



TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

KESKIJÄNNITEMUUNTAMON KÄYTTÖÖNOTTOTARKASTUKSET JA -DOKUMENTOINTI

Jarno Simolin

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2017
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Sähkövoimatekniikka



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Sähkövoimatekniikka

JARNO SIMOLIN:

Keskijännitemuuntamoiden käyttöönottotarkastukset ja dokumentointi

Opinnäytetyö 77 sivua, joista liitteitä 29 sivua
Huhtikuu 2017

Uusien keskijännitemuuntamoiden rakentaminen on lisääntynyt tasaisesti viime vuosina, minkä vuoksi myös muuntamoiden käyttöönottotarkastuksien määrä on ollut selvässä kasvussa. Keskijännitejärjestelmiä suunnittelevalle ja asentavalle Electric Power Finland (EPF) Oy:lle tämä synnytti tarpeen tehostaa ja yhdenmukaistaa tarkastusten suorittamista ja dokumentointia. Yrityksessä haluttiin myös päivittää vanhat pöytäkirjat uusimpien säästöjen ja standardien mukaisiksi.

Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda EPF Oy:lle yhtenäiset ja ajanmukaiset käyttöönottotarkastuspöytäkirjat vanhojen pöytäkirjojen pohjalta. Tarkoituksena oli myös selvittää uusien pöytäkirjojen soveltuvuus tarkastuksien dokumentointiin tekemällä käyttöönottotarkastus valmistumisvaiheessa olevaan muuntamoon. Tarkastuksen yhteydessä haluttiin tutkia myös vaihtoehtoisia mittausten menetelmiä ja -välineitä sekä niiden käytettävyyttä tyypillisessä tarkastuskohteessa.

Opinnäytetyön kirjallisessa osuudessa perehdyttiin keskijännitemuuntamoiden turvalliseen ja määräystenmukaiseen käyttöönottoon sekä tarkastusten laadukkaaseen dokumentointiin. Suojareleiden ja katkaisijoiden koestuksia käsiteltiin opinnäytetyössä vain lyhyesti, koska niiden muodostama tarkastuskokonaisuus on usein laajempi kuin muut tarkastuksen osa-alueet yhdessä. Rajauksen tekeminen mahdollisti tarkemman perehtymisen esimerkiksi mittaustulosten analysointiin.

Lopputuloksena saatiin selkeät ja yhdenmukaiset käyttöönottotarkastuspöytäkirjat, joita on helppo muokata tarkastuskohteen vaatimusten mukaisiksi. Lisäksi syntyi ehdotuksia tarkastusten kehittämiseksi erityisesti mitatessa eristysvastusta ja suojajohtimen jatkuvuutta. Opinnäytetyön liitteenä olevat pöytäkirjat ohjeineen julistettiin tilaajan toivomuksesta salaisiksi.

ABSTRACT

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

JARNO SIMOLIN:

Commissioning Inspections of Medium Voltage Transformer Substations and their Documentation

Bachelor's thesis 77 pages, appendices 29 pages
April 2017

Construction of new medium voltage transformer substations has increased in the last few years and this has led to increasing number of commissioning inspections. At Electric Power Finland (EPF) Oy this phenomenon generated a need to intensify and harmonize process of inspections and their documentation. There was also a need to update old inspection forms to correspond to the latest regulations and standards.

The main purpose of this thesis was to create new commissioning forms based on the old ones for EPF Oy. The new forms were meant to be used in practical inspection and measurements at the suitable transformer substation. There was also an idea to examine alternative methods and equipment to carry out measurements during that inspection.

Safe commissioning and high-quality documentation were explored in the theoretical part of the thesis. There was only a short introduction of testing circuit breakers and protection relays in the thesis because that kind of tests typically form a separated part of commissioning. That framing of the thesis created more space, for example, for the analyses of commissioning measurements.

As the final result, handy and harmonized inspection forms, which can be easily customized was created. Inspection forms with their instruction sheets was added to this report as confidential appendices. Additionally, suggestions were made to develop inspections especially when it comes to measuring insulation resistance and protective earth conductor resistance.

Key words: transformer substations, commissioning, documentation, electrical inspection, methods of measurement

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
2	SÄÄDÖKSET JA STANDARDIT	9
2.1	Yleistä	9
2.2	Sähköturvallisuuslaki.....	10
2.3	Valtioneuvoston ja sisäasiainministeriön asetukset.....	12
2.4	Standardit	14
3	KESKIJÄNNITEMUUNTAMO	16
3.1	Muuntamoympäristö	16
3.2	Keskijännitekojeisto.....	16
3.3	Muuntaja	17
3.4	Pienjännitekojeisto.....	18
4	KÄYTTÖÖNOTTOTARKASTUKSET	19
4.1	Aistinvaraiset tarkastukset	19
4.1.1	Sähkölaitteiston asennukset	19
4.1.2	Rakenteet ja suojaukset.....	20
4.1.3	EMC-suojaus ja magneettikentät	20
4.2	Mittaukset	23
4.2.1	Maavastus.....	23
4.2.2	Suojajohtimen jatkuvuus.....	26
4.2.3	Eristysvastus.....	30
4.2.4	Vaiheistus ja jännitetason tarkastus	34
4.2.5	Lähtöjen tarkastus	35
4.3	Toimintakokeet	37
5	DOKUMENTOINTI	40
5.1	Pöytäkirjat	40
5.1.1	Käyttöönottotarkastuspöytäkirja	41
5.1.2	Mittauspöytäkirjat	42
5.2	Liitedokumentit.....	43
6	POHDINTA.....	44
	LÄHTEET	47
	LIITTEET	49
	Liite 1. Maavastusmittauspöytäkirja	49
	Liite 2. Suojajohtimen jatkuvuusmittauspöytäkirja.....	53
	Liite 3. Eristysvastusmittauspöytäkirja	57
	Liite 4. Lähtöjen tarkastuspöytäkirja.....	63
	Liite 5. Käyttöönottotarkastuspöytäkirja	66

Liite 6. Puutelistat..... 76

LYHENTEET JA TERMIT

ATEX	Räjähdyksivaarallisissa tiloissa käytettäviä laitteita koskeva lainsäädäntö ja standardisointi (atmosphères explosibles)
EMC	Sähkömagneettinen yhteensopivuus (Electromagnetic compatibility)
EPF	Electric Power Finland Oy
FTIR	Fourier-muunnettu infrapuna (Fourier Transformed Infrared)
GIS	Kaasu-eristettyjen kojeistojen (Gas-insulated switchgear)
IARC	Kansainvälinen syöväntutkimuskeskus (International Agency for Research on Cancer)
INCIRP	Kansainvälinen ionisoimattoman säteilyn toimikunta (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection)
MOM	Mikro-ohmimittari
PEX	Ristisilloitettu polyeteeni
SF ₆	Rikkiheksafluoridi-eristekaasu
UPS	Katkeamaton tehonsyöttöjärjestelmä (Uninterruptible Power Supply)
VLF	Erittäin matalat taajuudet, jotka ovat yleensä välillä 0.01 – 0.1 Hz (Very low frequency)

1 JOHDANTO

Suomessa otetaan käyttöön vuosittain tuhansia uusia keskijännitemuuntamoita. Suurin osa muuntamoista on jakeluverkkoyhtiöiden pylväs- ja puistomuuntamoita, joiden rakentamista vauhdittavat erityisesti sähköverkon toimitusvarmuuden parantamiseksi tehdyt investoinnit. Mukana on myös paljon kaupan ja teollisuuden alan kiinteistömuuntamoita, jotka on uusittu vastaamaan nykyajan vaatimuksia. Kaikille uusille ja saneeratuille muuntamoille on tehtävä sähköturvallisuuslain mukainen käyttöönottotarkastus.

Uusi sähköturvallisuuslaki astui voimaan 1.1.2017, mikä aiheutti muutoksia esimerkiksi sähkölaitteistoluokkien määrittämisessä ja määräaikaistarkastuksia koskevissa vaatimuksissa. Muutosten vuoksi monissa yrityksissä on jouduttu tarkistamaan käytössä olevien tarkastuspöytäkirjojen ja työohjeiden sisällön ajantasaisuus, mikä on ollut myös yhtenä lähtökohtana tämän opinnäytetyön tekemiselle. Vaikka dokumenttien päivitys saatetaan joissain yrityksissä priorisoida toissijaiseksi asiaksi varsinaisten työtehtävien rinnalla, kannattaa muistaa, että päivitettyt dokumentit luovat edellytykset luotettavalle ja kilpailukykyiselle sähkösuunnittelulle ja -urakoinnille.

Opinnäytetyö tehtiin Electric Power Finland (EPF) Oy:lle, joka on erikoistunut vaativien kohteiden vahvavirta-asennuksiin ja niiden suunnitteluun, koestukseen ja käyttöönottoon. Aikaisemmin yrityksellä oli käytössään monia keskenään hyvin erilaisia tarkastus- ja mittauspöytäkirjapohjia, jotka olivat osin jopa puutteellisia tiukentuneiden standardien ja laatuvaatimusten rinnalla. Pöytäkirjapohjat olivat Excel-muodossa, minkä ansiosta niiden täyttäminen ja muokkaaminen oli helppoa ja nopeaa tietokoneella, ja toisaalta ne oli mahdollista myös tulostaa selkeiksi paperiversioiksi työmaatarkastuksia varten. Opinnäytetyön tavoitteena oli säilyttää pöytäkirjapohjien Excel-muoto, mutta kuitenkin parannella niiden käytettävyyttä vastaamaan esimerkiksi internetpohjaisten lomaketyökalujen tasoa. Ideana oli käyttää hyödyksi Excelin kehitystyökaluja, kuten sisältöohjausobjekteja, sekä erilaisia funktioita ja kommentteja. Lisäksi tarkoituksena oli lisätä pöytäkirjoihin ohjeväkilehti, joka toimisi muistilistana mittauksen suorittamisessa ja pöytäkirjojen täyttämisessä.

Käytännön osuus opinnäytetyöstä oli tarkoitus suorittaa kahdella muuntamotyömaalla, joissa tehtäisiin koestajille kuuluvat käyttöönottotarkastukset siinä laajuudessa kuin aikataulullisesti olisi mahdollista. Samalla koekäytettäisiin uusia tarkastuspöytäkirjoja ja tehtäisiin vertailua suojajohtimen jatkuvuuden mittausten menetelmien välillä. Käytännön osuuden tavoitteena oli etsiä kehitettäviä asioita aistinvaraisten tarkastusten ja mittausten suorittamisessa. Toiseksi työmaakohteeksi valikoitui kiinteistömuuntamo Linnanmäen huvipuistossa, ja toiseksi puistomuuntamo Espoon Sinimäessä. Linnanmäen muuntamon nimellijännite oli 10/0,4 kV ja Sinimäen muuntamon 20/0,4 kV, joten molemmat muuntamot olivat tyypillisiä keskijännitemuuntamoita. Keskijännitteellä tarkoitetaan yleensä 1-70 kV:n jännitetasoja, mutta toisaalta sähköalan standardit tuntevat ainoastaan ”pien-” tai ”suurjännitteen”, joiden jänniterajana on 1 kV. Opinnäytetyössä haluttiin kuitenkin erottaa keski- ja suurjännitemuuntamot toisistaan, jotta työn aihealueen rajaus pysyisi järkevänä.

2 SÄÄDÖKSET JA STANDARDIT

2.1 Yleistä

Sähkötapaturmilla mitattuna Suomen sähköturvallisuus on korkealla tasolla, ja vakavat tapaturmat ovat harvinaisia, vaikka sähkönkulutus ja sähkölaitteiden määrä on viime vuosiin asti kasvanut jatkuvasti (Sähköturvallisuus 100 vuotta 2017). Suomessa on myös lähes häiriötön sähkönjakelujärjestelmä globaalissa mittakaavassa, ja kuluttaja voi pitää keskeytymätöntä sähkönjakelua lähes itsestänselvyytenä. Jotta sähkölaitteistojen ja -laitteiden käyttö olisi turvallista ja häiriötöntä jatkossakin, on sähkölaitteistojen käyttöön otosta säädetty määräyksiä ja ohjeita kansainvälisissä ja kansallisissa direktiiveissä, laeissa, asetuksissa, päätöksissä ja standardeissa. Näistä kaikki muut ovat velvoittavia paitsi standardit, jotka ovat vain ohjeistuksia siihen, millä tavalla velvoittavien säädösten määräykset täytetään. Kaikki sähkölaitteistojen turvallisuutta ja sähkötyöturvallisuutta koskevat standardit esitetään Tukes-ohjeessa (Tukes-ohje 19/2017), jossa on mukana esimerkiksi räjähdysvaarallisten tilojen (ATEX) ja rautateiden sähkölaitteistoja koskevat standardit.

TAULUKKO 1. Muuntamoiden käyttöönottotarkastuksia ohjaavat säädökset ja standardit 14.3.2017.

Säädös	Nro
Sähköturvallisuuslaki	1135/2016
Valtioneuvoston asetus sähkölaitteistoista	1434/2016
Valtioneuvoston asetus sähkötyöstä ja käyttötyöstä	1435/2016
Valtioneuvoston asetus sähkölaitteiden ja -laitteistojen sähkömagneettisesta yhteensopivuudesta	1436/2016
Sisäasiainministeriön asetus rakennusten poistumisreittien merkitsemisestä ja valaisemisesta	805/2005
Standardi	Nro
Pienjänniteasennukset, sähköturvallisuus ja erityisasennukset	SFS 6000
Suurjännitesähköasennukset	SFS 6001
Sähkötyöturvallisuus	SFS 6002

Uusi sähköturvallisuuslaki (1135/2016) ja sen nojalla annetut säädökset kumosivat edellisen sähköturvallisuuslain (410/1996), ja tänä vuonna uudistuu myös pienjännitestandardi SFS 6000. Muutosten vuoksi moni kauppa- ja teollisuusministeriön päätös jäi historiaan, kun sähköalan tärkeimmät säädökset keskitettiin sähköturvallisuuslakiin ja sen nojalla annettuihin asetuksiin sähkölaitteistoista ja sähköalan töistä. Jotta muuttuneita säädöksiä ja standardeja olisi helpompi seurata ja soveltaa käytäntöön, on yllä esitetty muuntamoiden käyttöönottotarkastusten kannalta tärkeimpien säädösten ja standardien uusimmat versiot (taulukko 1). Säädökset on esitetty sisennysten avulla hierarkkisessa järjestyksessä siten, että sisin on säädöshierarkiassa viimeisenä.

2.2 Sähköturvallisuuslaki

Sähköturvallisuuslain tarkoituksena on ensisijaisesti varmistaa sähkölaitteen ja -laitteiston käytön pitäminen turvallisena ja estää sähköä aiheutuvien sähkömagneettisten häiriöiden haitalliset vaikutukset. Lisäksi lain tarkoituksena on varmistaa sähkölaitteiden vaatimustenmukaisuus ja vapaa liikkuvuus. Sähköturvallisuuslailla pannaan täytäntöön myös Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2014/30/EU eli Electromagnetic compatibility (EMC) -direktiivi, ja direktiivi 2014/35/EU eli pienjännitedirektiivi. (1135/2016, 1 §.)

Sähköturvallisuuslaki jakaa sähköalan työt sähkö- ja käyttötöihin, joista jälkimmäiseen kuuluvat muun muassa käyttöönottotarkastukset. Sähkölaitteiston käyttöönottoa koskevia lainkohtia on erityisesti pykälissä 42 ja 43. Niissä määritellään sähkölaitteiston käyttöönoton ajankohta, käyttöönottotarkastuksen suorittamisen vaatimukset sekä tarkastuspöytäkirjan laatimisen vaatimukset. Alla on esitetty kyseiset lainkohdat suorina lainauksina:

”Sähkölaitteisto katsotaan otetuksi käyttöön ajankohtana, jolloin laitteistoon kytketään jännite sen käyttöä varten. Sähkölaitteiston käyttöönottona ei kuitenkaan pidetä sellaisia valvottuja käyttötilanteita, jotka ovat tarpeen laitteiston koekäytössä tai käyttöönottotarkastuksessa.

Sähkölaitteisto katsotaan otetuksi varsinaiseen käyttötarkoitukseensa ajankohdaksi, jolloin tila, johon sähkölaitteisto on rakennettu, otetaan suunniteltuun käyttötarkoitukseensa tai toiminta, jota varten sähkölaitteisto on suunniteltu, alkaa.” (1135/2016, 42 §.)

”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 laitteiston haltijalle.

Valtioneuvoston asetuksella säädetään tarkemmin käyttöönottotarkastuspöytäkirjan sisällöstä sekä niistä vähäisiksi katsottavista töistä, joista pöytäkirjaa ei tarvitse tehdä.” (1135/2016, 43 §.)

Sähköturvallisuuslain uudistuksen myötä myös sähkölaitteistojen luokitus muuttui selkeämmäksi, vaikka laitteistoluokkien tunnuksset ovat hieman epäloogisessa järjestyksessä. Tämä johtuu siitä, että joitakin laitteistoluokkia on otettu kokonaan pois, mutta jäljelle jääneiden luokkien tunnuksset on haluttu pitää silti samoina. Esimerkiksi keskijännitemuuntamot kuuluvat edelleen luokkiin 2c tai 3c. Uudessa sähköturvallisuuslaissa on jäljellä viisi laitteistoluokkaa, jotka määritellään seuraavalla tavalla:

”Sähkölaitteistot jaetaan niiden varmennus- ja määräaikaistarkastusten vaatimusten sekä kunnossapito-ohjelmaa koskevien vaatimusten osalta luokkiin seuraavasti:

1) luokan 1 sähkölaitteisto:

- a) sähkölaitteisto asuinrakennuksessa, jossa on enemmän kuin kaksi asuinhuoneistoa;
- b) muu kuin asuinrakennuksen sähkölaitteisto, jonka suojalaitteena toimivan ylivirtasuojan nimellisvirta on yli 35 ampeeria ja joka ei kuulu luokkiin 2 tai 3;

2) luokan 2 sähkölaitteisto:

- c) sähkölaitteisto, johon kuuluu yli 1 000 voltin nimellisjännitteisiä osia, lukuun ottamatta sellaista sähkölaitteistoa, johon kuuluu vain enintään 1 000 voltin nimellisjännitteellä syötettyjä yli 1 000 voltin sähkölaitteita tai niihin verrattavia laitteistoja;
- d) sähkölaitteisto, jonka liittymisteho, jolla tarkoitetaan sähkölaitteiston haltijan kiinteistölle tai yhtenäiselle kiinteistöryhmälle rakennettujen liittymien liittymistehojen summaa, on yli 1 600 kilovoltiampeeria.

3) luokan 3 sähkölaitteisto:

- c) verkonhaltijan jakelu-, siirto- ja muu vastaava sähköverkko.” (1135/2016, 44 §.)

Sähkölaiteistoluokitusta ei sovelleta viestintäverkkojen, hissien, ilma-alusten eikä maa- ja vesikulkuneuvojen sähkölaiteistoihin (1135/2016, 44 §). On myös hyvä huomata, että omakotitalojen, paritalojen ja muiden pienrakennusten sähkölaiteistot jäivät edelleen laiteistoluokituksen ulkopuolelle. Käyttöönottotarkastuksien tekeminen koskee kuitenkin yhtä lailla myös luokittelemattomia sähkölaiteistoja.

2.3 Valtioneuvoston ja sisäasiainministeriön asetukset

Valtioneuvoston antamissa asetuksissa (1434/2016, 1435/2016, 1436/2016) säädetään sähköturvallisuuslain (1135/2016) nojalla tarkempia määräyksiä sähkölaiteistojen turvallisuusvaatimuksista, sähkömagneettisesta yhteensopivuudesta sekä sähkö- ja käyttötöistä. Asetuksessa 1434/2016 määritellään sähkölaiteistojen olennaiset turvallisuusvaatimukset ja yksityiskohtia lain määrittämistä varmennus- ja määräaikaistarkastuksista. Lisäksi käyttöönottotarkastuspöytäkirjan sisällöstä säädetään seuraavan otteen mukaisesti:

”Sähköturvallisuuslain 43 §:ssä tarkoitetusta tarkastuspöytäkirjasta tulee käydä ilmi kohteen yksilöintitiedot, sähkölaiteiston rakentajan ja sähkötöiden johtajan nimi ja yhteystiedot, selvitys sähkölaiteiston 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.” (1434/2016, 4 §.)

Asetuksen 1435/2016 olennaiset säännökset muuntamoiden käyttöönottoa ajatellen ovat sähköalan työkokemuksen perusvaatimukset ja sähkötyöturvallisuuden olennaiset turvallisuusvaatimukset. Käyttöönottotarkastuksen tekijältä ei vaadita erityistä ammattipätevyyttä, vaikka kyseessä olisi keskijännitemuuntamo, mutta jotta asetuksen 1434/2016 vaatimukset sähkölaiteiston olennaisista turvallisuusvaatimuksista täyttyisivät, täytyy tarkastajalla olla riittävät tiedot laiteiston toiminnasta ja tehdyistä töistä. Lisäksi käyttöönottotarkastuksia koskevassa standardissa mainitaan, että tarkastuksen suorittajan pitää olla sähköalan ammattihenkilö ja pätevä tekemään tarkastuksia (SFS 6000-6 2012, 5).

Asetuksessa 1436/2016 käsitellään EMC-suojausta, jonka tarkoitus on estää sähkön käytöstä aiheutuvien sähkömagneettisten häiriöiden haitalliset vaikutukset kaikkiin saman

käyttöympäristön laitteisiin, mutta ei ihmisiin. Toistaiseksi Suomessa ei ole viranomaismääräyksiä muuntamoiden magneetti- ja sähkökentän raja-arvoille, mutta käyttöönotto-tarkastuksissa on hyvä kuitenkin varmistua esimerkiksi siitä, että langattomat yhteydet eivät häiriinny muuntamon sisällä. Alla on esitetty asetuksen liite, jossa on määritelty olennaiset EMC-vaatimukset:

”SÄHKÖMAGNEETTISTA YHTEENSOPIVUUTTA KOSKEVAT OLENNAISET VAATIMUKSET

1. Yleiset vaatimukset

Sähkölaite tai -laitteisto on suunniteltava ja valmistettava ajankohdan tekniikan taso huomioon ottaen niin, että varmistetaan, että

1) sähkölaitteen tai -laitteiston aiheuttama sähkömagneettinen häiriö ei ylitä tasoa, jolla radio- ja telelaitteet tai muut laitteistot eivät voi toimia tarkoitettulla tavalla;

2) sähkölaitteen tai -laitteiston sille tarkoitettussa käytössä odotettavissa olevan sähkömagneettisen häiriön sieto on sellainen, että sähkölaitteen tai -laitteiston toiminta ei häiriinny kohtuuttomasti.

2. Kiinteitä asennuksia koskevat erityisvaatimukset

Komponenttien asennus ja aiottu käyttötarkoitus:

Kiinteässä asennuksessa on noudatettava hyviä teknisiä käytäntöjä ja otettava huomioon komponenttien aiottua käyttötarkoitusta koskevat tiedot, jotta varmistetaan, että kohdassa 1 esitetyt olennaiset vaatimukset täyttyvät.” (1436/2016)

Sisäasiainministeriön asetus 805/2005 rakennusten poistumisreittien merkitsemisestä ja valaisemisesta määrittelee, miten merkitseminen ja valaistus pitää järjestää ja minkälaisissa tiloissa poistumisreitit pitää merkitä. Asetuksessa on esitetty noudatettavaksi soveltuvin osin turvavalaisusstandardia SFS-EN 1838, jonka pohjalta on laadittu poistumisvalaistusta ja poistumisreitivalaistusta käsittelevä ST-ohjeisto 8. Edellä mainittujen lähteiden perusteella poistumisreittien merkitseminen ja valaisu koskevat käytännössä kaikkia tiloja, joihin rakennuksen yleisöllä ja/tai työntekijöillä on pääsy. ST-ohjeistossa mainitaan kuitenkin poikkeuksena esimerkiksi tilat, joista on pääsy suoraan ulos (ST-ohjeisto 8, 18). Ilman suoraa uloskäyntiä olevissa muuntamotiloissa on siis oltava poistumisreitipastus ja -valaistus.

ST-ohjeistossa mainitaan myös, että riskialttiilla työalueella on oltava turvavalaistus. Riskialttiilla työalueella tarkoitetaan tilaa, jossa on potentiaalisesti vaarallisessa prosessissa tai tilanteessa osallisena olevia ihmisiä. (ST-ohjeisto 8, 15.) Esimerkiksi muuntamo on tällainen tila erityisesti silloin, kun muuntamossa tehdään jännitteisiä käyttöönottomittauksia tai huoltotöitä. Muuntamotiloissa täytyy siis olla aina niin kutsuttu ”ikivalaistus” eli häiriön sattuessa korkeintaan 0,5 sekunnin viiveellä syttyvä valaistus sovelluksesta riippuen.

2.4 Standardit

Sähköturvallisuutta käsittelevän standardin SFS 6000 luvussa 61 esitetään pienjänniteasennusten käyttöönottotarkastuksia koskevat vaatimukset. Suurjänniteasennusten tarkastuksille ei ole vastaavaa standardisointia, joten niiden suorittamisessa sovelletaan pienjänniteasennusten tarkastusten vaatimuksia. Edellä mainitun standardin mukaan kaikkiin käyttöönottotarkastuksiin tulee sisältyä seuraavat testit silloin kun ne liittyvät tarkastettavaan työsuoritukseen. Testit tehdään mieluiten seuraavassa järjestyksessä:

- ”a) suojajohtimien jatkuvuus
- b) sähköasennuksen eristysresistanssi
- c) SELV- ja PELV-piirien tai sähköisesti erotettujen piirien erotus
- d) lattia- ja seinäpintojen resistanssi
- e) syötön automaattisen poiskytkennän toiminta
- f) lisäsuojaus
- g) napaisuustesti
- h) kiertosuunnan mittaus
- i) toiminta- ja käyttötestit
- j) jännitteenalenema.” (SFS 6000-6 2012, 7.)

Keskijännitemuuntamoiden käyttöönottotarkastuksissa ei useinkaan tarvitse tehdä kaikkia standardin vaatimia testejä, vaan yleensä kohdat c), d) ja j) voidaan jättää pois. Muuntamon keskijännitelaitteistoille tehdään tavallisesti kohtien a), b), e), i) testit, ja niiden lisäksi kohtien f), g) ja h) testit tehdään muuntamon pienjännitelaitteistoille. Kohdassa e) mainittuun syötön automaattisen poiskytkennän testaamiseen sisältyy myös vikavirtasuojien testaus ja maavastuksen mittaaminen.

Käyttöönottomittauksia tehdessä tulee huolehtia sähkötyöturvallisuudesta samalla tavoin kuin muitakin sähkötöitä tehdessä. Asiasta mainitaan standardin SFS 6002 kohdassa

5.3.3.5, jonka mukaan tarkastuksia saavat tehdä ammattihenkilöt, joilla on kokemusta vastaavien asennusten tarkastamisesta. Tarkastuksissa pitää myös käyttää sopivia välineitä siten, että ehkäistään vaara ja samalla tarvittaessa otetaan huomioon paljaista jännitteisistä osista johtuvat rajoitukset. (SFS 6002 2015, 23.)

Yleensä käyttöönottotarkastuksen mittaukset kuuluvat käyttööihin, joissa voidaan noudattaa SFS 6002 kohdan 6.2 jännitteettömänä työskentelyn sääntöjä. Tarvittaessa mittaukset täytyy tehdä kuitenkin noudattaen kohdassa 6.3 mainittuja jännitetyön sääntöjä tai kohdassa 6.4 mainittuja jännitteisten osien läheisyydessä työskentelyn sääntöjä (SFS 6002 2015, 22). Jokaisessa jännitteisessä tarkastuksessa tulee olla sähkötöiden johtajan nimeämä työnaikaisesta sähköturvallisuudesta vastaava henkilö, joka kykenee tekemään sähkötöitä itsenäisesti. Hän voi osallistua työhön tai tehdä sen kokonaisuudessaan itse. (SFS 6002 2015, 55.)

Sähköalan standardien soveltamiseen tarkoitettussa käsikirjassa D1-2012 kerrotaan tarkemmin mittausten aikaisesta sähkötyöturvallisuudesta. Käsikirjan mukaan tarkastusmittauksiin osallistuvalla on annettava riittävä opastus sekä mittalaitteiden käyttöohjeet. Ennen mittausten suoritusta tulee sähkötyöturvallisuudesta vastaavan henkilön varmistua, että seuraavat asiat ovat kunnossa:

- jännitteettömäksi tehtävä laitteisto on jännitteetön (esim. eristystilan mittauksissa)
- jännitteen kytkentä mittaushetkellä on estetty
- mittauksessa käytetään turvallisia mittalaitteita
- mitattaessa ei ole vaaraa koskettaa jännitteisiä osia
- mittajohtimilla ei aiheuteta oiko- tai maasulkua
- mittalaitteiden syöttämä jännite ei aiheuta vaaraa muille mitattavassa piirissä. (D1 2012, 348.)

3 KESKIJÄNNITEMUUNTAMO

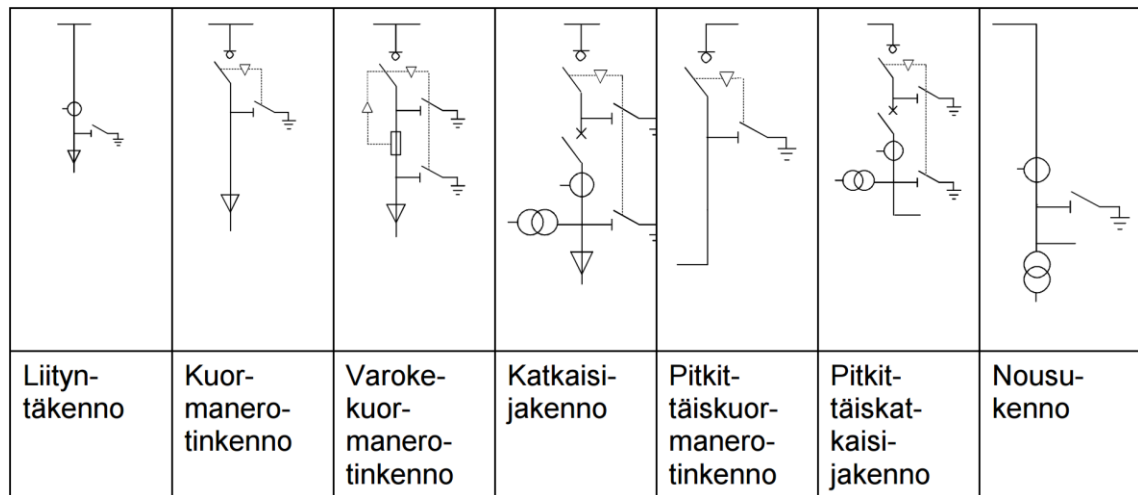
3.1 Muuntamoympäristö

Keskijännitemuuntamot ovat pääsääntöisesti joko pylväs-, puisto- tai kiinteistömuuntamoita. Pylväsmuuntamot ovat pieniä haja-asutusalueen muuntamoita, joissa öljymuuntaja ja siihen liittyvät kojeet on sijoitettu nimensä mukaisesti sähköpylvääseen kosketusäisyyden ulkopuolelle. Puistomuuntamossa taas kojeisto, muuntaja ja kaapelilähdöt on suojattu metalli- tai kivirakenteisella muuntamokopilla, joka on sijoitettu maastoon pienjänniteliittymien läheisyyteen. Kiinteistömuuntamoissa muuntaja oheislaitteineen voi olla esimerkiksi kerrostalon tai liikerakennuksen kellarikerroksessa. Teollisuuskiinteistöissä muuntaja voi olla myös rakennuksen ulkoseinustalla pilttuussa, ja kojeisto sekä kaapelilähdöt rakennuksen sisäpuolella omissa tiloissaan.

Muuntamoympäristö vaikuttaa siihen, mitä asioita käyttöönottotarkastukseen kuuluu, ja minkälaisia menetelmiä mittauksissa käytetään. Maavastusmittauksia ei esimerkiksi pysyttä tekemään maahan työnnettävien elektrodien avulla, jos teollisuuskiinteistön muuntamo ympäröi laaja asfalttikenttä. Silloin maavastuksen riittävyys voidaan todentaa, jos muuntamo on liitetty alueella olevaan laajaan maadoitusverkkoon (SFS 6001 2015, 147).

3.2 Keskijännitekojeisto

Vain puisto- ja kiinteistömuuntamoissa on varsinainen keskijännitekojeisto, koska pylväsmuuntamoissa ei tarvita välttämättä muita keskijännitekojeita kuin erottimet jokaiselle vaiheelle. Keskijännitekojeistot voidaan jakaa niiden sisällä olevan eristyskaasun mukaan kahteen päätyyppiin, ilma- ja kaasueristeisiin (GIS) kojeistoihin. GIS-kojeistoissa yleisesti käytettävällä rikkiheksafluoridi-eristekaasulla (SF_6) on noin kolme kertaa suurempi läpilyöntilujuus kuin ilmalla, joten kojeiston virtatiet voidaan asentaa lähemmäs toisiaan ja näin kojeisto saadaan mahtumaan teoriassa ainakin puolet pienempään tilaan. Huonona puolena SF_6 -kaasulla on sen ongelmallinen jatkokäyttö, koska se on voimakkaasti ilmakehää lämmittävä kasvihuonekaasu. (SF_6 -kaasu sähkökojeistoissa 2012.)



KUVA 1. Keskijännitekojeiston kennotyyppejä (TTT-käsikirja 2000, taulukko 13.4c).

Kojeistot rakennetaan yleensä modulaarisista kennoista, joita liitetään vierekkäin tarvittava määrä (kuva 1). Kennot yhdistetään toisiinsa kokoojakiskoilla, joita pitkin virta kulkee kennosta toiseen. Ensimmäiset kennot voivat olla esimerkiksi liityntäkennoja, joista toiseen tulee rengasverkon kaapeli, ja toisesta lähtee kaapeli seuraavaan rengasverkon muuntamoon. Kolmannessa kennossa voi olla mittamuuntajat, ja sen jälkeen on tarvittava määrä kaapelilähtöjen kennoja muuntajille, generaattoreille tai kompensointilaitteille. Näissä kaapelilähtöjen kennoissa on kojeena yleensä katkaisija, kuormanerotin tai erotin. Lisäksi kojeistossa voi olla kennoja pitkittäiserottimille ja -katkaisijoille, joilla pystyy jakamaan kojeiston useampaan osaan esimerkiksi huoltoa varten.

3.3 Muuntaja

Keskijännitekojeiston muuntajalähdöstä lähtee yleensä lyhyt kaapeli muuntajalle, joka voi olla samassa tilassa kuin kojeisto tai seinän takana paloturvallisuussyistä. Yleensä muuntaja muuntaa 20 kV:n tai 10 kV:n keskijännitteen 400 V:n tai 690 V:n pienjännitteeksi, mutta teollisuudessa on käytössä myös muita jännitetasoja kuten 6 kV:n keskijännite. Muuntamoissa voi olla varsinaisten päämuuntajien lisäksi pienitehoinen omakäyttömuuntaja, joka syöttää muuntamorakennuksen ja kojeiston apusähköjärjestelmiä, kuten tasasähkökeskusta.

Muuntajat jaetaan niiden jäähdytysaineen mukaan öljy- ja kuivamuuntajiin. Valuhartsieristeiset kuivamuuntajat sopivat paremmin kiinteistömuuntamoihin, koska tulipalon sattuessa ne sammuvat itsestään, eivätkä ne myöskään tarvitse öljyn valuma-allasta.

Öljymuuntajat taas kestävät paremmin lämmön ja kuormituksen vaihteluita ja ne ovat halvempia kuin kuivamuuntajat. Kuivamuuntajien eliniästä suhteessa öljymuuntajiin ei ole vielä kokemukseräistä tietoa, mutta molemmille tyypeille annetaan yleisesti käyttöiksi noin 40 vuotta standardien rajoituksia noudattaen.

3.4 Pienjännitekojeisto

Pienjännitekojeisto koostuu yleensä muuntajan ja pienjännitekeskuksen välisestä kiskosillasta tai kaapeleista sekä yhdestä tai useammasta pienjännitekeskuksesta. Kiinteistömuuntamoissa kiskosilta on kaapeleita useammin valittu ratkaisu, koska siirrettävien virtojen suuruus on usein yli 500 A, jolloin kaapeleita olisi hankala asentaa niiden suuren poikkipinta-alan vuoksi. Kiskosilta liittyy muuntajaan joustavien kuparilevyistä tehtyjen liitosten avulla, jolloin muuntajan aiheuttama värinä ei riko kiskosillan liitoksia.

Kiinteistömuuntamon pienjännitekeskus eli useimmiten pääkeskus pyritään sijoittamaan käyttö- ja huoltotöiden vuoksi eri tilaan kuin keskijännitekojeisto ja muuntaja. Pienjännitekeskus on nykyään lähes aina modulaarinen kennokeskus, jossa on päällekkäin ja vierekkäin katkaisijoiden, kaapelilähtöjen, mittausten tai kontaktoreiden kennoja, joihin tuodaan kaapelit joka toisessa pystyvälissä olevan kaapelikuilun kautta. Muuntajalta tuleva kiskosilta tai syöttökaapeli tuodaan pienjännitekeskuksen pääkatkaisijakennoon, josta virta jaetaan eteenpäin kennojen läpi kulkevien kokoojakiskojen avulla. Tarvittaessa keskukselta lähtee eteenpäin kiskosilta tai kaapeli toiseen pienjännitekeskukseen, kuten katkeamattomalla tehonsyöttöjärjestelmällä (UPS) varmennettuun keskukseen.

4 KÄYTTÖÖNOTTOTARKASTUKSET

4.1 Aistinvaraiset tarkastukset

Jo ensimmäisistä asennuksista alkaen on työmaalla suoritettava aistinvaraista tarkastusta, minkä tarkoituksena on varmistaa erityisesti piiloon jäävien sähköasennusten toimivuus ja turvallisuus. Työnaikaiselle aistinvaraiselle tarkastukselle ei yleensä varata erityisiä ajankohtia, vaan se on jatkuvaa asentajien oman työn valvontaa. Käyttöönottotarkastuksessa tulee olla selvillä asennustyön aikana tehdyn tarkastuksen laajuus ja mahdolliset puutteet, jotta tarkastustoimenpiteet voidaan kohdistaa oikeisiin asioihin. Tarkastuksen tarkempi sisältö riippuu hankkeen vaatimuksista ja yrityksen käytännöistä, joten tässä kappaleessa on keskitytty tavanomaisilla työmailla tehtyihin tarkastuksiin EPF:n käytäntöjen mukaisesti.

Keskijännitemuuntamoissa on tärkeää tarkastaa asennusten suunnitelmien mukaisuus, koska asennustyötä on voitu helpottaa ratkaisuilla, joiden sekundäärivaikutukset ovat heikentäneet laitteiston toimintaa tai turvallisuutta. Esimerkiksi muuntajan lämpötila-anturilta termistorireleelle viety JAMAK-instrumentointikaapeli on voitu kiinnittää muuntajaan muovisilla nippusiteillä metallisten kiinnikkeiden sijaan, mikä ei itsessään vaikuta laitteiston toimintaan. Muoviset nippusiteet saattavat kuitenkin hapertua ajan myötä muuntajan synnyttämässä 60-80 °C lämpötilassa, minkä seurauksena mittauskaapeli voi pudota keskijännitepäätteiden päälle ja aiheuttaa oikosulun. Tämän tyyppiset asennusvirheet voivat johtua myös puutteellisista suunnitelmista, ja joskus suunnitelmien mukaisista laitteistoistakin löytyy puutteita. Aistinvarainen tarkastus on viimeinen mahdollisuus huomata ja korjata puutteet ennen sähkölaitteiston käyttöönottoa, minkä vuoksi esimerkiksi EPF:n päivitetystä tarkastuspöytäkirjassa on yli 130 tarkastuskohtaa aistinvaraisille tarkastuksille.

4.1.1 Sähkölaitteiston asennukset

Kaapeliasennusten osalta kannattaa kiinnittää huomiota suurjännitekaapeleiden mekaaniseen suojaukseen sekä päätteiden kiinnityspulttien ja -muttereiden momenttimerkkeihin. Kaapelien taivutussäteet täytyy olla tarpeeksi loivia ja kaapelit täytyy olla kiinnitettynä

tarpeeksi monesta kohtaa. Kaapeli- ja johdinmerkintöjä täytyy olla riittävästi ja niistä tulee selvitä kaapelilaji, lähtöpaikka ja kohde.

Muuntajan asennuksessa täytyy varmistaa, että muuntajan pyörät on kiilattu ja mahdolliset värinänvaimentimet asennettu. Öljymuuntajien kohdalla tarkistetaan öljyn pinnankorkeus sekä mahdolliset öljyvuodot. Muuntajissa, kiskosillassa ja kojeistossa täytyy olla työmaadoituspallo asennettuna ja jännite-etäisyydet kunnossa. Kojestoasennuksista tutkitaan mahdolliset kuljetus- ja haalausvauriot sekä merkintöjen paikkansapitävyys esimerkiksi tunnus- ja arvokilpien osalta.

4.1.2 Rakenteet ja suojaukset

Rakenteellisia tarkastuskohtia ovat esimerkiksi palomääräysten toteutuminen läpivientien ja pintamateriaalien osalta. Muuntamotilan läpiviennit täytyy olla tiivistetty tarkoitukseen sopivalla massalla, jonka tukimateriaalina voidaan käyttää mineraalivillaa. Lisäksi täytyy varmistaa, että muuntamotilan lämmitys ja ilmanvaihto ovat riittäviä normaaliolosuhteissa, jotta katkaisijat eivät jäädy tai muuntaja ylikuumennu.

Suojamaadoitusten riittävyyteen täytyy kiinnittää huomiota, sillä jokainen metallirakenne muuntamossa täytyy olla suojamaadoitettu. Muuntamotilassa täytyy olla myös tarvittavat työkalut ja varusteet kuten jännitteenkoetin, varasulakkeet, ensiapuohjeet ja työnaikaiset varoituskilvet. Suojauksiin liittyy myös muuntamon oheislaitteiden kuten ilmanvaihtokoneen sijoitus siten, ettei huollon aikana tarvitse mennä lähityö- tai jännitetyöalueelle.

4.1.3 EMC-suojaus ja magneettikentät

EMC-suojauksen kattava tarkastaminen vaatii erityistä perehtyneisyyttä asiaan, koska aihe on sähköalalla verrattain uusi. Alla olevassa otteessa hallituksen esityksestä sähköturvallisuuslaiksi täsmennetään käyttöönototarkastuksessa ja varmennustarkastuksessa huomioitavia seikkoja EMC-vaatimusten osalta:

”Sähkömagneettisen yhteensopivuuden osalta ei käyttöönotto- ja varmennustarkastuksessa ole tarkoitettu suoritettavaksi varsinaisia häiriömittauksia, koska se

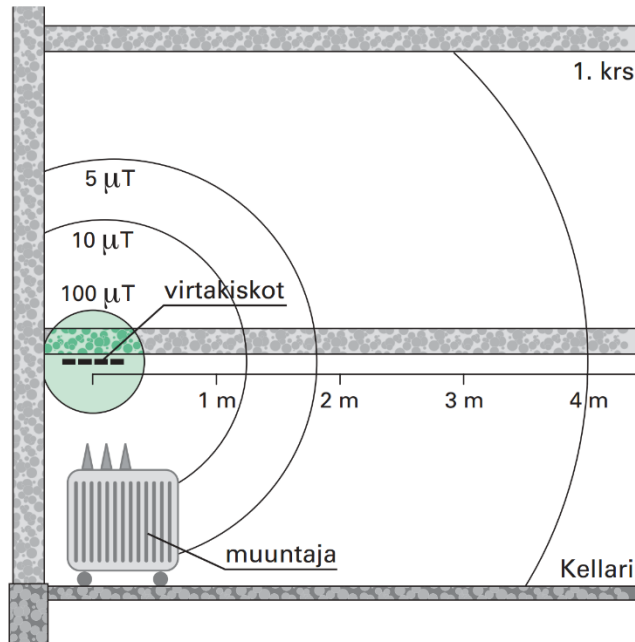
olisi hyvin vaikeaa, kallista ja epätarkoituksenmukaista. Varmennustarkastuksessa on tarpeen varmistua kuitenkin siitä, että rakentaja on täyttänyt sähkömagneettiseen yhteensopivuuteen liittyvät velvoitteensa ja liittänyt siitä tarpeelliset dokumentit osaksi haltijalle luovutettavaa aineistoa. Varmennustarkastaja voi tarkistaa dokumenttien lisäksi esimerkiksi taajuusmuuttajakäytön osalta, onko käytetty oikeanlaista kaapelityyppiä, ja ovatko kaapelin mahdolliset häiriösuojavaipat asennettu oikein myös liitoksissa ja mahdollisella turvakytkimellä.” (HE 116/2016)

Rakennusten yhteydessä olevien kiinteistömuuntamoiden osalta täytyy ottaa huomioon pientaajuiset häiriöt, jotka syntyvät, kun muuntamon sähkölaitteissa kulkeva 50 Hz:n virta aiheuttaa samalla taajuudella värähtelevän magneettikentän. Voimakkaat magneettikentät huomataan yleensä ensimmäiseksi vääristyminä lähistöllä olevan tietokoneen monitorilla. Normin IEC/EN 61000-4-8 mukaan sähköisten laitteiden ja koneiden ei tule altistua voimakkuudeltaan suuremmalle kuin $3,75 \mu\text{T}$: n kentälle. Tällä varmistutaan siitä, että laitteet ja koneet toimivat tarkoituksenmukaisesti, eivätkä aiheuta vaaraa tai muita haittoja käyttäjälle.

Kiinteistömuuntamo on käytännössä voimakkaimpia 50 Hz magneettikenttien lähteitä, jolle ihmiset voivat kotioiloissa altistua. Kun sähkömagneettiset häiriöt kohdistuvat ihmiseen, kyse ei ole enää varsinaisesti EMC-suojauksesta, vaan sähköturvallisuuslain mukaisesta vaaran aiheutumisesta terveydelle (1135/2016, 6 §). Moni tutkimus on osoittanut terveysriskit hyvin pieniksi, mutta esimerkiksi kansainvälinen syöväntutkimuskeskus International Agency for Research on Cancer (IARC) luokittelee pientaajuiset häiriöt luokkaan 2B, joka vastaa kahvin tai pakokaasujen saamaa luokitusta. (Björkman ym. 2008, 207-209.)

Muuntamon synnyttämä magneettikenttä on lähes aina peräisin muuntajan ja pienjännitekeskuksen välisestä kolmivaihekaapeli- tai kiskosillasta, joissa kulkeva virta on tyypillisesti 200 - 1000 A. Suurimman kuormitusvirran ja yliaaltojen esiintyessä samanaikaisesti tällaisen kiinteistömuuntamon aiheuttama magneettikenttä yläpuolisen huoneen lattian tasalla voi pahimmillaan ylittää $100 \mu\text{T}$ (kuva 2). Kyseinen arvo on kansainvälisen ionisoimattoman säteilyn toimikunnan (INCIRP) antama viitearvo suurimmalle sallitulle magneettivuon tiheydelle jatkuvassa altistuksessa, ja tämä arvo on myös enimmäissuositusarvo säteilylain nojalla annetussa asetuksessa (294/2002, 5 §). Raja-arvon ylittäviä ongelmuuntamoita ovat lähinnä vanhat kiinteistömuuntamot, joita on karkeasti arvioiden

noin prosentti Suomen 9000 kiinteistömuuntamosta. Uusissa muuntamoissa hajamagneettikentät on saatu niin pieniksi, että oikein asennettuna muuntamo ei lisää magneettikentän tasoa asuintiloissa. (Jokela ym. 2006, 380-382.)



KUVA 2. Muuntamon virtakiskojen synnyttämä magneettikenttä (Rakennusten magneettikenttien mittaaminen 2003, 3)

Jos käyttöönottotarkastuksessa herää epäily liian voimakkaasta magneettikentästä, on syytä selvittää ennen mahdollisia häiriömittauksia, voiko magneettivuon tiheys todellisuudessa olla edes lähellä suositusarvoja muuntamon teknisten ominaisuuksien perusteella. Esimerkiksi suurimmassa osassa EPF:n rakentamista muuntamoista on jo suunnitteluvaiheessa varmistettu, ettei liian voimakkaita magneettikenttiä pääse syntymään. Kosketussuojausta varten muuntajiin ja kiskosiltoihin määritellään yleensä metallinen ulko-kuori, joka toimii samalla sähkömagneettisia häiriöitä poistavana EMC-suojana. Myös etäisyys muuntajan ja pienjännitekeskuksen välillä pyritään pitämään yleensä mahdollisimman pienenä ja kuormitus suunnitellaan mahdollisimman symmetriseksi. Nämä molemmat seikat on yleensä mietitty ensisijaisesti kustannusnäkökulmasta, mutta ne vähentävät osaltaan myös EMC-häiriöiden ja magneettikenttien syntyä. Häiriöt vaimenevat myös tehokkaasti, jos kiskosilta voidaan asentaa kellaritilassa sijaitsevan muuntamon asennuslattian alapuolelle, eikä esimerkiksi kattokiinnityksellä (Björkman ym. 2008). Tämä johtuu magneettikentän vaimenemisesta voimakkaasti etäisyyden kasvaessa magneettikentän lähteestä.

4.2 Mittaukset

Käyttöönottotarkastuksen mittaukset tehdään yleensä kahdessa vaiheessa, joista ensimmäisessä vaiheessa tehdään jännitteettömät mittaukset ja toisessa vaiheessa jännitteelliset mittaukset. Jännitteettömänä tehdään maavastuksen, suojajohtimen jatkuvuuden ja eristysvastuksen mittaukset. Jännitteellisenä tehdään lähtöjen tarkastukseen sisältyvät oikosulkuvirtojen, vikavirtasuojien ja pyörimissuunnan mittaukset.

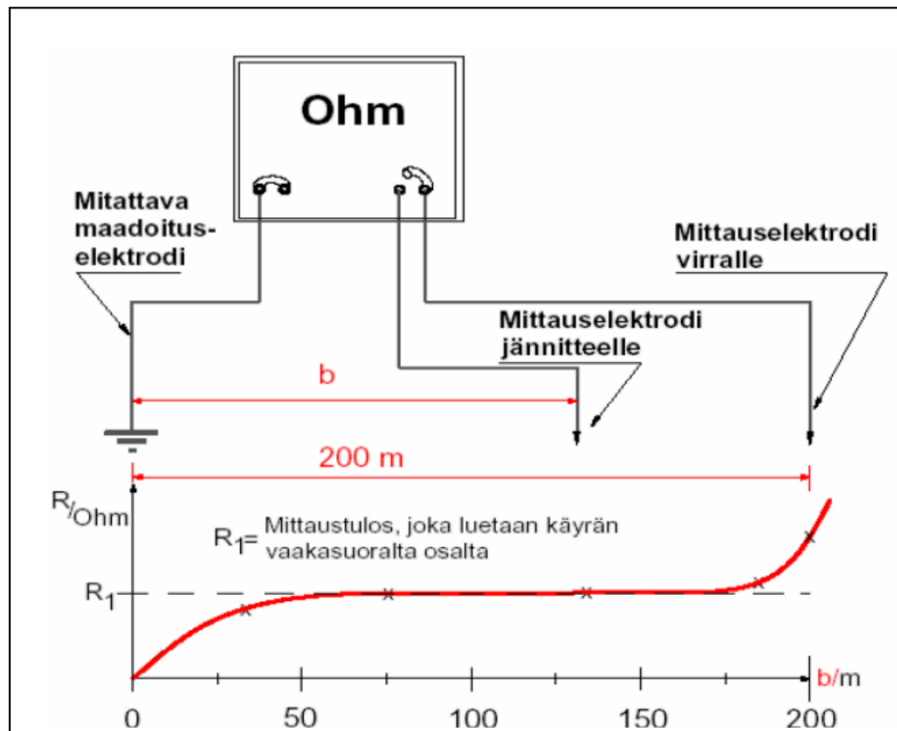
Pelkästään muuntamon käyttöönottomittauksia ajatellen tarvittavia mittalaitteita ovat vähintään eristysvastusmittari ja asennustesteri, mutta yleensä samalla koestetaan katkaisijat, releet ja virtamuuntajat, jolloin mukana täytyy olla myös niille sopivat koestuslaitteet. Mukana kannattaa olla myös aina maadoitusvastuspihtimittari ja yleismallinen koestuslaite, esimerkiksi Sverker, koska ne nopeuttavat huomattavasti mittauksia ja parantavat niiden laatua. Lisäksi usein tarvitaan yleismittari, jatkojohtoa, mittausjohtoja, työkalusalkku ja kannettava tietokone.

4.2.1 Maavastus

Maavastuksen mittaus koskee lähinnä uusia jakeluverkon puisto-, tai pylväsmuuntamoita, koska kiinteistömuuntamot ovat usein yhdistettynä laajaan maadoitusverkkoon. Jakeluverkon muuntopiirin maadoitusimpedanssi on mitattava ja maadoitusimpedanssin arvon on vastattava suurjänniteasennuksia koskevien standardien vaatimuksia, jottei esimerkiksi nollajohdon katketessa maahan tai rakenteisiin syntyisi vaarallisia kosketusjännitteitä. Maadoitusimpedanssin mitoitusarvo vaihtelee eri verkonhaltijoilla, mutta esim. Tampereen sähköverkko Oy sallii keskijännitealuekartan LKJ1 alueella enintään $8,0 \Omega$ arvon ja sen ulkopuolella 12Ω (Asiakasmuuntamo-ohje 2013, 4). Jos muuntopiiri rakennetaan talvella, voidaan maadoitusimpedanssin mittaus suorittaa roudan sulamisen jälkeen.

Maavastuksen määrittämiseen on maadoitusjärjestelmän rakenteesta riippuen useita vaihtoehtoisia menetelmiä, joista ehkä käytetyin on kolmijohdinmittauksella toteutettu käännepestemenetelmä (kuvio 1). Mittaus suoritetaan maavastusmittarilla, johon kytketään

virransyöttöjohdin, paluuvirran apuelektrodi ja jännitteenmittauksen apuelektrodi. Apuelektrodit ovat maahan työnnettäviä piikkejä, joiden avulla johdetaan paluuvirta mittariin ja mitataan syntyvä potentiaaliero. Virransyöttöjohdin kytketään muuntamon maadoituselektrodiin ja virta-apuelektrodi viedään 100-200 metrin päähän muuntamosta. Jänniteapuelektrodi asetetaan maadoituselektrodin ja virta-apuelektrodin muodostamalle jännälle virta-apuelektrodin viereen, jonka jälkeen jänniteapuelektrodia aletaan siirtää janaa pitkin 5-10 metrin välein lähemmäs muuntamaa.



KUVIO 1. Maavastuksen mittaaminen käännepistemethodella (Tolonen 2013, 38)

Mittaustuloksista muodostetaan resistanssin kuvaaja jänniteapuelektrodin etäisyyden funktiona, ja kuvaajasta etsitään vaakasuora osa tai käänneaste, josta määritetään maavastuksen arvo. Jos selvää vaakasuoraa osaa tai käänneastetta ei löydy, voidaan arvo määrittää kohdasta, jossa jänniteapuelektrodin etäisyys on 62 % virta-apuelektrodin etäisyydestä. Mittauksessa täytyy huomioida, että molempien apuelektrodien tulee aina sijaita mitattavan maadoituksen, muiden maadoituselektrodien, vesiputkien ja muiden vastaavien rakenteiden vaikutusalueen ulkopuolella. Lisäksi mittauksen suunta tulisi valita sillä tavalla, ettei reitin varrella ole johtamatonta maaperää kuten kalliota tai kivimurskettä. Jänniteapuelektrodin virheellinen sijainti saattaa näkyä maavastuskäyrällä äkillisinä laskuina tai nousuina.

Sinimäen työmaalla mitattiin maavastus käännepestemenetelmällä käyttämällä neljää johdinta. Mittaus on muuten identtinen kolmijohdinmittauksen kanssa, mutta mitattavan elektrodin ja mittarin välille kytketään kaksi johdinta, jotta tuloksesta saataisiin tarkempi. Puistomuuntamo ympäröi lähes joka puolelta asfaltti, mutta maavastus pystyttiin mittaamaan tonttiaidan ja kevyen liikenteen väylän väliseltä nurmikaistaleelta. Mittauspisteet olivat 50-100 metrin etäisyydellä muuntamosta noin viiden metrin välein ja apuelektrodit työnnettiin joka pisteessä noin 20 cm:n syvyyteen. Mittaustuloksista muodostettiin liitteen 1 mukainen kuvaaja, josta määritettiin maavastuksen arvoksi 0,3 Ω .

TAULUKKO 2. Maavastuksen mittausmenetelmiä (Chauvin-Arnoux 2014, 14, muokattu).

	<i>Maaseutukiinteistö, jossa mahdollisuus upottaa apuelektrodeja</i>	<i>Kaupunkikiinteistö, jossa ei voi käyttää apuelektrodeja</i>
<i>Yksi apuelektrodi</i>		
3-napainen käännepestemenetelmä	X	
Kolmiomenetelmä (2 elektrodia)	X	
4-napainen käännepestemenetelmä	X	
Voltttiampeerimenetelmä	X	
Muunneltu käännepestemenetelmä (1 elektrodi)		X (vain TT- tai IT-järjestelmä)
Vaihe-PE -silmukkaimpedanssimittaus		X (vain TT-järjestelmä)
<i>Monta apuelektrodia rinnankytkettyinä</i>		
Selektiivinen 4-napamenetelmä	X	
Maadoitusvastuspihti	X	X
2 pihdin maasilmukkamenetelmä	X	X

Muita vaihtoehtoisia menetelmiä maavastuksen mittaukseen ovat esimerkiksi silmukkaimpedanssimittaus, maadoitusvastuspihtimittaus ja 2 pihdin maasilmukkamittaus (taulukko 2). Silmukkaimpedanssimittaus voidaan toteuttaa vain TT-järjestelmässä, eli se on

käytännössä harvinainen mittausmenetelmä Suomessa. Pihtimittaukset taas sopivat lähes kaikkiin kohteisiin, mutta ne ovat vasta hiljalleen yleistymässä, koska pihtimittalaitteet ovat melko arvokkaita verrattuina muihin maavastuksen mittaamiseen soveltuviin laitteisiin.

4.2.2 Suojajohtimen jatkuvuus

Suojajohtimen jatkuvuus eli PE-jatkuvuus mitataan muuntamon jokaisesta maadoitusjohtimiin kytketystä pisteestä. Tällä varmistetaan siitä, että kaikki kosketeltavissa olevat metallirakenteet ovat yhteydessä maan potentiaaliin. Uusissa asennuksissa se tarkoittaa yleensä sitä, että päämaadoituskisko eli MEB-kisko on mittausten toinen piste ja toinen piste on siitä lähtevien johtimien ääripäissä. Mittalaitestandardin EN 61557 suositus on, että testi tehdään käyttämällä syöttöä, jonka kuormittamaton jännite on 4 ... 24V tasa- tai vaihtojännitteellä ja minimivirta 0,2 A. Standardit eivät kuitenkaan määrittele suurinta sallittua resistanssiarvoa, koska se riippuu suojajohdinpiirin johtimen pituudesta, poikkipinta-alasta ja materiaalista. ST-kortin 51.21.05 liitteen 2 mukaan suurin resistanssiarvo saa olla 0...3 Ω , mutta käytännössä johdinpituudet ovat aina niin lyhyitä, että yleisesti suurimpana sallittuna arvona on pidetty 1 Ω .

Linnanmäen työmaalla suojajohtimien jatkuvuus mitattiin uudella Fluke 1630 maadoitusvastuspihtimittarilla, ja vertailun vuoksi jatkuvuus mitattiin myös perinteisellä Megger Sverker 760 -koestuslaitteella sekä Unitest Telaris 0100 Plus -asennustesterillä. Käytävissä olleen ajan vuoksi vertailumittauksia ei ehditty tekemään kuin kahdesta pisteestä, mutta tuloksista voidaan silti päätellä, miten eri mittalaitteet soveltuvat suojajohtimen jatkuvuuden mittaamiseen. Tulokset eivät kuitenkaan ole kelvollisia esimerkiksi mittareiden asettamiseen tarkkuusjärjestykseen, koska otanta on liian pieni ja mittalaitteet käyttävät erilaisia mittausmenetelmiä (taulukko 3).

TAULUKKO 3. Suojajohtimien jatkuvuuden mittaustulokset.

Kohde	Johdin	Resistanssi (mΩ)			
		Fluke 1630	Sverker 760	Telaris	Laskettu
KJ-kojeisto	MK 50	173,00	2,00	20,00	0,88
PK1	MK 50	205,00			
Elektrodi	MK 35	443,00			
M2 pääte	MK 25	343,00			
M2 jalusta	MK 25	210,00			
M2 runko	MK 50	221,00			
M2 kansi	MK 50	204,00			
Met.rak.	MK 25	186,00	1,20	0,00	0,71
Met.rak.	MK 25	156,00			
M1 pääte	MK 25	311,00			
M1 runko	MK 50	383,00			

Mittaustuloksista huomattiin, että virtapihti näytti noin sata kertaa suurempia lukemia kuin Sverker ja noin kymmenen kertaa suurempia lukemia kuin asennustesteri. Fluken näyttämät suuret arvot johtuvat siitä, että se mittaa koko maadoitussilmukan vastuksen, kun taas Sverker ja Telaris mittaavat vain mittauspisteiden välisen resistanssin. Molemmilla tavoilla saadaan kuitenkin varmistettua, että mahdollinen vikavirta kulkee ensisijaisesti suojajohtimia eikä ihmistä pitkin. Mittalaitteita vertaillessa täytyy ottaa huomioon myös se, että Telarikselta sai kompensoitua mittajohtimien aiheuttaman resistanssin pois toisin kuin Sverkeristä. Toisaalta Sverkerissä käytettiin 10 A:n mittausvirtaa, joka antaa paljon tarkemman tuloksen kuin Telariksen käyttämä 200 mA:n mittausvirta. Vertailumittauksille laskettiin myös taulukon viimeiseen sarakkeeseen teoreettinen suojajohtimen resistanssi (kaava 1), jolloin huomattiin, että Sverkerin näyttämä suojajohtimen resistanssi on lähempänä laskennallista arvoa kuin Telariksen näyttämä resistanssi.

$$R = \frac{\rho \cdot l}{A}, \quad (1)$$

jossa R on resistanssi (Ω), ρ on resistiivisyys (Ωm), l on johtimen pituus (m) ja A on johtimen poikkipinta-ala (m^2).

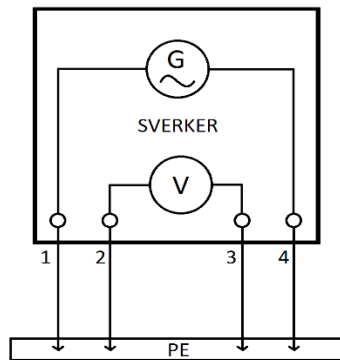
Mittaukset aloitettiin Fluke 1630 maadoitusvastuspihtimittarilla, jolla mitattiin kaikkien muuntamon päämaadoituskiskolta lähtevien maadoitusjohdinten jatkuvuus (liite 2).

EPF:llä ei ole aikaisemmin ollut käytössä maadoitusvastuspihtimittaria, minkä vuoksi siitä haluttiin ensisijaisesti käyttökokemuksia, mutta myös vertailutuloksia muihin mittalaitteisiin nähden. Fluken idea on se, että sillä pystyy mittaamaan silmukkavastuksia ja testaamaan jatkuvuuksia niin, että mitattavan laitteen virtaa ei tarvitse katkaista (kuva 3, vasen). Virtapihdin toinen puolisko indusoi tunnetun jännitteen ja toinen mittaa virran, jolloin testeri määrittää automaattisesti maadoitusjärjestelmän silmukkaresistanssin ilman kontaktia johtimeen (Fluke 2017). Mittarisalkun mukana tulee vihreä kalibrointilevy, jonka avulla voi tarkistaa mittarin näyttämän arvon vaikkapa ennen jokaista käyttöönottotarkastusta (kuva 3, oikea). Pihtimittari on hyvä laajan maadoitusverkon liityntöjen tarkastamiseen, mutta huono puoli on se, että sillä ei saa selville yksittäisten maadoitusjohdinten resistansseja.



KUVA 3. Suojajohtimen jatkuvuuden mittaaminen Fluke 1630 maadoitusvastuspihtimittarilla.

Sverkerillä mitatessa käytetään nelijohdinmenetelmää, jossa virta- ja jännitejohtimet kytetään mitattaviin pisteisiin siten, että jännitteen mittausjohtimet jäävät virtaa syöttävien johtimien väliin eli "virtapiirissä sisäpuolelle" (kuvio 2). Sverker näyttää vain virta- ja jännitelukemia, joten resistanssi lasketaan niiden perusteella. Sverker ei ole parhaimmillaan maastossa, koska se tarvitsee aina ulkoisen virtalähteen eli käytännössä verkkopistorasian tai aggregaatin. Monet pitävät sitä kuitenkin parhaimpana koestuslaitteena monipuolisuutensa ja tarkkuutensa vuoksi.



1 ja 4 = virtajohtimet

2 ja 3 = jännitteen mittausjohtimet

KUVIO 2. Suojajohtimen jatkuvuuden mittaaminen Sverkerillä nelijohdinmenetelmällä.

Sverkerin mittajohtimet kiinnitettiin muuntamon päämaadoituskiskoon ja mitattavaan kohteeseen ”hauenleuka”-liittimillä, jotka on merkitty punaisella ympyrällä alla olevassa kuvassa (kuva 4). Kuvassa mitataan keskijännitekojeiston maadoitusta, ja kojeiston maadoituspisteiksi on valittu jalustan suojalevyn kiinnityspultit. Mittauspisteen valinnassa on otettu huomioon mahdollisimman suuri etäisyys maadoitusjohtimen liitoskohtaan, jotta mittaustuloksesta saadaan luotettava. Mittauspiste on perusteltu myös sen vuoksi, että se on näkyvä ja helposti kosketeltavissa oleva metallirakenne.



KUVA 4. Kuvasarja suojajohtimen jatkuvuuden mittaamisesta Sverkerillä.

Asennustesterillä mitatessa ei tarvita kuin kaksi mittausjohtoa, joista toinen kiinnitettiin päämaadoituskiskoon ja toinen mitattavaan kohteeseen (kuva 5). Ennen mittauksia kompensoitiin mittajohtojen aiheuttama resistanssi pois valitsemalla kiertovalitsimella ”Low Ω ”-alue, kytkemällä johdot yhteen ja painamalla ”COMP”-näppäintä. Asennustesteri on tarkoitettu pienen mittausvirtansa vuoksi lähinnä pienjänniteasennusten tarkastamiseen, joten muuntamoiden suojajohdinten jatkuvuuden testaamiseen se on hieman epätarkka.



KUVA 5. Kuvasarja suojajohtimen jatkuvuuden mittaamisesta asennustesterillä.

Suojajohtimen jatkuvuutta mitatessa täytyy tarkastaa mahdollisuuksien mukaan myös silmäääräisesti, että suojajohdinyhteys on koko matkalta ehjä. Teoriassa voisi nimittäin käydä niin, että jatkuvuusmittauksen tulokset olisivat hyväksyttäviä, mutta todellisuudessa suurin osa vikavirrasta kulkisi maahan jotain toista reittiä. Lähes aina toinen reitti maahan on olemassa, sillä pihtimittarin toiminta perustuu suljetun silmukan mittaamiseen, eikä se näyttäisi mitään arvoa jos toista reittiä ei olisi. Toisen reitin impedanssi on kuitenkin yleensä niin iso suhteessa suojajohtimen impedanssiin, että reitin kautta kulkee vikatilanteessa mitättömän pieni virta. Standardit eivät suoraan mainitse asiasta, mutta SFS 6000 -standardia voidaan tulkita niin, että se kieltää tällaisen hallitsemattoman reitin käytön ensisijaisena suojajohtimena. Esimerkiksi kohdan 542.1.4 mukaan suojajohtimen pitää kestää luotettavasti mekaanisia, termisiä ja sähköisiä rasituksia. Kohdassa 543.2.3 taas kielletään esimerkiksi kaapeliyhlyjen ja vesiputkien käyttö suojajohtimena tai suojaavana potentiaalintasausjohtimena (SFS 600-1 2012, 302, 307).

4.2.3 Eristysvastus

Eristysvastusmittaus tehdään keskijännitekojeistolle, muuntajalle, pienjännitekeskukselle sekä näiden välisille kiskosilloille ja kaapeleille. Mittauksen tarkoitus on varmistua siitä, ettei laitteistoon ole syntynyt valmistusvaiheessa tai asennuksen aikana eristysvikaa, joka voisi aiheuttaa vaiheiden tai maan välisen oikosulun. Standardissa on mainittu pienjännitelaitteistoille pienimmät sallitut eristysresistanssin arvot (taulukko 4), mutta suurjänni-

telaitteistoille vastaavia arvoja ei ole. Sähkölaitteistoja koskeva IEEE -standardi suosittelee minimiarvoksi $n+1 \text{ M}\Omega$, jossa n on työjännite kilovolteissa. Kyseessä on kuitenkin nyrkkisääntö, joka ei ota huomioon esimerkiksi kaapelien pituuksia.

TAULUKKO 4. Pienimmät sallitut eristysresistanssit pienjänniteasennuksissa (SFS 6000-6 2012, 7).

Nimellisjännite (V)	Koejännite (VDC)	Eristysresistanssi (M Ω)
SELV ja PELV	250	$\geq 0,25$
Enintään 500V, edellä olevaa kohtaa lukuunottamatta	500	$\geq 0,5$
Yli 500V	1000	$\geq 1,0$

Sähköinfon ohjeiston mukaan uusien 20 kV:n kaapeleiden eristysresistanssin R_e tulisi olla yli 300 G Ω m kilometriä kohden ($R_e = R \text{ [M}\Omega] \cdot l \text{ [km]}$, R on mitattu arvo), kun mittausjännite on 5 kV tasajännitettä (1-20 kV suurjännitelaitteistojen käyttöönottotarkastusohjeisto 2006). Kyseinen vähimmäisarvo on kuitenkin hyvin vaikeaselkoinen, minkä vuoksi se muutettiin käytännönläheisempään muotoon seuraavan esimerkin avulla. Oletetaan, että mitattava kaapeli on 1000 metriä pitkä AHXAMK-W 3x240 maakaapeli. Sen vaipan paksuus on johtimen poikkipinta-alasta riippumatta noin 10 mm ja yhden vaihejohtimen halkaisija vaippoineen on 40 mm. Ajatellaan eristevaippaa vuotovirran käyttämänä johtimena, ja lasketaan ensin kaapelin vaipan resistiivisyys ρ yleisellä resistiivisyyden kaavalla (kaava 2).

$$\rho = \frac{R_e \cdot A}{l} = \frac{R_e \cdot d \cdot \pi \cdot x}{l} = \frac{300 \frac{\text{G}\Omega\text{m}}{1000 \text{ m}} \cdot 0,040 \text{ m} \cdot \pi \cdot 1000 \text{ m}}{0,01 \text{ m}} \quad (2)$$

$$= 3,77 \text{ T}\Omega\text{m},$$

jossa R_e on kaapelin eristysresistanssi kilometriä kohden (G Ω m / km), A on vaipan pinta-ala eli ikään kuin vuotovirran käyttämän johtimen poikkipinta-ala (m²) ja l on vaipan paksuus eli ikään kuin vuotovirran käyttämän johtimen pituus (m). Pinta-alan A laskennassa d on johtimen halkaisija vaippoineen (m) ja x on kaapelin pituus (m). Seuraavaksi lasketaan saadun resistiivisyyden avulla kaapelin eristysresistanssi R (kaava 3).

$$R = \frac{\rho \cdot l}{A} = \frac{\rho \cdot l}{d \cdot \pi \cdot x} = \frac{3,77 \text{ T}\Omega\text{m} \cdot 0,01 \text{ m}}{0,040 \text{ m} \cdot \pi \cdot 1000 \text{ m}} = 300 \text{ M}\Omega, \quad (3)$$

jossa R on eristysresistanssi (Ω), ρ on vaipan resistiivisyys (Ωm), l on vaipan paksuus (m), A on vaipan pinta-ala (m^2), d on johtimen halkaisija vaippoineen (m) ja x on kaapelin pituus (m). Saatu tulos 300 M Ω on siis se pienin sallittu arvo, joka saisi näkyä eristysvastusmittarin näytöllä oletetun kaapelin tapauksessa. Jos kaapeli olisikin esimerkiksi vain 10 metriä pitkä keskijännitekojeiston ja muuntajan välinen kaapeli, putoaisi vaipan pinta-ala sadasosaan, jolloin eristysvastuksen täytyisi olla vähintään satakertainen eli 30 G Ω .

EPF:n muuntamokohteissa on yleensä käytäntönä se, että asentajat tekevät jatkuvaa työhön aikaista tarkastusta ja mittaavat työn edetessä sellaiset eristysvastusmittaukset, joita ei pysty jälkeinpäin mittaamaan. Tällaisia mittauksia ovat esimerkiksi keskijännitekojeiston, muuntajan ja niiden välisen kaapeloinnin mittaukset. Usein myös kiskosiltojen ja pääkeskuksen eristysvastukset on mitattu ennen kuin koestaja tulee työmaalle, joten hänelle jää vain pöytäkirjojen täyttö eristysvastusmittausten osalta. Pienjännitekeskuksesta täytyy silti tarkistaa, että mahdollinen PE- ja N-kiskojen välinen yhdistys on palautettu mittauksen jälkeen entiselleen. Yhdistys joudutaan erottamaan siitä syystä, että standardin mukaan myös nollajohdin katsotaan jännitteelliseksi johtimeksi, joka on mitattava vaihejohtimia ja maata vasten.

Linnanmäen työmaalla ei voitu tehdä opinnäytetyöhön sopivana ajankohtana eristysvastusmittauksia, koska siellä oli jo aikaisemmin mitattu kaikki eristysvastukset. Tämän vuoksi siellä mallinnettiin eristysvastusmittaus tyypilliselle kaksikäämiselle 10/0,4 kV öljymuuntajalle, johon oli jo kytketty kojeistolta lähtevä keskijännitekaapeli. Mittaus voitiin kuitenkin suorittaa luotettavasti kytkemällä kaapelilähtö auki ja avaamalla maadoituserotin. Mittauskohteena oli siis itse asiassa muuntajan lisäksi noin viiden metrin pituinen keskijännitekaapeli. Sillä ei kuitenkaan huomattu olevan merkitystä, koska mittaus tulokset olivat samaa suuruusluokkaa kuin ne olisivat olleet pelkkää muuntajaa mitattaessa (liite 3). Mittaustuloksia verrattiin muuntajan osalta IEEE-standardin nyrkkisääntöön ja kaapelin osalta Sähköinfon ohjeiston mukaiseen suositukseen (taulukko 5).

TAULUKKO 5. Muuntajan eristysvastusmittauksen tulokset.

Kohde	Mittausjännite (VDC)	Mittausaika (s)	Eristysvastus (GΩ)	Vaadittu arvo muuntaja (GΩ)	Vaadittu arvo kaapeli (GΩ)
Ensiö-PE	10000	30	173,9	0,021	60
Ensiö-Toisio	500	30	114,5	0,021	60
Toisio - PE	500	30	208,0	≥0,001	-

Mittaustulosten perusteella voitiin todeta sekä muuntajan että kaapelin eristysvastusten olevan tehtyjen mittausten osalta kunnossa. Täytyy ottaa huomioon, että kaapelista ei mitattu vaiheiden välistä eristysvastusta, koska vaiheet olivat kytkettynä muuntajan käämien kautta yhteen. Mittauksiin käytettiin Megger MIT 1025 -eristysvastustesteriä, joka pystyy näyttämään eristysvastuksen välillä 10 kΩ...20 TΩ. Mittausjännitteenä käytettiin yläjännitepuolen ja maan välisessä mittauksessa 10 kV:n tasajännitettä puolen minuutin ajan, ja muissa mittauksissa käytettiin 500 V:n tasajännitettä puolen minuutin ajan. Ylä- ja alajännitepuolen mittauspisteinä käytettiin L1-vaiheen napoja, ja maapisteenä käytettiin alla olevassa kuvassa näkyvää muuntajan kannen maadoituspistettä (kuva 6). Muuntajan käämien lukumäärästä riippuu, mitkä eristysvastusmittaukset sille tehdään. Kolmi- tai useampikämmiset muuntajat ovat kuitenkin erittäin harvinaisia, joten yleensä tämän kaltainen mittaus riittää, jossa muuntajan ylä- ja alajännitepuolen navat mitataan toisiaan ja maata vasten.



KUVA 6. Muuntajan eristysvastusmittaus.

Mitattavien kaapeleiden ja laitteiden eheyttä voidaan tutkia yksinkertaisesti vertailemalla esimerkiksi eri vaiheiden välisiä mittaustuloksia keskenään. Tulosten vaihdellessa merkittävästi olisi syytä ryhtyä tarkempiin jatkotutkimuksiin. Jos haluttaisiin tehdä luotettavia vertailuja eri olosuhteissa mitattujen resistanssiarvojen välillä, pitäisi eristysvastusta mitattaessa ottaa huomioon myös mitattavan kohteen lämpötila ja kosteus. Tällöin voidaan arvojen redusoimiseksi samaan lämpötilatasoon käyttää seuraavaa nyrkkisääntöä. Resistanssi puolittuu jokaista 10 °C:n nousua kohden, ja toisaalta jokainen 10 °C:n lasku kaksinkertaistaa resistanssin (“A Stitch In Time” 2006, 21-24). Muuntajien, moottorien ja kaapeleiden eristemateriaaleille on annettu myös tarkkoja lämpötilakertoimia, mutta niiden käyttö on tarkoituksenmukaista lähinnä pidempiaikaisessa kunnonvalvonnassa. Käyttöönottotarkastuksessa ei tarvitse todeta muuta kuin eristystason riittävyys.

4.2.4 Vaiheistus ja jännitetaso tarkastus

Yksi tärkeimmistä käyttöönottomittauksista on vaiheistus, jolla on tarkoitus varmistaa, että useammasta suunnasta syötettävän muuntamon vaiheet kohtaavat toisensa. Vaiheistusta ei voi korvata esimerkiksi syöttösuuntien pyörimissuuntien mittauksella, sillä vaiheet voivat olla ristissä vaikka pyörimissuunnat ovat samat. Vaiheistus voidaan tehdä yleismittarilla esimerkiksi pienjännitekojeiston kiskokatkaisijan yli. Sinimäentien puistomuuntamolle ei tarvinnut tehdä vaiheistusta, koska muuntamo pystyi syöttämään vain yhdestä suunnasta.

Jännitetasoa voidaan säätää keskijänniteverkossa esimerkiksi päämuuntajan käämikytkimellä, jolla voidaan muuttaa muuntajan muuntosuhdetta noin $\pm 15\%$. Pienjänniteverkossa jännitettä säädetään jakelumuuntajien väliottokytkimillä, joilla jännitettä voidaan muuttaa $\pm 5\%$. Käämikytkintä voidaan säätää käytön aikana mittausten perusteella automaattisesti, kun taas väliottokytkintä voidaan asetella vain muuntajan ollessa kuormittamattomana. (Surakka 2009.)



KUVA 7. Kuvasarja jännitetason tarkastamisesta.

Keskijännitemuuntamon ensimmäinen jännitteellinen mittaus on usein jännitetason tarkastus, joka tehdään kun kytketään muuntaja verkkoon. Mittaus voidaan tehdä muuntamon pienjännitekojeistosta esimerkiksi tavallisella yleismittarilla. Sinimäentien työmaalla jännitetaso tarkastettiin pienjännitekatkaisijalle tulevasta virtakiskoista Fluke 117 -yleismittarilla (kuva 7, vasen), ja samalla tarkistettiin väliottokytkimen asento. Tyypillinen muuntajan kannelle asennettu väliottokytkimen säädin näkyy kuvasarjan oikeanpuoleisessa kuvassa punaisella ympyröitynä.

4.2.5 Lähtöjen tarkastus

EPF käyttää pienjännitekeskukseen ja -laitteistoihin kohdistuvista mittauksista nimitystä lähtöjen tarkastus, johon kuuluvat suojajohtimen jatkuvuuden, eristysvastuksen, oikosulkuvirran, vikavirtasuojien ja pyörimissuunnan mittaukset ja tarkastukset. Tarkastuksen kohteena ovat yleensä kaikki pienjännitekeskuksen lähdöt, joihin on liitetty suojalaitteet ja kaapeli. Lähtöjen tarkastukseen kuuluvat jännitteelliset mittaukset voidaan tehdä vasta siinä vaiheessa, kun keskijännitekojeistoon ja muuntajalle on otettu jännite. Tämän vuoksi lähtöjen tarkastusta ei voitu tehdä Linnanmäen työmaalla opinnäytetyöhön sopivana ajankohtana. Sinimäen työmaalla taas EPF:n tarkastuslaajuuteen ei kuulunut pienjännitepuolen tarkastuksista muita mittauksia kuin pyörimissuunnan mittaus (liite 4).

Suojajohtimen jatkuvuuden ja eristysvastuksen mittaukset tehdään soveltamalla luvuissa 4.2.2 ja 4.2.3 mainittuja menetelmiä. Eristysvastusmittauksella varmistetaan kaikkien

jännitteisten johtimien (L1, L2, L3 ja N) ja maadoitusjärjestelmään kytketyn suojajohtimen välinen eristysresistanssi. Palovaarallisissa tiloissa suositellaan lisäksi mitattavaksi eristysresistanssi myös kaikkien jännitteisten johtimien väliltä (ST 51.21.06, liite 1). Mittauksessa täytyy muistaa erottaa kaikki laitteet, jotka eivät kestä mittausjännitettä. Tällaisia laitteita ovat esimerkiksi taajuusmuuttajat, joidenkin katkaisijoiden releet ja suoraan kiskosta tulevat mittaukset kuten ovissa olevat jännitemittarit.

Oikosulkuvirran ja -impedanssin mittaamisella on tarkoitus varmistaa, että lähtöjen suojalaitteet pystyvät kytkemään syötön pois riittävän nopeasti oikosulkutilanteessa. Saatua oikosulkuvirran arvoa tulee verrata aina suojalaitteen laukaisukäyrään tai taulukossa annettuun vähimmäisarvoon. Oikosulkuarvot määritetään yleensä mittaamalla, mutta ne voidaan määrittää myös laskemalla. Esimerkiksi sähköisesti lähellä muuntajaa olevista lähdeistä riittää yleensä laskennalliset arvot, jos suojajohtimen jatkuvuus on tarkistettu. Myös IT-järjestelmässä tai taajuusmuuttajakäytössä riittää laskennallinen arvo, koska oikosulkuvirran mittaaminen ei ole mahdollista. Oikosulkuvirran mittaus tapahtuu yleensä pistorasioista, joihin asennustesteri kytketään pistotulpallisen mittausjohtimen avulla.

Vikavirtasuojien toiminta-aika ja -virta tarkastetaan asennustesterin avulla nimellistointavirrallaan. Yleensä asennustesterit testaavat vikavirtasuojat automaattisesti erisuuruisilla vikavirroilla siten, että testi voidaan aloittaa verkkovirran vaiheen ollessa joko 0 tai 180 astetta. Joskus testereillä voi tehdä myös ramppitestin kasvattamalla syöttövirtaa asteittain, kunnes vikavirtasuojia laukeaa. Testereihin voidaan yleensä määrittää myös vikavirtasuojan tyyppi, joka voi olla esimerkiksi jokaiselle aaltomuodolle tarkoitettu B-tyyppi tai selektiivinen eli hidastettu S-tyyppi. Kaikkien vikavirtasuojatyyppien toiminta täytyy muistaa tarkastaa myös painamalla testipainiketta.



KUVA 8. Kuvasarja pyörimissuunnan mittauksesta Fluke 9040 -pyörimissuuntamittarilla.

Pyörimissuunnan mittaus eli kiertosuunnan tarkastus tehdään kaikille kolmivaihelähdöille, jotta voidaan varmistua vaihejohtimien kytkentöjen oikeasta järjestyksestä. Vaihejohtimien väärä järjestys saattaa aiheuttaa ongelmia tai jopa vaurioita, sillä esimerkiksi kolmivaihemootorit pyörivät silloin väärään suuntaan. Sinimäentellä kiertosuunta tarkastettiin Fluke 9040 -pyörimissuuntamittarilla pienjännitekatkaisijalle tulevista virtakiskoista (kuva 7), joihin on kuvassa merkattu punaiset ympyrät. Kolmivaihepistorasioista pyörimissuunta voidaan mitata myös passiivisella testilaitteella, joka on rakennettu kolmivaihepistotulpan sisälle. Lisäksi mittaus voidaan suorittaa suurimmalla osalla markkinoilla olevista asennustestereistä.

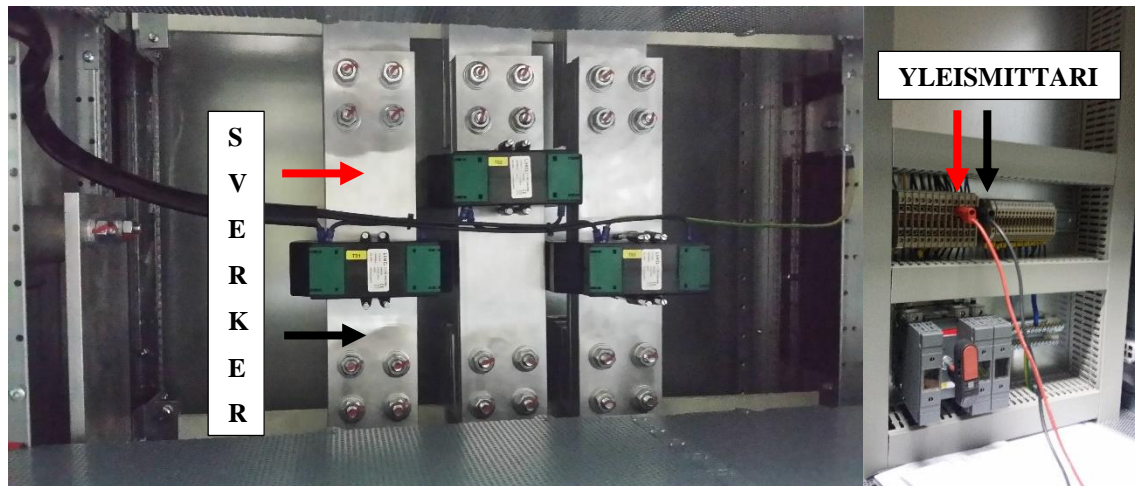
4.3 Toimintakokeet

Oleellinen osa käyttöönottotarkastusta ovat toimintatestit, joissa todetaan, että kytkin-, käyttö-, ohjaus- ja lukituslaitteet on koottu, asennettu ja aseteltu oikein standardin SFS 6000-6 vaatimusten mukaan. Muuntamoissa toimintatestit tehdään keski- ja pienjännitekojeistojen katkaisijoille, erottimille, varokekuormanerottimille ja releille, jotka testataan mahdollisuuksien mukaan sekä manuaalisesti että sähköisesti. Kytkintoimintojen lisäksi tulee testata mekaaniset ja sähköiset lukitukset, joiden tarkoitus on estää sähkölaitteistoille ja käyttäjille vaaralliset virhekytkennät. Esimerkiksi keski- ja pienjännitekojeistoissa on usein katkaisijan ja maadoituserottimen välillä lukitus, joka estää katkaisijan sulkemisen maadoituserottimen ollessa kiinni (kuva 8, vasen).



KUVA 9. Kuvasarja pienjännitekatkaisijan koestuksesta Merlin Gerin -koestuslaitteella.

Toimintakokeisiin kuuluva suojarleiden koestus ei varsinaisesti kuulunut tämän opin-
näytetyön aihealueeseen. Releiden koestus on kuitenkin hyvin olennainen osa toiminta-
kokeita, minkä vuoksi tässä kappaleessa kerrotaan lyhyesti työmaalla tehdyistä koestuk-
sista. Eri valmistajien suojarleet ja niiden ohjaamat katkaisijat koestetaan yleensä siihen
tarkoitukseen soveltuvilla koestuslaitteilla ja -ohjelmilla. Niiden avulla varmistetaan, että
suojausportaiden toimintavirrat ja toiminta-ajat ovat selektiivisiä ja suojauskäyrän mu-
kaisia. Linnanmäellä toimintatestit tehtiin pienjännitekeskuksen katkaisijoille samalla
kun niille aseteltiin sopivat suojausarvot. Koestus tehtiin poikkeuksellisen ajoissa, sillä
osa pääkeskuksesta oli vielä ulkona odottamassa asennusta. Katkaisijat olivat Schneider
Electricin Masterpact -sarjan pienjännitekatkaisijoita, joiden nimellisvirrat vaihtelivat
800 A:n ja 2500 A:n välillä. Suojauskäyrät aseteltiin Schneider Electricin Curve Direct
3.4.1 ohjelman avulla tutkimalla katkaisijoiden kuormitustietoja, mikä osoittautui kuor-
mien ominaisuuksien takia melko haastavaksi. Vaikeutena oli selektiivisyyden säilyttä-
minen pääkatkaisijan ja lähtöjen katkaisijoiden välillä, koska joidenkin huvipuistolaittei-
den sähkönsyöttö ei saa katketa melko suurillakaan lyhytkestoilla ylivirroilla. Sopivien
asettelujen löydyttyä katkaisijat koestettiin Merlin Gerin 33595 -koestuslaitteella, jossa
on automaattinen suojausportaiden testausohjelma (kuva 8, oikea).



KUVA 10. Kuvasarja pienjännitekeskuksen virtamuuntajista ja niiden testaamisesta.

Keski- ja pienjännitekojeistojen mittamuuntajien toiminta testataan tarkistamalla ainakin napaisuus ja muuntosuhde, ja lisäksi voidaan mitata käämi- ja eristysresistanssit. Napaisuus tarkistetaan antamalla mittamuuntajalle pieni virta- tai jännitepulsseksi esimerkiksi 4,5 V:n paristosta, ja katsomalla analogisella yleismittarilla kumpaan suuntaan viisari värähtää ensimmäisen kerran. Muuntosuhde tarkistetaan syöttämällä mittamuuntajaa esimerkiksi Sverkerillä ja mittaamalla toisiovirta tai -jännite riviliittimiltä yleismittarilla (kuva 9). Virtamuuntajaa testatessa täytyy muistaa kytkeä yleismittari kiinni toisioliittimiin ennen virran syöttämistä ensiön läpi, sillä jos toisiokäämi ei ole oikosuljettuna, saattaa sinne syntyvä jännite tuhota virtamuuntajan. Linnanmäen työmaalla tarkistettiin pääkeskuksen virtamuuntajien napaisuus ja muuntosuhde, ja samalla konfiguroitiin myös keskuksen tehoanalysointilaite.

5 DOKUMENTOINTI

5.1 Pöytäkirjat

Sähköturvallisuuslaki edellyttää tarkastus- ja mittauspöytäkirjojen tekemistä sähkölaitteistojen käyttöönottotarkastuksista (1135/2016, 43 §). Standardissa on esitetty tarkentavat vaatimukset käyttöönottotarkastuspöytäkirjojen sisällöstä, mutta niiden esitysmuotoa ei ole rajoitettu millään tavalla (SFS 6000-6 2012, 12). Esimerkiksi ST-kortistosta löytyy selkeitä pöytäkirjapohjia ohjeineen, jotka on tarkoitettu erityisesti pienten asennusten tai muutosten pöytäkirjoiksi (ST 51.21.05, ST 51.21.06, ST 51.21.07). Ne ovat kuitenkin liian yleispäteviä ja turhan pieneen tilaan tiivistettyjä pöytäkirjoja, jotta ne sopisivat vaativiin vahvavirtatöihin ja keskijännitejärjestelmien asennukseen erikoistuneen EPF:n käyttöön.

EPF:llä oli jo ennestään käytössä aikaisemman sähköturvallisuuslain (410/1996) mukaiset pöytäkirjat, jotka olivat helposti muokattavissa olevassa Excel-muodossa. Pöytäkirjojen täyttämässä ja muokkaamisessa ei ollut kuitenkaan yhtenäistä käytäntöä, minkä vuoksi pöytäkirjat eivät edustaneet ammattitaitoisen vahvavirtaurakoitsijan dokumentaatiota. Tämän vuoksi pöytäkirjoille luotiin yhtenäinen ulkoasu, niiden sisältö tarkistettiin ja ne päivitettiin vastaamaan uutta sähköturvallisuuslakia ja uusimpia standardeja.

Pöytäkirjojen on tarkoitus olla helppolukuisia mutta samalla standardien mukaisia dokumentteja niin asentajille, tarkastajille kuin asiakkaallekin. Pöytäkirjaan ei saa tulla myöskään virheellistä informaatiota esimerkiksi eriävien tarkastus- tai mittaustapojen vuoksi, minkä vuoksi jokaiseen pöytäkirjaan lisättiin erillinen ohje-välilehti. Ohje-välilehteä ei oteta mukaan arkistoitavaan tai luovutettavaan tarkastusdokumentaatioon, mutta sen voi tulostaa helposti muistilistaksi, jonka voi ottaa mukaan työmaalle. Lisäksi samalle välilehdelle luotiin revisiotaulu, johon merkitään pöytäkirjaan tai ohjeeseen tehdyt muutokset.

5.1.1 Käyttöönottotarkastuspöytäkirja

Käyttöönottotarkastuspöytäkirjan on tarkoitus olla nopeatäyttöinen ”rasti ruutuun” -tyyppinen pöytäkirja, jossa on tarpeeksi yksityiskohtaisesti ja monipuolisesti esitetty tarkastettavat kohteet. Tällä saavutetaan esimerkiksi ST-kortiston valmiita pöytäkirjapohjia parempi turvallisuustaso, koska muistin varaan jäävien tarkastuskohteiden määrä vähenee. Tarkastuskohteiden suuren määrän ja pöytäkirjan selkeyden vuoksi käyttöönottomittaukset haluttiin pitää erillään muista tarkastuksista, joten jokaisesta mittauksesta täytetään aina erillinen mittauspöytäkirja, joka on käyttöönottotarkastuspöytäkirjan liitteenä.

Käyttöönottotarkastuspöytäkirja jaettiin ohje-välilehden lisäksi kuuteen yhden A4-sivun kokoiseen välilehteen, joista jokaisessa on oma tarkastusalueensa. Välilehtien idea on se, että pöytäkirja voidaan helposti muokata vastaamaan esimerkiksi vain keskijännitemuuntamoiden käyttöönottotarkastuksia jättämällä tarpeettomat pienjännite- ja suurjännite-välilehdet pois tulostuksesta. Vaikka nykystandardeissa sana ”keskijännite” on sisällytetty sanaan ”suurjännite”, EPF halusi jättää pöytäkirjapohjiin vanhan mutta paremmin yksilöivän jänniteluokittelun. Jokaisen pöytäkirjavaihtoehdon ensimmäisenä välilehtenä on etulehti, jossa on kohteen yksilöivät tiedot, sovelletut standardit ja muut valtioneuvoston asetuksen vaatimat asiat (VNa 1434, 4 §). Opinnäytetyön aikana ei ollut mahdollista tehdä täydellistä käyttöönottotarkastusta sopivassa kohteessa, joten liitteenä on esimerkki aikaisemmin valmistuneen kohteen käyttöönottopöytäkirjasta (liite 5).

Pöytäkirjan etulehdelle päivitettiin ”Sähkölaitteiston luokka” -kentän kommentti, jossa esitetyt laitteistoluokat ovat nykyään 1a, 1b, 2c, 2d ja 3c. Pöytäkirjan aistinvaraisiin tarkastuksiin lisättiin useita tarkastettavia kohteita, kuten kaapelireitit ja pieneläinsuojaus. Esimerkkejä muista lisätyistä tarkastuskohteista on pienjänniteosion akustot ja tasasähkökeskukset, keskijänniteosion kaukokäyttölaitteet ja kosketussuojien kotelointiluokat sekä suurjänniteosion kytkinkentän komponentit. Moniin kohtiin lisättiin myös kommentteja, jotka kertovat tarkastukseen liittyviä lisätietoja. Esimerkiksi EMC-suojauksen toteutumisen tarkastamiseen lisättiin kommentti, jossa kerrotaan ST-kortin 51.02 suosittelema 200 mm vähimmäisetäisyys samalla johtoreitillä kulkevien heikko- ja vahvavirta-kaapeleiden välillä.

5.1.2 Mittauspöytäkirjat

Jokaiselle käyttöönottomittaukselle tehtiin oma mittauspöytäkirja, joissa kaikissa on sama muotoilu ja samat yksilöivät tiedot nimiöissä. Pöytäkirjat ovat pääosin taulukko-muotoisia, mutta esimerkiksi maavastuksen mittauspöytäkirjassa on mittaustulosten perusteella muodostuva kuvaaja, josta maavastuksen arvon voi määrittää. Maavastusmittauspöytäkirjaan lisättiin myös laajat ohjeet erilaisista maavastuksen mittausmenetelmistä.

Suojajohtimen jatkuvuuden mittauspöytäkirjaan tehtiin omat välilehdet Meggerin Sverker-koestuslaitteella tehdyille mittauksille ja mikro-ohmimittarilla (MOM) tai asennustesterillä tehdyille mittauksille. Sverker ei näytä suoraan resistanssiarvoja, joten sen välilehdellä on sarake laitteen näyttämiä jännitearvoja varten, joista taulukko laskee resistanssiarvot syötetyn mittausvirran perusteella. MOM tai asennustesteri sen sijaan laskee valmiiksi resistanssiarvot, joten niiden mittauspöytäkirjaan ei vastaavaa ominaisuutta tarvita.

Eristysvastusmittauspöytäkirjassa on ohjevälilehden lisäksi kolme välilehteä, joissa on räätälöidyt taulukot muuntajan, keskijännitelaitteiston ja pienjännitelaitteiston mittauksille. Kaikkiin taulukoihin lisättiin tarkistusruutu ”PE- ja N-johtimien yhdistys on palautettu mittausten jälkeen entiselleen”, koska toimenpide saattaa unohtua helposti kymmenien sarjatyönä tehtävien mittausten jälkeen. Ohjeeseen lisättiin myös esimerkiksi keskijännitekaapeleiden eristyksen vähimmäisresistiivisyyden arvo $300 \text{ G}\Omega/\text{km}$, josta voidaan määrittää kaapeleiden likimääräinen pienin sallittu eristysresistanssi kappaleessa 4.2.3 mainitulla tavalla.

Lähtöjen tarkastuspöytäkirjan tarkoituksena on toimia pienjännitekeskuksen lähtöjen tai pienjänniteasennusten mittauspöytäkirjana, joten se vastaa sisällöltään ST 51.21.06 -pöytäkirjan mittauksia. Siinä on tiivistetysti yhdellä A4-lehdellä kaikki olennaiset käyttöönottomittaukset, eli suojajohtimen jatkuvuuden, eristysvastuksen, oikosulkuvirtojen, vikavirtasuojien ja kiertosuunnan mittaukset. Lisäksi jokaiselle mitattavalle ryhmälle tai laitteelle voi valita alavetovalikosta suojalaitteen tyyppin ja nimellisvirran, kuten johdonsuojakatkaisija C16 tai vikavirtasuojakytkin B 40.

5.2 Liitedokumentit

Joskus käyttöönottotarkastuspöytäkirjan liitteinä voi olla mittauspöytäkirjoja sähkölaitteista, joille laitevalmistaja edellyttää asennusohjeiden mukaisia mittauksia. Tällaisia laitteita ovat esimerkiksi lämmityskaapelit- ja kelmut, jotka on tärkeää mitata sekä ennen rakenteiden sisään sulkemista että sen jälkeen. Liitteenä voi olla myös puutelistia, jos sähköurakoitsija on tehnyt käyttöönottotarkastuksen kohteille, jotka on korjattu määräaikaistarkastuksessa havaittujen laajojen puutteiden vuoksi. Tähän opinnäytetyöhön sisältyi myös tällaisen puutelistan päivittäminen yhtenäiseksi mittauspöytäkirjojen kanssa (liite 6).

Aistinvaraisessa tarkastuksessa kannattaa hyödyntää valokuvia ja digitallenteita, jotka voidaan liittää käyttöönottotarkastuspöytäkirjaan. Esimerkiksi maan alle jäävät kaapelijatkot ja muut piiloon jäävät asennukset on helpompaa paikallistaa myöhemmin asentajien ottamien valokuvien avulla. Samalla liitteet toimivat osoituksena aistinvaraisten tarkastusten työnaikaisesta toteutumisesta (STK-liitto 2017).

Lain mukaiset käyttö- ja huolto-ohjeet tai kunnossapito-ohjelma voidaan sisällyttää myös käyttöönottotarkastuksen liitteisiin, vaikka ne halutaan yleensä pitää erillisinä dokumentteina ainakin laajoissa ja vaativissa kohteissa. Usein syy on yksinkertaisesti se, että kunnossapito-ohjelma on haltijan vastuulla, mutta käyttöönottotarkastus on ensisijaisesti urakoitsijan vastuulla. Sähköturvallisuuslaissa mainitaan käyttö- ja huolto-ohjeiden pakollisuudesta seuraavalla tavalla:

”Sähkölaitteiston haltijan on huolehdittava siitä, että luokkien 2 ja 3 sähkölaitteistoille laaditaan sähköturvallisuuden ylläpitävä kunnossapito-ohjelma. – – Muiden sähkölaitteistojen osalta ohjelma voidaan korvata laitteiden ja laitteistojen käyttö- ja huolto-ohjeilla.” (1135/2016, 48 §.)

Muita huomioitavia dokumentteja ovat ilmoitukset sähkölaitteiston valmistumisesta jakeluverkon haltijalle eli verkkoyhtiölle tai Tukes:lle. Verkkoyhtiöille toimitetaan luokan 1 sähkölaitteistoista esimerkiksi yleistietolomake, jossa ilmoitetaan verkkoon kytkennästä, mittaroinnista, pääsulakkeen muutoksesta tai kun verkosta erotettu kiinteistö kytketään takaisin verkkoon. Tukes:lle taas toimitetaan kaikista uusista, muutetuista tai laajennetuista luokan 2 ja 3 sähkölaitteistoista lomake SL2A, jolla ilmoitetaan tarvittaessa myös uusi käytönjohtaja.

6 POHDINTA

Opinnäytetyön tuloksena saatiin uusimpien standardien ja säädösten mukaiset käyttöönottotarkastuspöytäkirjat, joilla on keskenään yhdenmukainen ulkoasu. Pöytäkirjat soveltuvat erityisen hyvin keskijännitemuuntamoiden tarkastuksiin ja mittauksiin, mutta niitä voidaan käyttää myös pien- ja suurjännitelaitteistojen tarkastuksiin. Pöytäkirjoihin lisättyjen mittaus- ja täyttöohjeiden laatiminen osoittautui haasteelliseksi tehtäväksi, koska työn tekijällä ei ollut juurikaan kokemusta keskijännitejärjestelmien käyttöönotosta. Asiaa hankaloitti myös se, että alan yrityksille ei ole muodostunut täysin yhtenäisiä käytäntöjä mittausten suorittamiseen, eikä mittauksista näin ollen löytynyt objektiivisia työvaiheohjeistuksia. Tietoa löydettiin kuitenkin menestyksekkäästi ST-kortistosta ja useista opinnäytetöistä, joiden avulla esimerkiksi aistinvaraisiin tarkastuksiin saatiin todella monipuolisesti tarkastettavia kohteita. Muuntamotyömailla tehdyissä käyttöönottotarkastuksissa varmistui, että pöytäkirjat ovat tarpeeksi kattavia, ja samalla sain itse arvokasta kokemusta tarkastusten suorittamisesta.

Käyttöönottotarkastusten mittausten suorittamiseen löytyi muutamia kehitysehdotuksia, jotka toteutuessaan parantaisivat mittausten laatua ja tehokkuutta etenkin pidemmällä aikavälillä. Tärkein havainto oli Fluke 1630 maadoitusvastuspihtimittarin soveltuminen erinomaisesti suojajohtimen jatkuvuuden mittaamiseen. Standardit eivät vaadi jatkuvuuden toteamiseen yksittäisen suojamaadoitusjohtimen resistanssin mittaamista, eikä muuntamohankkeen tilaajakaan vaadi sitä käytännössä koskaan. Tämän vuoksi maadoitussilmukan resistanssin mittaaminen pihtimittarilla kelpaa jatkuvuuden todentamiseksi yhtä hyvin kuin perinteiset menetelmät. Mitä pidemmät välimatkat mitattavien kohteiden välillä on, sitä nopeampaa pihtimittarilla mittaaminen on. Tyypillisessä kohteessa pihtimittari vähentää mittaukseen kuluvaan aikaan noin 80 %, mikä lisää työtehokkuutta merkittävästi. Pihtimittarilla mittaaminen lisää myös työturvallisuutta, koska siinä ei ole mittausjohtoja, jotka aiheuttavat usein kompastumisvaaraa usean henkilön työskennellessä samanaikaisesti ahtaissa muuntamotiloissa. Edellä mainittujen seikkojen vuoksi maadoitusvastuspihtimittarin käyttöä suositellaan laajennettavaksi jatkuvuusmittauksiin.

Keskijännitejärjestelmien eristysvastusmittauksessa olisi paljon erilaisia kehitysnäkökuolemia, mutta niihin liittyvien investointien kannattavuudesta tulisi tehdä vielä tarkempia

tutkimuksia. Tärkein tutkimuksen aihe olisi keskijännitekaapeleiden eristysvastusmittaus, jolle ei ole asetettu käyttöönottotarkastuksessa käytännössä muita vaatimuksia kuin se, että kaapelin eristyksen on oltava ehjä. Tällaiseen eheyden toteamiseen riittää oikein hyvin käytössä oleva eristysvastusmittausmenetelmä, jossa käytetään suurin piirtein kaapelin nimellisjännitteen suuruista tasajännitettä. Tasajännitemittauksella paljastuu kuitenkin vain suurimmat eristysviat, kuten kaivurin kauhan tekemä viilto kaapeliin tai kaapelin läpi menneen naulan aiheuttama eristystason aleneminen.

Jos haluttaisiin saada selville esimerkiksi kaapelin päätteissä ja jatkoissa esiintyvät osittaispurkaukset, pitäisi mittausmenetelmänä käyttää Very Low Frequency (VLF) -testausta. Erityisesti silloin, jos asennuksissa joudutaan käyttämään uudelleen vanhoja kaapeleita, kannattaisi harkita VLF-menetelmän käyttöä. Osittaispurkausten aiheuttamien vikojen yleisyydestä uusissa kaapeleissa ei ole kuitenkaan tarpeeksi tietoa, jotta voitaisiin arvioida mittalaitteiden hankinnan kannattavuutta. Toisaalta investointipäätöksessä voitaisiin ottaa huomioon myös mahdollisuus käyttää mittalaitteita kaapeleiden kuntotarkastuksissa. Tarkastuksia voitaisiin myydä esimerkiksi jakeluverkkoyhtiöille, jotka kasvatavat keskijänniteverkon maakaapelointiastettaan.

Toinen eristysvastusmittausten uudistamista puoltava asia on se, että tilaaja voi joskus kieltää ristisilloitetulla polyeteenillä (PEX) eristetyn keskijännitekaapelin eristysvastusmittauksen tasajännitteellä. Syynä on se, että polymeerieristeet polarisoituvat tasajännitteestä, ja syntyneet sähköstaattiset avaruusvaraukset voivat synnyttää heikkoja kohtia täysin ehjäänkin eristeeseen (Hyvönen 2003). Tilaajan kieltämät mittaukset koskevat kuitenkin useimmiten suurjännitekaapeleita, jolle tilaaja voi vaihtoehtoisesti pyytää tekemään 24h käyttöjännitetestin ennen varsinaista käyttöönottoa. Keskijännitekaapeleiden kuntoa voitaisiin tutkia myös eristeen häviökertoimeen tai polarisaatiovirtoihin perustuvilla sähkövasteen mittauksilla tai Fourier Transformed Infrared (FTIR) -analyysillä, mutta ne ovat usein hieman liian työläitä menetelmiä käyttöönottotarkastuksiin. Lähitulevaisuudessa paras vaihtoehto olisi tutkia VLF-laitteiden leasing-mahdollisuutta ja järjestelyn kannattavuutta käyttöönotto- ja kuntotarkastuksissa.

Uusien tarkastuspöytäkirjojen koekäyttö saatiin suoritettua kohtuullisen monipuolisesti, vaikka lähtöjen tarkastuksia ei voitukaan tehdä kaikilta osin opinnäytetyön aikana. Tarkastuspöytäkirjoista tullaan kuitenkin keräämään käyttökokemuksia, joiden pohjalta pöytäkirjat viimeistellään vastaamaan loppukäyttäjien tarpeita. Jotta tarkastusdokumentteja

voitaisiin hyödyntää täysimääräisesti, ne olisi vielä vietävä EPF:n käyttämään PRO3-projektinhallintajärjestelmään. Sen avulla voidaan esimerkiksi Excel-pohjaisten pöytäkirjojen kohdetiedot täydentää automaattisesti aina kun avataan uusi projektinumero. Dokumenttien lisääminen projektinhallintajärjestelmään toteutuu todennäköisesti opinnäytetyön jälkeen samalla kun pöytäkirjojen käytettävyyttä kehitetään.

Käyttöönottotarkastusten ja niiden dokumentoinnin kehittäminen ei jää ainoastaan tämän opinnäytetyön varaan, vaan tämän työn pohjalta yrityksessä on hyvät lähtökohdat tehdä kehitystyötä myös tulevaisuudessa. Olisi tärkeää, että käyttöönoton kehittämisestä luotaisiin jatkuva prosessi, joka tähtäisi ennen kaikkea turvalliseen, mutta myös kustannustehokkaaseen ja yhdenmukaiseen tarkastusrutiiniin. Lyhyen aikavälin tavoitteena voisi olla käyttöönottotarkastusten tuotteistaminen yrityksen sisäiseksi konseptiksi, jossa määriteltäisiin tarkasti käytettävät mittausmenetelmät ja -välineet työvaiheittain jokaiselle tarkastettavalle muuntamotyypille. Siihen voisi sisältyä myös mobiililaitteilla täytettävät pöytäkirjat, koska nykyisellään koestajat saattavat kirjoittaa mittaustulokset ensin muistilapuille ja sen jälkeen vasta tietokoneelle. Tällainen konsepti parantaisi EPF:n koestuspalveluiden kilpailukykyä ja mahdollistaisi muuntamohankkeiden läpimenoajan lyhentymisen. Tässä opinnäytetyössä tehty tutkimus keskijännitemuuntamoiden käyttöönottotarkastuksista ja niiden dokumentoinnista toimii vahvana perustana, jonka päälle konseptia voidaan alkaa rakentaa.

LÄHTEET

Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry. 2006. 1-20 kV suurjännitelaitteistojen käyttöön-
ottotarkastusohjeisto. Espoo: Sähköinfo Oy.

Tukes. Sähköturvallisuus 100 vuotta. Luettu 13.3.2017.

<http://www.tukes.fi/sahkoturvallisuus100/sts100/>

Tukes. Tukes-ohje 19/2017. Luettu 14.3.2017.

<http://www.tukes.fi/fi/Palvelut/Tukes-ohjeet/1Sahko-ja-hissit/Tukes-ohje-192017-Sahkolaitteistojen-turvallisuutta--ja-sahkotyoturvallisuutta--koskevat-standardit-S10-2017/>

Sähköturvallisuuslaki 16.12.2016/1135.

Valtioneuvoston asetus sähkölaitteistoista 21.12.2016/1434.

Valtioneuvoston asetus sähkötyöstä ja käyttötyöstä 21.12.2016/1435.

Valtioneuvoston asetus sähkölaitteiden ja -laitteistojen sähkömagneettisesta yhteensopi-
vuudesta 21.12.2016/1436.

Sisäasiainministeriön asetus rakennusten poistumisreittien merkitsemisestä ja valaisemi-
sesta 06.10.2005/805.

SFS 6000. 2012. Pienjännitesähköasennukset. Helsinki. Suomen Standardisoimisliitto
SFS.

SFS-käsikirja 600-1. 2012. Sähköasennukset. Osa 1: SFS 6000 Pienjännitesähköasen-
nukset. Helsinki. Suomen Standardisoimisliitto SFS.

SFS 6002. 2015. Sähkötyöturvallisuus. Helsinki. Suomen Standardisoimisliitto SFS.

Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry. 2012. D1-2012 Käsikirja rakennusten sähkö-
asennuksista. Helsinki: Painokurki Oy.

Sähköinfo. Sähköinfon Severi-verkkoaineiston ST-kortisto. Luettu 16.3.2017.

<http://severi.sahkoinfo.fi/>

STK-liitto. Ajankohtaista sähköurakoitsijoille 1/2017. Luettu 16.3.2017.

<http://www.stkliitto.fi/viestinta/julkaistua/3111-tukes-ajankohtaista-saehkoeurakoitsi-joille-1-2017.html>

Björkman, M., Honkala, A., Marttila, H., Kettunen, L., Koivisto, P., Konttinen, A., Kor-
pinen, L., Mustonen, H., Taimisto, S. & Ylinen, T. 2008. EMC ja rakennusten sähkötek-
niikka. Tampere: Tammer-Paino Oy.

Jokela, K., Korpinen, L., Hietanen, M., Puranen, L., Huurto, L., Pättikangas, H., Toivo,
T., Sihvonon, A. & Nyberg, H. 2006. Säteilylähteet ja altistuminen.

https://www.stuk.fi/documents/12547/494524/6_9.pdf/d583d48c-c914-4593-a7bc-4d0e93415f85

STUK. 2003. Rakennusten magneettikenttien mittaaminen.

<https://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/125202/stuk-tiedottaa-1-2003-rakennusten-magneettikenttien-mittaaminen.pdf?sequence=1>

Sosiaali- ja terveysministeriön asetus ionisoimattoman säteilyn väestölle aiheuttaman altistumisen rajoittamisesta 04.04.2002/294.

Sähkötieto ry. 2016. ST-ohjeisto 8, Poistumisvalaistus ja poistumisreittivalaistus.

Fluke. Fluke 1630 -maadoitusvastuspihtimittari. Luettu 27.3.2017.

<http://www.fluke.com/fluke/fifi/maadoitusvastustesterit/fluke-1630.htm?pid=56021>

ABB Oy. 2000. Teknisiä tietoja ja taulukoita -käsikirja (TTT).

http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/13_S%84hk%94asemat-kojaistotmuuntamot.pdf

Tolonen, H. 2013. Laajan maadoitusjärjestelmän todentaminen ja dokumentointi Kenet Oy:n jakeluverkossa. Opinnäytetyö. Centria ammattikorkeakoulu.

https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/56126/tolonen_heli.pdf?sequence=1

Tampereen Sähköverkko Oy. 2013. Asiakasmuuntamo-ohje.

<https://www.tampereensahkolaitos.fi/sahkoverkkopalvelut/sahkoverkkoonliittymien/TSV-urakoitsijalle/Documents/A-0-55666.pdf>

Chauvin-Arnoux. Maadoitusvastuksen mittausopas. 2014.

https://chauvin-arnoux.fi/wp-content/uploads/2014/09/FI_Maadoitusvastuksen-mittausopas.pdf

Megger Group Ltd. 2006. "A Stitch In Time". The Complete Guide to Electrical Insulation Testing.

<https://www.instrumart.com/assets/Megger-insulationtester.pdf>

Hyvönen, P. 2003. Keskijännitteisten maakaapelijärjestelmien osittaispurkausmittaukset käyttöpaikalla. Lisensiaatintyö. Espoo. Teknillinen Korkeakoulu.

Lehtonen, O. 2012. SF6-kaasu sähkökojeistoissa. Seminaari keskijänniteverkon suunnittelijoille.

http://www.siemens.fi/pool/cc/events/keskijannitesuunnittelijat2012/03_sf6-kaasu_sahkokojeistoissa.pdf

Surakka, P. 2009. Aktiivinen jännitteensäätö hajautetussa sähköntuotannossa. Kandidaatintyö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto.

<https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/44964/nbnfi-fe200905041415.pdf?sequence=3>

LIITTEET

Liite 1. Maavastusmittauspöytäkirja (salassa pidettävä)

1 (4)

Liite 1. Maavastusmittauspöytäkirja (salassa pidettävä)

2 (4)

Liite 1. Maavastusmittauspöytäkirja (salassa pidettävä)

3 (4)

Liite 1. Maavastusmittauspöytäkirja (salassa pidettävä)

4 (4)

Liite 2. Suojajohtimen jatkuvuusmittauspöytäkirja (salassa pidettävä)

1 (4)

Liite 2. Suojajohtimen jatkuvuuden mittauspöytäkirja (salassa pidettävä)

2 (4)

Liite 2. Suojajohtimen jatkuvuuden mittauspöytäkirja (salassa pidettävä)

3 (4)

Liite 2. Suojajohtimen jatkuvuuden mittauspöytäkirja (salassa pidettävä)

4 (4)

Liite 3. Eristysvastusmittauspöytäkirja (salassa pidettävä)

1 (6)

Liite 3. Eristysvastusmittauspöytäkirja (salassa pidettävä)

2 (6)

Liite 3. Eristysvastusmittauspöytäkirja (salassa pidettävä)

3 (6)

Liite 3. Eristysvastusmittauspöytäkirja (salassa pidettävä)

4 (6)

Liite 3. Eristysvastusmittauspöytäkirja (salassa pidettävä)

5 (6)

Liite 3. Eristysvastusmittauspöytäkirja (salassa pidettävä)

6 (6)

Liite 4. Lähtöjen tarkastuspöytäkirja (salassa pidettävä)

1 (3)

Liite 4. Lähtöjen tarkastuspöytäkirja (salassa pidettävä)

2 (3)

Liite 4. Lähtöjen tarkastuspöytäkirja (salassa pidettävä)

3 (3)

Liite 5. Käyttönottotarkastuspöytäkirja (salassa pidettävä)

1 (10)

Liite 5. Käyttönottotarkastuspöytäkirja (salassa pidettävä)

2 (10)

Liite 5. Käyttöönottotarkastuspöytäkirja (salassa pidettävä)

3 (10)

Liite 5. Käyttönottotarkastuspöytäkirja (salassa pidettävä)

4 (10)

Liite 5. Käyttöönottotarkastuspöytäkirja (salassa pidettävä)

5 (10)

Liite 5. Käyttönottotarkastuspöytäkirja (salassa pidettävä)

6 (10)

Liite 5. Käyttöönottotarkastuspöytäkirja (salassa pidettävä)

7 (10)

Liite 5. Käyttöönottotarkastuspöytäkirja (salassa pidettävä)

8 (10)

Liite 5. Käyttönottotarkastuspöytäkirja (salassa pidettävä)

9 (10)

Liite 5. Käyttönottotarkastuspöytäkirja (salassa pidettävä)

10 (10)

Liite 6. Puutelistä (salassa pidettävä)

1 (2)

Liite 6. Puutelistä (salassa pidettävä)

2 (2)