

KEMI-TORNION AMMATTIKORKEAKOULU

Kivirannan itäosan sähkösuunnitelma

Janne Pauna

Sähkötekniikan koulutusohjelman opinnäytetyö
Sähkövoimatekniikka
Insinööri(AMK)

KEMI 2012

ALKUSANAT

Haluan kiittää kaikkia työni valmistumiseen vaikuttaneita henkilöitä. Haluan kiittää Tornion Energia Oy:tä opinnäytetyöpaikasta ja Erkki Näätsaarta sekä tuesta että opastuksesta työni aikana.

TIIVISTELMÄ

Kemi-Tornion ammattikorkeakoulu, Tekniikan ala	
Koulutusohjelma	Sähkötekniikka
Opinnäytetyön tekijä	Janne Pauna
Opinnäytetyön nimi	Kivirannan Itäosan sähkösuunnitelma
Työn laji	Opinnäytetyö
Päiväys	17.4.2012
Sivumäärä	46 + 55 liitesivua
Opinnäytetyön ohjaaja	Insinööri Antero Martimo
Yritys	Tornion Energia Oy
Yrityksen yhteyshenkilö/valvoja	Insinööri Erkki Näätsaari

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella Kivirannan Itäosan kaavoitusalueelle sähköjakeluverkko. Jakeluverkon suunnitteluun kuuluivat kokonaisuudessaan keski- ja pienjänniteverkot. Muuntopiirien 069 ja 138 pylväsmuuntajat piti suunnitella purettaviksi ja korvattaviksi puistomuuntajilla. Lisäksi mietittiin ja suunniteltiin muuntopiiriin MP097 runkokaapeleiden ja jakokaappien saneerausta. Suunnitelma tehtiin Xpower-verkostolaskentaohjelmalla. Suunnitelmaan kuului tehtäväksi rakennus- ja purkukustannusarvio kaikelle työlle ja tarvikkeille energiamarkkinaviraston hintatietojen mukaan.

Työn teoriaosassa käsiteltiin jakeluverkon suunnitteluun liittyviä verkostosuosituksia ja oppimateriaalia, jotka pohjautuvat standardeihin. Suunnitelma toteutettiin näiden pohjalta. Suunnittelussa otettiin huomioon Tornion Energialla käytetyt suunnittelukäytännöt, jotka pääasiassa johtivat sulakkeiden ja kaapelipaksuuksien ennalta määräytymiseen. Työssä verrattiin standardien pohjalta laskettuja arvoja Xpower-ohjelmasta saatuihin arvoihin.

Kivirannan Itäosan alueelle suunniteltiin kaksi puistomuuntamoaa, jotka nimettiin alueella jo olevien purettavien pylväsmuuntamoiden mukaan. Muuntamoiden paikat määräytyivät sähköjakelun kannalta keskeisille paikoille. Alueelle määritettiin jakorajat muuntopiireille sekä jakokaapeille. Suunnitelman suojaukset todettiin keski- ja pienjännitteelle sopiviksi sekä omilla että Xpowerin laskennoilla. Sulakekoot ja kaapelien paksuudet valittiin Tornion Energian käytäntöjen mukaan ja niiden sopivuus tarkastettiin verkostosuositusten mukaisiksi.

Työn tuloksena saatiin valmiit piirustukset, joiden pohjalta voidaan suunnitelman aluetta lähteä rakentamaan. Lisäksi työtuloksena saatiin jakokaappikuvat ja -kalustukset, jotka suunniteltiin ABB Oy:n MJS suunnitteluohjelmalla. Suunnitelman seurauksena Kivirannan ja Raustin johtolähtöjen ilmalinjapituudet muuttuivat. Maakaapelia tuli molempiin johtolähtöihin lisää ja nämä molemmat aiheuttivat maasulkuvirran kasvun Luotomäen sähköaseman molemmissa päämuuntajissa. Jännitteen alenemat eivät muuttuneet kovinkaan paljoa.

Asiasanat: sähkösuunnittelu, sähköjakelu, sähköturvallisuus.

ABSTRACT

Kemi-Tornio University of Applied Sciences, Technology	
Degree Programme	Electrical Engineering
Name	Janne Pauna
Title	Planning of Electricity Distribution Network for the Eastern Part of Kiviranta
Type of Study	Bachelor's Thesis
Date	17 April 2012
Pages	46+ 55 appendixes
Instructor	Antero Martimo, BEng
Company	Tornion Energia Oy
Contact Person/Supervisor from Company	Erkki Näätasaari, BEng

The purpose of this study was to design a distribution network for the eastern part of Kiviranta planning area. The distribution network planning included the entire medium - and low voltage network. The pole transformers of the transformer circuits 069 and 138 had to be planned to be dismantlable and they should be replaced with the park transformer substations. In addition, the renewal of the main cables and distribution cabinets in the transformer circuit MP097 was planned. The plan was done using the Xpower network analysis program. The plan also involved the building - and demolition cost estimate for all the work and materials according to the price information from the Energy Market Agency.

The theory part dealt with the network recommendations and learning material related to the distribution network planning, both of which are based on standards. The plan was carried out on this bases. The planning practice used by Tornio Energy was taken into account in the planning work. This mainly resulted in pre- specified fuse types and cable thicknesses. In the thesis, the values calculated on the bases of the standards were compared to the values got from the Xpower program.

Two park transformers were planned to the eastern Kiviranta area. These two were called after the old demolished pole transformers. The chosen positions for the transformers should be the most suitable for the electricity distribution. The distribution limits for the transformer circuits and delivery cabinets were determined in the area. The protections of the plan were found to be suitable for the medium - and low voltages both with own and Xpower calculations. Fuse types and cable thicknesses were chosen according to the practices in Tornio Energy and their suitability was inspected according to the network recommendations.

The result of the work were the plans, on bases of which the building of the area can be started. Further results were the distribution cabinet pictures and furnishing designed using the ABB Oy NJS design program. The consequences of the plan were the changed lengths of the overhead lines of the feeders in Kiviranta and Rausti. The both feeders got additional piece of underground cable at both ends and this caused the growth of the earth-fault current in both main transformers of Luotomäki substations. The voltage drops did not change appreciably, and thus the quality of electricity remained good.

Keywords: electrical planning, electricity distribution, electrical safety.

SISÄLLYSLUETTELO

ALKUSANAT	I
TIIVISTELMÄ	II
ABSTRACT	III
SISÄLLYSLUETTELO	IV
KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET	V
1. JOHDANTO	1
2. TORNION ENERGIA OY	2
3. SUUNNITTELUN LÄHTÖTILANNE	3
4. SÄHKÖVERKKO	4
5. JÄNNITTEENALENEMA	6
6. KUORMITETTAVUUS	8
6.1. Keskijännitejohdon kuormitettavuus	8
6.2. Muuntajan kuormitettavuus	9
6.3. Pienjännitejohdon kuormitettavuus	10
7. OIKOSULKUSUOJAUS	12
7.1. Keskijänniteverkon oikosulkusuojaus	12
7.2. Pienjänniteverkon oikosulkusuojaus	15
8. MAASULKUSUOJAUS	17
9. JAKELUMUUNTAMOT	20
9.1. Muuntamotyypit	20
9.2. Muuntajien valinta	21
10. MAADOITUKSET	24
10.1. Keskijänniteverkon ja muuntamon maadoitukset	25
10.2. Pienjänniteverkon maadoitukset	26
11. SUUNNITELMAN TOTEUTUS	28
11.1. Keskijänniteverkon suunnitelman toteutus	28
11.2. Pienjänniteverkon suunnitelma MP069	32
11.3. Pienjänniteverkon suunnitelma MP138	38
11.4. Pienjänniteverkon saneeraus muuntopiirissä MP097	40
12. KUSTANNUSARVIO	42
13. YHTEENVETO	44
14. LÄHDELUETTELO	45
LIITELUETTELO	46

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

AX, AXMK	PEX-eristeinen alumiinijohtimellinen pienjännitekaapeli
AHX, AHXAMK	PEX- eristeinen alumiinijohtimellinen keskijännitekaapeli
C_0	maakapasitanssi
Cu	kupari
f	verkon taajuus
I_e	maasulkuvirta
I_{k1v}, I_{k3v}	oikosulkuvirta
I_p	pätövirta
I_q	loisvirta
J188	Jakokaappi 188
Kj	keskijännite
L, l	johdon pituus
MC, MCMK	PVC- eristeinen kuparijohtimellinen kaapeli
P	teho
P_h	tehohäviö
Pj	pienjännite
R_K	verkon redusoitu oikosulkuresistanssi
R_{K110}, R_k	verkon oikosulkuresistanssi
R_m, r_M	muuntajan resistanssi
R_{m0}	muuntajan nolaresistanssi
R_v, R_j	johtimen resistanssi
R_0	nollajohtimen resistanssi
S	näennäisteho
S_n	nimellisteho
U	jännite
U_E	maadoitujännite
$U_{h\%}, U_h$	jännitteenalenema
U_n	muuntajan nimellisjännite
U_{TP}	kosketusjännite

U_v	vaihejännite
U_1	muuntajan ensiöpuolen nimellisjännite
U_2	muuntajan toisiopuolen nimellisjännite
X_m, X_M	muuntajan resistanssi
X_{m0}	muuntajan nollareaktanssi
X_{K110}, X_k	verkon oikosulkureaktanssi
X_K	verkon redusoitu oikosulkureaktanssi
X_v, x_j	johtimen reaktanssi
X_{v0}	vaihejohtimen nollareaktanssi
X_0	nollajohtimen reaktanssi
$I_{k'}$	syöttävän verkon oikosulkuvirta
$Z_{k'}$	syöttävän verkon oikosulkuimpedanssi
W	keskiteho

1. JOHDANTO

Opinnäytetyön tarkoituksena on tehdä sähkösuunnitelma Kivirannan itäosan sähköverkosta Tornion Energia Oy:lle. Suunnittelu pitää sisällään sekä keski- että pienjänniteverkon suunnittelut. Kivirannan itäosaan tulevan asutusalueen sähkösuunnitelma tulee toteuttaa siten, että nykyiset ilmajohtoverkot korvataan maakaapelilla ja olemassa olevat muuntamot puretaan, mutta niiden nimiä käytetään uusien muuntamoiden niminä. Sähkösuunnitelman lisäksi on tehtävä kustannusarvio alueen sähköverkon rakentamiselle.

Suunnitelman tekemiseen käytetään Tekla Xpower verkostolaskenta-ohjelmaa ja jakokaappien kalustuksen suunnittelemiseen ABB:n MJS-ohjelmaa. Työn teoriaosuuksissa ja suunnittelussa käytetään sähköverkon suunnittelustandardeja ja kirjallisuutta sekä verkostosuosituksia. Työn suunnittelussa otetaan huomioon myös Tornion Energian omat suunnittelukäytännöt esimerkiksi runkojohtojen ja sulakkeiden määrittämisessä. Suunnitelman laskennat tehdään sekä Xpowerilla että käsin laskemalla ja niiden tuloksia vertaillaan.

2. TORNION ENERGIA OY

Tornion Energia Oy on Tornion kaupungin omistama osakeyhtiö. Yhtiön tehtäviin kuuluu vastata sähkönsiirrosta, sähkö- ja kaukolämpöverkon rakentamisesta sekä niiden ylläpidosta. Tornion Energia Oy vastaa myös kaukolämmön tuotannosta Tornion kaupungin alueella. Tornion Energia Oy kuuluu Pohjoista Voimaa-yhtiöihin. Sähkönmyynnistä Tornion Energialla vastaa Oulun Sähkönmyynti Oy. /8/

Tornion Energia Oy:n jakeluverkon sähkönsyöttö tapahtuu kahden 110/20kV:n päämuuntoaseman, Luotomäen sähköasema 01:n kahden päämuuntajan ja Pirkkiön sähköasema 04:n yhden päämuuntajan kautta. Luotomäen muuntoasema saa sähkönsyötön Isohaaran vesivoimalaitokselta tulevalta 110kV:n linjasta. Luotomäen ensimmäinen muuntoasema valmistui 1968. Sähköasema uusittiin vuosina 2008-2009. Pirkkiön sähköasema on valmistunut talvella 2003. Asema saa sähkönsyöttönsä Keminmaa-Outokumpu välisestä 110kV:n linjasta. /7/ /8/

Vuonna 2011 siirretyn sähkön määrä oli n. 175 GWh. Sähköverkkoon liittyneitä käyttöpaikkoja oli yhteensä 10878 kpl. Jakelumuuuntamoita Tornion Energialla oli 260 kpl, joista 12 on asiakkaiden omistamia. /8/

3. SUUNNITTELUN LÄHTÖTILANNE

Suunnittelun kohde sijaitsee Tornion Kivirannalla ja sen itäosassa. Suunnittelun lähtötilanne näkyy liitteissä 1 ja 2. Muuntopiirien 138 ja 069 pylväsmuuntamot puretaan sekä niihin tulevat ja lähtevät ilmajohdot ja maakaapelit puretaan tai joissain tapauksissa hyödynnetään uudessa suunnitelmassa, kuten Keroputaan sairaalan liittymisjohdolle tehdään.

Suunnitelmassa määritellään uusien muuntamoiden paikat sähköjakelun ja etäisyyksien kannalta optimaalisiksi. Uusien muuntamoiden takia joudutaan keskijänniteverkon jakorajat suunnittelemaan uusiksi. Keskijänniteverkon maakaapeleiden kaivuureitit tulee suunnitella samanlaisiksi kuin ne ovat pienjännitekaapeleilla.

Pienjännitesuunnittelussa alueen vähäiset pienjänniteilmalinjat korvataan maakaapelilla. Alueelle tulee kaukolämpö, joka pienentää sähköntarvetta. Tonttien liittymistehot on arvioitu vastaavalta alueelta Tornion Pirkkiöstä, jossa on kaukolämpö ja jokaisessa talossa sähkökiuas. Näin saadaan tehot liittymille kokemuksen mukaan ja samalla ehkäistään kaapeleiden sekä muuntajien ylimitoitus.

Pienjänniteverkollekin pitää määrittää jakorajat ja varasyöttömahdollisuudet toisista jakokaapeista ja muuntopiireistä. Tavoitteena on, että vian sattuessa voidaan kuluttajia syöttää toiselta jakokaapilta tai muuntamolta.

Suunnitelmassa pitää myös selvittää ja suunnitella verkon saneerausta muuntopiirissä MP097. Saneeraus koskee muuntamolta MP097 lähteviä runkokaapeleita sekä jakokaappia J188.

4. SÄHKÖVERKKO

Suomen kaikki kuluttajat ja voimalaitokset on liitetty yhteiseen jakeluverkkoon, joka kattaa nykyään lähes kaikki Suomen taloudet. Sähkövoimajärjestelmän etu tulee voimansiirrosta hyvällä hyötysuhteella. /1/

Sähköverkon pitää erilaisten vikatapausten aikana toimia mahdollisimman hyvin ja ilman vaurioita. Tehtävänä sähköverkolla on yhdistää toisiinsa tuotanto ja kulutus. /1/

Kun siirretään tehoja joiden suuruusluokka on kymmeniä ja satoja megawatteja, käytetään häviöiden takia siirtojännitteinä 110kV:a, 220kV:a ja 400kV:a. Suurimmalle osalle sähkönkäyttäjistä pienjänniteliityntä jännitteellä 0,4kV on sopivin laitteiden käyttöjännitteen kannalta. Siirto- ja pienjännitteen välille on keskijänniteporras. Suomessa keskijänniteverkko toteutetaan kolmivaiheisena ja nykyisin useimmiten 20kV:n jännitteellä. Käytettäessä sopivaa keskijännitettä on etuna halvat jakelumuuuntajat ja johtorakenteet. Harvaan asutuilla alueilla keskijänniteverkon suhteellinen osuus sähköhuollon kustannuksista muodostuu suureksi, vaikka rakennuskustannukset ovat vain pienjännitejohdon luokkaa. /4/

Sähkönjakeluverkkoja käytetään lähes poikkeuksetta säteittäisinä. Säteittäisen verkon edut silmukoituun verkkoon nähden ovat helpompi häiriöiden rajoittaminen, pienemmät oikosulkuvirrat ja yksinkertaisempi suojauksen ja jänniteensäädön toteuttaminen. Rengaskäytöllä saadaan pienemmät jännite- ja energiahäviöt. Rakentamiskustannusten kannalta keskijänniteverkko on edullisinta rakentaa säteittäiseksi. Kuitenkin tavallisin ratkaisu on, että keskeisiltä osilta kuten taajamassa ja kaupungissa verkko rakennetaan silmukoiduksi, mutta rengasverkkoja käytetään avoimina. Jakorajoissa voidaan käyttää sekä paikallisesti, että kaukokäytöllä ohjattavia erottimia. Silmukoitua verkkoa käytetään sen käyttövarmuuden takia. Vian sattuessa voidaan johtovian vaikutukset rajata yhteen erotinväliin. /4/

Jänniteportaista 20kV ja 0,4kV löytyy samankaltaisia piirteitä. Kumpaakin verkkoa käytetään tavallisesti säteittäisenä ja näin verkossa on tavallisesti yksi syöttöpiste.

Keskijänniteverkossa syöttöpiste on sähköasema ja pienjänniteverkossa jakelumuuntamo.

/3/

Verkon tähtipisteen maadoitustapa vaikuttaa verkon suojausten toteutustapoihin. Keskijänniteverkko on yleensä maasta erotettu tai sammutettu, kun taas pienjänniteverkossa käytetään yleisesti maadoitettua järjestelmää. /3/

Pienjänniteverkkon rakentaminen riippuu siitä, minkälaiselle asutusalueelle se tehdään. Taajama-alueilla verkko muodostuu tiheäksi. Vierekkäisten muuntopiirien verkot ulottuvat lähelle toisiaan ja usein toimivat toisillensa varayhteytenä kaapelivikojen varalta sekä huolto ja kunnossapitotöiden aikana. Haja-asutusalueella eri muuntopiirien välillä on usein laajoja asumattomia alueita, niinpä asiakasmäärät muuntopiireissä ovat pieniä ja vian sattuessa vain muutama asiakas kärsii sähkökatkoksesta. /3/

5. JÄNNITTEENALENEMA

Sähkönkuluttajalle toimitetun jännitteen suuruus on tärkeä sähkön laatutekijä. Jos jännite on liian alhainen tai korkea, kuluttajan laitteet eivät ehkä toimi kunnolla. Sähkönlaadun merkitys siis korostuu, kun ollaan lähellä sähkökäyttäjää. Jännitteenalenema muodostuu kaikista jakeluverkon siirtotien osista. Nämä osat ovat keskijännitejohto, jakelumuuntaja ja pienjännitejohto. Loppupään jännite sähkökäyttäjän liittymisjohdolla ei saa Suomessa koskaan alittaa 207 V. Taulukossa 1 on esitetty suositellut jännitealueet ja –alenemat. /3/ /10/

Taulukko 1. Suositellut jännitealueet ja –alenemat. /10/

Osaverkko	Jännitteen vaihtelualue		Jännitteenalenema		
	Minimi	Maksimi	Korkea laatu	Normaali laatu	Standardi laatu
Keskijänniteverkko	19kV	22kV	± 4%	± 10%	95% ± 10%
Pienjännitejakelu	196V	253V	± 4%	± 10%	± 10-15%
Muuntamo ¹⁾	220V	253V		1-2%	2-4%
Pienjänniterunkoverkko	210V	253V		3-5%	3-7%
Liittymisjohto ²⁾	207V	253V		1-3%	1-5%
Sisäjohtoverkko	198V	253V			± 1-4%

¹⁾ Jännitetasoa voidaan säätää, jos käytettävissä on väliottokytkin.

²⁾ Liittymisjohto kuluttajan liittämiskohtaan saakka.

Keskijännitejohdon sallittu jännitteenalenema riippuu jännitteensäätömahdollisuudesta ja käyttötilanteesta. Kj-johtoa mitoittaessa saattaa jännitteenalenema muodostua oleelliseksi seikaksi erityisesti maaseudun haja-asutusalueella. Keskijänniteverkon jännitteenalenema voi olla tietyssä tapauksessa jopa yli 10%. Tällainen tilanne voi olla mahdollinen, jos pienjänniteverkon jännitteenalenema on pieni. Tällaisessa kuormitustilanteessa olisi hyvä tarkistaa jännitteen säätötarve. /11/

Jännitteenalenemaan voidaan vaikuttaa monella eri tavalla. Jos loppupään jännite on liian matala voidaan muuntajan väliottokytkimellä säätää pienjännitteen tasoa. Jännitteen

alenemaan vaikuttaa olennaisesti kaapelin paksuus ja sen läpi menevä virta. Jännitteenalenema on suoraan verrannollinen kaapelin paksuuteen jos jännite ja virta pysyvät samana. Mitä paksumpi kaapeli tai johdin on kyseessä niin sitä vähemmän on jännitteenalenemaa.

Keski- ja pienjännitejohdon sekä muuntajan jännitteenalenemat voidaan laskea kaavoilla 1 ja 2. /10/

$$U_h = I \times R_v \times \cos \varphi + I \times X_v \times \sin \varphi \quad (1)$$

$$U_{h\%} = 100\% \times \frac{\sqrt{3} \times U_h}{U} \quad (2)$$

Missä:

U_h = jännitteenalenema voltteina (V)

$U_{h\%}$ = jännitteenalenema prosentteina (%)

I = Virta (A)

R_v = resistanssi (Ω)

X_v = reaktanssi (Ω)

U = Laskentajännite (V) /10/

6. KUORMITETTAVUUS

Kaapelien termisiä kuormitettavuusrajoja pitää noudattaa tarkasti. Varsinkin sisäasennuksissa liian suuri lämpenemä voi aiheuttaa palovaaran. Ennenkaikkea kaapelin elinikä lyhenee nopeasti, jos sen lämpötila nousee suositeltavan rajan yli. /3/

Ylikuorma aiheuttaa yleensä lämpöä ja jos muuntajan käämien lämpötila nousee liian korkeaksi, voi muuntaja tuhoutua tai sen eristerakenteet vanheta tavallista nopeammin. Kiinteistömuuntamoissa muuntajaa ympäröivä lämpötila on usein korkeampi kuin ulkotiloissa olevan muuntajan ja vastaavasti sen sallittu kuormitus on alempi. Ulkotiloissa olevaa muuntajaa voidaan kuormittaa yli nimellistehonsa pakkasella tai jos muuntaja on varustettu tuulettimella. Ylikuormitusmahdollisuus voidaan ottaa huomioon, kun tarkastellaan häiriötilanteiden mukaisia tilanteita. /3/

6.1. Keskijännitejohdon kuormitettavuus

Keskijännitekaapeleiden kuormitettavuus perustuu suurimpaan sallittuun käyttölämpötilaan, joka määritellään johtimen eristyksen mukaan. Kuormitustilanteessa kaapeli lämpenee ja sen lämpötila riippuu kuormitusvirran suuruudesta, asennusympäristöstä ja kuormituksen vaihtelusta. Kaapelille sallittu kuormitusvirta on määritettävä kaapelin asennusreitien jäähdytysolosuhteiden kannalta huonoimman osuuden mukaan. /11/

Keskijännitekaapelia voidaan hätäkuormittaa poikkeuksellisissa tilanteissa, jos se on palonkestävästi asennettu. Hätäkuormitustilanteessa kaapelin eristyksen vanhentuminen normaalia nopeammin, minkä vuoksi hätäkuormituksen kesto ja määrä pitää rajoittaa mahdollisimman pieneksi. Hätäkuormitettavuuden raja-arvoina voidaan pitää kuormitusta korkeintaan 50 tuntia kerrallaan tai 500 tuntia kaapelin koko pitoaikana. Kaapeleiden hätäkuormitettavuuden ylittäminen voi aiheuttaa kaapelin tuhoutumisen välittömästi tai varsin lyhyessä ajassa. Taulukossa 2 on keskijännitekaapelien hätäkuormituskertoimet. /11/

Taulukko 2. Kaapelien hätäkuormituskertoimet /11/

Kaapelityyppi	Johtimen maksimi-lämpötila hätäkuormituksella (°C)	Hätäkuormitettavuuskerroin	
		Kaapeli ilmassa +25(°C)	Kaapeli maassa +15(°C)
12-24 kV paperieristeinen	95	1,26	1,20
1-24 kV PEX-eristeinen	130	1,20	1,30

6.2. Muuntajan kuormitettavuus

Muuntajan normaalina käyttöikäenä pidetään ikää jonka muuntaja kestää nimelliskuormalla, joka jatkuu pitemmän aikaa jäähdytysilman ollessa +20 °C. Näin ollen muuntaja vanhenee normaalilla nopeudella. Käytännössä kuitenkin muuntajan kuorma on vaihteleva, jolloin muuntajan eristysten vanheneminen on hitaampaa kuorman ollessa pieni. Muuntajaa voikin tämän vuoksi kuormittaa suuren kuorman aikana yli sen nimellisarvon ilman, että eristysten vanhenemisnopeus kasvaisi. Muuntajaa ei kuitenkaan saisi missään tilanteessa pitää yli 50% ylikuormassa. Myöskään käämin lämpötilaa kuumimmassa pisteessä ei saa ylittää 140 °C. Taulukossa 3 on esitetty jakelumuuntajan kuormitettavuuksia eri kuluttajaryhmät huomioiden. /10/

Taulukko 3. Jakelumuuntajan kuormitettavuus /10/

Muuntopiiri	Muuntamotyyppi		
	Pylväsmuuntamo	Puistomuuntamo	Kiinteistömuuntamo
Pientaloalue, sähkölämmitys	1,5	1,4	1,2
Kerrostaloalue	1,5	1,4	1,2
Keskusta-alue	1,4	1,3	1,0
Teollisuusalue	1,4	1,3	1,0
Maaseutualue	1,5	1,4	1,2

Muuntajalle voidaan kuitenkin määrittää hätäkuormitettavuus, kun tulee poikkeuksellisia olosuhteita. Eristysten vanhenemisnopeus saa tällöin olla normaalia suurempi. Ainoan rajoituksen antaa käämin kuumimman pisteen lämpötila joka ei saa ylittää +140 °C ja öljyn yläpinnan lämpötila, joka ei saa ylittää +115 °C. Taulukossa 4 on muuntajan hätäkuormitettavuus arvoja eri lämpötiloissa. Näillä arvoilla muuntajan eristysten vanheneminen on moninkerroin nopeampaa kuin normaalin kuorman aikana. /10/

Taulukko 4. Jakelumuuntajan hätäkuormitettavuus /10/

Muuntopiiri	Muuntamon lämpötila			
	-20 °C	0 °C	+20 °C	+40 °C
Pientaloalue, sähkölämmitys	1,6	1,5	1,4	1,2
Kerrostaloalue	1,7	1,6	1,4	1,3
Keskusta-alue	1,6	1,5	1,4	1,2
Teollisuusalue	1,7	1,6	1,5	1,3
Maaseutualue	1,7	1,6	1,4	1,3

6.3. Pienjännitejohdon kuormitettavuus

Maakaapeliverkossa runkokaapeli on sellainen, joka lähtee muuntamolta ja syöttää jakokaappeja ja jatkuu jakokaapilta toiselle päättyen johonkin niistä. Runkokaapeli ei syötä kuluttajan rakennusta ilman liittymisjohtoa eikä pääty liittymän pääsulakkeisiin. Kun määritellään kaapelien kuormitettavuuksia, pyritään pitämään kaapelien vanhenemisnopeus normaalina. Kuormitettavuudet riippuvat pääosin muuntamo- ja maasennuksen olosuhteista. Lisäksi kuormitettavuuteen vaikuttaa kuormituskäyrän muoto, joka otettaessa huomioon vaikuttaa keskimäärin 20%. /10/

Poikkeuksellisia tilanteita varten voidaan palonkestävästi asennetulla runkokaapelilla määritellä hätäkuormitettavuus, jolla sallitaan eristysten normaalia nopeampi vanheneminen. Hätäkuormitettavuuskertoimet PEX eristeisillä kaapeleilla on maa-

asennuksissa 1,15 ja muuntamoasennuksissa 1,19. Häätäkuormitettavuutta vastaavilla virroilla saa kaapelia kuormittaa enintään 50h kerrallaan mutta kuitenkin enintään 500h kaapelin koko elinaikana. Riskinä häätäkuormitettavuudessa on kaapelia ympäröivän maan kuivuminen kaapelivaipan ulkopinnan korkean lämpötilan vuoksi. /10/

Liittymiskaapeli on sellainen maakaapeli, joka lähtee verkon jakelumuuntamosta, jakokaapista tai ilmajohdon pylväältä. Liittymiskaapeli syöttää kuluttajan pääkeskusta ja päättyy liittymän pääsulakkeisiin. Kuormitettavuus määräytyy yleensä maa-asennuksen mukaan sekä kaapelin loppupään mukaan, joka on kuluttajan kiinteistön sisällä. Liittymisjohdon asennuksissa käytetään referenssiasennustapoja B, C ja D joiden mukaan kaapelin lopullinen kuormitettavuus voidaan laskea. Liittymiskaapeleiden häätäkuormitettavuus on sallittua vain erikoistapauksissa ja palonkestävissä asennuksissa PEX- ja paperieristeisillä kaapeleilla. Tällöin häätäkuormitettavuuskertoimet ovat samat kuin runkokaapeleilla. /10/

7. OIKOSULKUSUOJAUS

Suomen sähköturvallisuusstandardit sisältävät yleisiä suojaukselle asetettuja vaatimuksia. Sähköyhtiöiden on täytettävä nämä vaatimukset. Minimivaatimuksia tehokkaammalla suojauksella voidaan usein parantaa sähkönjakelun luotettavuuttakin. Keskijänniteverkon erikoispiirteitä ovat säteittäinen syöttötapa sekä tähtipistemaadoitusten ja nollajohtimen puuttuminen. Edellinen erikoispiirre tekee selektiivisen suojauksen yksinkertaisemmaksi, kun taas jälkimmäinen tekee maasulusta luonteeltaan oikosulusta poikkeavan vian. Näin ollen maasulun tunnistaminen ja paikantaminen vaatii oman tekniikkansa. /3/

Keskijänniteverkkoja syöttävien sähköasemien kaikki kennot ovat releistettyjä. Itse keskijänniteverkossa välikatkaisijoita tai kytkemöitä on vähän. Yleensä suojaus on yksi- tai kaksiportainen niin katkaisijoissa kuin havahtumisajoissakin. Pienjänniteverkkojen suojauksessa käytetään yhä varokkeita. /3/

7.1. Keskijänniteverkon oikosulkusuojaus

Oikosulkusuojauksen tavoitteena on ehkäistä oikosulkuvirran johdoille ja laitteille aiheuttamat lämpenemisvauriot sekä erottaa vioittunut johto-osa verkosta. Tavoitteena on taata järjestelmän turvallisuus myös vikatilanteissa käyttäjille ja ulkopuolisille. Suomessa tarkoitukseen käytetään vakioaikaylivirtarelettä. Samat releet toimivat myös ylivirta suojinna. /4/

Kolmevaiheisen oikosulkuvirran arvo voidaan laskea kaavalla 3. /3/

$$I_k = \frac{c \times U}{\sqrt{3} \times \sqrt{(R_k + R_M + l \times r_j)^2 + (X_k + X_M + l \times x_j)^2}} \quad (3)$$

missä:

I_k = kolmivaiheinen oikosulkuvirta (A)

U = laskentajännite (V)

R_k = syöttävän verkon oikosulkuresistanssi (Ω)

X_k = syöttävän verkon oikosulkureaktanssi (Ω)

R_M = syöttömuuntajan resistanssi (Ω)

X_M = syöttömuuntajan reaktanssi (Ω)

l = keskijännitejohdon pituus syöttöasemalta oikosulkukohtaan (km)

r_j = keskijännitejohdon resistanssi/pituus (Ω/km)

x_j = keskijännitejohdon reaktanssi/pituus (Ω/km) /10/ /3/

c = Jännitekerroin

Jotta kolmivaiheisen oikosulkuvirran arvo voidaan laskea niin tarkasti että taustaverkon oikosulkuresistanssit ja $-$ reaktanssit tulevat otetuksi huomioon, pitää taustaverkon oikosulkuresistanssi ja $-$ reaktanssi redusoida päämuuntajan alajännitepuolelle 20 kV:n jännitetasolle. Syöttävän verkon arvot saadaan Fingrid Kantaverkkoyhtiön laskelmista ja työssä on käytetty normaalin talvipäivän tilannetta jolloin, $I_{k'''}=6,4\text{kA}$ ja $Z_{k'''}=(3,3+j10,1)\Omega$. Normaalin talvipäivän tilannetta on käytetty siksi, koska Xpower käyttää suoraan näitä arvoja. Päämuuntajan muuntosuhde on 110/20kV.

Redusoiminen voidaan tehdä kaavoilla 4 ja 5. /3/

$$R_K = \left(\frac{U_2}{U_1} \right)^2 \times R_{K110} \quad (4)$$

missä:

R_{K110} = syöttävän 110 kV verkon oikosulkuresistanssi (Ω)

R_K = syöttävän 110 kV verkon oikosulkuresistanssi redusoituna muuntajan alajännitepuolelle (Ω)

U_1 = muuntajan ensiöpuolen nimellisjännite (kV)

U_2 = muuntajan toisiopuolen nimellisjännite (kV) /3/

$$X_K = \left(\frac{U_2}{U_1} \right)^2 \times X_{K110} \quad (5)$$

missä:

X_{K110} = syöttävän 110 kV:n verkon oikosulkureaktanssi (Ω)

X_K = syöttävän 110 kV:n verkon oikosulkureaktanssi redusoituna muuntajan alajännitepuolelle (Ω)

U_1 = muuntajan ensiöpuolen nimellisjännite (kV)

U_2 = muuntajan toisiopuolen nimellisjännite (kV) /3/

Kolmivaiheisen vikavirran laskemiseen tarvitaan päämuuntajan resistanssi ja reaktanssi. Ne saadaan Energiateollisuuden verkostosuosituksen muuntajavalmistajien taulukoista. Arvot ovat ilmoitettu prosentteina ja ne täytyy muuttaa ohmeiksi. Tämä tapahtuu kaavoilla 6 ja 7. /3/ /9/

$$R_M = \frac{r_{M\%}}{100} \times \frac{U_n^2}{S_n} \quad (6)$$

missä:

R_M = syöttömuuntajan resistanssi (Ω)

$r_{M\%}$ = syöttömuuntajan resistanssi (%)

U_n = muuntajan nimellisjännite (kV)

S_n = muuntajan nimellisteho (MVA) /3/

$$X_M = \frac{x_{M\%}}{100} \times \frac{U_n^2}{S_n} \quad (7)$$

missä:

X_M = syöttömuuntajan reaktanssi (Ω)

$x_{M\%}$ = syöttömuuntajan reaktanssi (%)

U_n = muuntajan nimellisjännite (kV)

S_n = muuntajan nimellisteho (MVA) /3/

Edellä esitettyjen kaavojen avulla voidaan laskea kolmivaiheinen vikavirta. Suojauksen kannalta pitää olla tiedossa pienin mahdollinen vikavirta, joka jakeluverkossa voi tapahtua ja tämä on kaksivaiheinen vikavirta. Kun tiedetään pienin mahdollinen vikavirta, joka verkossa voi syntyä, voidaan suojareleiden suojausasettelut tehdä sen mukaan. Jos vikavirta on esimerkiksi 3200A niin asettelu pitää tehdä pienemmäksi kuin 3200A jotta

rele toimisi vian sattuessa. Kaksivaiheinen vikavirta voidaan laskea suoraan kolmivaiheisesta vikavirrasta kaavalla 8. /3/

$$I_{k2} = \frac{\sqrt{3}}{2} \times I_{k3} \quad (8)$$

Missä:

I_{k2} = kaksivaiheinen oikosulkuvirta (A)

I_{k3} = kolmivaiheinen oikosulkuvirta (A) /3/

Lisäksi on huomioitava että laskettaessa maximi oikosulkuvirtaa täytyy johtimien resistanssin arvona käyttää 20 °C:n lämpötilaa, kun taas minimi oikosulkuvirtaa laskettaessa käytetään 40 °C:n lämpötilaa. Keskijänniteverkon maximi ja minimi oikosulkuvirtaa laskiessa käytetään standardin IEC 60909-0 jännitekerrointa c, jonka arvo maksimi oikosulkuvirtaa laskettaessa on 1,10 ja minimi oikosulkuvirtaa laskettaessa 1,0. Kaikki laskut on esitetty liitteessä 5. /3/

Nykyisin suojareleiltä saadaan vikatapauksissa tieto vikavirran suuruudesta sekä ajasta. Vertaamalla releen vikavirta tietoja verkoston laskennalla saatuihin oikosulkuvirran arvoihin, voidaan vikapaikat määritellä hyvinkin tarkasti.

7.2. Pienjänniteverkon oikosukusuojaus

Pienjänniteverkoissa syötön nopean poiskytkennän on tapahduttava pienimmän yksivaiheisen oikosulkuvirran vaikutuksesta määrättyssä enimmäisajassa. Vikavirran tulee olla riittävä sulakkeen nopeaan palamiseen. /3/

Yksivaiheinen oikosulkuvirta voidaan laskea kaavalla 9. /3/

$$I_{k1} = \frac{c \times 3U_v}{\sqrt{(2R_m + R_{m0} + 3L(R_v + R_0))^2 + (2X_m + X_{m0} + L(2X_v + X_{v0} + 3X_0))^2}} \quad (9)$$

Missä:

- U_v = verkon vaihejännite (V)
 R_m = muuntajan oikosulkuresistanssi (Ω)
 X_m = muuntajan oikosulkureaktanssi (Ω)
 R_{m0} = muuntajan nolaresistanssi (Ω)
 X_{m0} = muuntajan nolareaktanssi (Ω)
 R_v = vaihejohtimen resistanssi (Ω/km)
 X_v = vaihejohtimen reaktanssi (Ω/km)
 X_{v0} = vaihejohtimen nolareaktanssi (Ω/km)
 R_0 = nolajohtimen resistanssi (Ω/km)
 X_0 = nolajohtimen reaktanssi (Ω/km)
 L = johdon pituus
 c = jännitekerroin /3/

Pienjänniteverkon pienintä oikosulkuvirtaa laskettaessa käytetään c :n arvona 0,95.

Pienjänniteverkoissa yleisesti oikosulku on kytkettävä pois enintään viidessä sekunnissa. Voidaan myös käyttää pidempiä poiskytkentäaikoja verkonhaltijan harkinnan mukaan, mutta 15s:n toiminta-aikaa ei saisi ylittää. Standardi suosittelee pienjänniteverkon yksivaiheisen oikosulkuvirran minimiarvoksi 250A, jonka etuna nopean suojauksen lisäksi on hyvä jännitejäykkyys. Taulukossa 5 on esitetty verkon pienimmän oikosulkuvirran ja sulakkeen nimellisvirran minimisuhde. Taulukossa olevilla arvoilla poiskytkentäaika saattaa ylittää viisi sekuntia, mutta kaapeleiden terminen kestoisuus ei ole varmaa. /3/

Taulukko 5. Jakeluverkon automaattisen poiskytkennän minimoikosulkuvirrat gG-sulakkeilla /3/

Ylivirtasuojaja	Pienin yksivaiheinen oikosulkuvirta jakeluverkossa
gG-sulake $I_N \leq 63 \text{ A}$	$2,5 \times I_N$
gG-sulake $I_N > 63 \text{ A}$	$3,0 \times I_N$

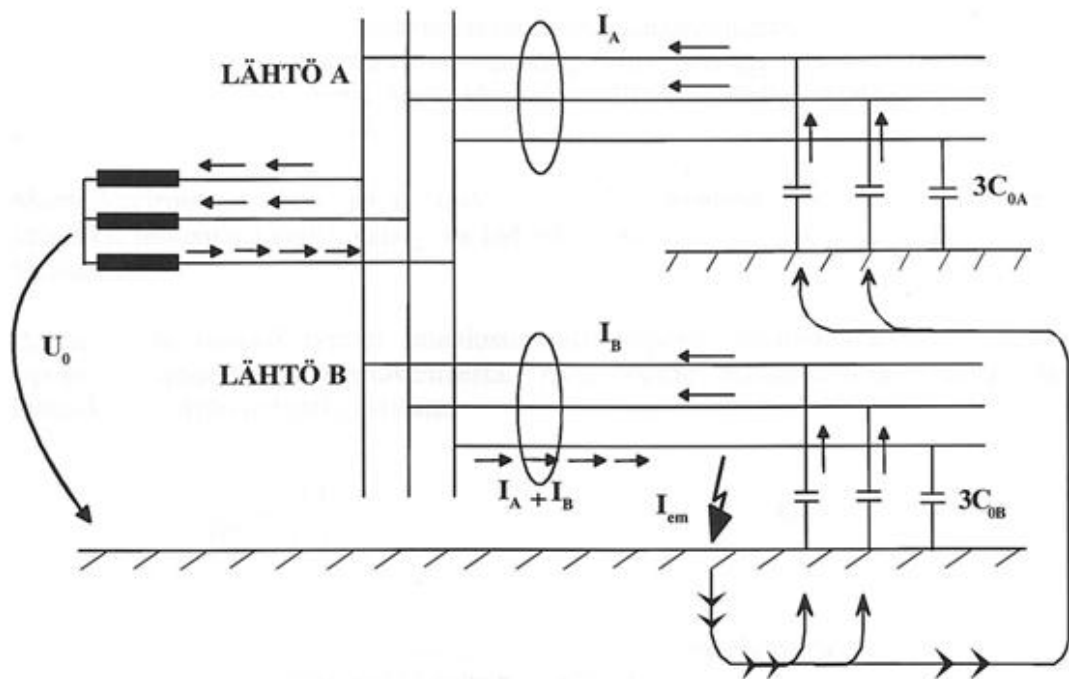
8. MAASULKUSUOJAUS

Suurjännitesähköasennukset standardin SFS 6001 mukaan jokainen maasulku kytketään pois automaattisesti tai käsin, jolloin pitkäaikaista tai jatkuvaa kosketusjännitettä ei esiinny maasulun seurauksena. Maasulkusuojausta ei voida perustaa pelkästään virran suuruuteen perustuen, koska maasulkuvirta on usein pienempi kuin kuormitusvirta. Maasulku aiheutuu yleensä vaihejohtimen valokaaresta tai kosketuksesta suojamaadoitettuun osaan. Maasulku voi olla yksi- tai kaksivaiheinen maasulku sekä kaksoismaasulku. Kaksoismaasululla tarkoitetaan samanaikaisesti kahdessa eri vaiheessa ja eri kohdissa verkkoa tapahtuvaa maasulkua. Maasulun voi aiheuttaa sähkölinjalle kaatunut puu sekä eristyksen pettäminen ja johtimen katkeaminen. Kun maasulku tapahtuu, syntyy vikapaikkaan vikavirta joka voi aiheuttaa tulipalon ja hengenvaaran. /4/, /7/

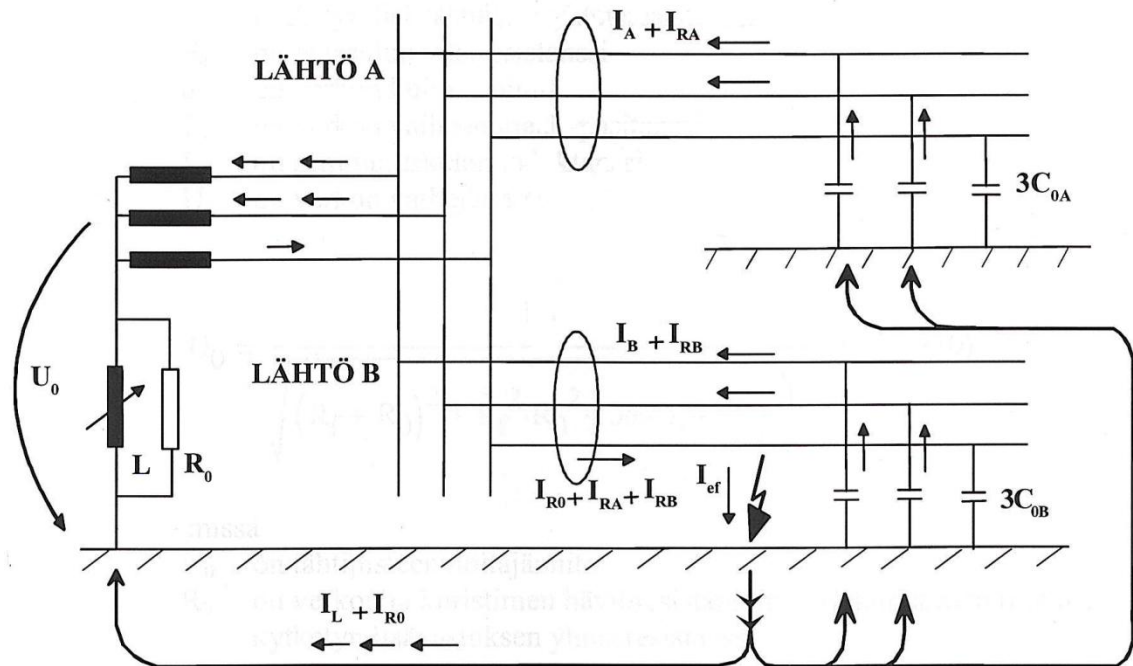
Yksivaiheisessa maasulussa viallisen vaiheen kautta maahan kulkee maasulkuvirta joka kulkeutuu maakapasitanssien kautta terveisiin vaiheisiin. Maasulkuvirta muodostuu galvaanisesti yhdessä olevan verkon maakapasitansseista. Kaksoismaasulun aiheuttaa usein yksivaiheisen maasulun aiheuttama jännitteen nousu terveissä vaiheissa. Vian aikana saattaa terveen vaiheen jännite maata vasten olla jopa pääjännitettä suurempi. Jännitteen nousu terveessä vaiheessa rasittaa sen eristeitä ja tällöin eristyskyvyltään heikentyneet eristimet, ylijännitesuojat sekä kaapelipäätteet voivat aiheuttaa toisen samanaikaisen maasulun eli kaksoismaasulun. Kuvassa 1 on esitetty miten maasulkuvirta muodostuu maasta erotetussa verkossa. /7/

Maakaapelin lisäys keskijänniteverkkoon nostaa maasulkuvirran määrää koko verkossa. Maasulkuvirtaa voidaan rajoittaa kahdella eri tavalla, verkon maakapasitanssit kompensoidaan tai verkko jaetaan osiin galvaanisesti erottamalla. Maasulkuvirtojen kompensointi toteutetaan maadoittamalla muuntajan tähtipiste sammutuskelalla. Jos tähtipistettä ei ole pitää se tehdä erillisellä muuntajalla. Sammutuskuristin saa aikaan nollapistevirran, joka summautuu vikapaikassa johtokapasitanssien summavirtaan, jolloin vikavirta jää hyvin pieneksi ja ”sammutuu” itekseen. Tällaista verkkoa kutsutaan

sammutetuksi verkoksi. Kuvassa 2 on esitetty miten maasulkuvirta muodostuu sen jälkeen, kun sammutuskuristin on kytketty muuntajan tähtipisteeseen. /7/



Kuva 1. Maasulkuvirran muodostuminen maasta erotetussa verkossa. /7/



Kuva 2. Maasulkuvirran muodostuminen sammutetussa verkossa. /7/

Maasulkuvirran lisäys voidaan laskea kaavalla 10. /4/

$$I_e = \sqrt{3} \times \omega \times C_0 \times U \quad (10)$$

missä:

I_e = Maasulkuvirta (A)

U = Verkon laskentajännite (V)

C_0 = Yhden vaiheen maakapasitanssi (F)

$\omega = 2\pi f$

f = Sähköverkon taajuus 50 Hz /4/

9. JAKELUMUUNTAMOT

Pienjänniteverkkoa syöttävällä jakelumuuntamolla muunnetaan Suomessa 20kV:n jännite yleensä 400V:n tasolle. Jakelumuuntamoja rakennetaan, kun uudisrankennus alueita sähköistetään ja vanhoja verkkoja saneerataan. Muuntamon kustannukset riippuvat muuntamon tyypistä. Taajamissa käytettävät jakelumuuntamot ovat monesti tehokkaampia ja ympäristövaativampia kuin haja-asutusalueen muuntamot, näiden takia ne ovat kalliimpia. Saneeraus käyttämällä uutta jakelumuuntamojohtua johtuu yleensä pienjänniteverkon liian suuresta jännitteenalenuksesta tai sulakekokoon nähden liian pienestä yksivaiheisesta vikavirrasta. /3/

9.1. Muuntamotyypit

Jakelumuuntamo koostuu keskijännitekiskostosta, jakelumuuntajasta, joita voi olla kaksikin, pienjännitelähdöistä ja mahdollisesta apujännitejärjestelmästä. Kaikissa muuntamoissa varsinaista keskijännitekiskoa ei ole, koska haja-asutusalueella käytetään yleensä pylväsmuuntamoita, joissa keskijännitejohto kytkeytyy erottimen kautta muuntajan ensiöliittimiin. Ylijännitesuojina pylväsmuuntamolle voidaan käyttää kipinävälisuoja, metallioksidisuoja tai näiden yhdistelmää ns. More suoja. Maakaapeliverkossa ylijännitesuoja käytetään yleensä vain silloin kun ne liitetään ilmajohtoverkkoon. Pylväsmuuntamot soveltuvat enintään 315kVA:n muuntajille. Taajamaverkoissa puisto- ja kiinteistömuuntamot ovat yleisiä ja ne toimivat usein keskijännitekaapelirenkaan osana. /3/

Haluttaessa parantaa sähkön laatua ja verkoston siirtokykyä on järkevintä tuoda sähkö mahdollisimman lähelle kuluttajaa suurjännitteellä. Näin pienjännitejohtojen pituudet lyhentyvät ja muuntamoiden lukumäärät kasvavat. Jakelumuuntamoiden rakenteita on kehitetty, jotta saataisiin kuhunkin käyttötarkoitukseen mahdollisimman yksinkertainen, taloudellinen ja käyttövarma muuntamo. Jakelumuuntamoina käytetään pylväs- ja puistomuuntamoita sekä rakennukseen sijoitettuja muuntamoita. /6/

Pylväsmuuntamo on yleinen maaseudun jakeluverkoissa ja kaupunkien haja-asutusalueilla. Yleisyys perustuu niiden nopeaan rakentamiseen sekä hyvään käyttövarmuuteen. Pylväsmuuntamon rakennus- ja käyttökustannukset ovat pienemmät kuin puistomuuntamon tai rakennukseen sijoitetun muuntamon. Pylväsmuuntamo on tarvittaessa kohtuullisin kustannuksin mahdollista purkaa ja siirtää toiseen paikkaan. Pylväsmuuntamo voidaan keveytensä ansiosta rakentaa lähes kaikkialle. Pylväsmuuntamoissa käytetään yleisesti muuntajia, joiden koot ovat 16- 315kVA:a. Maaseutu käytössä nykyään yleistyvät maaseutumuuntamot, joissa ei ole kj-erottimia vaan ne liittyvät lyhyen kaapelin kautta ilmajohtoverkkoon. /6/

Puistomuuntamoita käytetään yleensä maakaapeliverkossa, mutta se on myös mahdollista liittää avojohtoverkkoon. Puistomuuntamo on erillinen rakennus, jossa on sisällä samat laitteistot kuin rakennukseen sijoitetussa muuntamossakin. Puistomuuntamo on rakennukseen sijoitettuun muuntamoon verrattuna helpompi hallittava palovaaralta, melulta, magneettikentiltä ja muilta mahdollisilta häiriöiltä. Puistomuuntamoissa käytetään yleensä muuntajia, joiden koot ovat 100 -800kVA:a. /6/

Rakennukseen sijoitettu muuntamo on maakaapeliverkkoon liitettävä muuntamo. Muuntamon paikka on rakennuksiin tehdyissä erillisissä muuntamotiloissa. Muuntamossa on kaapelikennot keskijännitekaapeleiden liittämistä ja verkoston jakamista varten. Rakennukseen sijoitetuissa muuntamoissa käytetään yleensä muuntajia, joiden koot ovat 200- 800kVA:a, mutta saattaa joskus olla jopa 1600kVA:a. /6/

9.2. Muuntajien valinta

Muuntopiirin huipputehon arvioinnissa käytetään Velanderin kaavaa. Velanderin kaava on esitetty kaavassa 11. /3/

$$P_{\max} = k_1 \times W + k_2 \times \sqrt{W} \quad (11)$$

Missä:

$$P_{\max} = \text{huipputeho (kW)}$$

k_1 = Velanderin kaavan kerroin

k_2 = Velanderin kaavan kerroin

W = Keskiteho (kWh) /3/

Velanderin kaavassa huipputehon todennäköisyys on 50%, jolloin verkko tulee mielestäni tässä tapauksessa alimitoitetuksi. Tornion Energialla käytetään 95%:n todennäköisyyttä huipputehojen laskentaan, koska se on osoittautunut käytännön toimissa hyväksi vaihtoehdoksi. Suunnitelman todennäköisyydeksi olen valinnut 95%, jolla alimitoitus ehkäistään. Velanderin kaavaan 95%:n todennäköisyys saatiin laskemalla Xpowerilla alueen tehot molemmilla todennäköisyyksillä, 50% ja 95%, näiden suhteesta tuli kerroin 1,231. Kertoimella muutetaan velanderin kaavan antama 50%:n todennäköisyyden huipputeho 95%:n todennäköisyyden huipputehoksi.

Näennäisteho voidaan laskea pätötehosta kaavalla 12. /3/

$$S = \frac{P}{\cos \varphi} \quad (12)$$

Missä:

S = näennäisteho (kVA)

P = pätöteho (kW)

$\cos \varphi$ = tehokerroin /3/

Näennäistehosta saadaan laskettua kaavalla 13 teho, jossa on huomioitu vuotuiset kasvut.

$$S_t = \left(1 + \frac{p}{100\%}\right)^t \times S \quad (13)$$

Missä:

S_t = näennäisteho lasketun vuoden päästä (kVA)

S = näennäisteho (kVA)

p = korkoprosentti (%)

t = aika jonka päähän teho halutaan laskea (a) /3/

Muuntamon tehoja laskettaessa pitää laskea muuntajan ja johtojen läpi kulkevat virrat. Tämä voidaan suorittaa kaavoilla 14, 15 ja 16.

$$I_s = \frac{S}{\sqrt{3} \times U} \quad (14)$$

$$I_p = I_s \times \cos \varphi \quad (15)$$

$$I_Q = I_s \times \sin \varphi \quad (16)$$

Missä:

I_s = näennäisvirta (A)

I_p = pätövirta (A)

I_Q = loisvirta (A)

S = näennäisteho

10. MAADOITUKSET

Sähköturvallisuuden kannalta maadoitusten tärkeimmät tehtävät vikatapausten aikana on rajoittaa kosketus- ja askeljännitteitä. Vika voi olla rakennuksen sähköasennuksissa tai sähköä syöttävässä verkossa. SFS 6001 edellyttää, että suurjännite- ja pienjänniteverkon maadoitukset yhdistetään aina, kun se on mahdollista. Muuntamolle rakennetaan yhteinen maadoituselektrodi keskijännitteelle alttiiden osien suojamaadoitukselle ja pienjänniteverkon maadoitukselle. Pienjänniteverkon maadoitukset rakennetaan standardin SFS 6000 mukaan ottaen kuitenkin huomioon mitä SFS 6001:ssä on esitetty yhdistetyille maadoituksille. /5/ /9/

Muuntopiirien alueilla voi olla sellaisia maadoitusoloja, joissa perustason maadoituksilla ei päästä standardien arvoihin. Tällaisille alueille voidaan rakentaa samanaikaisesti liittymisjohdon kanssa kaapeliojaan maadoituselektrodi, joka on 16mm² kuparia. Maadoituksen jakeluverkon puoleinen pää kytketään PEN-johtimeen joko pylväässä tai jakokaapissa. Liittymän puoleinen pää kytketään liittymän keskuksen PE-liittimeen. Näin maadoituselektrodi toimii sekä liittymän ja jakeluverkon loppupään maadoituksena. Laajoilla huonosti johtavilla alueilla voidaan rakentaa koko pienjännitekaapeliverkon alueelle yksi iso maadoituselektrodi, joka kytketään muuntamon ja jakokaappien PEN-kiskoon sekä liittymien PE -liittimiin /9/

Erillisiä maadoituksia käytetään, kun maadoitusjännitteeseen liittyviä määräyksiä ei pystytä yhdistetyllä maadoituksella täyttämään. Silloin pitää muuntamoiden maadoitukset rakentaa keskijännitteellä SFS 6001 mukaan ja pienjännitteellä vähintään standardin SFS 6000 kohdan 5.2 mukaan. Vika tilanteissa erillisiä maadoituksia on hyvin vaikea pitää erillään toisistaan ja niiden käyttöön muuntamoilla sisältyy turvallisuusriski. Tästä johtuen on pyrittävä täyttämään kaikkiin kohtuullisin keinoin yhdistettyjen maadoitusten vaatimukset ja käyttämään pelkästään yhdistettyjä maadoituksia. /9/

10.1. Keskijänniteverkon ja muuntamon maadoitukset

Keskijännitelaitteiston maadoituksen suunnittelu edellyttää tarkempaa mitoitusta kuin pienjännitelaitteiston maadoitukset.

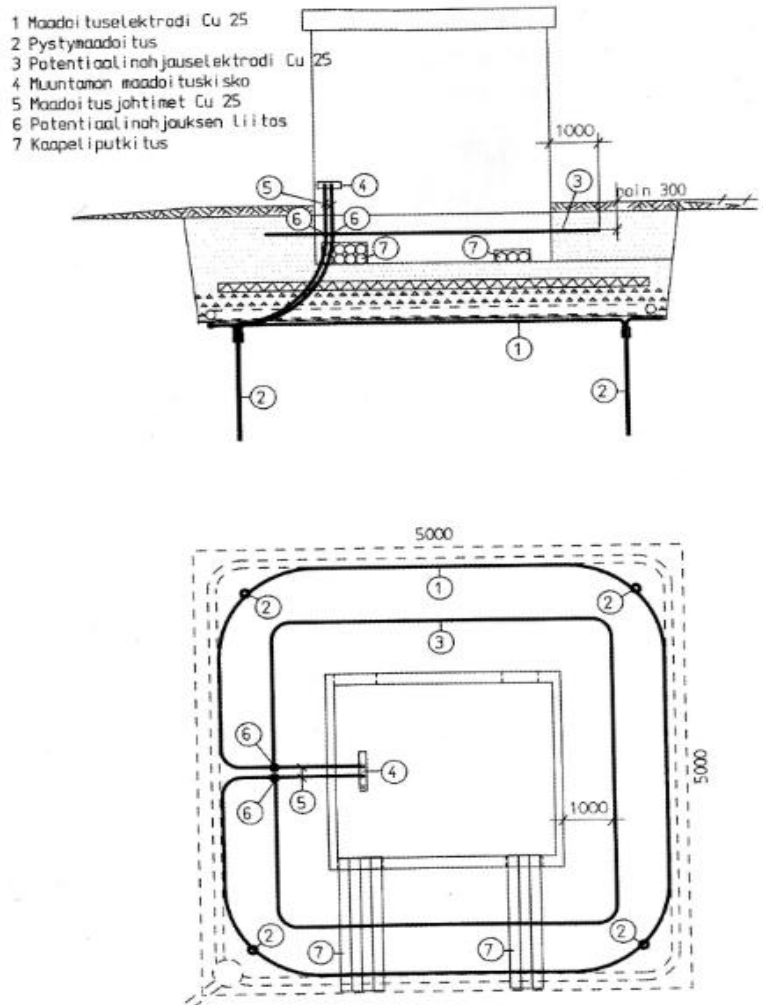
Keskijänniteverkon maadoitusjärjestelmien rakenteiden on täytettävä neljä vaatimusta:

- riittävä mekaaninen lujuus ja korroosiokestävyys
- suurimman vikavirran kestävyys termisesti
- omaisuuden ja laitteiden vaurioitumisen estäminen
- henkilöiden turvallisuuden varmistaminen suurimman maasulkuvirran aikana maadoitusjärjestelmissä esiintyvien jännitteiden suhteen.

Mitoittaessa keskijänniteverkon maadoitusjärjestelmiä olennaisimpia asioita ovat vikavirtojen arvot, vian kesto aika ja maaperän ominaisuudet. /5/

Muuntamolle rakennetaan aina maadoituselektrodi. Puistomuuntamon maadoitusta voidaan parantaa elektrodin lisäksi kaapeliöihin ja jakokaapeille asennettavilla kupariköysillä, jotka ovat yleensä 25mm² vahvuisia. Jos muuntamolla on vain yksi johtohaara, tulee sille rakentaa pienjänniteverkon maadoitus, ettei muuntopiiri jää yhden muuntamolla olevan maadoituksen varaan. Tällaisessa tapauksessa olisi mahdollista, että yhden maadoituksen irtoaminen irrottaisi koko muuntopiirin maadoituksista. /5/ /9/

Puistomuuntamon maadoitusjärjestelmään kuuluvat muuntamon maadoituskisko maadoitus- ja suojamaadoitusjohtimineen. Maadoitusjärjestelmään kuuluu myös potentiaalinhjauselektrodi. Puistomuuntamon perustuksen pohjalle rakennetaan maadoituselektrodi, jota voidaan tarpeen mukaan parantaa syvämaadoituksin. Kuvassa 3 on esitetty puistomuuntamon maadoitusten periaatekuva. /5/



Kuva 3. Puistomuuntamon maadoitus /5/

10.2. Pienjänniteverkon maadoitukset

Pienjänniteverkon sulakkeet ja maadoitukset suojaavat verkonkomponentteja, mutta sitä tärkeämmällä sijalla on hengen- ja palovaaran tehokas eliminointi. Nämä vaatimukset tarkoittavat sitä, että varokesuojauksen lisäksi pitää olla riittävän hyvät maadoitukset. Maadoitukset ehkäisevät vaarallisten kosketusjännitteiden syntyä toimimalla potentiaalintasaajana. /3/

Suomessa käytettävän pienjännitejakeluverkon maadoitukset toteutetaan TN-C-järjestelmää käyttäen, jossa on yhdistetty nolla- ja suojajohdin eli PEN-johdin. Tämän

takia asiakkaan sähköliittymään on tehtävä maadoitus standardin SFS-6000 mukaisesti. Jakeluverkossa PEN-johdin on maadoitettava syöttöpisteestä tai korkeintaan 200 m:n päässä siitä. Syöttöpisteitä voivat olla muuntajat ja generaattorit. Tämän lisäksi jokainen yli 200m pitkä johto tai johdon haara on maadoitettava loppupäästään tai enintään 200m:n päässä siitä. AMKA-johto maadoitetaan 500 metrin välein, jotta ylijännitesuojaus toimisi. Maadoituksilla ehkäistään hengenvaaralliset kosketusjännitteet PEN -johtimen vikatapauksissa. /3/

11. SUUNNITELMAN TOTEUTUS

Tärkeimmät tavoitteet suunniteltaessa sähkönjakeluverkkoa ovat:

- Sähkösiirron pitää olla taloudellista.
- Sähkönsiirron ja –jakelun on oltava luotettavaa.
- Verkon komponenttien on oltava pitkäikäisiä ja luotettavia.
- Sähkönsiirto ja –jakelu ei saa häiritä ympäristöä eikä aiheuttaa hengen-, terveyden- tai omaisuudeenvaaraa.
- Sähköverkosta toimitettavan sähkön pitää olla riittävän laadukasta. /1/

11.1. Keskijänniteverkon suunnitelman toteutus

Keskijänniteverkon suunnittelu tehtiin kahdelle johtolähdölle, Rausti 20 kV:n johtolähdölle ja Kiviranta 20 kV:n johtolähdölle. Molemmat johtolähdöt menevät osittain tai kokonaan Kivirannan Itäosan kaava-alueen läpi. Alkuperäisessä tilanteessa Raustin johtolähtö syöttää muuntamoita MP138 ja toimii samalla varasyöttönä muuntamolle MP157. Alkuperäinen KJ-verkon tilanne on liitteessä 1. Suunnitelma tehtiin siten että Raustin johtolähtö ei syötä yhtäkään Kivirannan Itäosan muuntamoita vaan menee alueen läpi maakaapelina AHXAMK-W 3x185Al+35Cu ja jatkaa ilmalinjana erottimelta E63. Suunniteltu KJ-verkko on liitteessä 3. Liitteen 3 suunnitelmassa uutta johtoa on kuvattu sinisellä värillä ja vanhaa johtoa vihreällä. Punainen johto on olemassa olevaa ilmalinjaa.

Muuntamot MP138 ja MP069 syötetään Kivirannan johtolähdön kautta. Kaapelointi on toteutettu AHXAMK-W 120mm²:n ja 185mm²:n maakaapelilla. Keskijänniteverkon jakorajat Kivirannan johtolähdölle on suunniteltu uudestaan ottaen huomioon tehohäviöt. Vertailu tehtiin Xpowerilla laskemalla eri jakorajatilanteista tehonjakolasku ja sitten valittiin pienimmän tehohäviön omaava jakorajatilanne. Taulukossa 6 on esitetty Xpowerin tehonjakolaskennasta oleellisin rivi, kun kyseessä on alkuperäinen tilanne. Taulukossa 7 on esitetty vastaava laskenta, mutta jakorajamuutos on tehty.

Taulukko 6. Jakorajan alkuperäisen tilanteen tehonjakolaskenta

Kohde	Tunnus	K-aste (%)	U _{min} (kV)	U _h (%)	Ph (kW)	E _h (MWh)	K(Ph) (€)	K(E _h) (€)	K(yht) (€)
Verkko		58	20.51	0.91	28.03	56.00	0	4200	4200

Taulukko 7. Jakorajan muutoksen tehonjakolaskenta

Kohde	Tunnus	K-aste (%)	U _{min} (kV)	U _h (%)	Ph (kW)	E _h (MWh)	K(Ph) (€)	K(E _h) (€)	K(yht) (€)
Verkko		58	20.54	0.76	25.03	49.67	0	3725	3725

Taulukoista 6 ja 7 voidaan suoraan todeta, että Kivirannan johtolähdön tehohäviö P_h on ennen muutosta 28,03kW ja kun muutos tehdään häviö on 25,03kW. Tehohäviö putoaa näin ollen 3kW.

Jännitteenalenema ja suhteellinen jännitteenalenema lasketaan kaavalla 1 ja 2. Taulukossa 8 on laskettuna MP097-MP069 muuntamoille jännitteenalenemat. Taulukossa 9 on laskettu Raustin johtolähdön jännitteenalenema vain erottimelle E63 asti koska erottimen jälkeen lähtevään ilmalinjaan ei ole tehty muutoksia. Ennen erotinta E63 tehty muutos ei kasvata niin merkittävästi jännitteen alenemaa että se pitäisi laskea johtolähdön päähän asti käsin laskemalla. Jännitteenalenema on kuitenkin tarkistettu Xpower laskennalla. Käsin laskennat on esitetty tarkemmin liitteessä 5. Molempien taulukoiden arvojen laskennassa on käytetty Energiateollisuuden verkostosuosituksista. /10/

Taulukko 8. MP097-MP069 Jännitteenalenemat.

	U (V)	I (A)	I _p (A)	I _q (A)	R _j (Ω)	X _j (Ω)	U _{hv} (V)	U _h %
MP097-MP157	20575,80	65,00	61,75	20,15	0,088	0,057	6,58	0,06
MP157-MP138	20563,38	29,00	27,55	8,99	0,130	0,058	4,11	0,03
MP138-MP069	20557,17	24,00	22,80	7,44	0,022	0,066	2,82	0,02

Taulukko 9. Raustin johtolähdön jännitteenalenema.

	U (V)	I (A)	I _p (A)	I _q (A)	R _j (Ω)	X _j (Ω)	U _{hv} (V)	U _h %
SA01- MP156	20700	48	45,60	14,88	0,455	0,212	23,91	0,2
MP156- E63	20563,4	34,0	32,30	10,54	0,284	0,186	11,14	0,09

Jännitteenalenema muuntamalla MP069 on yhteensä 0,71%, joka on lähes sama kuin Xpowerin antama 0,7%:n tulos. Raustin johtolähdöllä laskettu jännitteenalenema on 0,29%, joka eroaa Xpowerin 0,3%:sta hyvin vähän. Xpowerin laskennat on esitetty liitteessä 7.

Verkon kolmi- ja kaksivaiheinen vikavirta Raustin johtolähdössä lasketaan erottimelle E63 asti jotta voidaan todeta suunniteltujen johtojen oikosulkukestoisuudet sekä relesuojauksen asettelun riittävyys suunnitelman alueelle. Kolmivaiheiseksi vikavirraksi saatiin 5640A, kun Xpower antoi vastaavaan kohtaan arvoksi 5010A. Kaksivaiheiseksi vikavirraksi saatiin 4337A kun Xpower laskee vastaavaan kohtaan arvoksi 4300A.

Uusille muuntamoille MP138 ja MP069 laskettiin myös kaksi- ja kolmivaiheiset vikavirrat. Muuntamolle MP138 vikavirtojen arvoiksi saatiin $I_{k3v}=5533A$ ja $I_{k2v}=4245A$. Xpower antaa vastaaviksi arvoiksi 4960A ja 4250A. Muuntamolle MP069 vikavirtojen arvoiksi saatiin $I_{k3v}=5312A$ ja $I_{k2v}=4070A$. Xpower laskee vastaaviksi arvoiksi 4760A ja 4070A. Käsin laskenta antaa liian hyvän arvon verrattuna Xpowerin laskentaan.

Oikosulkukestoisuutta määrittäessä tulee ottaa huomioon mahdollisen pikajälleenkytkennän vaikutus. Pikajälleenkytkennästä hyödytään eniten ohimenevien valokaarivikojen tapahtuessa, joten sitä ei yleensä käytetä maakaapeliverkoissa. Maakaapeliverkoissa ei käytetä pikajälleenkytkentää, koska ohimeneviä vikoja maakaapeleissa ei tule. Aikajälleenkytkennässä maakaapeleilla ja suurilla johdinpoikkipinnoilla on lämpenemää lisäävä vaikutus. Taulukoissa 10 ja 11 on esitetty Xpowerin antamat oikosulun suojausportaat Raustin ja Kivirannan johtolähdöille. Taulukon 10 mukaan suunnitellun alueen suojaus tapahtuu momenttilaukaisulla $I_{>>}$, koska pienimmäksi oikosulkuvirranarvoksi muuntamalla MP069 saatiin 4070A joka on suurempi kuin taulukossa näkyvä momenttilaukaisu $I_{>>}$, joka on 3300A. Ylivirta asettelu on 300 A

molemmilla johtolähdöillä. Kivirannan johtolähdöllä pienin oikosulkuvirta on 3252A ja kuormitusvirta on 122A joten asetelut on siinä oikein. Raustin johtolähdöllä pienin oikosulkuvirta on 961A ja kuormitusvirta on 48A joten siinäkin asetelut arvot ovat kunnossa. Kivirannan ja Raustin johtolähdöllä varasuojana toimii päämuuntajan 20kV:n pääkatkaisija ja sen ylivirtaporras. Jos jostain syystä kivirannan johtolähdön suojaus ei toimi 0,8 sekunnin sisällä, pääkatkaisija katkaisee sähkön syöttävästä kiskostosta. /3/

Taulukko 10. Oikosulun suojausportaat Raustin johtolähdöllä

OIKOSULUN SUOJAUSPORTAAT (VIIMEISIMMÄN LASKENNAN TULOKSET)													
Katkaisijan tunnus	Por ras	PJK (s)	AJK (s)	I>> (kA)	t1 (s)	t2 (s)	t3 (s)	I> (kA)	t1 (s)	t2 (s)	t3 (s)	k tmin (s)	tmax (s)
K1070	1	0.50	120	3.300	0.15			0.300	0.60				

Taulukko 11. Oikosulun suojausportaat Kivirannan johtolähdöllä

OIKOSULUN SUOJAUSPORTAAT (VIIMEISIMMÄN LASKENNAN TULOKSET)													
Katkaisijan tunnus	Por ras	PJK (s)	AJK (s)	I>> (kA)	t1 (s)	t2 (s)	t3 (s)	I> (kA)	t1 (s)	t2 (s)	t3 (s)	k tmin (s)	tmax (s)
K1190	1			2.400	0.15			0.300	0.60				

Alkuperäisessä tilanteessa Xpowerin verkostolaskenta antaa päämuuntajalle PM01 maasulkuvirran arvoksi 23,4A ja PM02 maasulkuvirran arvoksi 165,6A. Suunniteltu verkko kasvattaa hieman maasulkuvirtaa kummallakin päämuuntajalla. PM01:llä maasulkuvirta kasvaa 25,7 ampeeriin ja PM02:lla maasulkuvirta kasvaa 172,1 ampeeriin.

Maasulkuvirtaa kasvattaa maakaapelin lisääntyminen. Raustin johtolähdöllä avojohtoa vähenee 1,917km ja AHXAMK 185 maakaapelia tulee lisää 0,958km. Laskennallisesti maasulkuvirta lisääntyy 2,38A. Kaapelin maasulkuvirtaa lisäävä vaikutus PM01:llä on laskettu liitteessä 5.

Kivirannan johtolähdöllä avojohtoa vähenee 91 metriä ja maakaapelia tulee yhteensä lisää 2,289km. Laskennallisesti maasulkuvirta lisääntyy 6,55A. Kaapelin maasulkuvirtaa lisäävä vaikutus PM02:lla on laskettu liitteessä 5. Maasulkulaskennat on tehty myös Xpowerilla ja ne on esitetty liitteessä 9. Maasulku virran kasvun vaikutukset eivät ole suuria, koska

Luotomäen sähköasemalla on käytössä itsestään säätyvä kuristin, joka säätyy tarpeen mukaan.

Molempien muuntamoiden MP069 ja MP138 keskijännitekaaviot on esitetty liitteessä 13 ja muuntamokaaviot pienjännitekeskusten osalta liitteessä 11.

11.2.Pienjänniteverkon suunnitelma MP069

Uutta aluetta suunniteltaessa pitää kaikki kulutukset arvioida mahdollisimman lähelle todellista kulutusta. Kivirannan Itäosan kaava-alueelle vedetään kaukolämpö, joka alentaa alueen sähkökulutusta. Määriteltäessä MP069 alueen yhden kuluttajan tehoa, otettiin Tornion Pirkkiöstä vastaava omakoti- ja rivitaloalue, josta poimittiin kuluttajien tehot ja kopioitiin ne MP069 alueen kulutuspisteisiin. Näin saadaan tehot, jotka uudella alueella ovat lähimpänä todellista kulutusta. MP069 alueen keskitehoksi tuli 923,7MWh. Huipputehoa alueelle laskettaessa on otettu huomioon velanderin kaava ja Xpowerista saatu kerroin. Kaikki laskennat on esitetty liitteessä 6 PJ-laskennat.

Pylväs muuntamo MP069 vaihdetaan puistomuuntamoksi ja sen sijoitus paikka määräytyy Keroputaan Sairaalan mukaan, jossa sähköön kulutus on huomattava verrattuna muihin muuntopiirin kuluttajiin. Pylväsmuuntamo MP138 puretaan pois ja ja sen tilalle tulee puistomuuntamo. Puistomuuntamo sijoitetaan sähkönjakelun kannalta keskeiselle paikalle. Tornion Kaupungilta on vuokrannut tontin muuntamoa varten kirjohaudantien varresta. Liitteen 4 kuvasta voidaan nähdä molempien muuntamoiden sijainti.

Suunniteltujen muuntamoiden rakenteelliset vaatimukset ovat seuraavat:

Muuntamotila

- Suurin muuntajakoko 1000kVA
- IP00
- Harjakatto
- Ulkoa hoidettava
- Lisäsokkeli betoni

Suurjännitekojeisto

- Ilmaeristeinen kojeisto, kuormaerotin 3kpl, varokekuormaerotin 1kpl
- Nimellisjännite 24kV
- Nimellisvirta 630A
- Oikosulkukestoisuus 20kA, 1s
- Muuntaja kaapelit 3xHXCMK 1x35
- Työmaadoituskytkin

Muuntamon hoitovälineet

- Jännitteen ilmaisain tai koetin

Pienjännitekojeisto

- Nimellisjännite 500V
- Oikosulkukestoisuus >25kA, 1s
- Kotelointiluokka IP20
- 4-johdin järjestelmä
- Pääkojeena kuormakytkin 1600A
- Virtamuuntajat 1250/5A
- Omakäyttösähkö; pistorasia 1-vaiheinen, valaisin
- Kolmivaiheinen virran huippuosoitus
- Kolmivaiheinen jännitemittaus
- Lähdöt:
 - Jonovarokeytkin 4kpl 400A
 - Tilavaraus varokytkimille 4kpl 400A ja 4kpl 160A
- Tila etäluennan keskittimelle ja kolmivaihe jännitesyöttö

Liitteessä 6 on mitoitettu muuntaja muuntamolle MP069 ja siinä on laskettu näennäisteho 30 vuoden päähän kaavoilla 12 ja 13. Näennäistehoksi saatiin 533kVA:ta, mutta tästä huolimatta muuntajakooksi valittiin 500kVA. Kuormitus menisi yli vasta muutaman kymmenen vuoden päästä ja kun muuntajaa saa ylikuormittaa 1,4 kertaisesti niin valinta on oikea. Pitää ottaa huomioon, että kuormitus ei ole koko aikaa 533kVA vaan ainoastaan kuormitushuippujen aikana.

Huippu- ja näennäistehot on laskettu käsin muuntamolle MP069 ja Xpowerilla muuntamolle MP138. Lisäksi on laskettu muuntajien jännitteenalenemat. Nämä arvot näkyvät taulukossa 12. Kaikki MP138 arvot on otettu suoraan Xpowerin laskennasta.

Taulukko 12. Muuntajien lasketut tehot ja jännitteenalenemat.

	P _{max} (kW)	S (kVA)	Muuntaja (kVA)	Jännitteenalenema (%)	
				Laskenta	Xpower
MP069	423,4	533,29	500	2,6	2,4
MP138	273,6	287,98	315	-	2,1

Runkokaapelina Tornion Energialla käytetään yleisesti AXMK 4x185 maakaapelia. Tässäkin suunnitelmassa runkokaapelit toteutetaan tämän säännön mukaan. Talajohtoina käytetään yleisesti AXMK 25 maakaapelia, mutta rivitaloille vedetään paksumpi AXMK 50 kaapeli. Maakaapelit pyritään kaivamaan samaan kaivantoon mikäli mahdollista. Runkokaapelit asennetaan 70mm välein, jotta kaapelin kuormitettavuus pysyisi mahdollisimman suurena. Kaivantoihin jakokaappien välille tulee lisäksi 25 mm² Cu köysi, joka kytketään jakokaappien maadoituskiskoihin kiinni. Myös muuntamon ja jakokaappien välille tulee samanlainen kupariköysi.

Runkojohtojen sulakkeet muuntamolle ja jakokaapeille määräytyvät kuormitusvirran ja kaapelin suurimman sallitun ylivirtasuojan mukaan. Liitteen 8 Xpower PJ-laskenta tulosten mukaan voidaan muuntamon lähdoille määrätä sulakkeet. Lähtöjen kuormitukset ovat seuraavat: Keroputaan Sairaala 202A, J2 Kirjohaudantie 134A, J4 Riekonpolku 73A, J8 Kirjohaudantie 123A, J10 Hillapolku 139A, J5 Jäniksenpolku 242A. J5 Jäniksenpolun syöttö joudutaan tekemään tuplasyötöllä, koska se syöttää verkon kauimmaista kuluttajaa ja jännitteenalenema olisi muuten liian suuri. Kaikille muille lähdoille valitaan 250A gG-sulake, paitsi Keroputaan Sairaalalle 315A gG-sulake ja J5 Jäniksenpolun tuplasyötölle 400A gG-sulakkeet. 250A:n sulake on hyvä valinta, koska sen takia jakokaapille voidaan valita pykälää pienempi sulake ja näin suojaus pysyy selektiivisenä. Valinnat on tehty yllä mainittujen vaatimusten sekä liitteiden mukaan. /10/

Talajohtojen suojaukseen jakokaapille valitaan 50A gG-sulakkeet ja ne toimivat talajohtojen oikosulkusuojana. Kuluttajan pääsulakkeet toimivat johdon

ylikuormitussuojana. Rivitalotonttien talojohtoja suojaamaan valitaan kulutuspiisteestä riippuen 100A:n tai 63A:n gG-sulakkeet. Liitteessä 10 on jakokaappien J5 ja J17 esimerkki layout kuvat sekä jakokaaviot.

Oikosulkusuojaus toteutuminen tarkistetaan laskemalla yksivaiheinen oikosulkuvirta jakokaapeille ja kauimmalle kuluttajalle. MP069 alueella kauimmainen kuluttaja on 70579 jota syöttää jakokaappi J6. Kuvassa 4 on esitetty MP069 alueen kauimmainen kuluttaja. Kaavaa 9 on käytetty oikosulkuvirran laskentaan. Kaikki laskennat on esitetty liitteessä 6 ja tulokset on esitetty taulukossa 9. Taulukosta voidaan todeta, että Xpowerin ja laskettujen yksivaiheisten oikosulkuvirtojen arvot eivät merkittävästi eroa toisistaan. AX185 runkokaapelin oikosulkukestoisuus on 17,4 kA 1s ja Xpowerin laskenta antaa jokaisen MP069 muuntopiirin runkokaapelin maksimi oikosulkuvirraksi 14,271 kA. Vertaamalla näitä arvoja voidaan todeta että runkokaapelit ovat oikosulkukestoisia.

Taulukko 13. Laskettu I_{Klv} , ylivirtasuoja ja pienin sallittu oikosulkuvirta

Jakokaappi	I_{Klv} (A)		Ylivirtasuoja gG-sulake (A)	Pienin sallittu oikosulkuvirta (A)
	Laskettu	Xpower		
J1	1570	1557	200	600
J2	2471	2439	250	750
J3	2571	2540	200	600
J4	4982	4853	250	750
J5	5527	5303	400	1200
J6	3207	3140	315	942
J7	1226	1216	200	600
J8	1708	1691	250	750
J9	1303	1293	200	600
J10	1975	1955	250	750
Kauimmainen kuluttaja	256	258	50	125

Lasketaan jännitteen alenema MP069 alueen huonoimpaan pisteeseen. Xpower antaa suurimman jännitteen aleneman J7:n syöttämälle rivitalotontille. Laskemiseen käytetään kaavoja 1 ja 2. Taulukossa 14 on esitetty jännitteenalenema ja sen laskemiseen käytetyt virrat ja kaapeleiden resistanssit sekä reaktanssit. Kaapeleiden johtotiedot ovat Energiategollisuuden verkostosuosituksista. /10/

Taulukko 14. Jännitteenaleneman laskenta.

	I (A)	I_p (A)	I_Q (A)	R_v (Ω /km)	X_v (Ω /km)	R_{johto} (Ω)	X_{johto} (Ω)	U_{hv} (V)	U_h (%)
AX185	116,4	110,6	36,1	0,181	0,082	0,0538	0,024	6,83	2,96
AX185	116,4	110,6	36,1	0,181	0,082	0,013	0,01	2,92	1,26
AX50	50,13	47,62	15,54	0,348	0,084	0,067	0,016	3,24	1,4

Taulukosta 14 laskemalla saadaan AX50 talojohdon päähän jännitteenalenemaksi yhteensä 5,62% joka on 217V. Xpower antaa vastaavaksi arvoksi 215V. Tulokset hieman poikkeavat toisistaan.

Muuntopiirin MP069 taloudellisuuslaskelmat tehtiin Xpower ohjelmalla. Verrattiin AXMK185 ja AXMK300 kaapeleita siten että AX185 kaapelia käytettäessä oli 500kVA:n muuntajakone ja AX300 kaapelia käytettäessä 800kVA:n muuntajakone. Tulokset on nähtävillä taulukossa 15 ja 16. Taulukon 15 mukaan tehohäviö P_h on 5,114 kW ja kaapelien sekä muuntajan vaihdon jälkeen se on 3,422 kW. 800kVA:n muuntaja ja AX300 on halvempi yhdistelmä häviöiden osalta, mutta 500kVA:n muuntaja ja AX185 ovat halvempi vaihtoehto hankkimisajankohtana.

Taulukko 15. Kaapelien ja muuntajien taloudellisuus laskenta AX185.

Kohde	Tunnus	K-aste (%)	Umin (V)	Uh (%)	Ph (kW)	Eh (kWh)	K(Ph) (€)	K(Eh) (€)	K(yht) (€)
1 -	2 M69	103	224.4	2.4	5.114	8051	256	604	860
Verkko		74	212.1	7.8	12.576	9184	629	689	1318

Taulukko 16. Kaapelien taloudellisuus laskenta AX300.

Kohde	Tunnus	K-aste (%)	Umin (V)	Uh (%)	Ph (kW)	Eh (kWh)	K(Ph) (€)	K(Eh) (€)	K(yht) (€)
1 -	2 M69	64	226.5	1.5	3.422	6566	171	492	663
Verkko		73	217.5	5.4	9.126	7050	456	529	985

Suunnitelma on esitetty liitteessä 4. Uudet johdot ovat väriltään vihreitä ja vanhat sinisiä. Uudet jakokaapit ovat väriltään sinisiä ja vanhemmat vihreitä.

11.3. Pienjänniteverkon suunnitelma MP138

Osa muuntamon MP138 alueen uusien tonttien sähkönkulutuksesta määriteltiin olevan 7600kWh, joka on arvion mukaan lähimpänä todellista sähkönkulutusta kaukolämpöalueella. Osa tonttien kulutuspisteistä on arvioitu samalla tavalla kuin MP069 alueella. Xpower antaa muuntamon MP138 keskitehoksi 450MWh laskemalla jokaisen kulutuspisteen mukaan.

Runkojohtoina käytetään AXMK 185 maakaapelia samoin perustein kuin MP069 alueellakin. Uudet talojohdot ovat AXMK 25 maakaapelia. Sulakkeet jakokaapeille

määräytyvät kuluttajien talojohdon mukaan ja tällä alueella ne ovat pääasiassa 50A gG-sulakkeita. Ainoat poikkeukset ovat jakokaapin J20 syöttämät jo olemassa olevat neljä kuluttajaa, joiden sulakkeet ovat 25A ja 35A. Muuntamon lähdoille valitaan sulakkeet seuraavasti: Kaikille lähdoille 250A gG-sulakkeet, paitsi lähdölle J17 Kirjohaudantie valitaan 315A:n gG-sulakkeet tuplasyötön takia. Jakokaapeille valitaan runkojohtoja suojaamaan 200A:n gG-sulakkeet.

Muuntamon lähdoistä suurin virta on J12 Nevapolulla 128A ja toiseksi suurin virta J15 Kirjohaudantiellä 107A. Jakokaapille J17 vedetään tuplasyöttö AXMK 185 kaapelilla, sillä sen kautta tulee varasyöttöyhteys jakokaapille J677. J16 kaapilta on varasyöttöyhteys jakokaapille J236. Kaikki alueen jakokaapit on pyritty sijoittelemaan niin, että ne muodostaisivat rengasverkon mahdollisimman kattavasti. Liitteessä 10 on jakokaappien esimerkki layout kuvat ja jakokeskuskaaviot.

Oikosulkusuojaus tarkistetaan Xpowerilla laskemalla yksivaiheinen vikavirta kauimmalle kuluttajalle ja jakokaapeille. Kauimmainen kuluttaja on 01046, jolla on MCMK 10 maakaapeli talojohtona. Kuvassa 8 on esitetty kauimmainen kuluttaja. Yksivaiheinen vikavirta kuluttajan talojohdon päähän on 338A, joka on riittävä, kun talojohtoa suojaa 50A:n gG-sulake. Liitteestä 8 on nähtävillä kaikki Xpowerilla tehdyt laskennat.

AX185 runkokaapelin oikosulkukestoisuus on 17,4 kA ja Xpowerin laskenta antaa jokaisen MP138 muuntopiirin runkokaapelin maksimi oikosulkuvirraksi 9623 kA. Näin voidaan todeta runkokaapeleiden olevan oikosulkukestoisia.



Kuva 5. Kauimmainen kuluttaja MP138 alueella.

Pienin jännitteenalenema Xpowerilla laskettaessa on jakokaappi J20:n syöttämällä talojohdolla. Alenema johdon päässä on 3,9% ja jännite on 221V. Jännitteenalenema on suurin tässä pisteessä eikä verkon kauimmassa kohdassa, koska runkojohdolle tulee paljon enemmän kuormitusta ja tämän takia jännite alenee. Kaikki jännitteenalenemat on laskettu Xpowerilla ja tulokset on liitteessä 8.

Suunnitelma on esitetty liitteessä 4. Uudet johdot ovat väriltään vihreitä ja vanhat sinisiä. Uudet jakokaapit ovat väriltään sinisiä ja vanhemmat vihreitä.

11.4. Pienjänniteverkon saneeraus muuntopiirissä MP097

Liitteen 2 kuvasta voidaan nähdä PJ-verkon alkutilanne muuntopiirissä MP097. Muuntamolta lähtevät tuplasyötöt jakokaapille J187 ja kaapelit ovat MC70:stä. Jakokaapilta J187 lähtee syöttöjohto MC70 joka syöttää jakokaappia J188.

Saneerataan edellä mainitut johdot ja jakokaappi seuraavasti. Muuntamolta jakokaapille J187 MC70 kaapeli vaihdetaan AX185 kaapeliin. Myöskin jakokaappien J187 ja J188 välinen runkokaapeli vaihdetaan AX185 kaapeliin. Jakokaappi J188 vaihdetaan isompaan ja uudempaan kaappiin. Jakokaapin kaavio ja lay-out kuvat on esitetty liitteessä 11. Jakokaapilta J188 vedetään runkokaapeli AX185 muuntamolalle MP157 varayhteydeksi. Kaapeli kaivetaan samaan ojaan 20kV maakaapelin AHX185 kanssa. Saneeratut kohteet on esitetty liitteessä 4. Uudet johdot ovat väriltään vihreitä ja vanhat sinisiä. Uudet jakokaapit ovat väriltään sinisiä ja vanhemmat vihreitä.

Runkojohdoille ei tarvitse tehdä sen kummempaa tarkastusta kuormitusten, oikosulkuvirtojen tai jännitteenaleniemien osalta, koska runkojohdot ovat aikaisempaa paksumpia ja kuormitukset pysyvät samoina.

12. KUSTANNUSARVIO

Taulukon 17 hintatiedot on otettu energiamarkkinaviraston vuoden 2011 hinnastosta. Taulukkoon on koottu kaikki komponentit joista keski- ja pienjänniteverkon rakennuskustannukset muodostuvat. Maakaapelin kaivuuhintana käytettiin haja-asutusalueen yksikköhintaa vaikka alue on taajamaa. Tälle selityksenä on, että alueella ei ole taajama-alueelle tyypillisiä vanhoja kaapeleita, joita tarvitsisi kaivuutöiden aikana varoa. Taulukon 18 purkukustannusarvio tehtiin vanhalle keski- ja pienjännitelinjalle. /2/

Taulukko 17. Rakennuskustannusarvio /2/

	Yksikköhinta (€)		Määrä	Yhteensä
Muuntamot				
Puistomuuntamo, tyyppi 1 (ulkoa hoidettava)	27 330	/kpl	2	54 660,00 €
Muuntajat				
300 – 315	7 240	/kpl	1	7 240,00 €
500 – 630	8 840	/kpl	1	8 840,00 €
20 kV maakaapelit (asennus)				
95 – 120 maakaapeli	34 410	/km	1,0689	36 780,85 €
150 – 185 maakaapeli	41 760	/km	2,2855	95 442,48 €
Kojeistopääte	1 260	/kpl	8	10 080,00 €
Pylväspääte	2 630	/kpl	3	7 890,00 €
Jatko	2 480	/kpl	3	7 440,00 €
0,4 kV maakaapelit (asennus)				
enintään 25 maakaapeli	7 290	/km	2,519	18 361,32 €
35 – 50 maakaapeli	9 770	/km	0,351	3 427,32 €
95 – 120 maakaapeli	13 520	/km	0,241	3 261,02 €
150 – 185 maakaapeli	19 570	/km	5,759	112 709,50 €
240 – 300 maakaapeli	20 090	/km	0,143	2 866,84 €
0,4 kV ja 20 kV maakaapelit (kaivu)				
Haja-asutusalue	10 130	/km	5,002	50 672,08 €
Jakokaapit ja jonovarokeytkimet				
Kaapelijakokaappi vähintään 630 A	1 540	/kpl	21	32 340,00 €
Jonovarokeytkin enintään 160 A	270	/kpl	108	29 160,00 €
Jonovarokeytkin 250 – 400 A	400	/kpl	26	10 400,00 €
Yhteensä				491 571,42 €

Taulukko 18. Purkukustannusarvio

	Konemies (€/h)	sähköasentaja (€/h)	Työtunnit (h)	Purkukustannukset (€)
Muuntamon 138 purku	60	40	40	4000 €
Muuntamon 069 purku	60	40	40	4000 €
			Purkukust yhteensä.	8000 €

Rakennus- ja purkukustannukset yhteenlaskettuna saadaan hinta arvioksi 499571,65€ eli lähes puoli miljoonaa euroa. Kustannuksissa ei ole otettu huomioon vanhoista ilmalinjoista jääviä johtimia ja niiden arvoa.

13. YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli valmis sähkösuunnitelma Kivirannan Itäosan kaava-alueelle sisältäen sekä keski-, että pienjänniteverkon suunnitelmat. Työn tuloksena ovat valmiit suunnittelukuvat ja jakokaappien layout-kuvat sekä kokonaiskustannusarvio uudelle alueelle, johon on laskettu mukaan saneerauskohteen kustannukset. Kaikki suunnitelman kuvat ovat niin valmiita, että niitä voidaan käyttää sellaisinaan, kun alueen sähköverkkoja aletaan rakentamaan.

Työn suunnitelma piirrettiin Xpower- verkostolaskentaohjelmalla, joka toi lisähaasteen koko työlle, sillä en ollut aikaisemmin vastaavalla ohjelmalla piirtänyt. Ohjelman käyttö piti opetella samalla kun teki suunnitelmaa. Suunnittelun aikana ei tullut suurempia ongelmia. Välillä suunnittelussa jouduttiin ottamaan takapakkia, kun huomattiin, että jännitteenalenemat eivät olleet enää sallituissa rajoissa. Varsinkin verkon kauimpien kuluttajien syöttöpaikkoja jouduttiin muuttamaan useamman kerran. Omasta mielestäni tein tarkkaa työtä, varsinkin laskettaessa oikosulkuvirtoja pienjänniteverkossa, sillä Xpower antoi aivan tarkalleen samoja tuloksia kuin itse olin laskemalla saanut. Jännitteen alenemat eivät olleet aivan samoja johtuen Xpowerin laskentatavasta, jossa se huomio paremmin kuormitushuippujen eriaikaisuuden.

Uuden sähköverkon suunnittelu oli mielenkiintoista ja mukavaa työtä. Työn aikana ei tullut erityisen paljon uutta asiaa vastaan Xpower ohjelmaa lukuunottamatta. Suunnitelma onnistui mielestäni hyvin ja aikataulutus kohtuullisesti.

14. LÄHDELUETTELO

- /1/ Elovaara, Jarmo; Haarla, Liisa, Sähköverkot I, Otatieto, 2011.
- /2/ Energiamarkkinavirasto, Verkkokomponentit ja indeksikorjatut yksikköhinnat vuodelle 2011 (alv 0 %).
- /3/ Lakervi, Erkki; Partanen, Jarmo, Sähkönjakelutekniikka, Otatieto, 2008.
- /4/ Lakervi, Erkki Sähkönjakeluverkkojen suunnittelu, Otatieto, 1996.
- /5/ Maadoituskirja, Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry, 2007
- /6/ Monni Markku, Sähköverkkoasennukset, 6. painos, 2005
- /7/ Näätsaari, Erkki, Tornion Energia Oy:n jakeluverkon maasulkusuojausten tarkastelu, Opinnäytetyö, 2005
- /8/ Tornion Energia Oy, Vuosikertomus 2010.
- /9/ Verkostosuositus RJ 19:06 Pylväserotinasemien ja muuntopiirien maadoitukset standardin SFS 6001 mukaan, Energiateollisuus ry.
- /10/ Verkostosuositus SA 2:08 Pienjänniteverkon ja jakelumuuntajan sähköinen mitoittaminen, Energiateollisuus ry.
- /11/ Verkostosuositus SA 5:94 Keskijänniteverkon sähköinen mitoittaminen, Sähköenergialiitto ry.

LIITELUETTELO

- LIITE 1 Keski­jänniteverkon alkutilanne
- LIITE 2 Pien­jänniteverkon alkutilanne
- LIITE 3 Keski­jänniteverko suunnitelma
- LIITE 4 Pien­jänniteverkon suunnitelma
- LIITE 5 Keski­jännite laskennat
- LIITE 6 Pien­jännite laskennat
- LIITE 7 Xpowerin keski­jännite laskennat
- LIITE 8 Xpowerin pien­jännite laskennat
- LIITE 9 Xpowerin maasulku laskennat
- LIITE 10 Jakokaappikaaviot
- LIITE 11 Muuntamokaaviot
- LIITE 12 Keski­jännitekaaviot