

Aapo Hallikainen

400 KV VOIMALINJAN MAADOITUKSEN VARMENTAMINEN

Automaatiotekniikan koulutusohjelma

2018

400 KV VOIMALINJAN MAADOITUKSEN VARMENTAMINEN

Hallikainen, Aapo
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Automaatiotekniikan koulutusohjelma
Maaliskuu 2018
Ohjaaja: Esko Nieminen
Sivumäärä: 34
Liitteet: 2

Avainsanat: maadoitus, maasulku, siirtolinja, voimalinja, 400 kV, suurjännite

Suurjännitevoimalinjan maadoitus on suunniteltava ja toteutettava erityisen kattavasti ja huolellisesti. Voimalinjalla mahdollisesti tapahtuva vikatilanne ei saa aiheuttaa vaaraa ihmisille tai omaisuudelle. Työn tärkeimpänä viitoittajana toimi suurjännite-asennuksia koskeva standardi SFS 6001, jonka pohjalta aihetta pääasiassa tarkastellaan. Standardissa esitetyt ohjeita ja vaatimuksia sovelletaan työssä käytännön toteutustapoihin.

Suurjänniteverkon vikatilannetta simuloidaan nimellisjännitettä alemmalla jännitteellä ja tarkastellaan tästä aiheutuvia potentiaalierojen muutoksia. Oleellisena osana on myös kantaverkon aiheuttamien häiriöjännitteiden erottaminen saaduista mittaustuloksista. Kaikkia mittaustuloksia tarkastellaan vastaaman 400 kilovoltin maasulkutilannetta, todellisella oikosulkuvirralla.

Työssä käsitellään aihetta erityisesti toteutettavana projektina ja muodostetaan tietopaketti työn tilaajalle kyseisen tyyppisten mittaushankkeiden läpiviemistä varten. Sähköturvallisuus on merkittävässä roolissa suurjännitteitä sisältävissä projekteissa, niin myös tässä työssä.

Tutkittavana kohteena esimerkkiprojektissa on voimalaitokselta lähtevä voimajohdon osa, jonka vaatimustenmukaisuus on varmistettava ennen käyttöönottoa. Mittausten kautta tutkitaan maasulun aiheuttamia maadoitus- ja kosketusjännitteitä sekä alueelle muodostuvia potentiaalieroja. Lopuksi käydään läpi esimerkivoimalinjaa koskevat mittaustulokset ja todetaan vaatimustenmukaisuus. Tutkittavaa esimerkkikohtetta ei yksilöidä työssä salassapidollisista syistä.

ENSURING OF 400 KV GRID EARTHING

Hallikainen, Aapo
Satakunta University of Applied sciences
Degree Programme in Automation Engineering
March 2018
Supervisor: Esko Nieminen
Number of pages: 34
Appendices: 2

Keywords: earthing, earth fault, power line, 400 kV, grid, high-voltage

The earthing of 400 kilovolt high-voltage power line has to be designed and built in really comprehensive way. The practicable earth fault must not cause any risk for the safety of person or property. That is why the earthing systems has to be checked in carefull way before real operation. The most inportant source of information was high voltage installation standard SFS 6001. That is the base for the whole ensurance project. The instuctions and requirements of the standard are applied in practical implementation.

The high-voltage fault situation was simulated in a lower voltage level. The many kind of potential differences were measured in the same time in the field. The essential part of the measurement was also the elimination of interference voltages from the results which are effected by the national electrical transport system. All the measurement results were calculed to match with the real 400 kilovolt short circuit current.

The main point in the work was the measurement project, not the earthing system in theoretical way. The work is an information package for orderer to be used in same kind of projects. Working safety have a big role in high-voltage projects, also in this case.

In this work, the example project was ensuring of the earthing in power plant's 400 kilovolt grid feeding powerline part. The conformity of requirements has to be ensured before operation. Touch- and earthing voltages were measured in the field while simulated earth fault was ongoing. Also the potential differences were checked in the area. In the end of the work the measurement results are reviewed and compared to the requirements of the standard. The measured example case is not individualised because of confidential reasons.

SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO	5
2	EMPOWER IN OY	6
3	TEORIA	7
3.1	Termistö	7
3.2	Maadoitusjärjestelmät	8
3.2.1	Järjestelmätyypit	8
3.2.2	Yleiset vaatimukset	9
4	KÄYTTÖÖNOTTO JA KUNNON VALVONTA	10
4.1.1	Mittaus: Voltti-Amppeeri-menetelmä	10
4.1.2	Häiriöjännitteiden eliminoiminen: Pulssi-menetelmä	11
5	SÄHKÖTEKNISET VAATIMUKSET	11
5.1	Sallitut arvot	11
6	VARMENTAMINEN	13
6.1	Suunnittelu	13
6.2	Henkilöstöressurit	13
6.3	Mittalaitteet	15
6.4	Kalusto	15
6.4.1	Henkilönostimet	16
6.4.2	Generaattori	17
6.5	Työturvallisuus	18
6.5.1	Suojavarusteet	18
6.5.2	Koulutus	19
6.5.3	Sähkötyöturvallisuus	19
7	ESIMERKKI CASE	21
7.1	Kytkenät kantaverkossa	22
7.2	Väliaikaiset asennustyöt	23
7.3	Voimalinjan syöttäminen generaattorilla	23
7.4	Mittaukset	25
7.4.1	Maadoitusjännite	25
7.4.2	Kosketusjännite	27
7.4.3	Potentiaalierot	28
7.4.4	Siirtyneet potentiaalit	30
7.4.5	Maadoituspiirin impedanssi	31
8	YHTEENVETO	32
	LÄHTEET	34
	LIITTEET	

1 JOHDANTO

Opiskellessani automaatiotekniikkaa Satakunnan ammattikorkeakoulussa, kiinnostuin sähkövoimatekniikasta ja suoritin myös ylimääräisiä sähkövoimatekniikan opintoja. Työskentelin tällöin Empower IN Oy:llä projekti-insinöörinä, he ehdottivat opinnäytetyön tekemistä sähkövoimateknisestä aiheesta, siirtolinjan maadoituksen varmentamisesta. Olen työskennellyt kyseisen yrityksen palveluksessa myös sähköasentajana ja maadoitukseen liittyvät asiat ovat olleet tällöinkin vahvasti läsnä.

Kyseinen aihe kiinnostaa minua, sillä olen työskennellyt useissa voimalaitoksissa ja maadoitusasiat ovat olleen niissä useasti esillä. Aihe liittyy lisäksi vahvasti sähköturvallisuuteen, joka on aina kiinnostanut minua. Työssä käsitellään esimerkkiprojektina erästä 400 kV:n maadoitusmittausta, jota ei luottamuksellisuuden säilyttämiseksi yksilöidä sen tarkemmin.

Haluan kiittää palvelupäällikkö Jussi Naskia ja projektipäällikkö Mikko Mäenpäättä, joista ensimmäinen toimi työssäni tilaajan edustajana. Lisäksi haluan kiittää Marko Lindroosia X-Concepts Oy:stä.

2 EMPOWER IN OY

Empower IN on palveluyritys, joka tarjoaa erilaisia palveluita teollisuuden tarpeisiin. Yritys tuottaa teollisuuslaitoksille palveluita, jotka tukevat niiden ydinliiketoimintaa. Yritys tarjoaa palvelukokonaisuuksia eri teollisuuden aloilla, erityisesti alan suurimmille toimijoille. Empower IN on profiloitunut tarjoamaan kunnossapitopalveluita kokonaisvaltaisesti asiantuntija ja suunnittelupalveluista työjohtoon sekä asennustyöhön. Empower IN:n asiakkaita ovat monet merkittävät metsä- ja energiateollisuuden tuotantolaitokset sekä voimayhtiöt, joille yritys tarjoaa laaja-alaisia kunnossapito ja ylläpitopalveluita.

Empower IN Oy on osa Empower-konsernia, joka tarjoaa palveluita myös tele-, sähköverkko ja tiedonhallinta sektoreille. Konsernin liikevaihto oli vuonna 2017 noin 250 miljoonaa euroa. Eri alojen ammattilaisia työskentelee Empower Group:ssa Pohjoismaissa ja Baltiassa noin 1700.

(Empower Group 2017.)

3 TEORIA

3.1 Termistö

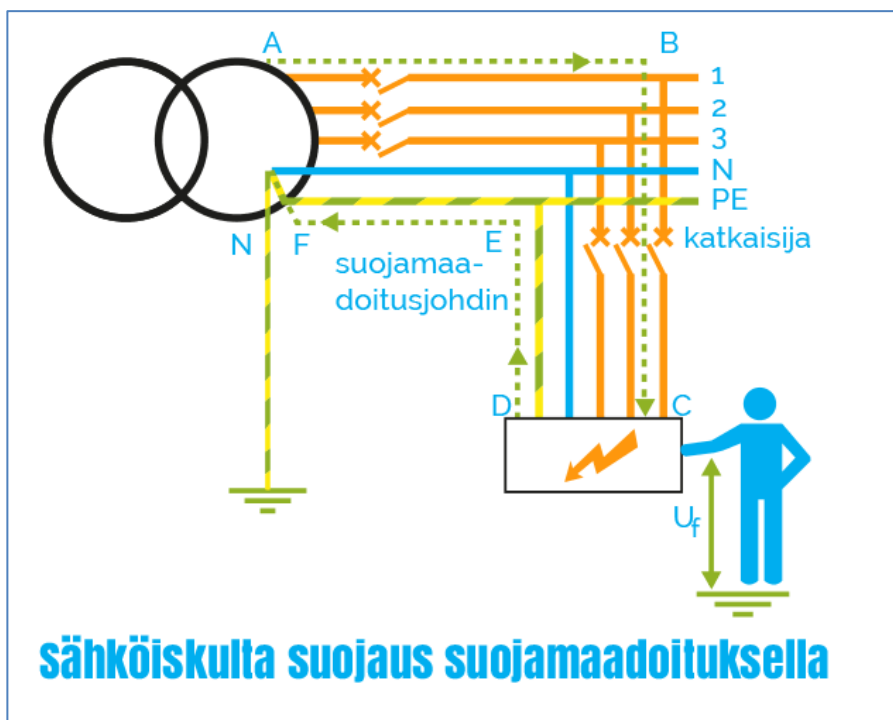
- Pienjännite – Jännite, jonka suuruus ei normaalitilanteessa ylitä seuraavia arvoja: 1000 V AC tai 1500 V DC (SFS 6002 2015, 15).
- Suurjännite – Jännite, jonka suuruus ylittää normaalitilanteessa seuraavat arvot: 1000 V AC tai 1500 V DC (SFS 6002 2015, 15).
 - SFS 6002-standardi ei tunne käsitteitä keski- tai välijännite.
- Paikallinen maa – Maa johtava osa, jolla on yhteys maadoituselektrodiin. Potentiaali voi olla myös muu kuin nolla (SFS 6001 2015, 20).
- Maadoituselektrodi – Johtava osa, jolla muodotetaan suora sähköinen yhteys maahan, esimerkiksi paljas kupariköysi (SFS 6001 2015, 21).
- Maasulku – Vian aiheuttama yhteys vaihejohtimen ja maan välillä tai maahan yhteydessä olevan osan välillä. Yhteys voi muodostua myös valokaaren välityksellä (SFS 6001 2015, 24).
- Kosketusjännite – Kädestä jalkoihin tai kädestä käteen kulkeva maasulun osa, jolle ihmisen keho altistuu koskettaessa jännitteistä osaa yhden metrin etäisyydeltä (SFS 6001 2015, 22).
- Askeljännite – Jalasta toiseen kulkeva maasulun osa, jolle ihmisen keho altistuu, seistessään jalat yhden metrin etäisyydellä toisistaan (SFS 6001 2015, 22).
- Laaja maadoitusjärjestelmä – Maadoitusjärjestelmä, jossa kaikki paikalliset maadoitusjärjestelmät on kytketty yhteen kosketusjännitteiden minimoimiseksi. Tämän tyyppisiä järjestelmiä esiintyy esimerkiksi teollisuusalueilla (SFS 6001 2015, 23).

3.2 Maadoitusjärjestelmät

3.2.1 Järjestelmätyypit

Maadoitusjärjestelmiä on kahta päätyyppiä. Ne voivat olla suojamaadoituksia (Protection Earth, PE) tai toiminnallisia maadoituksia (Functional Earth, FE). Näistä ensimmäinen on puhtaasti henkilösuojauksena toimiva järjestelmä, joka ehkäisee vaarallisten potentiaalierojen syntymistä. Näin esimerkiksi johtavasta materiaalista valmistetun sähkölaitteen kuoren potentiaali pysyy vikatilanteessa lähellä maan potentiaalia, eikä hengenvaarallista potentiaalieroa pääse syntymään. Eristevian seurauksena vaiheen yhdistyessä laitteen kuoreen aiheutuu oikosulku ja suojalaite katkaisee jännitteen virtapiiristä (Kuva 1). Jälkimmäinen järjestelmä on yhteydessä suojamaadoitukseen, mutta sen tehtävä on estää haitallisten sähkömagneettisten häiriöiden syntyminen ja suojata signaaleja olemassaolevilta häiriöiltä. (Maadoituskirja 2014, 16–17.)

Kuva 1. Suojamaadoituksen toimintaperiaate (Sähköturvaalisuuden edistämiskeskus ry 2017)



Tässä työssä maadoituksesta puhuttaessa, tarkoitetaan nimenomaan suojamaadoitusta. Työ ei käsittele toiminnallista maadoitusta.

3.2.2 Yleiset vaatimukset

Maadoitusjärjestelmän pääasiallinen tarkoitus on taata turvallisuus kaikissa tilanteissa. Se varmistaa henkilöturvallisuuden kaikissa paikoissa, joissa ihmisillä on oikeus liikkua. Sen on myös varmistettava lähellä olevien laitteiden eheyden säilyminen. (SFS 6001 2015, 91.)

Henkilöturvallisuuden kannalta merkittävin sähkön aiheuttama uhka on henkilön sydämen kautta kulkeva, kammiovärinän aiheuttava virta. Tämä aiheuttaa merkittävän hengenvaaran, joka voi tulla esiin vasta tuntien jälkeen tapaturmasta. Lisäksi sähköenergian aiheuttama kuumuus voi johtaa hengenvaaraallisiin palovammoihin.

Kaikki jännitteelle alttiit osat on liitettävä maadoitusjärjestelmään. Tämä käsittää kaikki suoraan sähköjärjestelmään suoraan liittyvät osat, joihin luetaan esimerkiksi jännitteisiä paljaita tai peruseristeisiä osia suojaavat metallikoteloinnit. Muut johtavat osat, kuten metalliset aitarakenteet, on liitettävä maadoitusjärjestelmään, jos ne voivat tulla jännitteisiksi vikatilanteessa. Jännitteiseksi tuleminen voi aiheuttaa myös kapasitiivinen tai induktiivinen kytkentä. (SFS 6001, 102.)

Maadoitusjärjestelmän tulee täyttää seuraavat vaatimukset:

- a) Oltava mekaanisesti kestävä ja suojattu korroosiota vastaan
- b) Kestettävä korkein laskennallinen terminen vikavirta
- c) Estettävä vahingot omaisuudelle ja laitteille
- d) Varmistaa henkilöturvallisuus huomioiden maadoitusjärjestelmän jännitteet maasulun aikana

(SFS 6001 2015, 92–95)

4 KÄYTTÖÖNOTTO JA KUNNON VALVONTA

Tavanomaisen- ja laajan maadoitusjärjestelmän maadoitusresistanssi on mitattava ennen käyttöönottoa. Jos mittausta ei kuitenkaan roudan takia ole mahdollista suorittaa, se on tehtävä viimeistään vuoden kuluessa käyttöönotosta. (SFS 6001 2015, 147.)

Järjestelmän kuntoa on valvottava. On huomioitava lähistöllä suoritettavat mahdolliset maanrakennustyöt ja niistä mahdollisesti aiheutuva maadoitusjärjestelmän korjaus- sekä muutostarve. Kun kyseessä on useamman kuin yhden maadoitusjohtimen varassa oleva järjestelmä, maadoitusresistanssin suositeltava mittausväli on 12 vuotta. Yhden johtimen varassa olevilla järjestelmillä mittausväli on kuusi vuotta. Järjestelmille on lisäksi aina määritettävä huolto-ohjelma, johon mittausväli on kirjattava. Laajan järjestelmän elektrodien impedansseja ei tarvitse mitata, vaan niiden kunto voidaan arvioida myös muulla tavoin. (SFS 6001 2015, 147.)

4.1.1 Mittaus: Voltti-Amppeeri-menetelmä

Kyseistä mittausmenetelmää käytetään, kun tutkittavana on laaja maadoitusjärjestelmä. Sitä käytettäessä ei testata yksittäisen johtimen tai elektrodin kuntoa, vaan koko järjestelmän yleiskuntoa sekä vaatimustenmukaisuutta. (SFS 6001 2015, 129.)

Menetelmää hyödynnettäessä tutkittavan, yli viiden kilometrin mittaisen voimalinjan vaihejohtimet erotetaan molemmista päistään. Tämän jälkeen linjaan yhdistetään erillinen jännitelähde, esimerkiksi generaattori. Linjan vastakkaisen pään vaihejohtimet kytketään pylvään maadoituselektrodiin, eli muodostetaan keinotekoinen maasulku.

Mitattavan linjan maadoitetut vaipat sekä ukkosköydet on huomioitava laskelmissa. Reduktiokerroin on valittava vastaamaan kyseistä tapausta. Erotettua verkon osaa syöttävän jännitelähteen on pystyttävä tuottamaan yli 50 ampeerin virta mitattavaan piiriin, jotta mahdollisten häiriöjännitteiden taso on riittävän alhainen suhteessa saatuihin jännitearvoihin. Näin maadoituspiiriin muodostuu mitattavissaoleva jänni-

te, josta voidaan erottaa kantaverkon aiheuttamat häiriöjännitteet. (SFS 6001 2015, 129–130.)

4.1.2 Häiriöjännitteiden eliminoiminen: Pulssi-menetelmä

Mittauksia tehtäessä käytössä olevat rinnakkaiset virtapiirit voivat indusoida mitattavaan piiriin häiriöjännitteitä, jotka vaikuttavat mittaustuloksiin. Häiriöjännitteet summautuvat osoitinsuureina maadoitusjännitteeseen vääristäen sen arvoa.

Tämä häiriöjännite U_d voidaan eliminoida käyttämällä mitattavan piirin syöttämiseen generaattoria, jonka taajuus poikkeaa kantaverkon 50 Herzin taajuudesta joitakin Herzin kymmenesosia. Jännitemittarin näyttäessä vaihtojännitteen tehollista arvoa, mittarin arvo heilahtelee maksimiarvon U_1 ja minimiarvon U_2 välillä. Kirjaamalla ylös nämä kaksi arvoa jokaisesta mittaustapahtumasta, voidaan häiriöjännite U_d eliminoida ja saadaan laskettua haluttu jännitteen arvo. (SFS 6001 2015, 132.)

Mittausvirran aiheuttama mitattavissa oleva jännite U saadaan erotettua häiriöjännitteestä mitattujen arvojen U_1 ja U_2 avulla seuraavasti:

$$U = \frac{U_1 + U_2}{2} \quad \text{kun } 2 \times U_d < U_1$$

$$U = \frac{U_1 - U_2}{2} \quad \text{kun } 2 \times U_d > U_1$$

$$U = \frac{U_1}{2} \quad \text{kun } 2 \times U_d = U_1$$

5 SÄHKÖTEKNISET VAATIMUKSET

5.1 Sallitut arvot

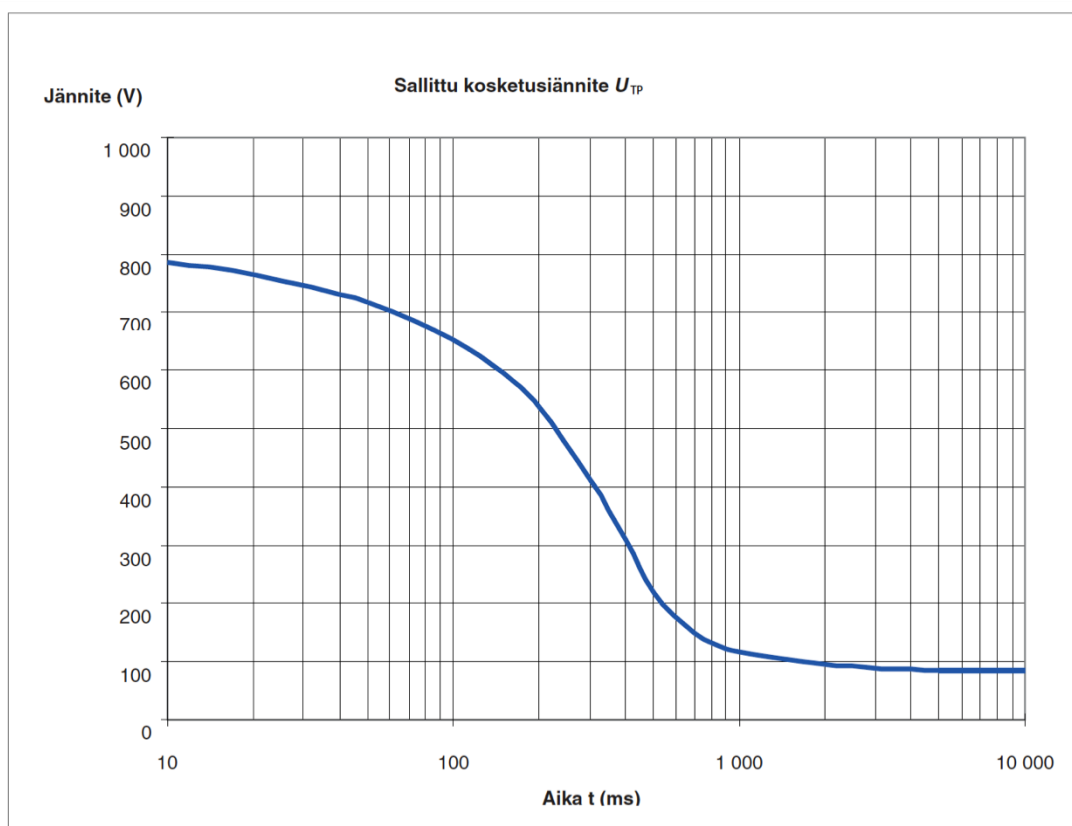
Suurjänniteasennuksen sallittuja raja-arvoja määriteltäessä, on tehty joitakin olettamuksia. Näin saaduilla arvoilla saavutetaan turvallisuuden kannalta hyväksyttävä taso ja pystytään huomioimaan myös teknistaloudelliset näkökohdat.

- Virtatien kulkee toisesta kädestä molempiin jalkoihin
- Kehon impedanssin arvo vastaa oletusarvoa 50 prosentin todennäköisyydellä
- Sydänkammiovärinän todennäköisyys on viisi prosenttia
- Mittauksissa ei käytetä lisäresistansseja

(SFS 6001 2015, 106)

Sallittuun kosketusjännitteeseen U_{TP} vaikuttaa vian kesto aika. Tarkasteltavassa esimerkkikohteessa 400 kV järjestelmässä poiskytkentä aika t on 0,15 s (Kuva 2).

Kuva 2. Sallittu kosketusjännite U_{TP} ajan t funktiona (SFS 6001 2015, 97)



Järjestelmän turvallisuutta tarkasteltaessa merkitsevä tekijä on kosketusjännitteen suuruus vikatilanteessa. Seuraavan ehdon on toteuduttava, kun vian esimerkkikohteessa poiskytkentäaika t on 0,15 s:

$$U_{TP} \leq 590 \text{ V}$$

(SFS 6001 2015, 97)

Kosketusjännitteen määrittämisen lisäksi vaatimustenmukaisuuden tarkasteluun voidaan käyttää todettuja maadoitusjännitteen arvoja. Seuraava ehdon toteutuessa voidaan katsoa järjestelmän kosketusjännite-ehdon täyttyvän:

$$U_E \leq 2 \times U_{TP}$$

(SFS 6001 2015, 95)

6 VARMENTAMINEN

6.1 Suunnittelu

Laajan maadoitusjärjestelmän vaatimustenmukaisuuden varmentaminen on merkittävä projekti, joka edellyttää hyvää valmistautumista. Ensisijaisesti on selvítettävä vaaditut raja-arvot ja maadoitusjärjestelmän rakenne kokonaisuudessaan. Maadoitusjärjestelmän kaikkien osien on myös oltava valmiita niin, ettei mitään merkittäviä muutoksia ole tekeillä. Lisäksi on selvítettävä työn tilaajan mahdolliset lisävaatimukset tai lisämittaustarpeet.

6.2 Henkilöstöresurssit

Laajaa maadoitusjärjestelmää koskevat maadoitusmittaukset vaativat yhteensä kymmenien ihmisten työpanosta, jotta koko operaatio voidaan viedä hallitusti läpi. Henkilöstöä tarvitaan seuraavasti eri organisaatioista:

a) Kantaverkon haltija

- Sähkönsiirtokapasiteetin optimoiminen mittaustilannetta varten ja luvan myöntäminen kantaverkon osan käyttöön
- Kytkentäpäättökseen laatiminen, etäohjattavien kytkentöjen suorittaminen ja fyysisen asennustyön tilaaminen yhteistyökumppanilta

b) Mitattavan verkon haltija

- Siirtokapasiteetin hallinta
- Yrityksen sisäisen lupakäytännön hallinta
- Työohjeistuksen laadinta ja asiasta tiedottaminen

c) Sähkölaitteistojen rakentamisesta vastaava yritys

- Tarvittavien taustatietojen hankinta
- Mittausprojektin suunnittelu
- Mittausprojektin johtaminen
- Työturvallisuuden varmistaminen
- Tarvittavien asiantuntija- ja asennusresurssien hankinta

a. Mittaustyöstä vastaava asiantuntijayritys

- Vaatimusten kartoittaminen
- Mittaustyön suunnittelu
- Mittaustyön toteutus
- Dokumentaation laadinta
- Loppuraportin laadinta

b. Avustavat organisaatiot (väliaikaiset asennustyöt)

- Asennustöiden suorittaminen laaditun ohjeistuksen mukaisesti
- Avustavat työt mittaustyön aikana

c. Vaadittava lisäkalusto (esim. nostimet ja generaattori)

- Projektin tarpeita vastaavan kaluston toimittaminen
- Mahdollisen tarvittavan ammattihenkilöstön järjestäminen

6.3 Mittalaitteet

Maadoituksen varmennuksessa tärkeimpänä mittalaitteena toimii yleismittari, jolla mitataan vaihtojännitteen potentiaalieroja eri osien väliltä. Mittarin on syytä olla toimintavarma, mutta siitä huolimatta varamittareita on syytä olla useampia. Myös mahdollisia varasulakkeita ja mittajohtimia on syytä varata käyttöön. Etenkin maadoitusjännitemittauksiin on varattava käyttöön riittävän pitkiä mittajohtimen jatkojohtokeloja. Näiden kunto on myös tarkastettava etukäteen ja varauduttava myös korjaustoimenpiteisiin mittaustöiden aikana.

Mittauksissa tarvitaan lisäksi ainakin yksi pihtiampeerimittari, mutta niitäkin olisi hyvä varata useampi. Mitattava virta-arvo on syytä selvittää etukäteen, jotta mittari soveltuu kyseiselle virtaalueelle. Tässä projektissa virta-alue on noin 50–150 ampeeria. Kaikista mittalaitteista on löydettävä voimassaoleva kalibrointitodistus. Lisäksi tilaajalla saattaa olla myös erityisvaatimuksia mittalaitteita koskien.

Tämän tyyppisessä mittaushankinnassa voidaan lisäksi hyödyntää häiriöjännitteiden eliminoinnin apuna generaattorin ja mitattavan verkon väliin asennettavaa katkaisijayksikköä, jonka toimintasekvenssi voidaan määritellä halutunlaiseksi. Tällöin nähdään kuinka jännitetasot muuttuvat katkaisijan avautuessa, hetkellä jolloin verkkoa ei syötetä generaattorin avulla.

6.4 Kalusto

Maadoituksen varmennusprojektiin tarvitaan monenlaista kalustoa mahdollistamaan vaadittavat väliaikaiset asennustyöt sekä itse mittaustyö.

Nykyisin yrityksillä on omistuksessaan yhä vähemmän omaa kalustoa ja ne vuokraavat tämän tyyppisiä laitteita yhä useammin tähän erikoistuneilta yrityksiltä. Tällöin saadaan myös paremmin valittua juuri kyseiseen käyttötarkoitukseen parhaiten soveltuva kalusto. Laitteen toimittajalla on myös hyvä löytyä 24/7-huoltopalvelu mikäli mittaustöitä tehdään iltaisin tai viikonloppuisin.

Tässä projektissa tehdään asennustöitä voimalinjoihin liittyen, joten on päästävä työskentelemään turvallisesti riittävän korkealla. Tämä tapahtuu käytännössä erilaisilla siirrettävillä nostolavoilla. Maastosta, työskentelykorkeudesta ja käytössäolevasta tilasta riippuen on valittava tähän parhaiten sopivat laitteet.

Asennuksia on suoritettava pääpiirteittäin kahdenlaisissa paikoissa: 400 kV:n voimalinjan pylvässä ja 400 kV:n kytkinkentällä. Näiden tilanteiden asettamat vaatimukset poikkeavat merkittävästi toisistaan.

Voimalinjan syöttämiseen tarvittava generaattorin on täytettävä muutamia keskeisiä vaatimuksia, jotka liittyvät lähinnä nimellistehoon sekä mahdollisuuteen suorittaa kytkentämuutoksia laitteeseen. Myös laitteen syöttämään vaihtojännitteen taajuutta on voitava hienosäätää.

6.4.1 Henkilönostimet

400 kV-voimajohtopylväs

Jotta päästään työskentelemään kantaverkon 400 kV voimajohtopylväessä, on ensin valittava optimaalisin kohta suorittaa kytkentätyö. Lähtökohtaisesti valitaan paikka, johon on mahdollista ajaa nostinkalustolla mahdollisimman helposti. Tämä edellyttää riittävän hyvää tietä sekä kantavuudeltaan ja pinta-alaltaan riittävää työskentelyaluetta. Todennäköisin kalusto tämän tyyppisessä tilanteessa on kuorma-autopohjainen nostolava.

Voimalinjan pylväissä tehtävissä töissä on kyse työmaadoitusten asentamisesta pylvään maadoitetun rungon ja vaihejohtimien välille. Työ tapahtuu yli 25 metrin korkeudessa.

Nostolavatyöskentely ei saa myöskään haitata kohtuuttomasti muuta liikennettä ja tarvittaessa on järjestettävä asianmukaiset opasteet sekä taattava liikenteen kannalta turvallinen työympäristö mittausprojektissa toimiville henkilöille.

Korkealla työskenneltäessä sääolot on myös otettava huomioon. Liian kova tuuli voi estää työskentelyn kokonaan. Myös kylmyys vaikeuttaa työskentelyä. Nostokorissa on oltava tilaa kahdelle sähköasentajalle sekä mahdolliselle kuljettajalle.

Järeämmämpiä nostolava-autoja vuokrataan useinmiten vain kuljettajan kanssa. Tämä antaa sähköasentajille mahdollisuuden keskittyä vain itse asennustyöhön. Asiassa on viisainta konsultoida asiantuntevia nostinyrityksiä, jotka osaavat tarjota oikeanlaisen kaluston kyseiseen tilanteeseen (ks. liite 1).

Mikäli mahdollista, nostokalustoa on pyrittävä koekäyttämään jo ennen tositoimia. Myös työskentelypaikkaan olisi hyvä tutustua kuljettajan kanssa, jotta mahdolliset ongelmat huomataan etukäteen, eivätkä ne jarruta koko mittausprojektia. Käytettävän laitteen työaikaiseen maadoitukseen on syytä varautua riittävillä tarvikkeilla.

400 kV-kytkinkenttä

Työskenneltäessä generaattorin syöttöpisteessä on asennustöitä voitava tehdä 400 kV:n kytkinlaitoksella. Työskentelykorkeus on muutamia metrejä ja alustana on tasainen sorapeti. Kytkinkentällä tehtävät työt käsittävät voimajohtojen työmaadoitustyöt sekä kytkentätyöt generaattorin yhdistämiseksi voimajohtoon. Tähän tarkoitukseen soveltuu parhaiten omalla dieselmoottorilla varustettu laite, sillä työskentely tapahtuu ulkotiloissa. Nostimen korin on oltava suunniteltu kahdelle henkilölle (ks. liite 2).

Nostinta tulisi koekäyttää etukäteen ennen varsinaisia asennustöitä. On myös varmistuttava, että nostinta käyttävillä henkilöillä on tarvittavat pätevyudet ja koulutukset. Työn tilaajalla saattaa olla tähän liittyviä erityisvaatimuksia. Käytettävän laitteen työaikaiseen maadoitukseen on syytä varautua riittävillä tarvikkeilla.

6.4.2 Generaattori

Voimalinjan mittauksen aikaiseen syöttämiseen käytetään generaattoria, joka on jännitelähteenä erillään valtakunnan verkosta ja sen taajuudesta. Laitteen nimellistehon

on oltava riittävän suuri, jotta se voi syöttää mitattavaan sähköverkon oikosuljettuun osaan riittävän suuren virran.

Tässä tapauksessa käytetään lähtökohtaisesti yli 200 kVA nimellisen näennäistehon omaavaa laitetta, mutta suuremmastakaan tehosta ei ole haittaa. Laitteen on oltava liikuteltava, mutta sen ei kuitenkaan tarvitse välttämättä olla pyörien päälle rakennettu. Näin järeissä laitteissa kytkennät suoritetaan aina kiinteänä- tai puolikiinteänä asennuksena, esimerkiksi kaapelikengillä. Generaattorin tähtipiste on myös voitava kytkeä irti laitteen rungosta kelluvaksi. Generaattori on mieluiten tilattava paikalle hyvissä ajoin, jotta laitteen toiminta ja kytkennät saadaan selville etukäteen. Myös laitteen polttoaineen riittävyys on varmistettava.

6.5 Työturvallisuus

Kaikissä sähköön liittyvissä operaatioissa on merkittäviä riskejä, jotka on osattava etukäteen tunnistaa. Riskit ovat vielä merkittävämpiä, kun kyseessä on suurjännite. Tämän lisäksi on huomioitava normaaliin asennustoimintaan liittyvät vaarat, jotka liittyvät esimerkiksi henkilön putoamiseen tai nostoihin. Tämän kaltaisissa operaatioissa on suoritettava riskianalyysi, jotta kaikki riskit on mahdollista tunnistaa etukäteen ja niihin voidaan varautua.

6.5.1 Suojavarusteet

Normaalit pakolliset varusteet asennus-/mittaustyössä:

- Huomiovärein varustettu suojavaatetus
- Suojakypärä leukahihnalla
- Suojalasit
- Turvajalkineet
- Suojäkäsineet
- Kuulosuojaimet
- Putoamissuojaimet (nostokorityöskentelyssä)

(Henkilönostojen turvallisuuden varmistaminen 2003)

Sähköasennustöitä tekevillä suojavaatetuksen, kypärän sekä silmäsuojien on annettava suoja myös valokaaren aiheuttamia vaaroja vastaan (SFS 6002 2015, 19–20).

6.5.2 Koulutus

Vaaditut voimassaolevat koulutukset:

- Työturvallisuuskortti
- Sähkötyöturvallisuuskortti SFS6002
- Hätäensiapu- tai EA1-kortti
- Nostinkoulutus (tilaajan mahdollinen lisävaatimus)
- Aluekohtainen perehdytys (tilaajan mahdollinen lisävaatimus)

(Työturvallisuusohje STO 2/2017 2017, 11–12)

Tämäntyyppisissä projekteissa kaikkien mittaus- ja asennustyössä mukana olevien on oltava sähköalan ammattihenkilöitä. Joukossa on oltava henkilöitä, joilla on laaja-alainen kokemus sähkövoimatekniikasta.

6.5.3 Sähkötyöturvallisuus

Työäskenneltäessä suurjännitelaitteiston vaikutusalueella, on suojaetäisyydet huomioitava sekä noudatettava erityistä varovaisuutta.

Asennustyöt on suoritettava ensisijaisesti jännitteettöminä. Erityisesti 400 kV:n laitteistoissa mittausprojektin ulkopuolella olevista rinnakkaisista voimalinjoista induoituva energia aiheuttaa merkittävän vaaran. Tehtäessä laitteistoa jännitteettömäksi, on tärkeää käsitellä laitteiston osia jännitteisenä niin kauan kunnes työmaadoitukset on asennettu. Suurjännitelaitteistot on lähtökohtaisesti työmaadoitettava kaikista suunnista ja työkohteessa on lisäksi oltava näkyvissäoleva työmaadoitus. (SFS 6002 2015, 24–25.)

Työmaadoittaminen tehdään ensisijaisesti kiinteästi asennetuilla maadoituserottimilla, jotka voivat olla paikallisesti- tai kauko-ohjattavia. Keskellä voimalinjaa tehtäviä töitä varten on kuitenkin asennettava paikalliset työmaadoitusvalineet. Jos johtimia ei

katkaista, riittää työkohteeseen yksi työmaadoitusvälineen käyttö. Työmaadoitusvälineen on oltava nähtävissä työskentelykohdassa. (SFS 6002 2015, 27–29.)

Kaikille laitteistoille on määritelty jänniteluokan mukainen suojaetäisyys, joka koskee yleisesti työskentelyä laitteistojen läheisyydessä. Tämä on huomioitava kaikessa työskentelyssä, mukaan lukien kuljetukset ja sähkölaitteistoon liittymättömät työt.

Yleinen suojaetäisyys D 400 kV:n laitteistoilla:

- D: 5,0 m

(SFS 6002 2015, 67)

Suomessa on käytössä myös termit: lähialue sekä jännitetyöalue. Lähialue rajoittuu alueen ulkorajaan D_V sekä jännitetyöalueen ulkorajaan D_{L1} tai D_{L2} riippuen siitä onko kyseessä ilmajohto vai muu laitteisto.

Lähialueen ulkoraja D_V 400 kV laitteistoilla:

- D_V : 4,5 m (muilla kuin ilmajohdoilla)

(SFS 6002 2015, 66)

Jännitetyöalueen ulkoraja D_L 400 kV laitteistoilla:

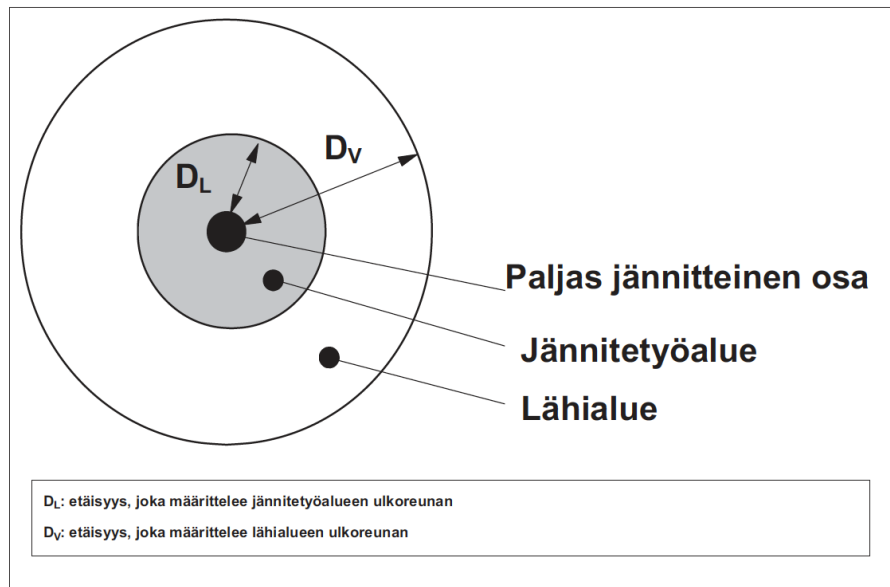
- Ilmajohdoilla D_{L2} : 3,5 m
- Muilla kuin ilmajohdoilla D_{L1} : 2,5 m

(SFS 6002 2015, 59)

Sähköalan ammattihenkilö tai riittävästi opastettu henkilö voi työskennellä lähialueen sisäpuolella, kunhan meneminen jännitetyöalueelle on luotettavasti estetty. Sähköalan ammattihenkilön valvonnassa myös muut kuin sähköalan ammattihenkilöt voivat työskennellä lähialueella. Tämä edellyttää riittävää suojausta sekä työn suunnittelua, jotta voidaan estää henkilön joutuminen liian lähelle laitteiston jännitteisiä osia.

Työskenneltäessä lähialueella, esimerkiksi henkilönostimella, on nostinlaitteen johdettava runko maadoitettava. Nostimissa on yleensä tätä tarkoitusta varten oleva maadoituspiste.

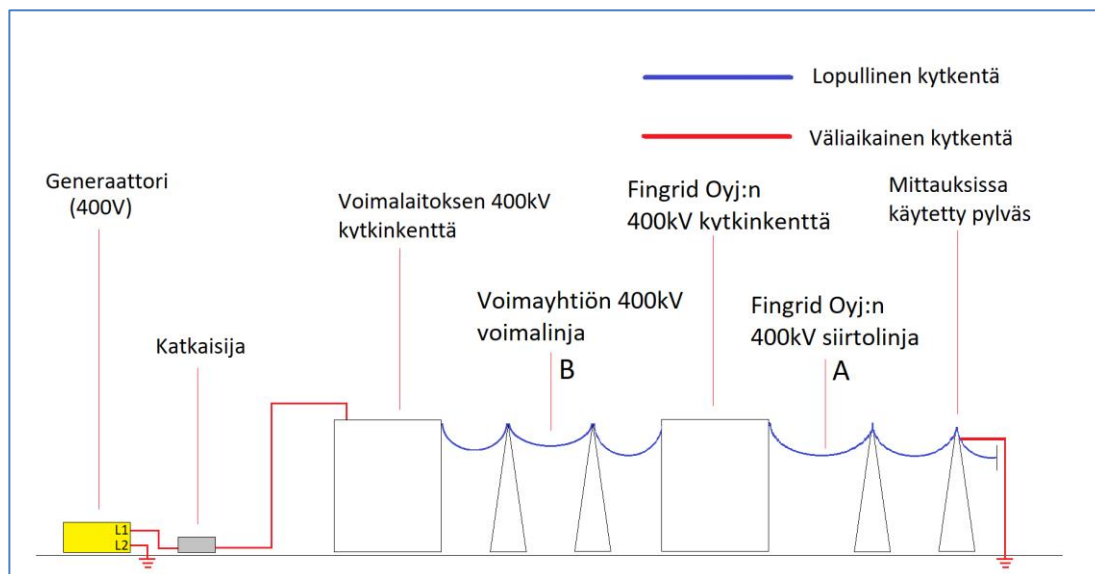
Kuva 3. Lähityö- ja jännitetetyöalueet (SFS 6002 2015, 32)



7 ESIMERKKI CASE

Tässä luvussa käsitellään maadoituksen varmentamista 400 kV voimalinjan osalta eräässä esimerkkikohteessa. Kyseessä on voimayhtiön 400 kV-laitteisto. Mittauksissa käytettiin apuna myös osaa kantaverkkoyhtiö Fingridin 400 kV-siirtolinjasta.

Kuva 4. Mittauskytkennän periaatekaavio



7.1 Kytkennät kantaverkossa

Kaikki kantaverkossa tehtävät kytkennät tehtiin yhteistyössä Fingridin kanssa. Fingrid suoritti etäohjattavat toiminnot Kantaverkkokeskuksesta Helsingistä. Käytännön asennuksia vaativat kytkentätoimenpiteet tilattiin paikalliselta sopimuskumppanilta ja ne suoritettiin Fingridin kytkentäpäättöksen mukaisesti.

Koska käytettävä mittausmenetelmä vaatii yli viiden kilometrin mittaisen voimalinjan, tarvittiin mitattavan voimalinjan jatkoksi käyttöön Fingridiltä vapaa 400 kV:n voimalinjan osa. Tämä oli mahdollista järjestää voimansiirtoverkon riittävän suuren tehonsiirtoreservin ansiosta.

Ensimmäinen operaatio oli erottaa mittauksessa apuna käytettävä Fingridin voimalinjan osa A, jota hyödynnettiin projektissa. Tämä osa yhdistettiin Fingridin kytkennällä vapaan pääkiskon kautta mitattavaan 400 kV-linjaan B (Kuva 4). Fingrid huolehti tällöin, että voimansiirtoverkossa oli edelleen käytössä riittävä siirtokapasiteetti. Mittauskäytössä ollut linja palautettiin takaisin käyttöön heti, kun mittausprojekti oli saatu päätöseen.

7.2 Väliaikaiset asennustyöt

Mittauksessa käytetty voimalinja A maadoitettiin molemmista päistään kytkinkenttien maadoituserottimilla. Tämän jälkeen voimalinjan A vaihejohtimet yhdistettiin maadoitukseen riittävän etäällä mitattavan linjan B alkupäästä (Kuva 4). Etäisyyden tulisi olla esimerkiksi 1–5 kilometriä (SFS 6001 2015, 130). Esimerkkitapauksessa etäisyys oli 9,2 kilometriä.

Linjan maadoittaminen voimajohtopylväällä eli hallitun maasulkukohdan muodostaminen suoritettiin jännitetyömenetelmällä 150 mm² työmaadoitusvälineillä. Vaikka linja oli sekä erotettu että työmaadoitettu, samaa johtokäytävää kulkevat, käytössä olevat voimalinjat indusoivat linjaan A tuhansien volttien jännitteen.

7.3 Voimalinjan syöttäminen generaattorilla

Linjan syöttämiseen mittaustilanteessa käytettiin esimerkkitapauksessa Atlas Copcon toimittamaa liikuteltavaa generaattoria, malliltaan QAS 325. Sen nimellinen näennäisteho on 325 kVA, tehokertoimen ollessa 0,8. Kyseessä on 400 voltin kolmivaihegeneraattori, jossa on Volvon kuusisylinterinen, turboahdettu dieselmoottori 12,8 litran iskutilavuudella. Integroitu polttoainesäiliö on tilavuudeltaan 640 litraa, mikä antaa noin yhdeksän tunnin käyttöajan laitteen nimellisteholla. (Atlas Copco 2017.)

Kuva 5. Mittauksissa käytetty generaattorityyppi (Atlas Copco 2017)



Ratkaisevaa tässä generaattorissa oli, että sitä voidaan kuormittaa huomattavan epäsymmetrisellä kuormituksella. Generaattorin tähtipiste on myös mahdollista kytkeä irti laitteen rungosta.

Maadoitusmittausten aikana generaattori oli asennettuna seuraavasti:

- Generaattori asennettiin eristävälle puualustalle
- Tähtipisteen ja rungon välinen yhdyskisko poistettiin
- Laitteen runkoa ei maadoitettu ja sen ympärille asennettiin lippusiimat
- Vaihe L_1 yhdistettiin mitattavan verkon vaihejohtimeen
- Vaihe L_2 yhdistettiin voimalaitoksen 400 kV kytkinkentän maadoitukseen

Mitatut arvot generaattorin syöttäessä voimalinjaa:

- $U_{\text{test}} = 392,1 \text{ V}$ - Testijännite vaiheiden L_1 ja L_2 välillä
- $I_{\text{test}} = 99,7 \text{ A}$ - Testipiirin virta
- $U_G = 207,2 \text{ V}$ - Kosketusjännite generaattorin rungosta

Kytkentä aiheutti voimakkaan vinokuorman, mutta käytettyjen vaiheiden L_1 ja L_2 välinen jännite pysyi edelleen tarkasti 400 voltissa. Tällöin laitetta ympäröivän maan ja laitteen metallisen rungon välillä ilmeni yli 200 voltin potentiaaliero. Tämä aiheutti merkittävän sähköiskuvaaran, joka oli tiedostettava koko mittausprojektin ajan. Generaattoria ympäröivää, lippusiimoin eristettyä aluetta valvoi koko mittausprojektin ajan henkilö, joka varmisti että kukaan ei epähuomiossa joutunut kosketuksiin laitteen jännitteisen rungon kanssa. Generaattorin käyttötoimenpiteet suoritettiin eristetystä materiaalista valmistetun ohjauspaneelin kautta.

Laitteen yhdistäminen mitattavaan voimalinjaan suoritettiin 150 mm^2 hienosäikeisillä 0,6/1 kV-yksijohdinkaapeleilla. Liitokset tehtiin kaapelikengillä. Generaattorin ja syötettävän verkon välille asennettiin katkaisijayksikkö, joka voitiin ohjelmoida toimimaan halutun sekvenssin mukaisesti. Tällöin häiriöjännitteiden tasosta saatiin tietoa jo mittausvaiheessa.

Laitteen käytössä on tärkeää huolehtia koekäytöstä hyvissä ajoin ennen varsinaista mittausta sekä hyödyntää laitteen ylläpitolaturia ja lohkolämmitintä tarpeen mukaan.

7.4 Mittaukset

Yleistiedot 400 kV voimalinjalle:

• Maadoitustapa	Nollapisteestä maadoitettu
• Taajuus f	50 Hz
• 1-vaiheinen oikosulkuvirta $I_{k1\ 400kV}$	20 kA
• Muuntajan nollavirta $I_{\Sigma N}$	4.5 kA
• Ukkosköönsien redusointikerroin r_E	0.3
• Poiskytkentäaika t	0.15 s
• Sallittu kosketusjännite U_{TP}	590 V

7.4.1 Maadoitusjännite

Maadoitusjännite U_E on potentiaaliero mitattavan pisteen ja referenssimaan välillä (SFS 6001 2015, 22). Kun jotkin alueet on liitetty tehokkaasti sähkölaitteiston maadoitusjärjestelmään, voi tämän järjestelmän ulkopuolisten alueiden välille muodostua potentiaalieroja.

Mittauksessa selvitettiin maadoitusjännitteen muutoksia 400 kV:n oikosulkutilanteissa. Referenssipisteenä toimi voimalaitoksen 400 kV:n kytkinkentän maadoitettu runko.

Mittauspisteessä otettiin aina ylös kolme arvoa: U_{min} , U_{max} sekä U_{dtest} . Näistä voitiin laskea maadoitusjännite $U_{E\ test}$ ottaen huomioon häiriöjännitteet. Arvo U_{dtest} kertoi häiriöjännitteen suuntaa-antavan arvon katkaisijayksikön ollessa auki-asennossa. Tarkka arvo saatiin laskemalla se arvoista U_{min} ja U_{max} .

400 kV vikatilanteen maadoitusjännite U_E lasketaan seuraavasti:

U_E	-	Maadoitusjännite
$U_{E\ test}$	-	Maadoitusjännite testin aikana
$I_{k1\ 400kV}$	-	Suurin 1-vaiheinen oikosulkuvirta

$I_{\Sigma N}$	-	Muuntajan nollavirta
r_E	-	Ukkosköysien redusointikerroin
I_{test}	-	Testivirta
$r_{E\ test}$	-	Ukkosköysien redusointikerroin testiolosuhteissa

$$U_E = U_{E\ test} \frac{(I_{k1\ 400kV} - I_{\Sigma N}) \times r_E}{I_{test} \times r_{E\ test}}$$

Maadoitusjännitteen mittaukset suoritettiin generaattorin syöttäessä mitattavaa voimalinjaa. Ne tehtiin mittaamalla yleismittarilla jännitettä referenssipisteen ja haluttujen pisteiden välillä. Mitattavia pisteitä oli yhteensä 17, joista kuusi oli voimalaitosalueen sisäpuolella.

Mittauksia tehtiin voimalaitosalueella sekä enimmillään 2300 metrin päässä referenssipisteestä. Mittauksessa käytettiin apuna kahta 1000 metrin ja yhtä 300 metrin mittajohtimen jatkokelaa. Mittajohtimen yhdistäminen maahan suoritettiin siihen tarkoitettulla maapiikillä.

Mitattava maaperä koostui voimalaitos- ja paikoitusalueella karkeasta murskepinnasta. Kauimmaisat alueet sijaitsivat kosteassa metsässä. Alue sijaitsi meren välittömässä läheisyydessä ja etäisyys rantaan oli suurimmillaan noin 200 metriä.

Korkein mitattu maadoitusjännite U_{Etest} oli testivirralla 7,43 voltia 2100 metrin etäisyydellä referenssipisteestä. Voimalaitosalueella maadoitusjännite oli alle 1,00 voltia.

Korkein maadoitusjännitteen U_E arvo 400 kV:n vikatilanteessa:

$$U_E = 7,43\ V \frac{(20\ 000\ A - 4500\ A) \times 0,3}{99,7\ A \times 0,3}$$

$$U_E = 1155,11 \dots V \rightarrow U_E \approx 1155\ V$$

Suurin tutkittu maadoitusjännite vikatilanteessa on 1155 voltia. Tämä arvo on pienempi kuin kaksinkertainen suurin sallittu kosketusjännite ($2 \times 590 \text{ V} = 1180 \text{ V}$). Tällöin voidaan suoraan katsoa kosketusjännitevaatimusten täyttyneen ja laitteiston täyttävän tältä osin standardin edellyttämät vaatimukset. (SFS 6001 2015, 95.) Laitteistolle tehtiin kuitenkin myös erilliset kosketusjännitemittaukset.

7.4.2 Kosketusjännite

Kosketusjännite U_t merkitsee johtavan osan ja ympäröivän maan välisestä potentiaalieroa. Se voi tarkoittaa myös kosketusta kahden samanaikaisesti kosketeltavissaolevan osan välillä. (SFS 6001, 22.) Kosketusjännite mitattiin generaattorin syöttäessä mitattavaa voimalinjaa, kohteen ja yhden metrin etäisyydellä olevan maapiikin väliltä. Tämä simuloi tilannetta, jossa henkilö koskettaa kädellään jännitteistä kohdetta ja seisoo jalat maata vasten.

Käytetyn yleismittarin ominaisresistanssi oli noin $10 \text{ M}\Omega$, jolloin saatu arvo oli niin sanottu prospektiivinen kosketusjännite. Tämän lisäksi suoritettiin mittaukset myös käyttämällä sarjaan asennettua $1 \text{ k}\Omega$ lisäresistanssia, joka simuloi ihmiskehoon kohdistuvaa todellista kosketusjännitettä paremmin. Tätä arvoa kutsutaan teholliseksi kosketusjännitteeksi. (SFS 6001, 22.)

Lisäresistanssia ei voida kuitenkaan käyttää arvioitaessa vaatimustenmukaisuutta. Todellisuudessa siis henkilöön kohdistuva kosketusjännite kosketustilanteessa on huomattavasti virallisia arvoja pienempi. Järjestelmän turvallisuutta arvioitaessa käytetään kuitenkin korkeinta mitattua kosketusjännitettä.

400 kV vikatilanteen kosketusjännite U_T lasketaan seuraavasti:

U_T	-	Kosketusjännite
$U_{T \text{ test}}$	-	Kosketusjännite testin aikana
$I_{k1 \text{ 400Kv}}$	-	Suurin 1-vaiheinen oikosulkuvirta
$I_{\Sigma N}$	-	Muuntajan nollavirta
r_E	-	Ukkosköysien redusointikerroin

I_{test}	-	Testivirta
$r_{E test}$	-	Ukkosköösyien redusointikerroin testiolosuhteissa

$$U_T = U_{T test} \frac{(I_{k1 400kV} - I_{\Sigma N}) \times r_E}{I_{test} \times r_{E test}}$$

Mittauksia suoritettiin 36:sta eri kohteesta voimalaitosalueella. Suurin osa mitatuista kohteista oli yhdistetty suoraan voimalaitosalueen maadoitusverkkoon, joka on toteutettu 95 mm² kupariköydellä muodostaen 10 m × 10 m -verkon maaperässä.

Suurin mitattu kosketusjännite saatiin voimalaitosalueella sijaitsevasta työmaaikaisen parakkirakennuksen metallisesta porrarakenteesta, jota oli liitetty työaikaiseen maadoitusverkkoon. Saatu mittaustulos oli 0,89 voltia.

Korkein kosketusjännitteen U_T arvo 400 kV:n vikatilanteessa (väliaikaisen työmaaparakin portaat):

$$U_T = 0,89 V \frac{(20\,000 A - 4500 A) \times 0,3}{99,7 A \times 0,3}$$

$$U_T = 138,36 \dots V \rightarrow U_T \approx 138 V$$

Suurin tutkittu kosketusjännite voimalaitosalueella vikatilanteessa on 138 voltia. Tämä on arvoltaan pienempi kuin suurin sallittu kosketusjännite (590 V). Täten järjestelmä täyttää sitä koskevien standardien vaatimukset.

7.4.3 Potentialierot

Maasulkutilanteessa vikavirta jakaantuu kulkemaan sekä maadoitusverkon että itse maaperän kautta muuntajan tähtipisteeseen. Koska maadoitusverkko toimii impedanssin tavoin, siinä on sisäistä jännitehäviötä, joka voidaan havaita mittaamalla eri puolilla maadoitusverkkoa.

400 kV vikatilanteen potentialiero U_P lasketaan seuraavasti:

U_P	-	Potentiaaliero
$U_{P \text{ test}}$	-	Potentiaaliero testin aikana
$I_{k1 \text{ 400kV}}$	-	Suurin 1-vaiheinen oikosulkuvirta
$I_{\Sigma N}$	-	Muuntajan nollavirta
r_E	-	Ukkosköysien redusointikerroin
I_{test}	-	Testivirta
$r_{E \text{ test}}$	-	Ukkosköysien redusointikerroin testiolosuhteissa

$$U_P = U_{P \text{ test}} \frac{(I_{k1 \text{ 400kV}} - I_{\Sigma N}) \times r_E}{I_{\text{test}} \times r_{E \text{ test}}}$$

Potentiaalieromittauksia suoritettiin yleismittarilla 31:stä kohteesta eri puolilla voimalaitosaluetta, jotka oli kytketty voimalaitosalueen maadoitusverkkoon. Näistä osa oli maadoitettuja sähkölaitteita ja osa maadoitusverkkoon kytkettyjä johtavia rakenteita. Referenssipisteenä toimi voimalaitoksen 400 kV:n kytkinkentän maadoitettu runko.

Korkein mitattu arvo saatiin voimalaitosaluetta kiertävästä ulommasta metallisesta verkkoaidasta, joka on kytketty maadoitusverkkoon määrävälein. Saatu mittaustulos oli 0,92 voltia.

Korkein potentiaaliero U_P arvo 400 kV:n vikatilanteessa (voimalaitoksen ulompi aita):

$$U_P = 0,92 \text{ V} \frac{(20\,000 \text{ A} - 4\,500 \text{ A}) \times 0,3}{99,7 \text{ A} \times 0,3}$$

$$U_P = 143,02 \dots \text{ V} \rightarrow U_P \approx 143 \text{ V}$$

Potentiaalierot voimalaitosalueella pysyivät erittäin maltillisina perusteellisesti toteutetun laajan maadoitusjärjestelmän ansiosta. Suurin potentiaaliero referenssipisteseen nähden on vain noin neljäsosa sallitusta kosketusjännitteestä. Potentiaalintausuksen voitiin todeta olevan erinomaisesti toteutettu.

7.4.4 Siirtyneet potentiaalit

Vikatilanteessa maavirta aiheuttaa koko maadoitusjärjestelmään potentiaalinnousun. Tämä taas aiheuttaa kosketusjännite-tyyppisen potentiaalieron maadoitettuihin osiin tai rakenteisiin (SFS 6001 2015, 23). Kosketusjännitemittauksia suoritettiin voimalaitosalueen ulkopuolisista johtavista osista yleismittarin sekä maapiikin avulla ilman lisäresistanssia. Lisäksi tehtiin mittauksia lisäresistanssilla.

400 kV vikatilanteen siirtyneen potentiaalın kosketusjännite U_{T2} lasketaan seuraavasti:

U_{T2}	-	Kosketusjännite siirtyneestä potentiaalista
$U_{T2 \text{ test}}$	-	Kosketusjännite siirtyneestä potentiaalista testin aikana
$I_{k1 \text{ 400kV}}$	-	Suurin 1-vaiheinen oikosulkuvirta
$I_{\Sigma N}$	-	Muuntajan nollavirta
r_E	-	Ukkosköysien redusointikerroin
I_{test}	-	Testivirta
$r_{E \text{ test}}$	-	Ukkosköysien redusointikerroin testiolosuhteissa

$$U_{T2} = U_{T2 \text{ test}} \frac{(I_{k1 \text{ 400kV}} - I_{\Sigma N}) \times r_E}{I_{\text{test}} \times r_{E \text{ test}}}$$

Mittauksia tehtiin voimalaitosalueen ulkopuolella 14 eri kohteessa. Niitä suoritettiin laitosaluetta ympäröivän ulomman aidan läheisyydestä sekä noin 300 metrin päässä olevalla paikoitusalueella. Mitatut jännitteet pysyivät maltillisella tasolla alueen laajan potentiaalintasausjärjestelmän ansiosta.

Suurin mitattu siirtyneen potentiaalın kosketusjännite saatiin voimalaitosalueen ulkopuolella sijaitsevasta rakennusaikaisesta valaisinpylvästä, jota ei oltu liitetty suoraan laitosalueen lopulliseen maadoitusverkkoon. Saatu mittaustulos oli 1,40 voltia.

Korkein siirtyneen potentiaalın aiheuttama kosketusjännitteen U_{T2} arvo 400 kV:n vikatilanteessa (työmaa-aikainen valaisinpylväs):

$$U_{T2} = 1,40 V \frac{(20\,000 A - 4500 A) \times 0,3}{99,7 A \times 0,3}$$

$$U_{T2} = 217,65 \dots V \rightarrow U_{T2} \approx 218 V$$

Voimalaitosalueen kosketusjännitevaatimuksen lisäksi oli tutkittava mahdolliset siirtyvien potentiaalien aiheuttamat kosketusjännitteet laitosalueen ulkopuolella. Myös nämä kosketusjännitteet pysyvät maltillisina korkeimman arvon ollessa noin kolmannes korkeimmasta sallitusta kosketusjännitteestä. Laitteisto täyttää tällöin sitä koskevien standardien vaatimukset tältäkin osin.

7.4.5 Maadoituspiirin impedanssi

Tutkittaessa testipiirin impedanssia, vaikuttavat siihen syötettävä jännite sekä piirissä kulkeva virta. Impedanssi saadaan seuraavasti:

$$Z_{test} = \frac{U_{test}}{I_{test}}$$

$$Z_{test} = \frac{392,1 V}{99,7 A}$$

$$Z_{test} = 3,93 \dots \Omega \rightarrow Z_{test} \approx 3,9 \Omega$$

Maadoituspiirin kokonaistehohäviö:

$$P_{test} = U_{test} \times I_{test}$$

$$P_{test} = 392,1 V \times 99,7 A$$

$$P_{test} = 39\,092,37 W \rightarrow P_{test} \approx 40\,000 W \rightarrow P_{test} \approx 40 kW$$

Maadoituspiirin resistanssi:

$$R' = 0,070 \Omega / km$$

$$R = 0,070 \frac{\Omega}{km} \times 9,2 km$$

$$R = 0,644 \dots \Omega \rightarrow R \approx 0,6 \Omega$$

Maadoituspiirin resistanssin aiheuttama tehohäviö:

$$R = \frac{U_R}{I_{test}} \rightarrow U_R = R \times I_{test}$$

$$U_{R\ test} = 0,644 \dots \Omega \times 99,7\ A$$

$$U_{R\ test} = 64,206 \dots V$$

$$P_{R\ test} = U_R \times I_{test} \rightarrow P_{R\ test} = 64,206 \dots V \times 99,7\ A$$

$$P_{R\ test} = 6401,41\ W \rightarrow P_{R\ test} \approx 6400\ W \rightarrow P_{R\ test} \approx 6,4\ kW$$

Maadoituspiirin reaktanssi:

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} \rightarrow X = \sqrt{Z^2 - R^2}$$

$$X = 3,876 \dots \Omega \rightarrow X \approx 3,9\ \Omega$$

Tarkasteltaessa testipiirissä virran kulkua vastustavaa impedanssia, koostui se enimmäkseen reaktanssista. Resistanssin osuus impedanssista aiheutti vain 6,4 kW tehohäviön. Resistanssin aiheuttama tehohäviö oli täten alle kuudesosa 40 kW kokonaistehohäviöstä.

8 YHTEENVETO

Tässä työssä tutkittiin 400 kV:n voimalinjan maadoituksen vaatimustenmukaisuutta sekä mittaustyötä projektina. Voimalinajalle tehtiin maadoituksia koskevia mittauksia ja tehtiin niiden pohjalta suoritettiin laskelmat todellisen vikatilanteen virta-arvoilla. Saadut tulokset osoittautuivat erinomaisiksi. Esimerkkilaitteisto täyttää selvästi standardin vaatimukset, jotka koskevat kyseisen tyyppistä suurjännitelaitteistoa. Mittaukset tehtiin erittäin kattavasti ja esimerkiksi potentiaalieromittauksia tehtiin myös tutkitun voimalaitoksen vieressä sijaitsevien voimalaitosten rakenteista. Mittauksia tehtiin kaikista rakenteista ja laitteista riippumatta siitä, olivatko ne lopullisia vai väliaikaisia. Näin saadut suurimmat arvot huomioitiin ja verrattiin niitä sallittuihin arvoihin.

Maadoitusjännitemittauksissa jo selvisi, että laitteisto on kosketusjännitemittauksien osalta vaatimusten mukainen. Maadoitusjännitemittauksissa saatu korkein arvo alit-

taa kaksinkertaisen suurimman sallitun kosketusjännitteen. Tämä kertoo, että voimalaitosalueen potentiaalintasaus on toteutettu kattavasti ja se ehkäisee täten merkittävästi kosketusjännitteenomaisia potentiaalieroja.

Tämän lisäksi laitosalueella suoritettiin myös erilliset kosketusjännitemittaukset. Korkein havaittu arvo oli vikatilanteessa 138 volttia, joka on 23 prosenttia sallitusta arvosta (590 V). Arvo saatiin väliaikaisesta rakenteesta, jolloin lopullisista rakenteista mitatut arvot olivat vielä matalampia, alle 100 volttia.

Potentiaalieroja koskien korkein havaittu vikatilanteen arvo oli 143 volttia. Tätä voidaan pitää erittäin hyvänä arvona. Etäisyys referenssipisteeseen on kymmeniä metrejä ja arvo on silti vain noin neljännes sallitusta kosketusjännitteestä.

Siirtyviä potentiaaleja tutkittiin myös laitosalueen ulkopuolelle kosketusjännitteen tavoin. Korkein havaittu vikatilanteen arvo oli 218 volttia ja se saatiin työmaaikaisesta valaisinylvästä. Tämä on 37 prosenttia suurimmasta sallitusta kosketusjännitteestä. Lopullisista rakenteista saadut arvot olivat kaikki alle 200 volttia.

Mittaustilanteessa saatiin paljon arvokasta tietoa maadoitusmittausten toteuttamisesta. Työskentelyn tehokkuutta on mahdollista parantaa varautumalla paremmin mahdollisiin haasteisiin. Lisäksi vuokrattuihin laitteistoihin on syytä tutustua etukäteen ja varmistaa niiden toiminta halutulla tavalla.

LÄHTEET

Atlas Copcon Finland:n www-sivut. Viitattu 24.12.2017.

<https://www.atlascopco.com/fi-fi/construction-equipment/products/Power-Generators/Mobile-Diesel-Generators-Rental-Applications>.

Empower Group:n www-sivut. Viitattu 23.02.2018.

<https://www.empower.eu/web/fi/konserni>.

Henkilönostojen turvallisuuden varmistaminen. 2003. Helsinki: Tapaturmavakuutus-
ten liitto, Sosiaali- ja terveystieteiden ministeriö/työsuojeluosasto.

Maadoituskirja. 2014. Espoo: Sähköinfo Oy.

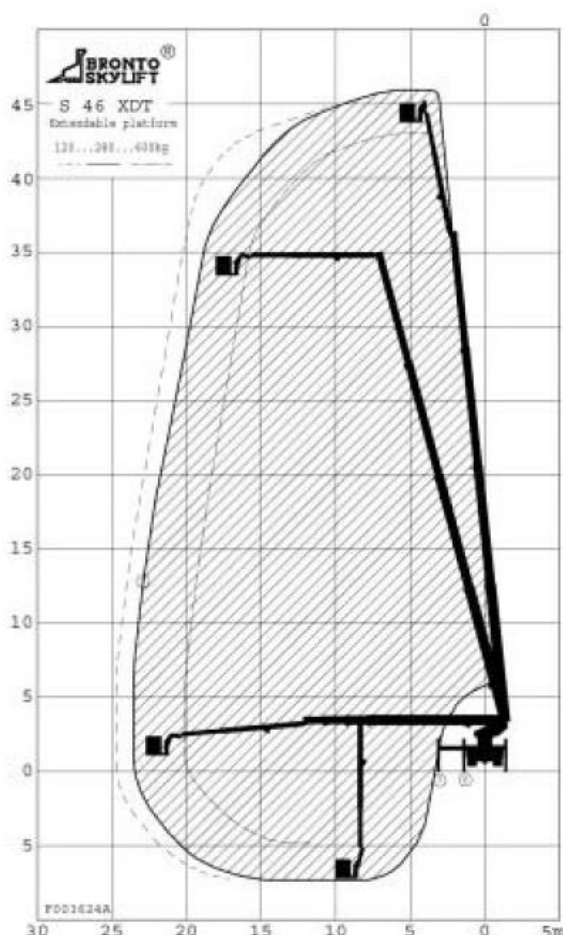
SFS 6001 Suurjänniteasennukset 2015. 2015. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto
SFS ry.

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

Työturvallisuusohje STO 2/2017. 2017. Helsinki: Työturvallisuuskeskus.



S 46 XDT



Ominaisuudet

Työkori

Leveä työkori, kääntövyyssektori ~180 astetta. Työkoriin voi tarvittaessa levittää 3,9 metriseksi, erillisellä lisälevitysosalla jopa 4,9 metriseksi. Maksimikorikuorma 700 kg.

Työkoriin saatavissa sähkö (230V/400V), vesi ja ilma (200 bar). Työkoriin käytettävä sähkö voidaan tuottaa auton omalla 6,5 kW:n generaattorilla.

Korissa työvalo ja radio. Ohjauskeskus vapaasti siirrettävissä.

Kuljettaja



Kuljettaja käyttää laitetta työkoriasta ja toimii asiakkaan apuna asennustöissä. Tarvittaessa laitetta voidaan käyttää myös alaohjauskeskuksesta, jolloin työkoriasta on sisäpuhelin-yhteys kuljettajaan.

Elektroninen ulottumanvalvontajärjestelmä

Laitte on tuettavissa työskentelykohteen tilan ja ulottuman tarpeen mukaan, joten tukijalat eivät vie tarpeetonta tilaa ahtaissa paikoissa esim. jalkakäytävillä.

Sähkökäyttö

Laitetta on mahdollista käyttää myös sähköllä, jolloin melua ja pakokaasuja ei pääse syntymään. Laitetta voidaan käyttää turvallisesti myös sisätiloissa.

Silent pack

Nostimen erillinen käyttömootori, joka on erittäin hiljainen, vähäpäästöinen ja toimintavarma.

Teleskooppikorivarsi

Korivarren pituus säädettävissä työtilanteen vaatimalla tavalla.

Tekninen erittely

Työskentelykorkeus	46,0 m	Kuljetusleveys	2,5 m
Lavapohjan korkeus	44,0 m	Tuentalleveys/-pituus	
Suurin sivu-ulottuma		-Normaali	6,6 m / 6,9 m
-Kapea kori	18 m 23 m 26 m	-Kapea	3,4 m / 6,9 m
Korikuorma	700 kg 360 kg 120 kg	-Toispuolinen	5,1 m / 6,9 m
-Leveä kori	18 m 23 m 24,5 m	Työkoriin mitat	
Korikuorma	600 kg 280 kg 120 kg	-Kapea kori	2,4(L) x 1,0(S) x 1,1(K)m
Kääntökehän pyöritys	± 280 astetta	-Leveä kori	2,4-3,9(L) x 1,0(S) x 1,1(K)m
Kuljetuskorkeus	3,75 m	Kokonaispaino	20500 kg
Kuljetuspituus	10,5 m	Max. pistekuorma	~15000 kg (150 kN)

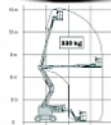
Janneniska Oy
Y-tunnus 1067505-2

Tiilipojanlenkki 1, PL 123
01721 VANTAA

Puhelin (09) 8553 8553
Telefax (09) 8553 8550

www.janneniska.com

| JLG 450AJ



 Recommend

Koneiden dimensiot ja painot voivat vaihdella vuosimallista riippuen. Tarkistathan ne tarvittaessa tilauksen yhteydessä.

pekkaniska.com

KYSY LISÄTIETOJA CHATISSA

Lavakorkeus: 13.70m

Lavakoko: 1,83m x 0,76m

Paino: 7100kg

Nostokyky: 230kg

Kuljetuspituus: 6,53m

Kuljetusleveys: 2,08m

Kuljetuskorkeus: 2,30m

Käyttövoima: Diesel

Sisärenkaat: Ei

Ulkorenkaat: Kyllä

Neliveto: Kyllä

Max. alustan kaltevuus: 4.0°

Mäennousukyky: 45.00%

Ota Yhteyttä