

Joel Kari

KESKIJÄNNITEVERKON SYÖTTÄMINEN  
VARAVOIMAKONEELLA

Sähkötekniikan koulutusohjelma  
2015

## KESKIJÄNNITEVERKON SYÖTTÄMINEN VARAVOIMAKONEELLA

Kari, Joel  
Satakunnan ammattikorkeakoulu  
Sähkötekniikan koulutusohjelma  
Marraskuu 2015  
Ohjaaja: Pulkkinen, Petteri  
Sivumäärä: 39  
Liitteitä: -

Asiasanat: oikosulkuvirta, maasulku, jännite, varavoimakone

---

Opinnäytetyön tarkoituksena oli kokeilla, kuinka hyvin Pori Energia Sähköverkot Oy:n varavoimakone soveltuu keskijänniteverkon syöttämiseen (20 kV). Varavoimakone itsessään tuottaa 400 V mutta työssä käytettiin erillistä muuntajaa, jotta saatiin jännite muunnettua 20 kV. Soveltuvuus testattiin mittaamalla Korkeakoskentiellä kolmen eri muuntajan jännitteet ja oikosulkuvirrat ja myös jokaisen muuntajan kauimmaisesta käyttöpaikasta jännite ja oikosulkuvirta. Sijainti valittiin heikon verkon perusteella. Kytettiin myös viimeiselle muuntajalle ja saman muuntajan kauimmaiseen käyttöpaikkaan analysaattori, joka tekee mittauksia sähkönlaadusta koko testauksen ajan. Samalla testattiin myös miten hyvin varavoimakoneen suojaukset toimivat jos tapahtuu yksi-vaiheinen maasulku.

Jännitteiden mittauksilla saatiin selville, miten hyvin varavoimakoneen tuottama sähkö kestää pitkiä matkoja niin, että jännite pysyy mittauksissa sähkömarkkinalain (588/2013) pykälän 97 määrittämän keskiarvon (+-10 %) arvoissa. Oikosulkuvirran mittauksien avulla saatiin selvitettyksi, toimivatko suojauskomponentit tarpeeksi nopeasti vikatilanteissa sulakkeen koon sallitun laukaisuajan mukaisesti. Nämä mittaukset tehtiin jokaisen muuntajan kauimmaisista käyttöpaikoista siksi, että saatiin varmuus siitä, että sähkön laatu ei heikkene liikaa siirtoetäisyyksien takia. Varavoimakoneelle suoritettiin myös maasulkukoe, jotta saatiin selville toimiiko varavoimakoneen maasulkusuojaus tilanteessa, jossa esimerkiksi puu kaatuu linjalle.

## USING RESERVE POWER UNIT TO SUPPLY MEDIUM VOLTAGE DISTRIBUTION NETWORK

Kari, Joel

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Electrical Engineering

November 2015

Supervisor: Pulkkinen, Petteri

Number of pages: 39

Appendices: -

Keywords: voltage, short-circuit current, earth fault, reserve power unit

---

The purpose of this thesis was to test, can reserve power unit be used to supply medium voltage 20 kV distribution network. Reserve power unit generates 400 V but using 0,4 kV / 20 kV transformer between distribution network and reserve power unit, it is possible for reserve power unit to supply medium voltage 20 kV distribution network. We executed this test at Korkeakoskentie because distribution network there was in weak condition. There was three different 20 kV / 0,4 kV transformers in Korkeakoskentie and we measured voltages and short-circuit currents from each of those transformers and from one customer per transformer, chosen which had the longest distance to supplying transformer. We measured voltages and short-circuit currents two times, first in normal state and then in state where reserve power unit supplies those three transformers. There was also two analyzers inserted, one in the transformer which was the most far away from reserve power unit and another one in that same transformers customers switchboard, which was the most far away from the transformer. We also executed one-phase earth fault test to prove that it is also safe to use reserve power unit.

To prove how well reserve power unit supplies 20 kV distribution network, we needed to measure one-phase voltages (230 V), because according to standards, voltage is not allowed to drop or raise more than 10 %. Short-circuit currents were also measured, because short-circuit current needs to be high enough to cause fuses to blow as fast as standards requires. Earth fault was also tested, because we needed to be sure that leakage protection works properly if there is earth fault in distribution network.

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	5
2	PORI ENERGIA SÄHKÖVERKOT OY .....	6
3	SÄHKÖNJAKELUVERKKO .....	7
3.1	Kantaverkko.....	7
3.2	Keskijänniteverkko (KJ-verkko).....	7
3.3	Pienjänniteverkko (PJ-verkko) .....	8
3.4	Kytkinlaitteet .....	9
4	KYTKENTÖJEN SUUNNITTELU .....	10
4.1	Trimble DMS.....	11
4.2	400 V:n kytkentöjen suunnittelu .....	12
4.3	20 kV:n kytkentöjen suunnittelu .....	12
4.4	110 kV:n kytkentöjen suunnittelu .....	13
4.4.1	Kytchentäpäätös .....	14
4.4.2	Turvallisuusilmoitus .....	14
5	VARAVOIMAKONE .....	15
5.1	Turvallisuus .....	16
5.2	Kytkenät .....	17
6	MITTAUKSET .....	21
6.1	Analysaattori.....	22
6.2	Jännitteen mittaaminen.....	24
6.3	Oikosulkuvirtojen mittaaminen .....	25
6.4	Maasulkukoe.....	26
6.4.1	Kosketusjännite .....	27
7	TULOKSET JA HAVAINNOT.....	28
7.1	Mittaustulokset .....	28
7.1.1	Taulukot .....	29
7.1.2	Pylväsdiagrammit .....	30
7.1.3	Jännitteiden havainnot .....	36
7.1.4	Oikosulkuvirtojen havainnot .....	36
8	YHTEENVETO .....	38
	LÄHTEET .....	39

## 1 JOHDANTO

Pidemmän aikaa on sähkönjakelu ollut jo siinä pisteessä, että ihmiset luottavat sähkön virheettömään jakeluun. Sähkökatkokset huomataan kotitalouksissa nopeasti ja tietenkin myös tehtaissa ja kaupoissa, ja seuraava askel onkin sähköjen palautus. Voituulla tilanteita, joissa sähköjen palauttaminen ei käykään helposti, ja tästä syystä kokeiltiin varavoimakonetta keskijänniteverkon (20 kV) syöttämiseen jotta saadaan useampi vaihtoehto sähköjen palauttamiseksi asiakkaille. Pelkästään ei riitä, että kytketään varavoimakone verkkoon ja saadaan asiakkaille sähköä, vaan on varmistettava, täyttääkö varavoimakoneen tuottama sähkö sähkömarkkinalain (588/2013) pykälän 97 sähkönlaadun vaatimukset ja onko varavoimakoneen käyttö sähkön syöttämiseen turvallista. On tärkeää huomata, kun puhutaan sähköstä, että turvallisuustekijöiden on oltava kunnossa. Sähkönjakelun on oltava myös turvallista.

Opinnäytetyöni aiheena on keskijänniteverkon (20 kV) syöttäminen varavoimakoneella. Työ tehtiin Pori Energia Sähköverkot Oy:lle. Tämän työn tarkoituksena on osoittaa mittauksin, että Pori Energia Sähköverkot Oy:n varavoimakone (1000 kVA) soveltuu erillisen 0,4 / 20 kV:n syöttömuuntajan (800 kVA) avulla keskijänniteverkon syöttämiseen sähkönlaadultaan ja turvallisuudeltaan. Työssä mitattiin Korkeakoskentiellä kolmen muuntajan jännitteet ja oikosulkuvirrat, ja tehtiin myös samat mittaukset jokaisen kolmen muuntajan kauimmaisista käyttöpaikoista. Kauimmaiselle muuntajalle ja sen kauimmaiseen käyttöpaikkaan kytkettiin myös analysaattorit havainnollistamaan sähkönlaatua. Lisäksi tehtiin myös maasulkukoe siten, että kytkettiin yksi vaihe (20 kV) maahan, jotta saatiin kokeiltua varavoimakoneen maasulkusuojauksen toiminta ja suojauksen toiminta-aika. Tavoitteena on, että maasulun sattuessa sähkötkytkeytyy pois vaaditussa ajassa.

## 2 PORI ENERGIA SÄHKÖVERKOT OY

Pori Energia Sähköverkot Oy vastaa sähkömarkkinalain mukaisesta sähköverkkoliiketoiminnasta. Sähkömarkkinalain eriyttämisvaatimuksen takia verkkoliiketoiminta piti erottaa Pori Energia Oy:stä niin, että 1.7.2006 perustettiin Pori Energia Sähköverkot Oy. Pori Energia Sähköverkot Oy on Pori Energia Oy:n 100-prosenttisesti omistama tytäryhtiö. Pori Energia Sähköverkot Oy:n toiminnan lähtökohtana on häiriöttömän ja laadukkaan sähkön tuottaminen asiakkailleen turvallisesti ja ympäristöystävällisesti ja vastaa yli 50 000 asiakkaan sähkön siirrosta ja jakelusta Porin alueella. Pori Energia Sähköverkot Oy:n palvelu kattaa sähköverkkoon liittymisen ja sähkön siirron asiakkaille sekä sähköverkon ylläpidon. Pori Energia Sähköverkot Oy:llä on sähköverkkoa yhteensä 3100 kilometriä. (Pori Energia 2015.)

Vuonna 2014 Pori Energia Sähköverkot Oy:n sähkön kokonaissiirto 1,3 terawattituntia (TWh) ja samana vuonna Pori Energia Sähköverkot Oy:n liikevaihto oli 23,5 miljoonaa euroa. Pori Energia Sähköverkot Oy:llä on Porin alueella muuntamoita 980 kappaletta sekä 13 sähköasemaa. (Pori Energia 2015.)

Pori Energia Sähköverkot Oy:llä on ollut käytössä 1.9.2015 lähtien käyttökeskus, joka toimii myös vikapalveluna. Käyttökeskus valvoo sähköverkon toimintavarmuutta ja reagoi nopeasti vikatilanteisiin. Käyttökeskus laatii suunnitelmat sähköverkon huoltotöihin siten, että asiakkaat eivät jäisi ilman sähköä. Jos asiakkaita jää ilman sähköä huoltotöiden takia, käyttökeskus huolehtii siitä, että kyseisille asiakkaille tulee tieto asiasta. Periaatteena on, että katkoilmoitus menee postitukseen viikkoa ennen katkon ajankohtaa. Pori Energia Sähköverkot Oy:n sähköverkko on valvottuna ympäri vuorokauden ja asiakkaiden vikailmoituksiin vastataan myös ympäri vuorokauden.

### 3 SÄHKÖNJAKELUVERKKO

Suomen voimajärjestelmä muodostuu voimalaitoksista, kantaverkosta, alueverkoista, jakeluverkoista sekä sähkönkuluttajista. Tämän lisäksi Venäjältä on Suomeen tasasähköyhteys, jolla nämä eri periaatteisiin perustuvat järjestelmät voidaan yhdistää. Myös yhteispohjoismainen järjestelmä on kytkettynä Keski-Eurooppaan tasavirtayhteyksin. Porin alueella Pori Energia Sähköverkot Oy vastaa sähkönsiirrosta yli 50 000 asiakkaalle, verkon kunnossapidosta sekä rakennuttamisesta. (Fingrid Oy 2015.)

#### 3.1 Kantaverkko

Kantaverkko on Suomessa sähkön siirron valtakunnallinen suurjänniteverkko. Sähköä tuottavat voimalaitokset on yhdistetty kantaverkkoon joko suoraan tai välillisesti. Kantaverkon tehtävänä on jakaa sähköä maan kaikkiin osiin. Kantaverkko muodostaa useita silmukoita, joten häiriö yhden verkon osuudella ei vaikuta laajempaan sähkön jakeluun. (Wikipedia 2015.)

Suomen kantaverkkoa hallinnoi valtionenemmistöinen yhtiö Fingrid. Se käyttää valtakunnallisessa sähkönsiirrossa 400, 220 ja 110 kilovoltin (kV) voimajohtoja. Kaapeleiden käyttö on vähäistä. Yli puolet siitä on 110 kV:n johtoa. (Wikipedia 2015.)

#### 3.2 Keskijänniteverkko (KJ-verkko)

Suuruudeltaan kymmenien tai satojen megawattien tehojen siirto on häviöiden takia vain siirtojännitteisillä (110 kV ja yli) johdoilla. Valtaosalle sähkönkäyttäjistä pienjänniteliityntä on sopivin laitteiden käyttöjännitteen kannalta. Siirto- ja pienjännitteen välille tarvitaan keskijänniteporras (puhekielessä usein suurjännite tai välijännite). Keskijännitteellä päästään halpoihin jakelumuuntajiin ja johtorakenteisiin. (Lakervi, 1996, 27.)

Keskijänniteverkkoa syöttävällä sähköasemalla muunnetaan suurempi (usein 110 kV) jännite 20 kV:n tasolle. Sähköasema toimii samalla verkon monipuolisena jakelukeskuksena, jossa sijaitsee mm. pääosa verkon suojaileisyyksistä. Sähköasemien katkaisijat ja kiskostoratkaisut tuovat mahdollisuuksia keskijännitesyöttöjen vaihtoiille. (Lakervi, 1996, 28.)

### 3.3 Pienjänniteverkko (PJ-verkko)

Erijännitteisiä verkkoja vertaillaessa keskenään on helppo löytää näissä varsin paljon samankaltaisuuksia. Sekä (20 kV tai 10 kV) keskijännite- että (0,4 kV) pienjänniteverkkoja on käytössä säteittäisenä. Näin siis verkoissa on tavallisesti yksi syöttöpiste. Keskijänniteverkossa syöttönä on yleensä 110/20 kV:n muuntoasema ja pienjänniteverkossa 20/0,4 kV:n jakelumuuntamo. Keskijänniteverkossa kuormat ovat jakelumuuntamoita tai keskijännitteellä toimivia kulutuslaitteita ja pienjänniteverkossa kuormana ovat pienjännitekulutuskojeet. (Lakervi, 1996, 61.)

Taajamassa pienjänniteverkko tulee tiheämmäksi. Vierekkäisten muuntopiirien verkot yltyvät lähelle toisiaan tai sijaitsevat jopa lomittain. Usein näiden muuntopiirien rajoilla on kiinteistöjä, jotka voisivat saada sähkönsä kummasta muuntopiiristä tahansa samoin kustannuksin. Tällaisilla alueilla eri muuntamoiden syöttämät pienjänniteverkot rakennetaan usein yhteen. Myös säteittäisten haarojen välisten yhdysjohtojen rakentaminen voi tällaisissa olosuhteissa tulla edulliseksi, sillä etäisyydet ovat pieniä ja kuormitustiheydet suuria. Sen sijaan silmukoitu käyttötapa on Suomessa kuitenkin harvinainen. Voidaan siis sanoa, että yhteen rakennetut verkot tuovat luotettavuutta, ja luotettavuuden lisäksi saattaa olla edullista rakentaa muuntamoiden välille niin siirtokykyisiä pienjänniteyhteyksiä, että naapurimuuntopiirin jakelu voidaan hoitaa myös esimerkiksi muuntamoiden huoltotöiden aikana. (Lakervi, 1996, 63.)



### 3.4 Kytkinlaitteet

Kytkinlaitteita ovat katkaisijat ja erottimet, jotka kiinnikettyinä johtavat kuormitusvirtaa ja auki -asennossa katkaisevat virtapiirin. Katkaisijoita käytetään virtapiirin avaamiseen ja sulkemiseen, oli sitten kyseessä normaali kuormitusvirta tai vikavirta, joka voi olla moninkertainen nimellisvirtaan verrattuna. Erottimilla saadaan puolestaan näkyvä todiste siitä, että virtapiirit ovat erotettuna toisistaan. (Fingrid 2015.)

Katkaisijat toimivat sekä käsin ohjauksella että automaattisesti. Normaalisti automaattisen toiminnan aiheuttaa vikatilanne verkossa, josta seuraa suojaruleistyksen antama laukaisukäsky katkaisijalle. (Fingrid 2015.)



Kuva 1. Tyypillinen verkossa esiintyvä erotin.

## 4 KYTKENTÖJEN SUUNNITTELU

Jokaisesta poikkeavasta sähköjakeluun liittyvässä toimenpiteestä tehdään Pori Energia Oy:ssä kytkentäohjelma. Prosessi lähtee siitä liikkeelle, että tilaaja (urakoitsija) tekee ohjelmaan nimeltä Sharepoint tilauksen, josta käy ilmi mitä toimenpiteitä sähköjakeluverkkoon tullaan tekemään (esimerkiksi tarvitaan jokin muuntaja sähköttömäksi), ajankohta kyseiselle työlle ja työn arvioitu kesto. Tämän jälkeen käytönsuunnittelijat hyväksyvät tilauksen ja suunnittelevat sähköjakeluverkkoon kytkentöjä siten, että asiakkaille ei tulisi sähkökatkoja, eli alkavat laatimaan kytkentäohjelmaa. Kytkentäohjelmassa ovat suunnitellut toimenpiteet siinä järjestyksessä missä ne tullaan tekemään ja samalla palautukseen liittyvät toimenpiteet sähköverkon saatamiseksi normaaliin tilaan. Kytkentäohjelmassa käy ilmi toimenpide, mihin toimenpide kohdistuu, missä tehdään, kuka tekee ja toteuttamisen ajankohta. Tässä suunnittelussa käytetään apuna ohjelmaa nimeltä Trimble DMS, josta nähdään sähköjakeluverkon ajankohtainen tilanne ja pystytään simuloimaan niin, että suunniteltaessa kytkentöjä nähdään, että kaikki menevät niin kuin on ajateltu. Kun kytkentäohjelma on tehty, se annetaan tarkastettavaksi toisille käytönsuunnittelijoille, jotka allekirjoittavat sen, että kytkentäohjelma on tarkistettu ja todettu toimivaksi. Jos jakeluverkkoon kohdistuva toimenpide aiheuttaa sähkökatkon asiakkaille, on käyttökeskuksessa oltava tieto katkosta viimeistään viikkoa aikaisemmin toimenpiteen ajankohtaa, koska tieto katkosta pitää saada postitukseen siten, että ilmoitus katkosta on viimeistään päivää ennen katkoa asiakkailta.

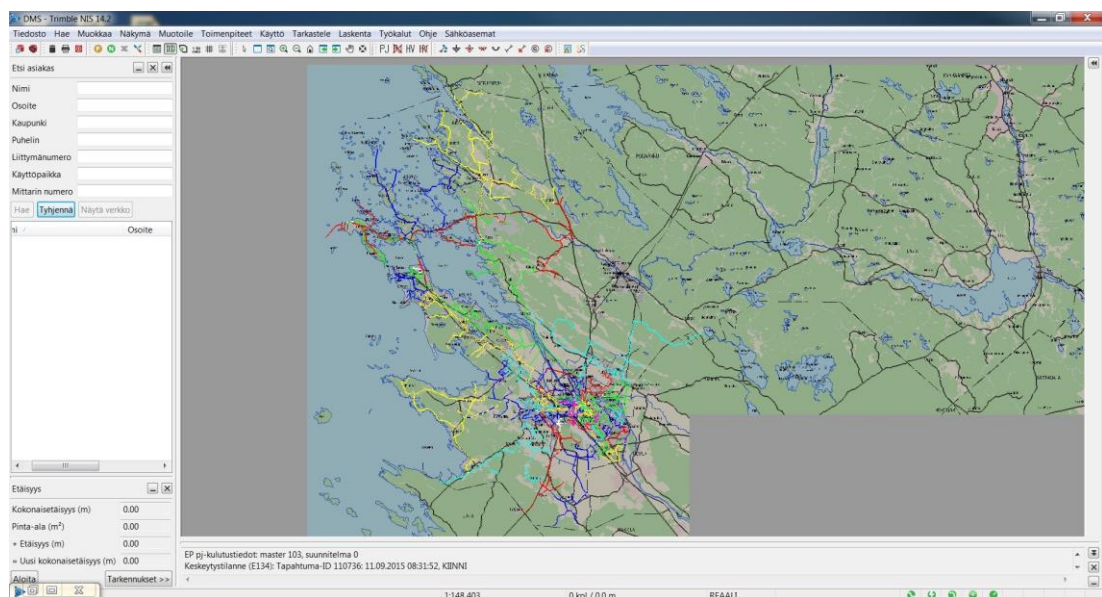
Asiakkaat on luokiteltu viiteen eri tärkeys-kategoriaan asteikolla 1-5. Kategoriaan 1 kuuluvat ne asiakkaat, joille riittää pelkkä ilmoitus tulevasta sähkökatkosta. Kategoriassa 5 on taas ne asiakkaat, joille sähkökatkot eivät käy lainkaan. Kategoriaan 2 kuuluvat ne asiakkaat, joilla on pientuotantoa. Kategoriaan 3 ja 4 kuuluvat ne asiakkaat, joiden kanssa katkot sovitellaan (kategoriasta riippuen kumpi on määräävä osapuoli). Trimble DMS:stä saadaan suunnittelun yhteydessä lista niistä asiakkaista ja niiden tärkeys-kategorioista, jotka jäävät ilman sähköä toimenpiteen aikana.

Tässä työssä Sharepoint -tilauksen teki ohjaajani Tero Isoviita Pori Energia Sähköverkot Oy:stä. Tilauksesta selviää toimenpiteen alkamisen aika ja arvioitu loppumi-

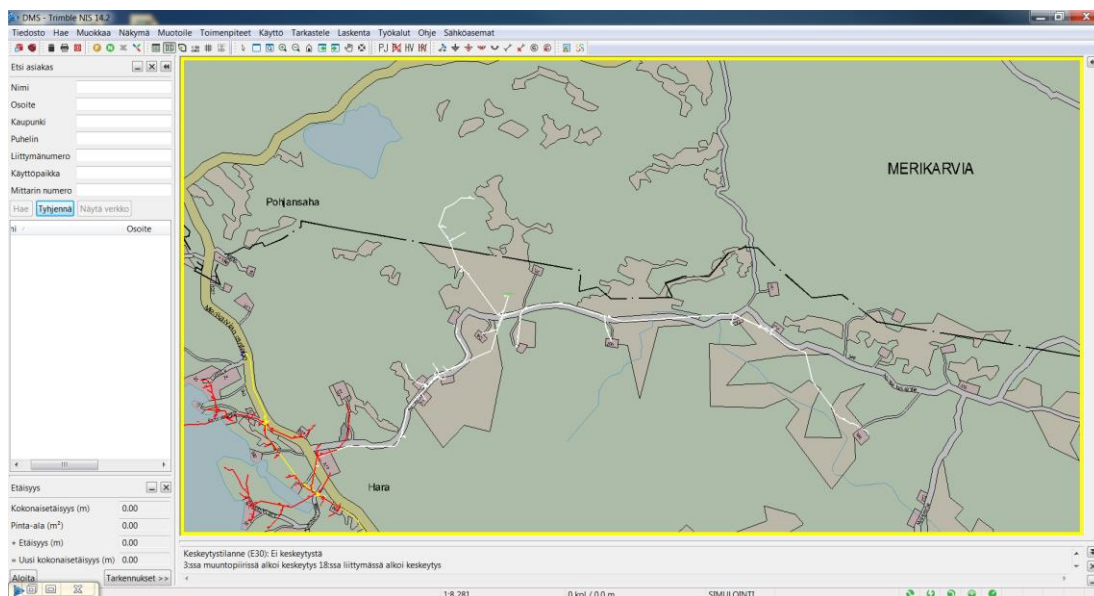
sen aika. KytKentäohjelmaan laadittiin mittaukset ja toimenpiteet siinä järjestyksessä kun ne tullaan tekemään. Samaan kytKentäohjelmaan myös kirjattiin henkilöt, jotka kyseiset mittaukset suorittavat. Trimble DMS:n avulla nähtiin se erotin, jolla saadaan sähköt pois Korkeakoskentieltä sekä missä se erotin sijaitsee.

#### 4.1 Trimble DMS

Trimble DMS on käytöntukijärjestelmä, jolla voidaan hallita jakeluverkossa tapahtuvia häiriötilanteita sekä voidaan suunnitella kytKentätöitä ja keskeytyksiä. Trimble DMS antaa työkalut automaatioon ja koko sähkönjakeluverkon kytKentätilanteen hallitsemiseen syöttöpisteistä älykkäille mittareille asti. Tällä käytöntukijärjestelmällä hallitaan sähkönjakelussa olevia vikatilanteita, suunniteltuja kytKentätöitä ja keskeytyksiä. Jakelunpalautus on tehokasta ja optimaalista, koska voidaan käyttää hyödyksi Trimble DMS:n tarjoavia ominaisuuksia laskennallisissa vikojen paikantamisessa ja monipuolisten vikailmoitusten hallinnassa. (Tekla 2015.)



Kuva 2. Trimble DMS:n yleisnäkymä Porin alueen 20 kV sähköverkosta.



Kuva 3. Trimble DMS:n näkymä korkeakoskentien sähkökatkosta. Keltainen kehys tarkoittaa simuloitua tilaa.

#### 4.2 400 V:n kytkentöjen suunnittelu

400 V:n kytkennöissä eli pienjänniteverkon kytkennöissä toimitaan yleisellä tavalla, eli urakoitsija tekee tilauksen Sharepoint -ohjelmaan, josta käytösuunnittelijat näkevät, että mitä tehdään, missä tehdään, milloin tehdään ja kuka tekee. Samassa tilauksessa on tietoa vaadittavasta toimenpiteestä. 400 V:n kytkentöjä tehdään yleensä kun esimerkiksi 20 kV:n kytkennöissä joudutaan tekemään muuntamo sähköttömäksi, jolloin on mahdollisuus kytkeä kyseisen muuntamon kuormat toisen muuntamon perään, eli työ suoritetaan jakokaappien sulakkeita irrottamalla ja kytkemällä. Tätä kutsutaan ”matalien kautta syöttämiseksi”. Näissä kytkennöissä tulee ottaa huomioon syöttävät sulakkeet, ja kestävätkö ne ylimääräisen kuorman (niin ettei sulake pala). Aina kuitenkin edellä mainittu toimenpide ei ole mahdollista, jos muuntamon kuormat ovat ns. ”saarekkeessa” eli ei ole kyseisiin käyttöpaikkoihin varayhteyttä.

#### 4.3 20 kV:n kytkentöjen suunnittelu

20 kV:n kytkennät alkavat samasta kohdasta kuin 400 V:n kytkennät eli Sharepoint -ohjelmaan tehdystä tilauksesta. 20 kV:n kytkennät koskevat yleensä huoltoja ja kunnossapitotöitä mutta kytkentöjä voidaan joutua tekemään vikatilanteiden sattuessa

esimerkiksi puun kaaduttua 20 kV:n linjalle tai sähköjohtojen rikkouduttua. 20 kV:n kytkennöissä on tarkoituksena ns. ”jakorajojen” siirtäminen. Jakorajalla tarkoitetaan sitä erotinta tai katkaisijaa verkossa mihin asti sähköasemalta tulee sähkö. 20 kV:n verkossa on sähköasemien kennoilla aina oma alueensa ja jakorajat ovat juuri niitä kohtia, joissa alueet yhdistyvät. 20 kV:n kytkennöissä voidaan joutua kytkemään sähköasemien kennoja yhteen, kuitenkin maksimissaan 2 eri lähtöä yhteen. Tällä toimenpiteellä vältetään sähkökatkoja jakorajojen siirtojen aikana. Vikatilanteen sattuessa sähköasemalta laukeaa sen kennon rele missä vika on. Jakorajoja siirtämällä saadaan jakeluverkon syöttöjä muutettua niin, että mahdollisimman vähän asiakkaita kärsii sähkökatkoista. Kaikissa sähköverkon ääripäissä ei kuitenkaan ole varasyöttömahdollisuutta, joten niissä paikoissa ei voida hyödyntää renkaaseen kytkemistä. Tätä opinnäytetyötä koskeva 20 kV:n verkko on sähköjakeluverkon häntäpäätä eli muuntajiin ei ole mahdollista toteuttaa varasyöttöä.

#### 4.4 110 kV:n kytkentöjen suunnittelu

110 kV:n kytkentöjen suunnittelu poikkeaa paljon 400 V:n tai 20 kV:n suunnittelusta. 20 kV:n ja 400 V:n kytkennöissä aloitettiin Sharepoint -tilauksesta, mutta 110 kV:n ohjelmissa on ennen Sharepoint -tilausta muutama toimenpide: kytkentäpäätös ja urakoitsijan täyttämä turvallisuusilmoitus. Kun kytkentäpäätös on tehty ja turvallisuusilmoitus on saatu, voivat käytönsuunnittelijat suunnitella kytkennät ja laatia kytkentäohjelman. Kytkentäohjelman tarkastaa Pori Energia Sähköverkot Oy:n käyttöpäällikkö. 110 kV:n verkossa on sähköasemia ja tehtaita, joten turvallisuusasioiden on oltava kunnossa. Virhetilanteista koituu pahimmillaan tuotantokatkos ja tätä myöten suuri kustannus teollisuusasiakkaille. 110 kV:n kytkennöissä ollaan mahdollisesti yhteydessä useampaan urakoitsijaan, teollisuuden edustajaan, verkkoyhtiöön sekä tarvittaessa Fingrid Oy:n käyttökeskukseen.

#### 4.4.1 KytKentäpääTös

110kV:n kytKentöjen suunnittelu poikkeaa paljon 400V:n tai 20kV:n suunnittelusta. Prosessi lähtee liikkeelle siitä, että Pori Energia Sähköverkot Oy:n käyttöpäällikkö Tero Isoviita laatii kytKentäpääTöksen josta käy ilmi, mitä aluetta keskeytys koskee, kytKentöjen alkamisaika sekä päättymisaika, keskeytyksen syy, kytKentään liittyviä ohjeita (miten kytKetään yms), kytKennän johtaja (Pori Energia Sähköverkot Oy:n käyttökeskus), kytKennän pyytäjä, kytkijät ja heidän yhteystietonsa, huomioitavia asioita (edellytykset yms), jakelussa mukana olevat yhtiöt (keitä kytKennät koskevat), vastuut (työstä vastaava, sähköturvallisuuden valvoja yms.) ja lopuksi päiväys ja kytKentäpääTöksen antaja.

#### 4.4.2 Turvallisuusilmoitus

Ennen kuin 110kV:n kytKentöjä aletaan suunnitella, on turvallisuusilmoitus oltava täytettynä ja toimitettuna urakoitsijan toimesta. Tässä lomakkeessa käy ilmi, missä työ tehdään (Sähköasema-alue, voimajohdolla tai voimalaitoksella), ajankohta, tarkennettu tieto työalueesta (missä), työn kuvaus, vaara-alue (vaarantaako rinnakkais-ten työryhmien työskentelyä), työn sisältämät vaaratekijät (purkutyö, nostotyö yms), työkohteen yhdyshenkilö (nimi, yritys ja puhelinnumero), turvallisuustoimenpiteet työalueella, työalueen erityiset vaaratekijät, onko rinnakkaisia työryhmiä, tarvitaanko sähköturvallisuusopastusta ja vielä lopuksi ilmoituksen laatijat.



## 5 VARAVOIMAKONE

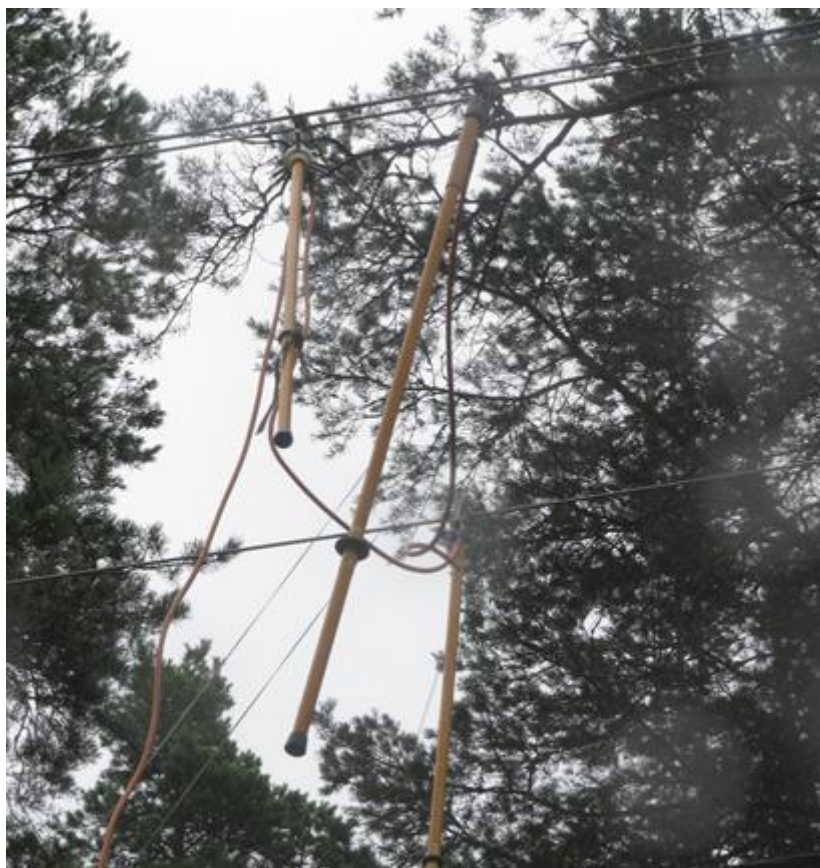
Tässä työssä käytettiin Pori Energia Sähköverkot Oy:n 1000 kVA:n varavoimakonetta (Cummins QST 30 G4). Sitä käytettiin keskijänniteverkon syöttämiseen siten, että kytkettiin 20 kV verkon ja varavoimakoneen väliin syöttömuuntaja joka muuntaa varavoimakoneen tuottaman 400 V:n jännitteen 20 kV:n jännitteeksi. Varavoimakoneen nimellisvirta on 1443 A ja varavoimakoneessa on 800 litran polttoainesäiliö. Varavoimakone ja kyseinen syöttömuuntaja kuljetettiin Korkeakoskentielle edeltävänä päivänä ennen työn ajankohtaa. Varavoimakoneen ja syöttömuuntajan kuljetuksesta vastasi erillinen sopimusyhtiö, joten kuljetuksiin piti tehdä erillinen tilaus. (Pori Energia Oy ohjeistus, 2015, 8.)



Kuva 4. Pori Energia Sähköverkot Oy:n 1000 kVA:n varavoimakone.

## 5.1 Turvallisuus

Varavoimakoneen käyttäminen edellyttää työturvallisuuden noudattamista ja sähkötoiden osalta SFS 6002:n määrittämiä varovaisuuksia sähköturvallisuuden kannalta. Varavoimakoneen suojalaitteina toimii suojarele ja generaattorikatkaisija ja tulipalon varalta varavoimakone on varustettu sammuttimella. Varavoimakoneen käyttäjä vastaa työturvallisuudesta ja siitä, että varavoimakonetta käytetään varavoimakoneen ohjeiden ja säädösten mukaisesti. Ennen kuin varavoimakonetta voitiin kytkeä verkkoon, katkaistiin sähköt ottamalla erotin auki, koska varavoimakone kytetään pääsääntöisesti jännitteettömään verkkoon ja tehtävä ensimmäinen katko asiakkaille, minkä jälkeen 20 kV:n sähköjohdot oli koestettava, että sähköjohdot tosiaan olivat jännitteettömiä. Tämän toimenpiteen jälkeen tehtiin työmaadoitukset 20 kV:n linjaan, jotta kytkennät on turvallista tehdä. Ennen varavoimakoneen käynnistämistä työmaadoitukset tuli ottaa pois, sillä muuten jännite menisi suoraan maadoituksiin päin. (Pori Energia Oy ohjeistus, 2015, 3-4.)



Kuva 5. Työmaadoitukset 20 kV:n linjassa.



## 5.2 Kytkenät

Varavoimakone on mahdollista kytkeä puistomuuntamon tai jakokaapin jonovaroketyktimeen, sähkökeskuksen tai kiinteistömuuntamo pienjännitekiskostoon, sähkökeskuksen sulakepohjaan, muuntajakoneen kannella pienjännitenapoihin tai pienjännitteiseen ilmajohtoverkkoon (AMKA tai avojohto). Tässä työssä varavoimakone kytkettiin keskijännitteiseen avojohtoverkkoon käyttäen syöttömuuntajaa jännitteen muuntamiseksi 400 V:stä 20 kV:ksi. Varavoimakoneesta olevista kaapelikeloista saatiin kaapelit syöttömuuntajan ja varavoimakoneen väliin. Syöttömuuntajan 20 kV:n kaapelit ovat jo valmiiksi kytkettynä syöttömuuntajalla (kuvassa punaiset kaapelit), joten 20 kV kaapelit kytkettiin vain jännitteettömään keskijännitteiseen avojohtoverkkoon. Syöttömuuntajan maadoitus kytkettiin vieressä olevan pylvään maadoituspisteeseen. (Pori Energia Oy ohjeistus, 2015, 6.)



Kuva 6. Syöttömuuntajan kytkenät 20 kV:n linjaan.



Kuva 7. 0,4 kV/20 kV:n Syöttömuuntaja.

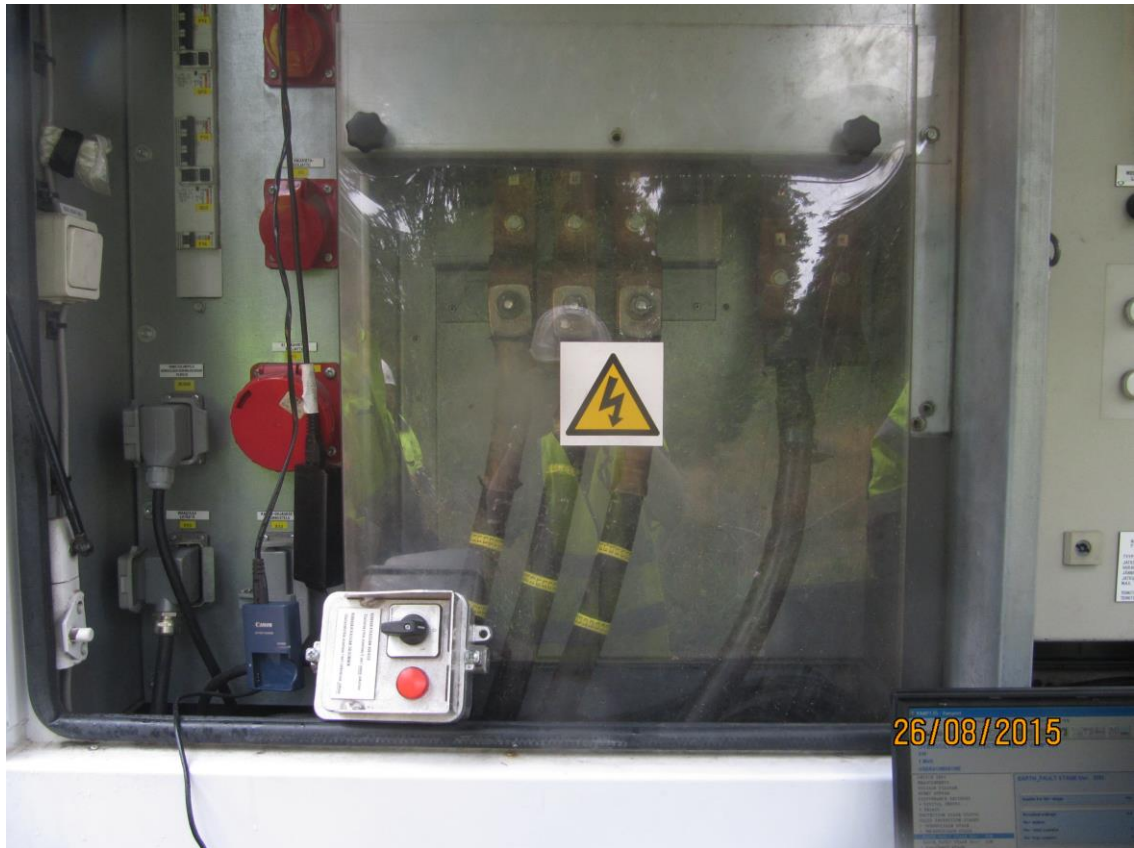


Kuva 8. Varavoimakoneen PJ-johtojen kaapelikelat.





Kuva 9. Syöttömuuntajan maadoituksen kytkentä pylvään maadoituspisteeseen.



Kuva 10. Varavoimakoneen PJ-johtojen kytkentä. Kuvassa myös vasemmalla maasulkusuojaukseen liittyvät liittimet.



Kuva 11. Syöttömuuntajan PJ-johdojen kytkentä. 20 kV:n johdot on syöttömuuntajalla valmiiksi jo kytketty.

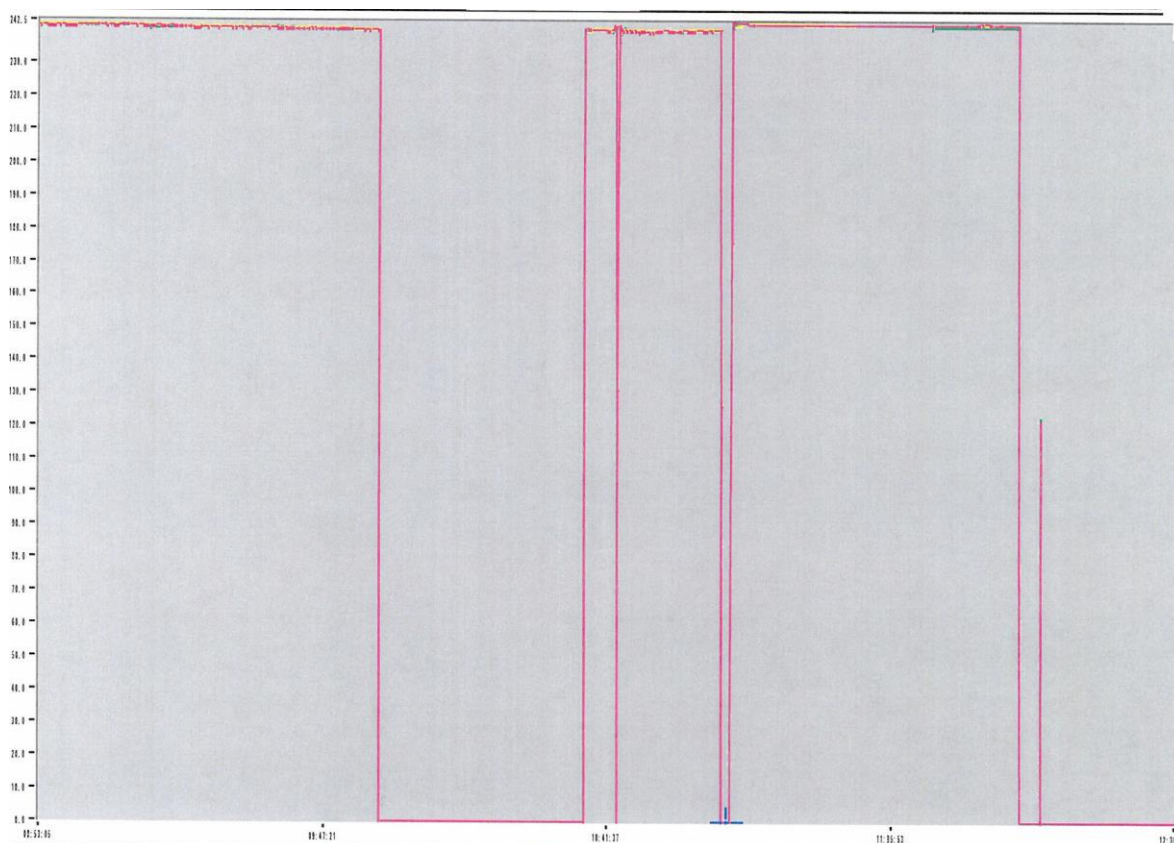
## 6 MITTAUKSET

Tässä työssä mittaukset toteutettiin sekä verkon normaalissa tilanteessa (varavoimakonetta ei ole kytketty) että varavoimakoneen syöttämässä verkossa. Mittaukset suoritettiin Porin alueen heikoimmista verkoista, koska näin saadaan ääripäät mitta-arvoille. Tässä työssä mitattiin jännitteet sekä oikosulkuvirrat kolmen eri muuntajan ja jokaisen muuntajan kauimmaisesta käyttöpaikasta, koska kauimmaisista käyttöpaikoista saadaan huippuarvot mitta-arvoihin, eli kyseessä olivat ne käyttöpaikat joissa siirtoetäisyys on suurin. Varavoimakoneesta katsottuna kauimmaisessa muuntajassa ja sen kauimmaisessa käyttöpaikassa käytettiin analysaattoria. Näiden mittausten lisäksi suoritettiin myös maasulkukoe, jossa kokeiltiin varavoimakoneen maasulkusuojauksen toiminta. Tarkoituksena oli osoittaa mittauksin, että varavoima-

konetta voidaan käyttää tarvittaessa keskijänniteverkon syöttämiseen. Sähköt katkaistiin avaamalla erotin.

## 6.1 Analysaattori

Tässä työssä käytettiin kahta analysaattoria sähkönlaadun tarkkailua varten. Molemmat analysaattorit olivat kytkettyinä varavoimakoneesta katsottuna kauimmaisessa muuntajassa sekä kyseisen muuntajan kauimmaisessa käyttöpaikassa. Analysaattorit olivat tyypiltään Chauvin Arnoux 8334. Kyseiset analysaattorit ovat kolmivaiheisia (L1, L2 ja L3), joten niillä pystyy tarkkailemaan halutessaan sekä pääjännitettä (kahden vaiheen välistä jännitettä) että vaihejännitettä (vaiheen ja nollan välistä jännitettä). Tässä työssä tarkasteltiin vaihejännitteitä. Sateisesta säästä johtuen muuntajalle kytketty analysaattori hajosi veden päästyä analysaattorin sisälle, joten sähkönlaatua esittävää kuvaa ei siitä analysaattorista saatu, mutta käyttöpaikalla oleva analysaattori toimi. Analysaattorista otettiin tähän opinnäytetyöhön jännitteen mittaukset koko toimenpiteen ajalta. (Arnoux, 2003, 4.)



Kuva 12. Jännitteen arvot koko toimenpiteen ajalta.

Kuvassa 12 nähdään analysaattorin mitaamat jännitteen arvot koko varavoimakoneen testauksen ajalta. Kuvasta näkee hyvin testauksessa tehdyt toimenpiteet, ensimmäisen suuremman katkon aikana kytkettiin varavoimakone 20 kV:n verkkoon. Tämän katkon jälkeen kytkettiin takaisin verkkoon sähköt mutta varavoimakonetta ei käynnistetty vielä, sillä piti päättää järjestys varavoimakoneen käynnistämiseksi (aiheutti nopean katkon). Varavoimakone käynnistettiin jännitteettömään verkkoon, joten ennen kuin varavoimakone käynnistettiin, jouduttiin aiheuttamaan asiakkaille pieni sähkökatko (näkyvyy kuvassa nopeana jännitekuoppana). Varavoimakoneen syöttämässä verkossa nähdään, kuinka jännitteen arvo on suurempi kuin verkon normaalissa tilassa. Kun varavoimakoneen syöttämässä verkossa oli mittaukset tehty, jouduttiin tekemään taas sähkökatko maasulkukoetta varten. Maasulkukokeessa laitettiin varavoimakone päälle (näkyvyy kuvassa piikkinä), mutta koska maasulkusuoja toimi hyvin nopeasti, mittarissa näkyvä piikki ei yltänyt jännitteen maksimitasolle, koska analysaattorissa oli määritetty mittausjaksoksi yksi sekunti.





Kuva 13. Kauimmaisen muuntajan kauimmaisen käyttöpaikan analysaattori.

## 6.2 Jännitteen mittaaminen

Jännitteen mittaamisella oli tässä työssä suuri merkitys. Näillä mittauksilla saadaan todistettua se, että jännitetason vaihtelut eivät ylitä  $\pm 10\%$ :n nimellisjännitteestä. Jännitteen alenemat ovat suoraan yhteydessä siihen, miten hyvin varavoimakone suoriutuu 20kV:n verkon syöttämisessä. Jännitteet mitattiin pienjännitepuolella (400V) jokaisesta mittauspaikasta vaiheittain eli mitattiin L1, L2 ja L3, joten nimellisjännite vaiheen ja nollan välillä on 230V. Kauimmaisessa muuntajassa ja kauimmaisessa käyttöpaikassa oli myös analysaattori mittaamassa jännitettä koko testauksen ajan. Jännitteet mitattiin jokaisen muuntajan liityntäpisteestä ja jokaisen muuntajan kauimmaisista käyttöpaikoista. (SFS-EN 50160, 2010, 20.)



Jännitteen liian alhainen arvo näkyy talouksissa nopeasti, sillä esimerkiksi kaikki sähkölaitteet eivät toimi niin kuin pitäisi ja lamput loistavat himmeämmin. Tässä työssä verkon normaalissa tilanteessa oleva jännite ja varavoimakoneen syöttämässä verkossa oleva jännite olivat lähes samoja, joten jännitteen laadun puolesta testaus oli onnistunut.

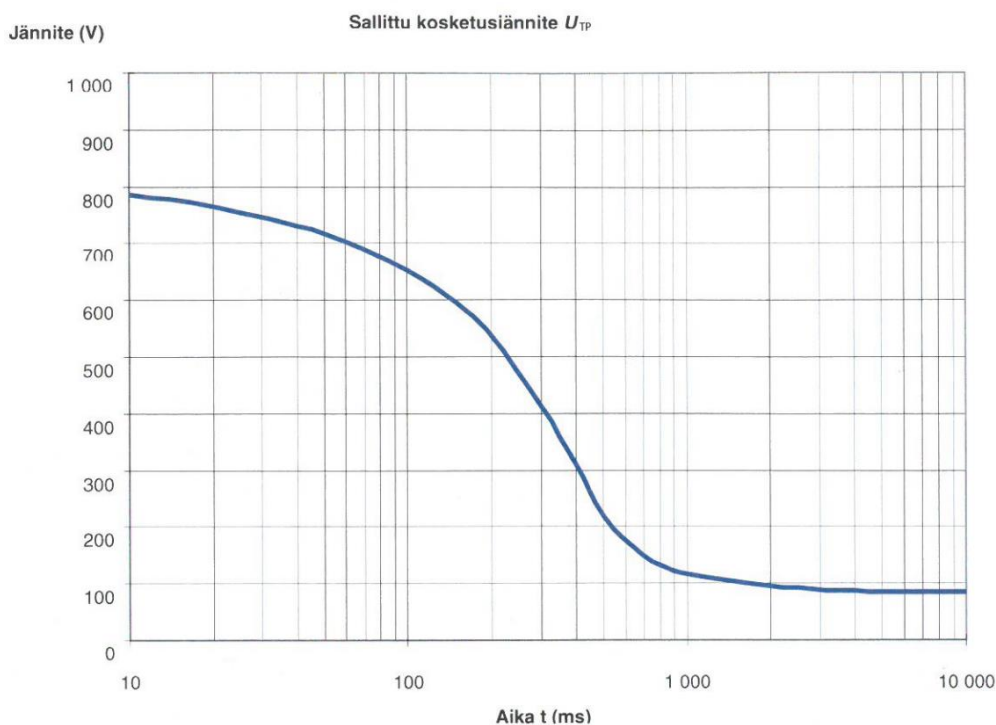
### 6.3 Oikosulkuvirtojen mittaaminen

Oikosulkusuojaus on yleensä sekoitettu vikasuojaukseen. Oikosulkusuojauksessa on kysymyksessä johtimien suojaus oikosulkuvirran aiheuttamilta lämpövaikutuksilta. Oikosulkusuojan täytyy toimia minkä tahansa johtimien välisessä oikosulussa tapahtuipa oikosulku missä kohtaa johdinta tahansa. Johdon pituuden kasvaessa oikosulkuvirtapiirin impedanssi (johdon vastus) kasvaa, jolloin oikosulkuvirta pienenee. Oikosulkuvirta vaikuttaa siis johdon mitoitukseen näin: johdon alkupään tulee kestää syöttöaseman oikosulkuvirta ja johdon loppupäässä syntyvän pienimmän oikosulkuvirran on laukaistava johdon oikosulkusuoja. Tämä on siis mittausta sulakkeiden nopean toiminnan takaamiseksi ja tarkistamiseksi. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry, 2013, 139; Monni, 2010, 51.)

Oikosulkuvirralla tarkoitetaan virtaa, joka kulkee oikosulku tapauksessa. Eristyksen vikaantuessa sähkövirta kulkee suoraan johtimesta toiseen jolloin virtapiirin vastus pienenee huomattavasti ja oikosulkuvirta voi nousta niin suureksi, että se aiheuttaa virtapiirissä suuria rasituksia. (Monni, 2010, 51.)

#### 6.4 Maasulkukoe

Maasulkukoe toteutettiin varavoimakoneelle mahdollisten vikatilanteiden varalta ja e täyttääkö varavoimakoneen maasulkusuojaus standardin SFS 6000-801-4 turvallisuusvaatimukset. Maasulku tapahtuu, kun esimerkiksi puu kaatuu avojohtoverkon johdon päälle ja näin sähkö pääsee maahan puun kautta. Maasulku saatiin lavastettua siten, että kytkettiin yhteen vaiheeseen (yhteen johtoon) sauva, josta lähtee kaapeli maahan. Näin saatiin sähkö kulkemaan maahan ikään kuin olisi puu nojaamassa johtoa vasten. Kyseinen sauva asennettiin jännitteettömään avojohtoverkkoon joten asiakkaille jouduttiin tekemään taas sähkökatko. Kun sauva oli asennettuna paikoilleen ja siitä lähtevä kaapeli oli maassa kerällä, mentiin autoihin kokeilun ajaksi mahdollisten askeljännitteiden takia. Kun kaikki olivat turvassa, annettiin lupa maasulkukokeen suorittamiseen ja laitettiin varavoimakone päälle. Varavoimakone katkaisi sähköt 213 millisekunnissa. Tässä työssä siis toteutettiin yksivaiheinen 20 kV:n maasulun ensiökoe. Varavoimakoneen suojaus on sallituissa arvoissa, koska laukaisuaika 213 millisekunnin riittää 500V-550 V:n jännitteelle asti. Tässä tulee huomata, että varavoimakoneen maasulkusuoja on pienjänniteverkon 0,4kV puolella, joten vaihejännite on 230 V.



Kuva 14. SFS-EN 50522 -standardin kuvaaja kosketusjännitteen sallitusta vaikutusajasta. (SFS-6001, 2015, 97.)



Kuva 15. Sauva asennettuna 20 kV:n johtoon maasulkukoetta varten.

#### 6.4.1 Kosketusjännite

Kosketusjännitteestä (myös askeljännitteestä) puhutaan kun ihminen joutuu osaksi virtapiiriä, eli tällöin on kysymyksessä vikatilanne. Ihmisen turvallisuuden kannalta on tärkeää, että suojaukset toimivat tarpeeksi nopeasti. 32 A:n sulakkeille asti vaaditaan nykyään 0.4 sekunnin katkaisuaika ja yli 32 A:n sulakkeille vaaditaan maksimissaan viiden sekunnin katkaisuaika. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry, 2013, 84, 97.)

Automaattinen poiskytkentä on yleisimpiä asennuksissa käytettäviä vikasuojausmenetelmiä. Sillä estetään ihmistä tai kotieläintä joutumasta kosketuksiin eristysvian aiheuttamaan vaaralliseen kosketusjännitteeseen niin pitkäksi aikaa, että se aiheuttaisi vaaran. Eristysviasta aiheutuva vikavirta ja siitä syntyvä kosketusjännite tulee poistua niin nopeasti, että ihmisille ei aiheudu vaaraa. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry, 2013, 84.)

Tässä työssä verrattiin maasulkukokeesta saatua laukaisuaikaa kosketusjännitteen sallittuun vaikutusaikaan. Maasulkuvirta  $I_0$  jätettiin tässä työssä huomiotta, koska maasulkuvirta jäisi niin pieneksi pienen verkon takia.

## 7 TULOKSET JA HAVAINNOT

Tämän työn tarkoituksena oli verrata varavoimakoneen syöttämän verkon mittaustuloksia verkon normaalitilan mittaustuloksiin. Näin pystytään hyvin päättelemään miten hyvin varavoimakone suoriutui kokeilusta. Tässä työssä verrataan siis varavoimakoneen syöttämän verkon oikosulkuvirtoja ja jännitteitä verkon normaalitilanteessa mitattuihin oikosulkuvirtoihin ja jännitteisiin. Samalla myös verrataan varavoimakoneen syöttämän verkon mittauservoja standardin määrittämiin arvoihin ja näin pystytään näkemään, täyttääkö varavoimakoneen tuottama sähkö kyseiset arvot. Mittauservot esitetään sekä taulukkona että pylväsdiagrammeina havaintojen tekemisen helpottamiseksi. Kyseisissä taulukoissa ja pylväsdiagrammeissa on myös PSCAD-ohjelmalla simuloitu jännite ja Trimble DMS:n laskemat oikosulkuvirrat.

### 7.1 Mittaustulokset

Alla olevissa taulukoissa ja pylväsdiagrammeissa nähdään tämän opinnäytetyön mittaustulokset. Varavoimakoneesta lähimmäinen muuntaja on M750 ja tämän muuntajan kauimmainen käyttöpaikka on Korkeakoskentie 122, jonka PJ-johdon pituus on 434 metriä. Toiseksi lähimmäinen muuntaja on M577, jonka kauimmainen käyttöpaikka on Prinssijärventie 8, jonka PJ-johdon pituus on 858 metriä. Kauimmainen muuntaja on M462, jonka kauimmainen käyttöpaikka on Korkeakoskentie 273, jonka PJ-johdon pituus on 252 metriä. Mitatut oikosulkuvirrat muuntajilla eivät pidä paikkansa, koska mittarit eivät kykene antamaan tarkkoja mittaustuloksia suurilla virta-arvoilla.

## 7.1.1 Taulukot

Alla olevista taulukoista nähdään mittauspaikka mittaustuloksineen. Lyhenteet ovat: UG = generaattorin syöttämä jännite, IkG = generaattorin syöttämän verkon oikosulkuvirta, Uvrk = verkon normaalitilan jännite, Ikrk = verkon normaalitilan oikosulkuvirrat, PSCAD jännite = PSCAD –ohjelmalla laskettu jännite ja DMS laskettu Ikrk = verkon normaalitilan oikosulkuvirta laskettu Trimble DMS ohjelmalla. Käyttöpaikkojen etäisyys muuntajista on merkitty PJ-johdon matkana eli muuntajan ja käyttöpaikan välisen pienjännitejohdon pituutena.

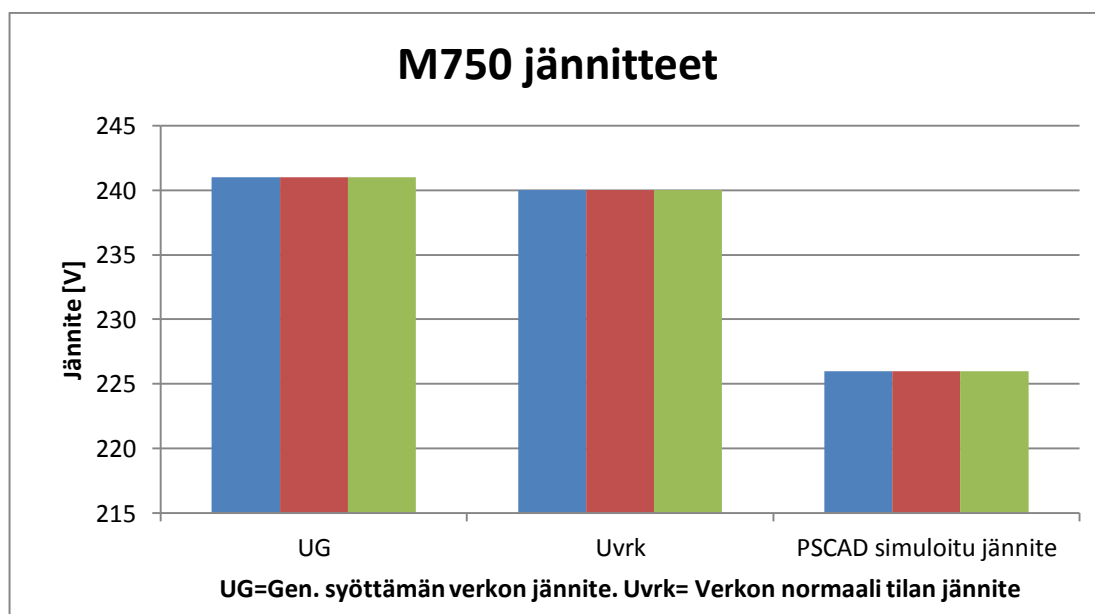
M750					
UG [V]	IkG [A]	Uvrk [A]	Ikrk [A]	PSCAD jännite [V]	DMS laskettu Ikrk [A]
241	958	240	885	226	1670
241	958	240	885	226	1670
241	958	240	920	226	1670
Korkeakoskentie 122					
				PJ-johdo 434m	
UG [V]	IkG [A]	Uvrk [V]	Ikrk [A]	PSCAD jännite [V]	DMS laskettu Ikrk [A]
241	271	239	237	220	263
241	264	240	237	220	263
241	271	241	240	220	263

M577					
UG [V]	IkG [A]	Uvrk [V]	Ikrk [A]	PSCAD jännite [V]	DMS laskettu Ikrk [A]
235	1040	235	958	228	1540
235	1150	235	952	228	1540
235	1090	235	958	228	1540
Prinssijärventie 8					
				PJ-johdo 858m	
UG [V]	IkG [A]	Uvrk [V]	Ikrk [A]	PSCAD jännite [V]	DMS laskettu Ikrk [A]
235	146	235	138	224	140
235	146	234	142	224	140
235	147	235	139	224	140

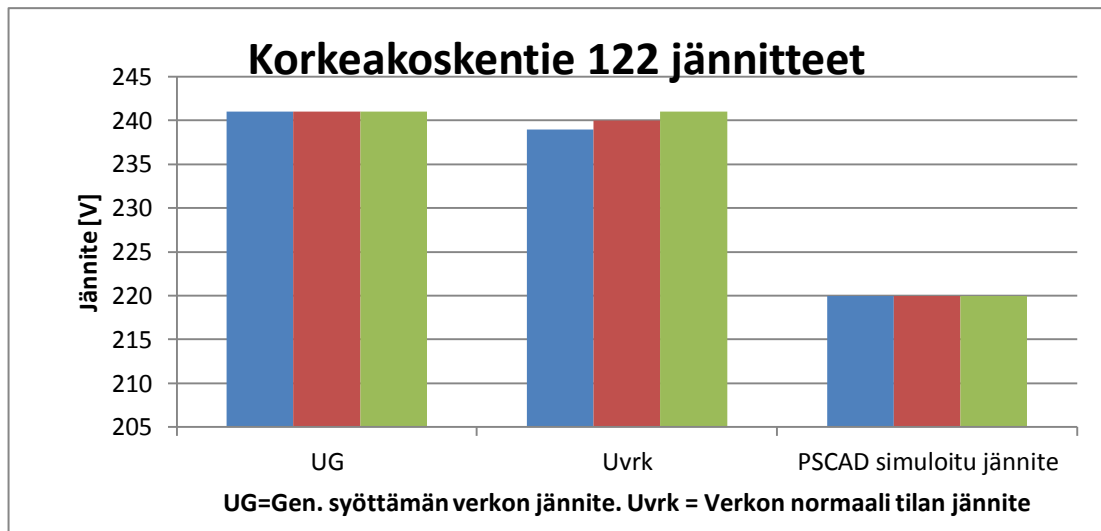
M462					
UG [V]	IkG [A]	Uvrk [V]	Ikvrk [V]	PSCAD jännite [V]	DMS laskettu Ikvrk [A]
241	1910	241	1090	228	1534
241	1910	241	1090	228	1534
242	1910	241	1090	228	1534
Korkeakoskentie 273					
				PJ-johto 252m	
UG [V]	IkG [A]	Uvrk [V]	Ikvrk [A]	PSCAD jännite [V]	DMS laskettu Ikvrk [A]
241	411	240	324	224	407
241	404	240	329	224	407
241	411	241	333	224	407

### 7.1.2 Pylväsdiagrammit

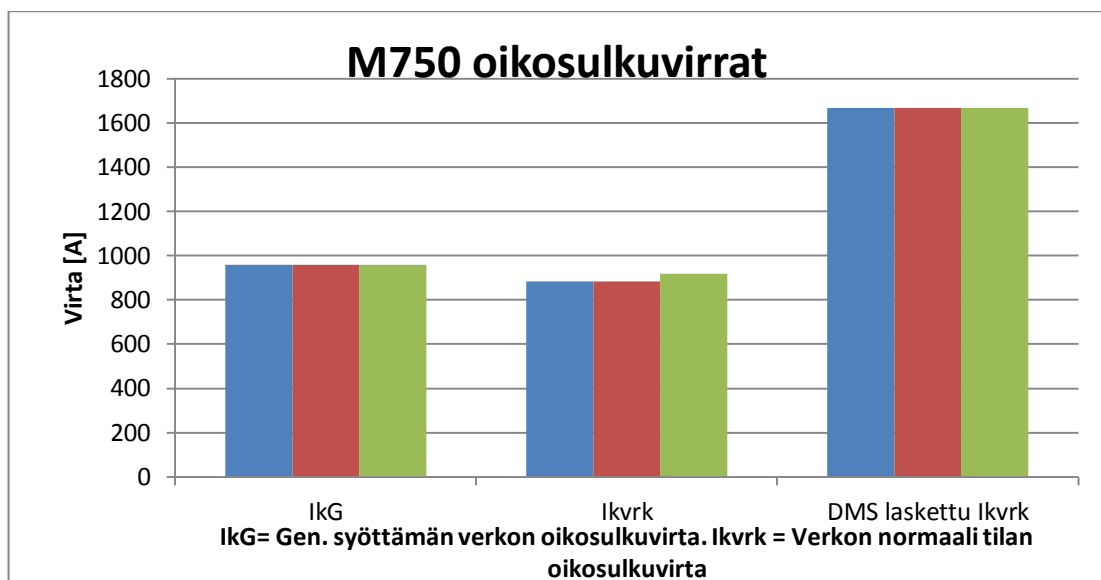
Alla ovat pylväsdiagrammit sekä jännitteistä että oikosulkuvirroista.



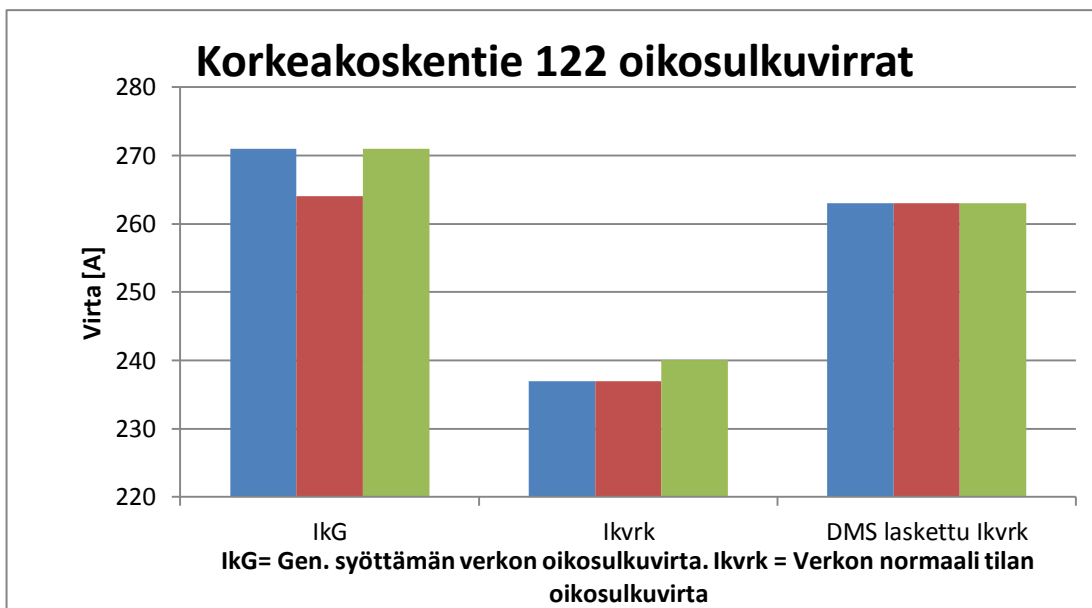
Kuva 16. Muuntajan 750 jännitteiden arvo vaiheittain.



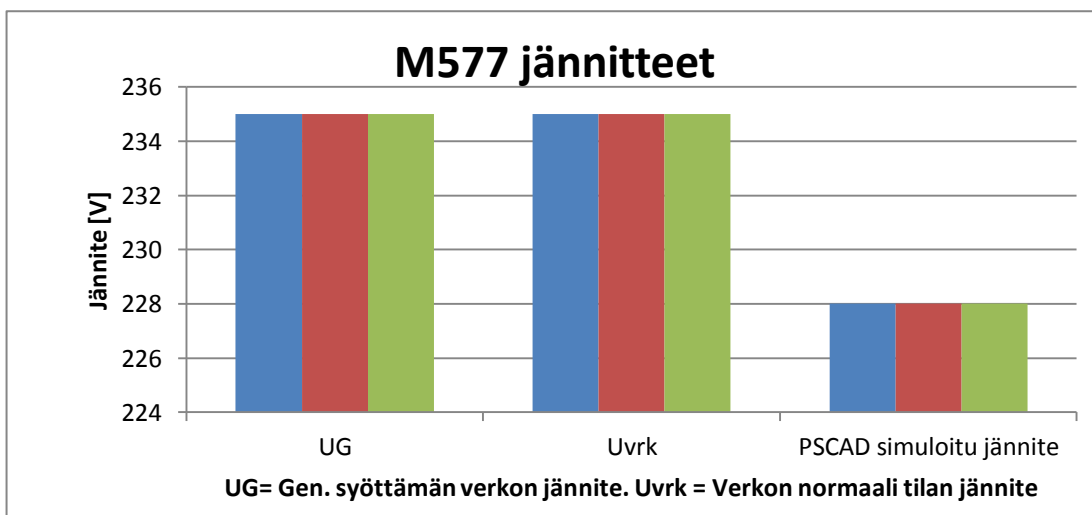
Kuva 17. Muuntajan 750 kauimmaisen käyttöpaikan jännitteet vaiheittain.



Kuva 18. Muuntajan 750 oikosulkuvirrat vaiheittain. Trimble DMS ohjelmalla ei saatu oikeaa oikosulkuvirtaa.

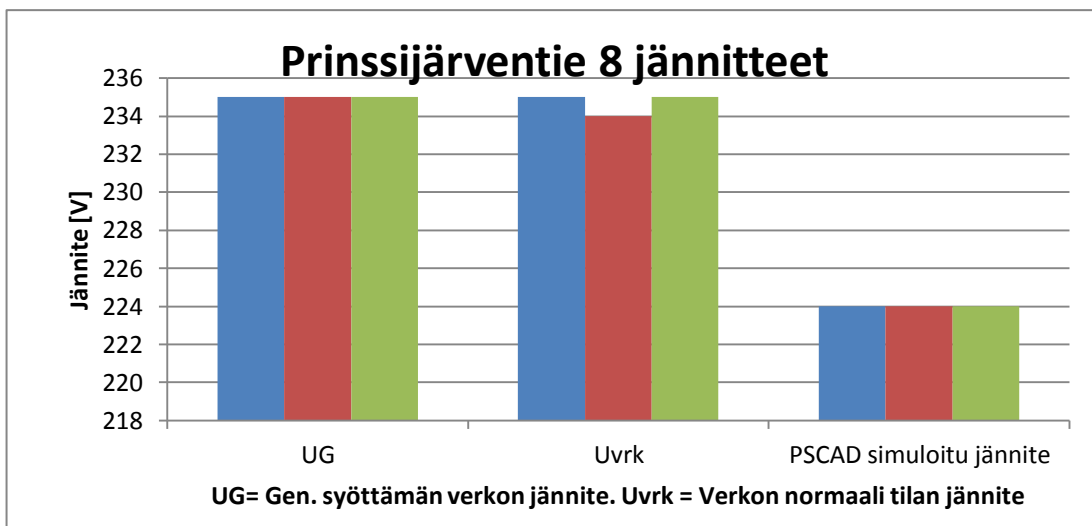


Kuva 19. Muuntajan 750 kauimmaisen käyttöpaikan oikosulkuvirrat vaiheittain.

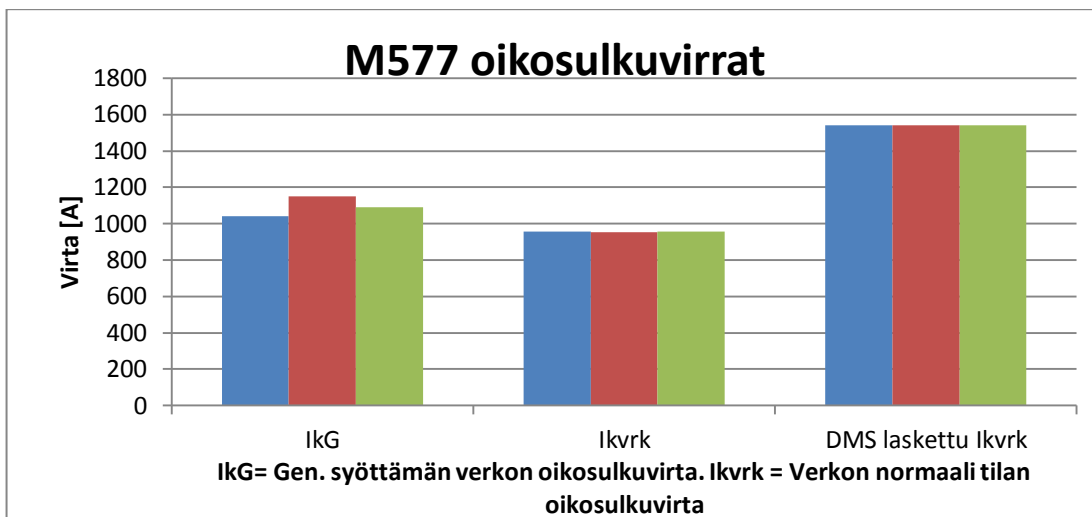


Kuva 20. Muuntajan 577 jännitteet vaiheittain.

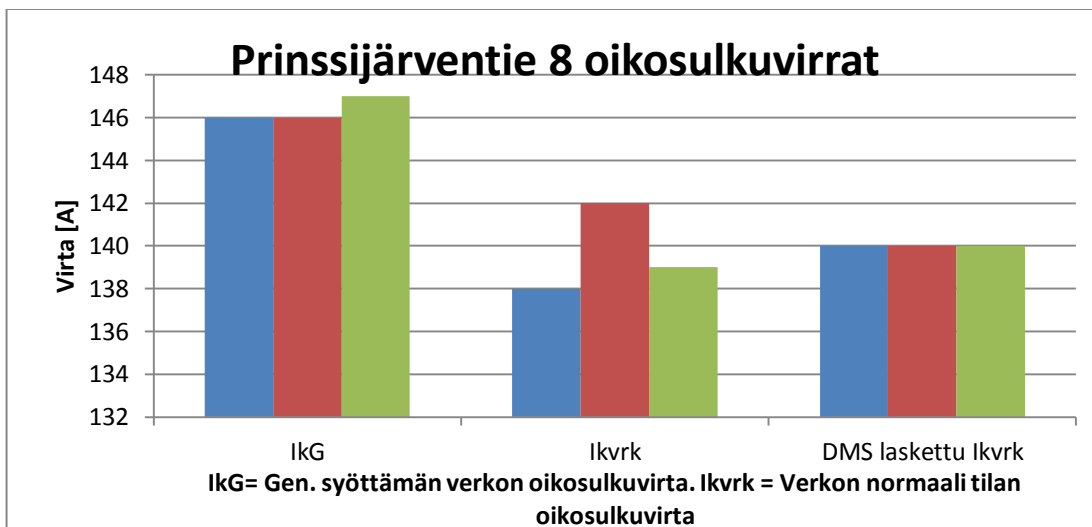




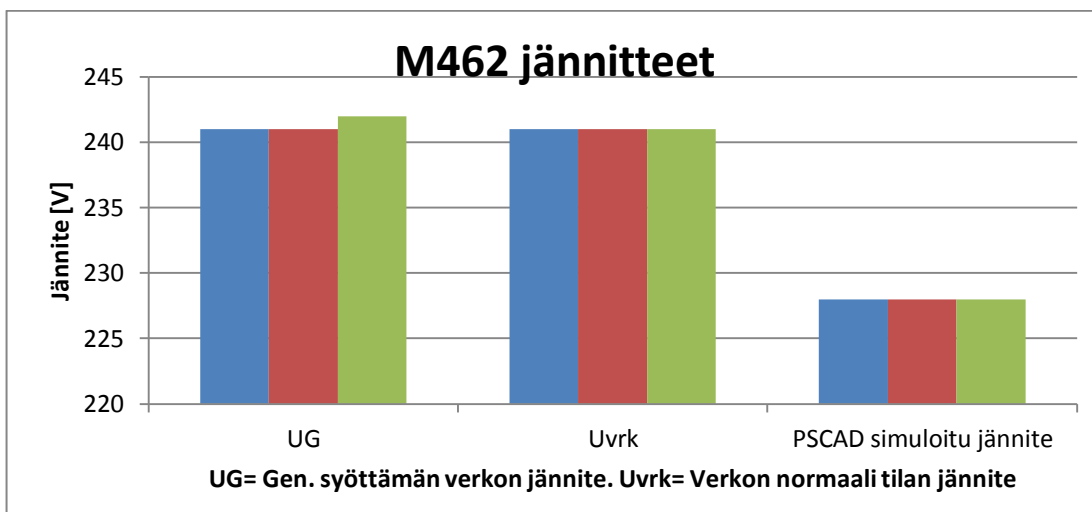
Kuva 21. Muuntajan 577 kauimmaisen käyttöpaikan jännitteet vaiheittain.



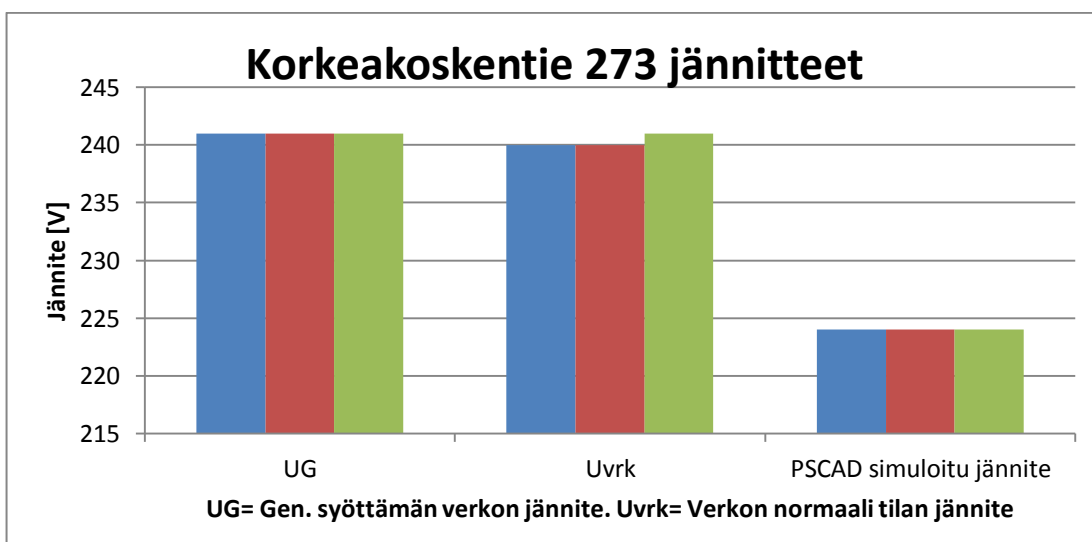
Kuva 22. Muuntajan 577 oikosulkuvirrat vaiheittain.



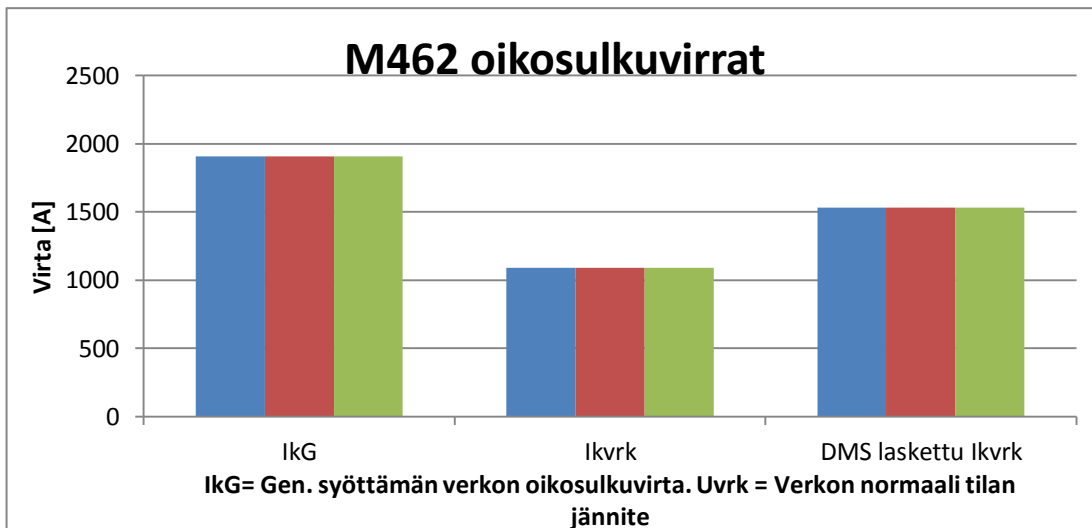
Kuva 23. Muuntajan 577 kauimmaisen käyttöpaikan oikosulkuvirrat vaiheittain.



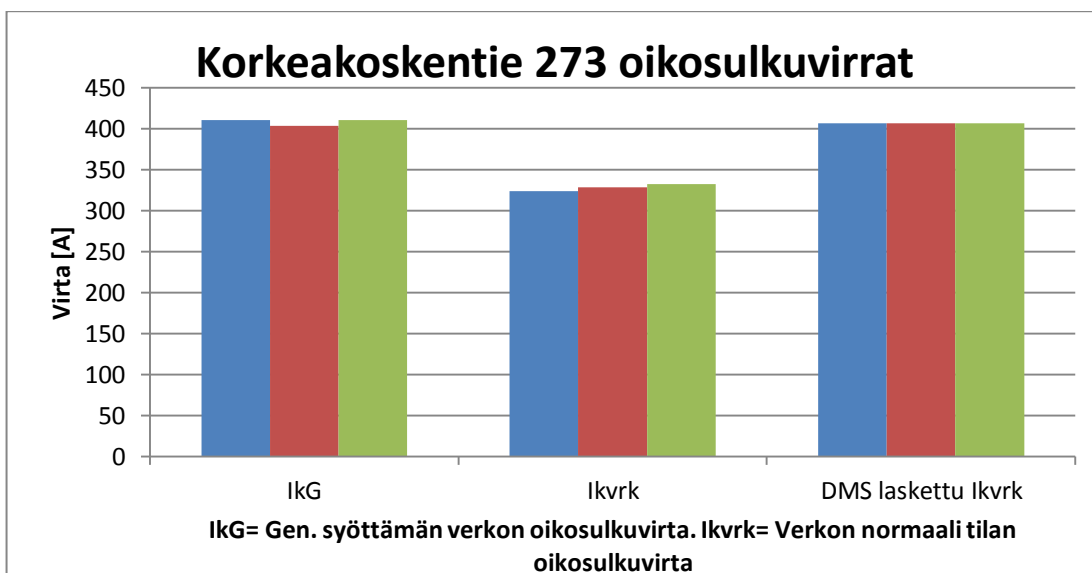
Kuva 24. Muuntajan 462 jännitteet vaiheittain



Kuva 25. Muuntajan 462 kauimmaisen käyttöpaikan jännitteet vaiheittain.



Kuva 26. Muuntajan 462 oikosulkuvirrat vaiheittain.



Kuva 27. Muuntajan 462 kauimmaisen käyttöpaikan oikosulkuvirrat vaiheittain.

### 7.1.3 Jännitteiden havainnot

Pienjänniteverkossa standardin mukaan 95 % jakelujännitteen tehollisarvojen 10 minuutin keskiarvoista on oltava välillä  $\pm 10\%$ . Tässä työssä jännite saa siis vaihdella 207 V - 253 V välillä. Kuten yllä olevista mittaustuloksista voidaan nähdä, verkon normaali tilan jännite ja varavoimakoneen tuottama jännite on kyseisen  $\pm 10\%$ :n välin sisällä. (SFS-EN 50160, 2010, 20.)

Mittaustulosten perusteella jännitteen alenemaa on vain PSCAD-simuloidussa jännitteessä. PSCAD-simuloitu jännite perustuu teoriaan, ja on täten siksi myös alemmalla jännitteen tasolla.

### 7.1.4 Oikosulkuvirtojen havainnot

Tämän työn muuntajilla on kahvasulakkeet kokoa 80 A ja vaadittu oikosulkuvirran mitattu arvo 5 sekunnin laukaisulle 80 A:n sulakkeilla on 531.3 A, joten ylemmistä mittaustuloksista voidaan nähdä, että sekä verkon normaali tilan oikosulkuvirta sekä varavoimakoneen syöttämän verkon oikosulkuvirta riittävät laukaisemaan 80 A:n kahvasulakkeen tarpeeksi nopeasti muuntajalla. Verkon heikon kunnon takia käyttöpaikoista mitatut oikosulkuvirrat laskevat liian paljon PJ-johdon matkojen takia. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry, 2013, 94.)

On muutamia tapoja, joilla saadaan käyttöpaikkojen oikosulkuvirtoja kasvatettua. Mittaustuloksista voidaan päätellä, että oikosulkuvirrat ovat reippaasti alle vaaditun arvon. Yksivaiheisen oikosulkuvirran voi laskea seuraavalla kaavalla:

$$I_k = (c * U) / (\sqrt{3} * Z), \text{ jossa}$$

- $I_k$  on pienin yksivaiheinen oikosulkuvirta (A)
- $c$  on kerroin 0,95, joka tulee ottaa huomioon jännitteen alenemassa
- $U$  on pääjännite (V)
- $Z$  on virtapiirin impedanssi joka koostuu jakelumuuntajan edeltävän verkon impedanssista, muuntajan impedanssista ja muuntajan jälkeisten johtimien impedanssista. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry, 2013, 95.)

Tässä työssä ei kuitenkaan huomioida edeltävän verkon impedanssia. Kuten yllä olevasta kaavasta voidaan havaita, virtapiirin impedanssia pienentämällä saadaan oikosulkuvirtaa suuremmaksi. Tämä voidaan toteuttaa siten, että vaihdetaan PJ-johtojen poikkipinta-alaa suuremmaksi jotta impedanssi pienenee, tihennetään muuntajavälejä tai rakennetaan johdolle välisulakkeita, jolloin johdon perällä oleva johtosa voidaan suojata siten, että vikatilanteen sattuessa ei pala muuntajalta asti sulake.

Oikosulkuvirrat laskettiin myös teoreettisesti käyttäen Trimble DMS ohjelmaa. Muuntajilla mitatut oikosulkuvirrat ovat huomattavasti pienempiä kuin Trimble DMS:llä lasketut, koska käytetty mittari ei kykene antamaan tarkkaa mittaustulosta suurilla virta-arvoilla.

Syy siihen miksi oikosulkuvirrat ovat varavoimakoneen syöttämässä verkossa suuremmat, johtuu siitä, että syöttöpiste on lähempänä varavoimakoneen syöttämässä verkossa kuin verkon normaali tilassa.

## 8 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tarkastella Pori Energia Sähköverkot Oy:n varavoimakoneen soveltuvuutta keskijänniteverkon syöttämiseen. Työssä vertailtiin varavoimakoneen syöttämän verkon mittaustuloksia standardin SFS-EN 50160 määrittämiin sähkönlaadun arvoihin. Tässä työssä joutui selailemaan standardeja ja tutkimaan sähkönlaadun vaatimuksia sekä tarkastelemaan, missä ajassa sähkön täytyy katketa maasulun sattuessa. Tämän työn aikana opin sähkönjakelun vaatimuksia syvemmin ja miten virrat ja jännitteet vaikuttavat verkon eri pisteissä. Myös varavoimakoneen käyttäminen tuli uutena asiana.

Tämän työn tuloksena saatiin todiste siitä, että varavoimakone soveltuu keskijänniteverkon syöttämiseen, kun kytketään keskijänniteverkon ja varavoimakoneen väliin syöttömuuntaja. Opinnäytetyöni avasi tietämystäni sähkönjakeluverkosta ja antoi uusia näkökulmia asioihin.

Opinnäytetyöni oli mielestäni onnistunut, sillä saatiin ne tiedot, mitä haluttiinkin. Saimme todisteita siitä, että sekä varavoimakoneen syöttämässä verkossa että verkon normaalitilassa jännite ei laske muuntajalta kauimmaiselle käyttöpaikalle liikaa. Oikosulkuvirrat olivat lähellä rajapintaa, ja yhdessä käyttöpaikassa verkon normaali tilassa oikosulkuvirta ei täyttänyt standardin määrittämää mitattua arvoa. Myös maasulkukoe oli onnistunut, sillä varavoimakoneen maasulkusuojaus toimi paljon nopeammin kuin SFS-EN 50522 standardissa vaaditaan.

## LÄHTEET

Arnoux, C. 2003, User's manual

Fingrid 2015. Voimajärjestelmä. Viitattu 30.9.2015. [www.fingrid.fi](http://www.fingrid.fi)

Lakervi, E. 1996, Sähkönjakeluverkkojen suunnittelu

Monni, M. 2010, Ilmajohntoverkostotyöt

Pori Energia Oy 2015. Pori Energia Sähköverkot Oy. Viitattu 10.9.2015.  
[www.porienergia.fi](http://www.porienergia.fi)

Pori Energia Oy ohjeistus 2014. Siirrettävien varavoimakoneiden Pe-1000 ja PE-306 käyttöohjeistus

SFS-6001, 2015, Suurjännitesähköasennukset. Suomen standardisoimisliitto SFS.

SFS-EN 50160, 2010, Yleisen jakeluverkon jakelujännitteen ominaisuudet. Suomen standardisoimisliitto SFS.

Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry, 2013, D1-2012 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista, 21. painos. Espoo: Sähköinfo Oy

Tekla 2015. Tribmle DMS. Viitattu 30.9.2015. <http://www.tekla.com/fi>

Wikipedia 2015. Kantaverkko. Viitattu 30.9.2015. <https://fi.wikipedia.org/wiki>