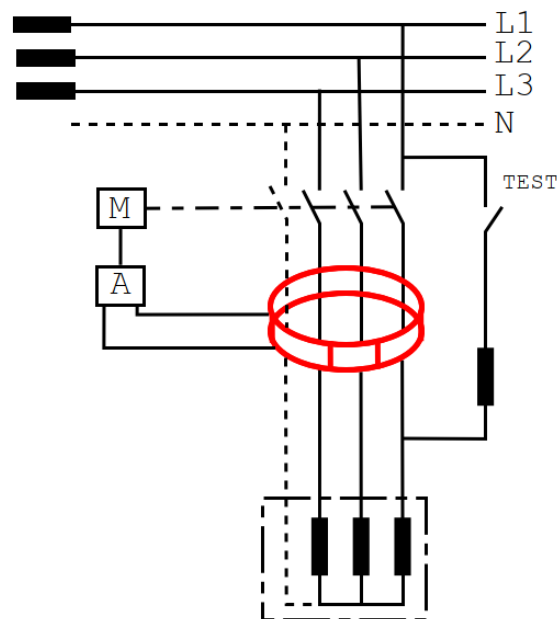
### 5.3.7 Vikavirtasuojat

Vikavirtasuojan käyttöä lisäsuojauksena edellytetään maallikoiden ja yleiseen käyttöön tarkoitetuissa enintään 32 A:n pistorasioissa sekä siirrettävien ulkona käytettävien enintään 32 A:n laitteiden syötössä. Lisäksi vikavirtasuojaa edellytetään valaisinpiireissä, joissa maallikko voi itse vaihtaa valaisimen tai lampun. Vikavirtasuojan toiminnan testaus voi jakeluverkoasennuksissa tulla

kyseeseen esimerkiksi puistomuuntamon omakäyttökeskuksella tai sähköliittymän mittauskeskuksella.

Suojan toiminta perustuu vaihe- ja nollajohtimen summavirran mittaamiseen.

Jos summavirta poikkeaa nolasta vikavirtasuojan toimintavirran verran, suojan tuntoelin havaitsee sen ja avaa vikavirtasuojan koskettimet. [18, s. 63.] Toimintaperiaate on esitetty kuvassa 7.



Kuva 7. Vikavirtasuojan toiminta periaate [18. s. 63].

Jokainen asennuksessa oleva vikavirtasuoja on tarkastettava. Vikavirtasuojan toiminta tulee testata testipainikkeella, jolla saadaan aikaan keinotekoinen vikavirta. Lisäksi tulee mittaamalla varmistaa, että vikavirtasuojan laukaisu tapahtuu sinimuotoisella vaihtovirralla, joka on pienempi tai yhtä suuri kuin vikavirtasuojan mitoituslaukaisuvirta. Myös toiminta-aika suositellaan mitattavaksi kaikissa tapauksissa. [13, s. 13.]

Kun tehdään mittauksia, tulee varmistaa minkäläistä vikavirtasuojaa ollaan mittaamassa. Mitattavasta vikavirtasuojasta varmistetaan nimellisvirta, joka on yleensä 30 mA henkilösuojauksessa ja 300 mA palosuojauksessa.

Nimellisvirran lisäksi tulee tietää vikavirtasuojan tyyppi. Vikavirtasuojat voidaan lajitella neljään eri tyyppiin:

- AC-typin vikavirtasuoja suojaa sinimuotoiselta vikavirralla. Tyypin AC käyttö ei ole Suomessa sallittua koska usein vikavirta on muuta kuin sinimuotoista.
- A-typin vikavirtasuoja on yleisin lisäsuojaukseen käytettävä suoja-laite. Se suojaa sinimuotoiselta tai pulssimuotoiselta vikavirralla.
- F-typin vikavirtasuoja on kuten A-typin vikavirtasuoja, mutta lisäksi se suojaa yhdistelmävikavirroilta.
- B-typin vikavirtasuoja suojaa useimmilta esiintyviltä vikavirran muodoilta ja sitä voidaan käyttää kaikkien vaihtovirtalaitteiden suojaukseen.
- S-merkinnällä varustettu vikavirtasuoja on aika hidastettu ja sitä voidaan käyttää selektiiviseen suojaukseen. [18, s. 65.]

Mitatun laukaisuvirran tulee olla taulukon 5 mukainen. Liitteessä 1 on kerrottu yksityiskohtaisemmin vikavirtasuojan mittaustoimenpiteestä.

Taulukko 5. Laukaisuvirran raja-arvot [19].

Vikavirtasuojan tyyppi	$I_{\Delta N}$	Sallitut laukaisuvirran raja-arvot
AC		$0,5-1 \times I_{\Delta N}$
A	$>10 \text{ mA}$	$0,35-1,4 \times I_{\Delta N}$
A	$\leq 10 \text{ mA}$	$0,35-2 \times I_{\Delta N}$
B		$0,5-2 \times I_{\Delta N}$

Laukaisuajan mittaaminen tapahtuu samalla periaatteella kuin laukaisuvirran mittaaminen. Taulukossa 6 on esitetty laukaisuajan raja-arvot erityyppisille vikavirtasuojille.

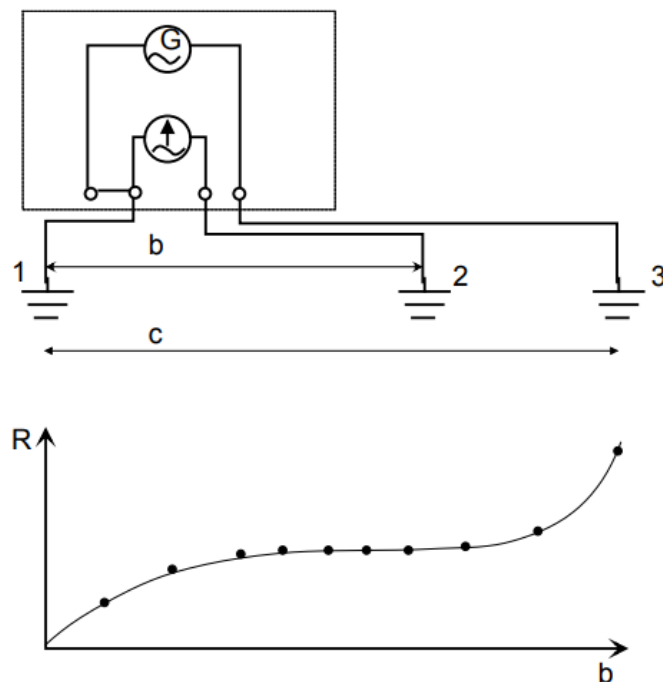


Taulukko 6. Laukaisuajan raja-arvot vikavirran ollessa sinimuotoista vaihtovirtaa [19].

Vikavirtasuojan tyyppi	$I_{\Delta N}$	Testivirran kerroin			
		$\frac{1}{2}x$	1x	2x	5x
AC, A, B tai F	<30 mA	ei saa toimia	alle 300 ms	alle 150 ms	alle 40 ms
	30 mA	ei saa toimia	alle 300 ms	alle 150 ms	alle 40 ms
	>30 mA	ei saa toimia	alle 300 ms	alle 150 ms	alle 40 ms
S-tyyppi: AC, A, B tai F	>30 mA	ei saa toimia	150 ms-500 ms	60 ms-200 ms	50 ms-150 ms

### 5.3.8 Maadoitusmittaukset

Käyttöön otettavan muuntopiirin maadoitusimpedanssin arvon tulee täyttää SFS 6001 -standardin vaatimukset. Maadoitusimpedanssin sallittu arvo määräytyy yleensä maasulkuvirran suuruuden, kestoajan raja-arvon sekä maadoitusjännitteen mukaan. Yksittäisten maadoitusjärjestelmien kuten uusien jakelumuuntamoiden tai erotinasemien maadoitusten vaatimusten toteutuminen voidaan varmistaa mittaamalla maadoitusvastus käyttäen käännepestemenetelmää (kuva 8). Muita mittausmenetelmiä ovat esimerkiksi Voltti-Ampeeri-menetelmä, Wennerin menetelmä ja sarjamittaus. Jos mittaus ennen käyttöönottoa ei ole roudan takia mahdollista, mittaus suoritetaan viimeistään vuoden kuluessa käyttöönotosta. [7, s. 144–145, 146.]



Kuva 8. Maadoitusvastuksen mittaus käänne-  
pistemennetelmällä [20, s. 2].

Kuvan 8 käännepistemittauksessa mittalaite syöttää virtaa mitattavan maadoituksen (1) ja virtapiikin (3) välille perusmaan toimiessa sähköjohteena. Tällöin jännitepiikin (2) ja mitattavan maadoituksen välille syntyy potentiaaliero, jonka perusteella mittalaite määrittää maadoitusvastuksen. Mittaus tapahtuu siten, että jännitepiikkiä siirretään mittauspisteen ja virtapiikin välillä ja jokaisesta pisteestä mitataan maadoitusvastus. Näistä mittaustuloksista muodostetaan käyrä jännitepiikin etäisyyden ( $b$ ) funktiona. Virtapiikin etäisyydeksi ( $c$ ) suositellaan yleensä 200 metriä. Maadoitusvastuksen arvo määritetään käyrän vaakasuoralta osuudelta tai mikäli käyrältä on havaittavissa selvä käännepiste, voidaan maadoitusvastuksen arvo ottaa tästä kohtaa. Riittävän homogeenisessä maaperässä voidaan maadoitusvastuksen arvo määrittää ns. 60 %:n säännön perusteella. [20, s. 2–3.]

Käytännössä käännepistemennetelmä soveltuu yksittäisten maadoitusjärjestelmien maadoitusvastuksen mittaamiseen. Laajojen ja yhteen liitettyjen maadoitusjärjestelmien maadoitusvastuksen mittaaminen käännepistemennetelmällä ei

yleensä anna luotettavaa tulosta. Näissä tapauksissa maadoitusten toiminnallisuus ja turvallisuus voidaan määrittää esimerkiksi seuraavin tavoin:

- Mikäli tunnetaan tai voidaan mitata maaperän resistiivisyyden arvo, voidaan maadoitusvastuksen arvo laskea käytettyjen maadoituselektrodien rakennetietojen avulla. Maadoitusten toteutuminen on tällöin dokumentoitava esim. valokuvaamalla.
- Kun olemassa olevaan laajaan maadoitusjärjestelmään liitetään uusia paikallisia maadoitusjärjestelmiä, ei maadoitusvastuksen arvoa tarvitse mitata. Tällöin riittää, että niiden eheys ja yhteys toisiinsa varmistetaan esim. jatkuvuusmittauksin.
- Jos maadoitusjärjestelmä koostuu erillisistä maadoituselektrodeista, jotka ovat yhdysjohtimella yhteydessä toisiinsa, mitataan kunkin maadoituselektrodin maadoitusvastus yhdysjohtimen ollessa irti kytkettynä. Maadoitusimpedanssi määritetään mitattujen maadoitusvastusten ja yhdysjohtimien impedanssien muodostamasta ekvivalenttipiiristä.
- Maadoituksen turvallisuus varmistetaan muilla tavoin esim. mittaamalla kosketusjännitteen suuruus. [7, s. 127. 132, 145–150.]

### 5.3.9 Suojajohtimien eheys ja jatkuvuus

Jatkuvuusmittauksella varmistetaan, että suoja-, PEN-, maadoitus- ja potentiaalintasausjohdinpiirit ovat jatkuvia. Toisin sanoen varmistetaan siitä, että liitokset ovat tehty kunnolla ja oikein.

Yhteen liitettyjen maadoitusjärjestelmien yhdysjohtimien eheys ja jatkuvuus on varmistettava mittaamalla. Laajan maadoitusjärjestelmän ehtojen täyttyminen todetaan yleensä jatkuvuusmittauksena sekä mittaamalla maan ominaisresistiivisyys, jonka avulla lasketaan maadoitusvastus. Jatkuvuusmittaus on resistanssimittaus, ja se voidaan tehdä esimerkiksi kytkentävaiheessa käyttäen työmaadoitettuja vaihejohtimia apujohtoina. [16.]

Uuden erotinaseman maadoitusimpedanssia ei tarvitse mitata, jos erotinasmalle on tehty potentiaaliohjausrenkas sekä tyvi- tai sauvamaadoitus. Tällöin riittää, että potentiaaliohjausrenkaan eheys todetaan jatkuvuusmittauksena. [21, s. 15.]

Pienjännitepuolen mittauksiin kuuluvan suoja- tai PEN- johtimen jatkuvuuden mittaamisen sijasta voidaan mitata silmukkaimpedanssi tai oikosulkuvirta suojauksen toiminnan varmistamiseksi [11, s.13].

### 5.3.10 Muuntajakoneen mittaukset

Ennen kuin jakelumuuntaja voidaan kytkeä jännitteiseksi, tulee sen kunto varmistaa resistanssi- ja eristysresistanssi mittauksin. Resistanssimittaus suoritetaan kaikkien keskijännitenapojen väliltä sekä kaikkien pienjännitenapojen väliltä. Eristysresistanssi mitataan jokaisen muuntajanavan ja maan väliltä sekä jokaisen keskijännitenavan ja pienjännitenavan väliltä. [16.] Tuloksia verrataan muuntajan valmistajan ilmoittamiin arvoihin.

## 5.4 Tarkastuspöytäkirjat

Käyttönottotarkastuksesta tulee laatia sähkölaitteiston haltijan käyttöön tarkastuspöytäkirja muutamia VNA 1434/2016 viidennessä pykälässä esitettyjä poikkeuksia lukuun ottamatta. Valtioneuvoston asetuksessa 1434/2016 edellytetään, että sähköturvallisuuslain 43. §:ssä tarkoitettu käyttönottotarkastuspöytäkirjasta tulee käydä ilmi:

- Kohteen yksilöintitiedot.
- Sähkölaitteiston rakentajan ja sähkötöiden johtajan nimi ja yhteystiedot.
- Selvitys sähkölaitteiston säännösten ja määräysten mukaisuudesta
- Sovelletut standardit.
- Mahdollisten poikkeamien osalta sähköturvallisuuslain 34 §:n mukaisen selvityksen olemassaolo.
- Yleiskuvaus käytetyistä tarkastusmenetelmistä sekä tarkastusten ja testausten tulokset.
- Tarkastuksen tekijän on allekirjoitettava tarkastuspöytäkirja tai varmennettava se muulla vastaavalla luotettavalla tavalla. [22, 4 §.]

Käyttönottotarkastusten dokumentointiin sopivat esimerkiksi yrityksen omat tarkastuspöytäkirjat tai Head Powerin IWD-sovelluksesta löytyvät digitaaliset

pöytäkirjapohjat. Aistinvaraisessa tarkastuksessa kannattaa dokumentointiin hyödyntää myös esimerkiksi valokuvia, ja tarvittaessa liittää ne käyttöönottotarkastuspöytäkirjaan.

## 6 Yhteenveto

Opinnäyteyössä tarkasteltiin sähkölaitteiston käyttöönottotarkastuksia jakeluverkon rakentajan näkökulmasta. Työssä perehdyttiin tarkastusten ja mittausten vaatimalla tasolla jakeluverkon rakenteeseen, voimassa oleviin määräyksiin sekä suojausmenetelmiin. Opinnäytetyön tuloksena syntyi toimeksiantaja yrityksen käyttöön toimintaohje jakeluverkon käyttöönottotarkastusten suorittamiseen.

Toimintaohjeen tekeminen aloitettiin omien käytännön kokemusten ja Voimateilin sähkötoiden johtajan ohjeistuksen perusteella. Ohjetta pyrittiin työstämään myös mahdollisimman paljon yhteistyössä asentajien kanssa. Lopuksi toimintaohje testattiin tekemällä käytännön mittauksia käyttöönotettavalla työmaalla (liite 2). Ohjeesta saatiin varsin kattava ja selkeäpiirteinen opas, jonka avulla asentaja kykenee turvallisesti ja huolellisesti suorittamaan käyttöönottotarkastuksen. Lisäksi ohjetta voidaan käyttää myös nuorempien asentajien perehdytykseen.

Voimatel Oy:ssä kehitystyötä tehdään jatkuvasti toimintatapojen parantamiseksi. Näin ollen myöskään käyttöönottotarkastusten kehittäminen ei tule jäämään ainoastaan tässä opinnäytetyössä tehdyn toimintaohjeen varaan, vaan sen pohjalta yrityksessä on hyvät lähtökohdat jatkaa kehitystyötä myös tulevaisuudessa. Ohjeen kehittäminen on jatkossa välttämätöntä myös, koska standardit muuttuvat ja päivittyvät tietyin väliajoin.

Aihe osoittautui odotettua haasteellisemmaksi tietolähteiden runsaan määrän vuoksi. Tietolähteiden arvioimiseen, tarkastamiseen ja tutustumiseen kului huomattavasti enemmän aikaa kuin aluksi oli suunniteltu. Toimintaohjeen laatimista vaikeutti myös se, ettei alalla ole täysin vakiintuneita käytäntöjä mm. mittausten suorittamiseen. Näin ollen täysin objektiivista tietoa aiheesta oli vaikea

löytää. Tietolähteinä työssä käytettiin mahdollisimman paljon sellaisia toimijoita, jotka pyrkivät yhtenäistämään alalla vallitsevia käytäntöjä. Näistä merkittävämpiä ovat mm. Suomen standardoimisliitto sekä verkostoalalla Energiateollisuus ry ja Head Power Oy.

## Lähteet

- 1 Voimatel Oy. 2021. Yritysesittely. Yrityksen Intra.
- 2 Fingrid Oyj. 2020. Yritysesittely. Verkkoaineisto. < <https://www.fingrid.fi/sivut/yhtio/esittely/>>. Luettu 17.3.2022.
- 3 Korpinen, Leena. 2007. Sähkön siirto ja Jakeluverkot. Verkkoaineisto. < [http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt\\_opus/3sahkon\\_siirto\\_ja\\_jakeluverkot.pdf](http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/3sahkon_siirto_ja_jakeluverkot.pdf)>. Luettu 17.3.2022
- 4 Lakervi, Erkki. Partanen, Jarmo. 2012. Sähkönjakelutekniikka. Helsinki: Otatieto.
- 5 SFS 6000-1. 2017. Pienjännitesähköasennukset. Osa 1: Peruseriaatteet, yleisten ominaisuuksien määrittely ja määritelmät. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS.
- 6 ABB. 2007. TTT-käsikirja 2000–07. Verkkoaineisto. <[http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/03\\_5\\_S%84hk%94tekniikka-UPS%20ja%20maadoitus.pdf](http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/03_5_S%84hk%94tekniikka-UPS%20ja%20maadoitus.pdf)>. Luettu 17.3.2022
- 7 SFS 6001. 2018. Suurjännitesähköasennukset. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS.
- 8 Monni, Markku. 2002. Jakeluverkon käyttötehtävät. Helsinki: Adato Energia Oy.
- 9 SFS 6000-4-41. 2017. Pienjännitesähköasennukset. Osa 4: Suojausmenetelmät. Suojaus sähköiskulta. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS.
- 10 Energiateollisuus ry. Verkostosuositus SA 4:09 Kaapeloitujen pj-liittymisjohtojen mitoitus ja suojaus. Adato Energia Oy.
- 11 SFS 6000-8-801. 2017. Pienjännitesähköasennukset. Osa 8–801: täydentävät vaatimukset. Jakeluverkot. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS.
- 12 Sähköturvallisuuslaki 1135. 2016. Finlex.
- 13 SFS 6000-6. 2017. Pienjännitesähköasennukset. Osa 6: Tarkastukset. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS.
- 14 SFS 6002. 2018. Sähkötyöturvallisuusstandardi. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS.

- 15 STUL ry. 2013. 1–20 kV suurjännitelaitteistojen käyttöönottotarkastusohjeisto. Espoo: Sähköinfo Oy.
- 16 Head Power Oy. IWI-ohjeistot. Verkkoaineisto. <<https://ohjeistot.headpower.fi/catalog/headpower>>. Luettu 17.3.2022
- 17 Energiateollisuus ry. Verkostosuositus SA 2:08 Pienjänniteverkon ja jakelumuuntajan sähköinen mitoittaminen. Adato Energia Oy.
- 18 SFS 6000-5-53. 2017. Pienjännitesähköasennukset. Osa 5-53: Sähkölaitteiden valinta ja asentaminen. Erottaminen, kytkentä ja ohjaus. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS.
- 19 SFS 61008-1. 2012. Vikavirtasuojat ilman yhdysrakenteista ylivirtasuojasta kotitalous ja vastaaviin käyttöihin (RCCB:t). Osa 1: Yleiset vaatimukset. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS.
- 20 Sähkötieto ry. 2016. ST 53.22 maadoitusresistanssin mittauss. Espoo: sähkötieto Oy.
- 21 Energiateollisuus ry. Verkostosuositus TJ 1:05 Maadoitusmittaukset. Adato Energia Oy.
- 22 Valtioneuvoston asetus 1434. 2016. Finlex.



## **Toimintaohje jakeluverkon käyttöönottotarkastusten suorittamiseen**

Salattu liite

## **Esimerkkikuvia mittauksista**

Salattu liite