

# KEMI-TORNION AMMATTIKORKEAKOULU

## Puuluodon sähköjakeluverkon saneeraus

Heidi Huhta

Sähkötekniikan koulutusohjelman opinnäytetyö  
Sähkövoimatekniikka  
Insinööri(AMK)

KEMI 2011

## **ALKUSANAT**

Haluan kiittää kaikkia työni valmistumiseen vaikuttaneita henkilöitä. Erityisesti haluaisin kiittää Erkki Näätsaarta kiinnostavasta opinnäytetyön aiheesta sekä hyvästä opastuksesta. Lisäksi haluaisin kiittää poikaystävääni työn teon aikana vaaditusta kärsivällisyydestä.

## TIIVISTELMÄ

Kemi-Tornion ammattikorkeakoulu, Tekniikan ala	
Koulutusohjelma	Sähkötekniikka
Opinnäytetyön tekijä	Heidi Huhta
Opinnäytetyön nimi	Puuluodon sähköjakeluverkon saneeraus
Työn laji	Opinnäytetyö
päiväys	10.12.2011
sivumäärä	38 + 85 liitesivua
Opinnäytetyön ohjaaja	Ins. Antero Martimo
Yritys	Tornion Energia Oy
Yrityksen yhteyshenkilö/valvoja	Ins. Erkki Näätsaari

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella Puuluodon sähköjakeluverkon saneeraus, jossa alueen pien- ja keskijänniteverkon sekä katuvalaistuksen ilmajohdot tuli korvata maakaapeilla. Alueella olevat pylväsmuuntamot tuli myös korvata tarvittavalla määrällä puistomuuntamoita. Suunnitelma tehtiin käyttäen Teklan Xpower-verkostolaskentaohjelmaa. Lisäksi työhön kuului työn kustannusten arviointi Energiamarkkinaviraston hintojen mukaan.

Työn teoriaosassa käytiin läpi suunnitteluun liittyviä verkostosuosituksia sekä standardeja, joiden pohjalta verkon komponenttien mitoitus tuli suunnitella. Lisäksi otettiin huomioon Tornion Energialla yleisesti käytetyt sulake- ja kaapelikoot sekä tyypit. Työssä myös verrattiin standardien pohjalta laskettuja arvoja Xpowerin laskennasta saatuihin arvoihin.

Alueelle päätettiin sijoittaa kaksi uutta puistomuuntamoita korvaamaan kolme vanhaa pylväsmuuntamoita. Alueelle määritettiin uudet jakorajat ja suunnitelman suojaus todettiin sopivaksi sekä Xpowerin että omien laskentojen perusteella. Sulake- ja kaapelikoot valittiin Tornion Energian yleisesti käyttämien kokojen perusteella ja niiden sopivuus tarkastettiin standardeista tai verkostosuosituksista.

Työn tuloksena saatiin tavoitteen mukaiset piirustukset, joiden pohjalta kaapelointi voidaan toteuttaa. Lisäksi suunniteltiin alueelle tulevien jakokaappien kalustus ABB:n MJS-suunnitteluohjelmaa käyttäen.

Työn tuloksena saatujen laskentojen perusteella voidaan sanoa, että verkon sähkönlaatu tulee paranemaan suunnitelman toteutuksen myötä. Verkon energia- ja tehohäviöt vähenevät, sekä jännitteenalenema pienenee kaapeloinnin seurauksena. Vertailtaessa laskettuja arvoja Xpowerin arvoihin kävi ilmi, että ne eivät poikkea paljon toisistaan.

Asiasanat: sähkösuunnittelu, sähköverkot, sähköturvallisuus

## ABSTRACT

Kemi-Tornio University of Applied Sciences, Technology	
Degree Programme	Electrical Engineering
Name	Heidi Huhta
Title	Renewal of the Power Supply System in Puuluoto
Type of Study	Bachelor's Thesis
Date	10 December 2011
Pages	38 + 85 appendixes
Instructor	Antero Martimo, BEng
Company	Tornion Energia Oy
Contact Person/Supervisor from Company	Erkki Näätäsaari, BEng, Tornion Energia Oy

The purpose of this study was to design the renewal of the Power Supply System in Puuluoto. The low- and medium-voltage overhead cables and also the overhead cables of the public lightning had to be replaced by ground cables. The pole transformers in the area had to be replaced by a necessary amount of distribution substations. The design was made using Tekla's calculation program Xpower. The study also included an estimate of the costs using the prices of the Energy Market Authority.

The theory part involves different recommendations and standards regarding the design. They were used to design components in the network. The commonly used fuse and cable sizes by Tornion Energia were also taken into consideration. In the theory part the calculated values were also compared to the values given by Xpower.

Two new distribution stations were used to replace the three old pole transformers. New borders for the distribution areas were planned and the protection of the network was found suitable using the self calculated values and also the values given by Xpower. Fuse and cable sizes were selected out of the sizes commonly used by Tornion Energia and their suitability was checked from standards and recommendations.

As a result the designs were finished as planned and they could be used to execute the cabling. In addition the layout pictures of the distribution cabinets were planned using a designing program MJS by ABB.

Using the calculations got as a result it can be said that quality of the electricity will improve after the renewal. The energy and power losses will reduce and the voltage drop will decrease after the cabling. Comparing the self calculated results and the results from Xpower it shows that they don't differ that much from each other.

Keywords: electrical planning, electrical network, 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. SÄHKÖNJAKELUVERKKO .....	4
5. KESKIJÄNNITEVERKON SUUNNITTELU .....	5
5.1. Keski-jänniteverkon kaapelointi .....	5
5.2. Kuormitettavuus .....	6
5.3. Jännitteenalenema .....	7
5.4. Oikosulkusuojaus .....	8
5.5. Maasulkusuojaus .....	10
5.6. Suunnitelman toteutus .....	11
6. JAKELUMUUNTAMO .....	14
6.1. Muuntamotyypit .....	14
6.2. Jakelumuuntajan kuormitettavuus .....	15
6.3. Jakelumuuntajan jännitteenalenema .....	16
6.4. Muuntajien valinta .....	17
6.5. Maadoitus .....	18
7. PIENJÄNNITEVERKON SUUNNITTELU .....	19
7.1. Kaapeleiden kuormitettavuus .....	20
7.2. Pienjänniteverkon mitoitus .....	21
7.3. Pienjänniteverkon oikosulkusuojaus .....	21
7.4. Pienjänniteverkon jännitteenalenema .....	24
7.5. MP012 Puuluoto-alueen suunnitelma .....	24
7.6. MP028 Juova-alueen suunnitelma .....	28
8. KATUVALAISTUS .....	30
9. SÄHKÖN LAATU .....	31
10. TYÖN TULOKSET .....	32
11. KUSTANNUSARVIO .....	34
12. YHTEENVETO .....	35
13. LÄHDELUETTELO .....	36
14. LIITELUETTELO .....	38

**KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET**

AX, AXMK	PEX-eristeinen alumiinijohtimellinen kaapeli
$C_0$	yhden vaiheen maakapasitanssi
$E_h$	energiahäviö
$f$	verkon taajuus
$I_e$	maasulkuvirta
$I_k$	oikosulkuvirta
$I_p$	pätövirta
$I_q$	loisvirta
$k_j$	keskijännite
L, l	johdon pituus
P	teho
$P_h$	tehohäviöt
$P_j$	pienjännite
R, $R_k$	oikosulkuresistanssi
$R_m, r_M$	muuntajan resistanssi
$R_{m0}$	muuntajan nolaresistanssi
$R_v, r, r_j$	johtimen resistanssi
$R_0$	nollajohtimen resistanssi
$R_1$	verkon oikosulkuresistanssi
$R'_1$	verkon redusoitu oikosulkuresistanssi
S	muuntajan kuorma
$S_n$	muuntajan nimellisteho
U	jännite
$U_E$	maadoitusimpedanssi
$U_{h\%}, U_h, \Delta U$	jännitteenalenema
$U_n$	muuntajan nimellisjännite
$U_{TP}$	kosketusjännite
$U_v$	vaihejännite
$U_1$	muuntajan ensiöpuolen nimellisjännite

$U_2$	muuntajan toisiopuolen nimellisjännite
$U_v$	ulkovalaistus
$X_m, X_M$	muuntajan resistanssi
$X_{m0}$	muuntajan nollareaktanssi
$x_k$	oikosulkureaktanssi
$X_v, x, x_j$	johtimen reaktanssi
$X_{v0}$	vaihejohtimen nollareaktanssi
$X_0$	nollajohtimen reaktanssi
$X_1$	verkon oikosulkureaktanssi
$X'_1$	verkon redusoitu oikosulkureaktanssi

## 1. JOHDANTO

Opinnäytetyön tarkoituksena on suunnitella Puuluodon pien- ja keskijänniteverkon sekä katuvalaistuksen saneeraus Tornion Energia Oy:lle. Verkon ilmajohtot tulee vaihtaa maakaapeleiksi ja alueen pylväsmuuntamot korvataan puistomuuntamoilla. Maakaapeloinnin etuja ilmajohtoihin nähden on esimerkiksi verkon käyttövarmuuden paraneminen sekä niiden huomaamattomuus, ne eivät ole koko ajan nähtävissä katukuvassa. Saneerauksen suunnittelun lisäksi työhön kuuluu kustannusten arviointi Energiamarkkinaviraston hintojen perusteella.

Suunnitelman toteuttamiseen käytetään Xpower-verkostolaskentaohjelmaa. Alueelle tulevat jakokaapit ja niiden kalustus suunnitellaan ABB:n MJS-suunnitteluohjelmalla. Työn teoriaosuudessa käsitellään verkostosuunnitteluun liittyviä standardeja ja eri verkostosuosituksia, jotka täytyy huomioida verkkoa suunniteltaessa. Standardien lisäksi työssä huomioidaan Tornion Energian omat suunnittelukäytännöt kuten käytettävät sulake- ja kaapelikoot. Lisäksi opinnäytetyössä verrataan Xpowerin laskennasta saatuja arvoja omiin teoreettisiin laskentoihin ja katsotaan kuinka hyvin ne vastaavat toisiaan.

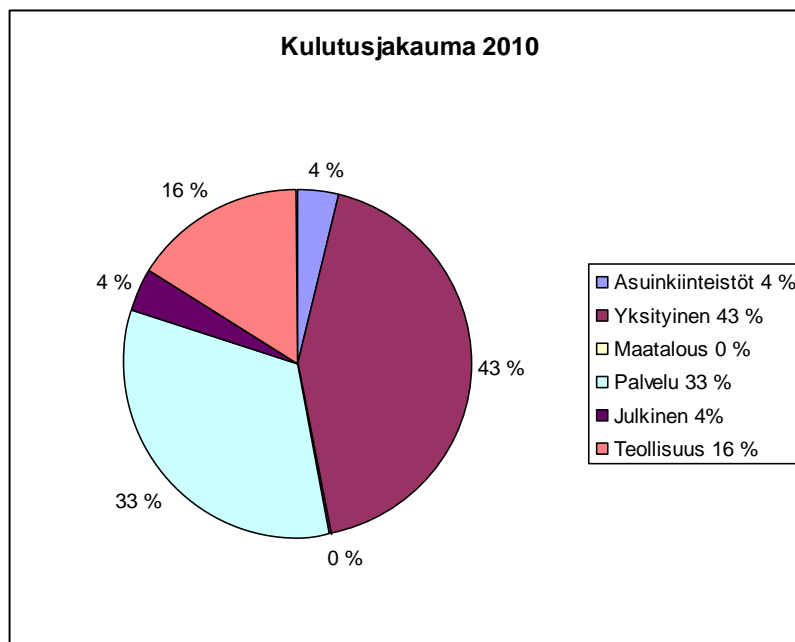
Työn tuloksena syntynyttä suunnitelmaa käytetään kun Puuluodon verkon uudistaminen aloitetaan. Työn tuloksia verrataan myös nykyiseen verkon tilaan tarkastelemalla kuinka paljon mm. verkon häviöt ja jännitteenalenemat pienenevät suunnitelman toteutuksen jälkeen.



## 2. TORNION ENERGIA OY

Tornion Energia Oy on Tornion kaupungin omistama osakeyhtiö. Sen tehtäviä on vastata Tornion kaupungin alueella tapahtuvasta sähkönsiirrosta, sähkö- ja kaukolämpöverkon rakentamisesta ja ylläpidosta sekä kaukolämmön tuotannosta. Yhtiö on jaettu kolmeen eri osastoon: Talous- ja hallinto-osasto, Verkosto- ja urakointipalvelut sekä Kaukolämpöosasto. Vuoden 2010 lopussa Tornion Energialla työskenteli vakituisesti 26 henkilöä. Tällöin henkilöstön keski-ikä oli 47,4 vuotta. /11/

Vuoden 2010 lopulla Tornion Energia Oy:n jakelualueella oli siirretty 192 gigawattituntia sähköenergiaa ja asiakkaisiin kohdistunut yhteenlaskettu keskeytysaika oli noin 0,5 tuntia. Sähköverkon käyttöpaikkoja oli vuoden lopussa 10 808 kappaletta. Kuvassa 1 näkyy, miten sähkönkulutus jakautui eri käyttäjien kesken vuoden 2010 aikana. /12/



**Kuva 1. Kulutusjakauma 2010 /11/**

### 3. SUUNNITTELUN LÄHTÖTILANNE

Saneerattava kohde sijoittuu Tornion Puuluotoon. Liitteenä 1 on kuva kyseisestä alueesta. Pylväsmuuntamot MP012 Puuluoto, MP238 Rinneketo ja MP028 Juova poistetaan ja ne korvataan kahdella puistomuuntamalla, joiden paikat on jo etukäteen päätetty. Jakoalueet arvioidaan työn teon yhteydessä, miltä muuntamolta kannattaa syöttää mikäkin alue. Alueen ilmajohtoilla toteutetut keskijännite-, pienjännite- ja ulkovalaistusverkot korvataan maakaapeleilla.

Alueen verkko on rakennettu rengasmuotoon, mutta sitä käytetään pääasiassa säteittäisenä eli alueet on erotettu toisistaan jakorajoilla. Myös uudessa suunnitelmassa tulee ottaa huomioon varasyöttömahdollisuudet.

Pienjänniteverkon ilmajohtoina toteutetut talojohdot korvataan maakaapeleilla. Joidenkin talojen liittymisjohdot on jo valmiiksi toteutettu maakaapeleilla, joten niitä ei tarvitse muuttaa. Lisäksi kaikille liitteen 1 tyhjille tonteille vedetään valmiiksi liittymisjohto, jos sitä ei ole jo ennestään.

Pienjänniteverkkoa suunniteltaessa eri sähkönkäyttäjien kulutukset saadaan suoraan Xpower-verkostolaskentaohjelmasta. Ohjelman avulla voidaan myös tehdä tarvittavat laskennat.

## 4. SÄHKÖNJAKELUVERKKO

Suomessa on yksi yhteinen sähköverkko, johon kaikki kuluttajat ja voimalaitokset on kytketty. Nykyään verkko kattaa lähes kaikki Suomen kotitaloudet. Sähkövoimajärjestelmän suurimpia etuja on voimansiirto hyvällä hyötysuhteella. Siirtoetäisyydet voivat olla hyvinkin pitkiä, joten tuotantoa pyritään toteuttamaan taloudellisesti mahdollisimman järkevällä tavalla, jolloin myös verkon käyttövarmuus lisääntyy. /1/

Sähköverkon suunnittelun tärkeimmiksi tavoitteiksi voidaan nimetä:

- sähkön siirron ja jakelun taloudellisuus, eli verkkoon ei pidä investoida enempää kuin on tarpeellista ja häviöiden on oltava mahdollisimman pieniä
- sähkön laatu, eli kuormituksen vaihtelut eivät saa aiheuttaa liian suurta jännitteen vaihtelua
- kuormituksen ja tai vikavirtojen aiheuttaman johtimien lämpenemisen estäminen yli sallittujen arvojen
- siirron ja jakelun luotettavuus, eli verkon tavallisimmat viat eivät saa keskeyttää sähköntoimitusta
- verkon komponenttien pitkäikäisyys ja luotettavuus, eli niiden on kestettävä verkkoon kohdistuvat mekaaniset ja sähköiset rasitukset
- sähkönsiirron ja – jakelun vaarattomuus, eli ihmiselle tai omaisuudelle ei saa koitua vaaraa, eikä ympäristölle aiheutua kohtuuttomasti häiriötä. /1/

## 5. KESKIJÄNNITEVERKON SUUNNITTELU

Suomessa yleisin keskijänniteverkon jännitetaso on 20 kV, joissakin kaupungeissa käytetään myös 10 kV:n jännitetasoa. Keskijänniteverkko ja 110 kV:n alueverkko muodostavat yhdessä toimivan jakelujärjestelmän. Sähkönjakelu ei saisi keskeytyä verkon terveissä osissa yksittäisien vikatilanteiden vuoksi. Tämän vuoksi keskijänniteverkon suunnittelu on vaativampaa kuin tavallisen pienjänniteverkon suunnittelu. Suurin osa sähkökäyttäjille aiheutuvista keskeytyksistä johtuukin keskijänniteverkossa tapahtuvista vioista. /1/ , /5/

Sekä suur- että keskijänniteverkot rakennetaan yleensä käyttövarmuuden parantamiseksi rengasverkkomuotoon. Verkkoa voidaan käyttää avaamalla rengas jostakin kohtaa, jolloin siihen muodostetaan jakoraja. Jakorajoja muuttamalla voidaan tarvittava energia syöttää toisestakin suunnasta vian sattuessa. Rengasmuotoinen verkko on kuitenkin kalliimpi toteuttaa, kuin säteittäisverkko, koska rengaskäyttö vaatii huomattavasti kalliimman suojaruleistyksen. Tämän vuoksi johtorenkaita pidetään normaalisti auki ja rengasmuoto otetaan käyttöön vain vikatapauksissa ja kytkentöjä muutettaessa. /1/ , /6/

### 5.1. Keskijänniteverkon kaapelointi

Maaseudulla keskijänniteverkot on yleensä toteutettu avojohtoina. Haja-asutusalueilla ei kannata tai aina ei ole edes mahdollista rakentaa kalliita varayhteyksiä. Johdot rakennetaan vain sinne, missä niitä tarvitaan. Kaapeloinnin aiheuttamat kustannukset voivat kuitenkin kasvaa suuremmaksi kuin sähköjakelun keskeytyksien vähenemisestä saadut taloudelliset hyödyt. Avojohdot ovat kuitenkin herkempiä erilaisille ympäristössä tapahtuville häiriöille, kuten puiden kaatumisille. Taajama-alueilla taas on yleisempää käyttää kaapelointia, sillä suuremmissa kaupungeissa ei olisi edes tilaa ilmajohdoille. Lisäksi kaupungit pyritään myös maisemallisista syistä pitämään vapaana kaupunkikuvaa häiritsevistä johdoista. /5/

Suurin syy siihen, että kaikkia avojohtoja ei vaihdeta maakaapeleiksi, on luultavasti kaapeloinnin hinta. Kaapelit ja niiden varusteet maksavat siirtoyhteysmuotona

huomattavasti enemmän kuin avojohdot. Kustannukset muodostuvat äkkiä suuriksi, kun mukaan lasketaan kaapelin kulkureittiin liittyvät kaivutyöt sekä kaapeleiden varusteet, jatkokset ja päätteet. /2/

Kaapeleiden etuja avojohtoihin nähden ovat mm.:

- pieni tilantarve
- pienemmät häiriöt ympäristölle
- vähempi alttius säälle sekä lialle
- jännitteisten osien kosketussuojaus
- pienempi jännitteenalenema
- suurempi lyhytaikainen ylikuormitettavuus
- ympäristöön tunkeutuvat sähkö- ja magneettikentät ovat olemattomia
- ei meluhaittoja ja lisähäiriöitä aiheuttavaa koronaa
- kasvavat maasulkuvirrat. /2/

Kaapeleiden huonoja puolia avojohtoon verrattuna ovat mm.:

- korkea hinta
- huonommat jäähdytysominaisuudet
- huonompi pitkäaikaisylikuormitettavuus
- huonompi oikosulkuvirtojen rajoituskyky
- vaikea asennus
- pitkä korjausaika ja vaikeampi vianpaikannus
- alttius vahingoittumiselle kaivutyössä. /2/

## 5.2. Kuormitettavuus

Kaapelin kuormitettavuus perustuu suurimpaan sallittuun lämpötilaan, joka johtimille sallitaan materiaalin, eristyksen tai ympäristön takia. Kaapeleiden lämpeneminen riippuu sekä kuormitusvirrasta että asennusolosuhteista. Kaapelille sallittu kuormitusvirta määräytyy sen kaapelireitin kohdan mukaan, jossa on jäähdytyksen kannalta huonoimmat olosuhteet. /5/ , /14/

Poikkeuksellisissa tilanteissa voidaan kaapelille määritellä hätäkuormitettavuus. Eli kaapelia voidaan kuormittaa tavallista maksimikuormitusta enemmän, kunhan tämä hätäkuormitettavuus on vain lyhytaikaista ja harvoin tapahtuvaa. Verkostosuosituksen SA 5:94 mukaan raja-arvoina voidaan pitää että kaapelia saa kuormittaa korkeintaan 50 h kerrallaan, mutta silti enintään 500 h koko kaapelin pitoaikana. /13/

Kaapelin hätäkuormitettavuutta ei tule ylittää, sillä se voi saada aikaan kaapelin tuhoutumisen hyvinkin nopeasti. Lisäksi kaapelin hätäkuormitus voi aiheuttaa maan kuivumista. /14/

### 5.3. Jännitteenalenema

Yksittäisen keskijännitejohdon jännitteenalenemalle ei voida asettaa tarkkoja rajoja, sillä jännitteenalenemaa tulee tarkastella aina koko sähkönsyöttöreitin pituudelta. Tarkastelussa on tärkeää ottaa huomioon myös varasyöttötilanteet. Tavallisesti suuri osa jännitteenalenemasta syntyy runkojohdossa. Pienjänniteverkon jännitteenaleneman ollessa riittävän pieni, keskijänniteverkon jännitteenalenema voi olla jopa 10 %. Sähkölaitoksen verkon jännitteen on kuitenkin kuluttajan liittymiskohdassa oltava vähintään 207 V. /4/ , /9/

Keskijännitejohdon jännitteenaleneman laskemiseen voidaan käyttää seuraavaa kaavaa:

$$U_h = 100 \times P \times l \times \frac{r + x \times \tan \varphi}{U^2} \quad (1)$$

missä

$U_h$  = jännitteenalenema (%)

$P$  = johdon kautta siirrettävä teho (MW)

$l$  = johdon pituus (km)

$r$  = johtimen resistanssi ( $\Omega$ /km)

$x$  = johtimen reaktanssi ( $\Omega/\text{km}$ )

$U$  = verkon laskentajännite (kV)

$\varphi$  = vaihekulma /14/

Kaavaan tarvittavat kaapeleiden resistanssi- ja reaktanssiarvot löytyvät liitteestä 2.

## 5.4. Oikosulkusuojaus

Oikosulkusuojaus tarkoittaa suojata verkon johtoja ja laitteita oikosulkuvirran aiheuttamilta lämpenemisvaurioilta. Lisäksi se erottaa vikakohdan muusta verkosta. Oikosulkusuojaus toteutukseen käytetään Suomessa yleensä vakioaikaylivirtareleillä. Kolmivaiheisen oikosulkuvirran suuruus voidaan laskea seuraavalla kaavalla:

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

missä

$I_k$  = kolmivaiheinen oikosulkuvirta (kA)

$U$  = laskentajännite (kV)

$R_k$  = syöttävän 110 kV verkon oikosulkuresistanssi 20 kV / 10 kV portaassa ( $\Omega$ )

$X_k$  = syöttävän 110 kV verkon oikosulkureaktanssi 20 kV / 10 kV portaassa ( $\Omega$ )

$R_M$  = syöttömuuntajan resistanssi ( $\Omega$ )

$X_M$  = syöttömuuntajan reaktanssi ( $\Omega$ )

$l$  = keskijännitejohdon pituus syöttöasemalta oikosulkukohtaan (km)

$r_j$  = keskijännitejohdon resistanssi/pituus ( $\Omega/\text{km}$ )

$x_j$  = keskijännitejohdon reaktanssi/pituus ( $\Omega/\text{km}$ ) /14/ , /5/

Syöttävän 110 kV:n alueverkon oikosulkuresistanssin ja -reaktanssin suuruudet saadaan Xpowerilta, mutta ne täytyy ensin redusoida, jotta sen arvo saadaan 20 kV / 10 kV:n portaaseen. Muuntajan alajännitepuolelle redusointiin voidaan käyttää yhtälöä:

$$R'_1 = \left( \frac{U_2}{U_1} \right)^2 \times R_1 \quad (3)$$

missä

$R_1$  = syöttävän 110 kV verkon oikosulkuresistanssi ( $\Omega$ )

$R'_1$  = syöttävän 110 kV verkon oikosulkuresistanssi redusoituna muuntajan alajännitepuolelle ( $\Omega$ )

$U_1$  = muuntajan ensiöpuolen nimellisjännite (kV)

$U_2$  = muuntajan toisiopuolen nimellisjännite (kV)

$$X'_1 = \left( \frac{U_2}{U_1} \right)^2 \times X_1 \quad (4)$$

missä

$X_1$  = syöttävän 110 kV verkon oikosulkureaktanssi ( $\Omega$ )

$X'_1$  = syöttävän 110 kV verkon oikosulkureaktanssi redusoituna muuntajan alajännitepuolelle ( $\Omega$ )

$U_1$  = muuntajan ensiöpuolen nimellisjännite (kV)

$U_2$  = muuntajan toisiopuolen nimellisjännite (kV)

Muuntajan kilpiarvoista saadaan syöttömuuntajan resistanssi ja reaktanssi, mutta arvot on annettu prosentteina, joten ne täytyy muuttaa ohmeiksi käyttäen yhtälöitä:

$$R_M = \frac{r_{M\%}}{100} \times \frac{U_n^2}{S_n} \quad (5)$$

missä

$R_M$  = syöttömuuntajan resistanssi ( $\Omega$ )



$r_M$  = syöttömuuntajan resistanssi (%)

$U_n$  = muuntajan nimellisjännite (kV)

$S_n$  = muuntajan nimellisteho (MVA)

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

missä

$X_M$  = syöttömuuntajan reaktanssi ( $\Omega$ )

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

$U_n$  = muuntajan nimellisjännite (kV)

$S_n$  = muuntajan nimellisteho (MVA)

## 5.5. Maasulkusuojaus

Yleisimpiä keskijänniteverkon maadoitustapoja Suomessa on tähtipisteestään maasta erotettu verkko tai sammutettu verkko. Sammutetun verkon tähtipisteeseen on kytketty induktanssi, jonka induktiivinen reaktanssi vastaa suunnilleen verkon johtojen maakapasitanssien muodostamaa kapasitiivista reaktanssia. Pirkkiön sähköasemalla käytetään sammutetun verkon toteuttamiseen 1775 kVAr:n sammutuskuristinta, jonka virransäätöalue on 15–150 A. Sen avulla pystytään pienentämään maasulkuvirtaa ja loiventamaan vikapaikkaan palaavaa jännitettä. /5/

Maakaapelin lisääntymisen vaikutus maasulkuvirtaan voidaan laskea kaavalla.

$$I_e = \sqrt{3} \times \omega \times C_0 \times U \quad (7)$$

missä

$I_e$  = maasulkuvirta (A)

$U$  = verkon laskentajännite (V)

$C_0$  = yhden vaiheen maakapasitanssi (F)

$\omega = 2\pi f$

$f$  = verkon taajuus 50 Hz /12/

Kaavaan vaadittu maakapasitanssin arvo saadaan Verkostosuosituksen SA 5:94 liitteenä 2 olevista arvoista.

Ilmajohdojen määrän väheneminen pienentää hieman laskettua maasulkuvirran suuruutta. Loppujen lopuksi ilmajohtojen korvaaminen maakaapeleilla kuitenkin lisää verkon maasulkuvirtaa. Ilmajohdojen vähenemisen vaikutus voidaan laskea yhtälöllä:

$$I_e = \frac{U \times l}{300} \quad (8)$$

missä

$I_e$  = maasulkuvirta (A)

$U$  = verkon laskentajännite (V)

$l$  = johtopituus (km) /13/

## 5.6. Suunnitelman toteutus

Keskijänniteverkon uudeksi kaapeliksi valittiin AHXAMK-120. Kuva suunnitellusta keskijänniteverkosta on liitteenä 3. Keskijänniteverkon jännitteenalenemaa laskettaessa on kuitenkin otettava huomioon koko sähkönsyöttöreitin pituus. Kaapelin jännitteenalenema lasketaan kaavalla 1. Kaavassa 1 käytetään huipputehon arvoa, joten kun arvioidaan kuormituksen jakautuvan tasan koko sähkönsyöttöreitille, tulee kaavan antama tulos jakaa vielä kahdella. Laskutoimitukset ovat liitteenä 4. Taulukossa 1 esitetään kaikki kaapelit, jotka sijaitsevat sähköaseman ja muuntamon MP028 välillä.

**Taulukko 1. Keskijännitekaapelit ja niiden jännitteenalenemat**

	<b>AX185</b>	<b>Pg99</b>	<b>Rv63</b>	<b>AX120</b>	<b>APY120</b>
Pituus (km)	1,12	2,768	0,206	0,586	0,306
Rv (Ω/km)	0,169	0,337	0,535	0,256	0,262
Xv (Ω/km)	0,119	0,354	0,368	0,129	0,115
Uh (%)	0,056	0,302	0,032	0,042	0,022

Muuntamolle MP028 laskettu jännitteenalenema on 0,23 % eli jännitteen suuruus kyseisessä pisteessä on 20,65 kV. Xpowerilla tehtyyn keskijänniteverkon laskentaan verrattuna jännitteenalenema on lähes sama kuin laskettu arvo. Xpowerin mukaan muuntamalla MP028 jännitteenalenema on 0,2 % ja jännite kyseisessä kohdassa 20,66 kV.

Verkon kolmivaiheinen oikosulkuvirta lasketaan uudelle muuntamolle MP028 asti. Oikosulkuvirran suuruudeksi saatiin laskennan avulla 3,29 kA, laskutoimitukset on esitetty liitteessä 4. Xpowerin verkostolaskennan mukaan kolmivaiheisen oikosulkuvirran arvo on 3,18 kA, mikä on lähes sama kuin laskemalla saatu arvo.

Oikosulkukestoisuutta määritettäessä tulee huomioida myös pika- ja aikajälleenkytkentöjen vaikutukset. Niitä käytetään paljon avojohtoverkossa sekä verkossa, jossa on sekä ilmajohtoja että maakaapeleita. Aikajälleenkytkentä aiheuttaa huomattavaa lämpenemistä etenkin suurpoikkipintaisilla johtimilla ja maakaapeleilla. Pikajälleenkytkentää käytetään paljon ohimenevien valokaarivikojen selvittämiseen, jonka takia sitä ei yleensä käytetä maakaapeliverkoissa. Kuvassa 2 on esitetty oikosulkusuojauksen ylivirtareleiden asetteluajat. /5/

O I K O S U L U N S U O J A U S P O R T A A T (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)
k4080	1	0.50	120	3.200	0.10			0.300	0.50	0.50	0.50			

## Kuva 2. Ylivirtareleen asettelut

Xpowerin verkostolaskennasta saadaan uudessa suunnitelmassa Pirkkiön sähköaseman syöttämän verkon maasulkuvirran suuruudeksi 71,2 A. Verkon nykyisen tilan

maasulkuvirran suuruus on 68,4 A. Suunnitelman toteutus kasvattaisi siis maasulkuvirtaa 2,8 A.

Maasulkuvirran kasvuun vaikuttaa eniten maakaapeleiden lisääntyminen verkossa. Suunnitelman mukaan verkkoon lisätään 1,073 km AHX120 maakaapelia. Maakaapelin lisääntymisen vaikutus maasulkuvirtaan on laskettu kaavalla 7 liitteen 4 laskennassa. Liitteessä on myös laskettu kuinka paljon maasulkuvirtaan vaikuttaa verkon ilmajohtojen väheneminen. Ilmajohtoja on uudessa suunnitelmassa 0,401 km vähemmän kuin nykyisessä verkossa.

Maakaapeleiden lisäyksen aiheuttaman maasulkuvirran kasvun suuruudeksi saadaan 2,82 A. Ilmajohtojen vähentämisellä taas ei ollut suurta vaikutusta maasulkuvirtaan, vain 0,03 A. Eli yhteensä maasulkuvirran suuruudeksi saadaan noin 2,79 A, mikä on sama kuin Xpowerin laskennasta saatu arvo.

## 6. JAKELUMUUNTAMO

Jakelumuuntamoita käytetään muuntamaan 20 kV:n keskijännitettä 400 V:n pienjännitteeksi. Jakelumuuntamo koostuu keskijännitekiskosta, ainakin yhdestä jakelumuuntajasta, pienjännitelähdöstä ja toisinaan apujännitejärjestelmästä. Muuntamo rakennetaan yleensä mahdollisimman lähelle kulutusta, sillä pienjänniteverkon sähkönsiirto alentaa jännitettä. Muuntamon tyyppi vaikuttaa paljon sen kustannuksiin. Taajamiin sijoitettavat muuntamot tarvitsevat isomman tehon kuin haja-asutusalueiden muuntamot. Lisäksi taajama-alueilla on tiukemmat ympäristövaatimukset. /5/ , /7/

### 6.1. Muuntamotyypit

Pylväsmuuntamoita käytetään maaseuduilla ja muilla harvaan asutuilla alueilla. Pylväsmuuntamossa keskijännitejohto liittyy yleensä erottimen kautta muuntajan ensiöliittimiin. Pylväsmuuntamoiden muuntamokoot ovat yleensä väliltä 16 kVA – 315 kVA. /7/

Pylväsmuuntamoiden etuja on sen alhaiset rakennus- ja käyttökulut. Sen rakentaminen, purkaminen tai mahdollinen siirtäminen on myös helppoa. Pylväsmuuntamon voi tarvittaessa kytkeä olemassa olevaan avojohtoverkkoon ilman, että sähkönjakeluun aiheutuu käyttökeskeytystä. Pylväsmuuntamot soveltuvat parhaiten pienille, enintään 315 kVA:n muuntajille. /7/

Puistomuuntamoita käytetään normaalisti maakaapeliverkossa, mutta sen käyttö on mahdollista myös avojohtoverkossa omalla keskijännitekaapelilla kytkettynä. Muuntamossa on keskijännitekaapeleiden liittämistä ja verkon jakamista varten kaapelikennot. Muuntaja liitetään keskijänniteverkkoon kaapeleilla. Pienjännitekeskus liitetään muuntajaan joko kiskostoa tai kaapeleita käyttäen. /7/

Rakennuksiin sijoitetut muuntamot sisältävät samat laitteet kuin puistomuuntamot. Se eroaa puistomuuntamosta siinä, että muuntamo sijoitetaan rakennuksiin tehtäviin muuntamotiloihin. Puistomuuntamo taas on erillinen rakennus. Sen etuja rakennukseen sijoitettavaan muuntamoon nähden on palovaaran, melun, magneettikenttien ja muiden mahdollisten häiriöiden helpompi hallinta. /7/

## 6.2. Jakelumuuntajan kuormitettavuus

”Muuntajan normaali käyttöikä on yleensä se ikä, jonka muuntaja kestää jatkuvalla nimelliskuormalla kuormitettuna jäähdytysilman ollessa +20 °C. Muuntajaa voidaan toisinaan kuormittaa yli nimelliskuormituksen, sillä käytännössä muuntajan kuorma vaihtelee koko ajan ja eristyksen vanheneminen on normaalia hitaampaa aina pienemmän kuormituksen aikana. Kuormitussuhteen ei tulisi silti ylittää  $1,5 \times S_N$ , eli 50 %:n ylikuormaa. Lisäksi käämin kuumimman pisteen lämpötila ei saisi ylittää +140 °C.” /15/

Taulukossa 2 on eri kuluttajaryhmien kuormituskäyrämuodoilla laskettuja kuormitettavuuksia. Taulukossa on otettu huomioon kuormituksen ja lämpötilojen vaihtelut, kun muuntajan vanhenemista on laskettu koko vuonna. /15/

**Taulukko 2. Jakelumuuntajan kuormitettavuus (kuorman suhde nimellistehoon) /15/**

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

Taulukossa 3 on esitetty muuntajan hätäkuormitettavuusarvoja eri lämpötiloissa laskettuna. Muuntajaa ei tulisi kuormittaa hätäkuormitettavuusarvoilla kauempaa kuin on välttämätöntä. Käämin kuumimman pisteen lämpötila ei tässäkään tapauksessa saa ylittää +140 °C eikä öljyn yläpinnan lämpötila ylittää +115 °C. /15/

**Taulukko 3. Jakelumuuntajan hätäkuormitettavuus (kuorman suhde nimellistehoon) /15/**

Muuntopiiri	Muuntamotyyppi			
	+40 °C	0 °C	+20 °C	+40 °C
Pientaloalue, sähkölämmitys	1,6	1,5	1,4	1,2
Kerrostaloalue	1,7	1,6	1,4	1,2
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

Taulukoiden arvot on laskettu käyttäen standardia IEC 60076-7. Muuntajat ovat tavallisia ilmajäähdytyksellä ja öljykierrolla toteutettuja. /15/

### 6.3. Jakelumuuntajan jännitteenalenema

Muuntajan jännitteenalenema saadaan laskettua kaavalla:

$$\Delta U = \frac{S}{S_N} \times (R_k \cos \varphi + X_k \sin \varphi) \quad (9)$$

missä

$\Delta U$  = muuntajan jännitteenalenema (%)

$S$  = muuntajan kuorma (kVA)

$S_N$  = muuntajan nimelliskuorma (kVA)

$R_k$  = muuntajan oikosulkuresistanssi (%)

$X_k$  = muuntajan oikosulkureaktanssi (%)

$\varphi$  = muuntajan kuorman, virran ja jännitteen välinen vaiheensiirtokulma /15/

Muuntajien impedanssiarvoja on liitteessä 5. /15/

## 6.4. Muuntajien valinta

Yksi uusista puistomuuntamoista MP012 Puuluoto sijoitetaan Puuluodonkadun ja Jokirannankadun risteyksessä olevien tonttien taakse, kuten liitteen 6 kuvassa ilmenee. Uudella muuntamolla korvataan kaksi vanhaa pylväsmuuntamo. Toinen muuntamo MP028 Juova tullaan sijoittamaan Koivuletontie 17:n ja 19:n väliin.

Sekä muuntopiirialueen MP012 ja MP028 muuntajiksi valittiin 315 kVA:n jakelumuuntaja. Molempiin alueisiin olisi riittänyt 200 kVA:n muuntajat, mutta kun otetaan huomioon mahdollinen kuormituksen kasvu sekä jakorajojen muutokset, haluttiin valita suurempikokoinen muuntaja. Liitteenä 4 olevista Xpowerin laskentatuloksista saatiin suoraan jakelualan huipputeho, jonka avulla laskettiin näennäisteho käyttäen kaavaa 10.

$$S = \frac{P_{\max}}{\cos\varphi} \quad (10)$$

missä

$S$  = verkon näennäisteho

$P_{\max}$  = verkon huipputeho

Taulukossa 4 näkyy Xpowerilta saadut huipputehot ja lasketut näennäistehot, sekä molempien muuntajan jännitteenalenemat.  $\cos\varphi$ :n arvona verkossa on päätetty käyttää 0,95.

**Taulukko 4. Muuntajakoot ja jännitteenalenemat**

	$P_{\max}$ (kW)	$S$ (kVA)	Muuntaja (kVA)	Jännitteenalenema (%)	
				Laskenta	Xpower
<b>MP012</b>	183	193	315	1,6	1,7
<b>MP028</b>	131	138	315	1,2	1,1

Jännitteenalenemat poikkeavat hieman toisistaan, sillä verkostolaskenta käyttää oikosulkuresistanssina muuntajan kilpiarvoista saatua arvoa  $R_k = 1,222$  %. Liitteenä 5



olevista Verkostosuosituksista SA 2:08 saadaan normaalihäviöisen 315 kVA:n muuntajan oikosulkuresistanssin arvoksi 1,3 %.

## 6.5. Maadoitus

SFS 6001 standardissa vaaditaan, että jakelumuuntamoilla käytetään suurjännitteelle ja pienjännitteelle yhteistä maadoitusjärjestelmää, aina kun se on mahdollista. Liitteessä 7 on esitetty puistomuuntamon maadoituskaavio. Muuntamolle rakennetaan yhteinen maadoituselektrodi keskijännitteelle alttiiden osien suojamaadoitukselle ja pienjänniteverkon maadoitukselle. /4/ , /13/

Puistomuuntamon maadoitusjärjestelmään kuuluu maadoituskisko maadoitus- ja suojamaadoitusjohtimineen. Liitteenä 8 on rakennekuva puistomuuntamon perustuksesta ja maadoituksesta. Potentiaalinhojauselektrodi asennetaan noin 300 mm:n syvyydelle maan pinnasta ja 1 m:n etäisyydelle seinästä. Kun tiedetään maadoitusimpedanssin ( $U_E$ ) olevan kaksi kertaa kosketusjännitteen ( $U_{TP}$ ) suuruinen, ei potentiaalinhojauselektrodin käyttö ole välttämätöntä. Jos tästä ei voida olla täysin varmoja, kannattaa potentiaalinhojaus kuitenkin rakentaa. Maadoitusjärjestelmään kuuluva maadoituselektrodi asennetaan perustuksen pohjalle, tarvittaessa sitä voidaan maaperän mukaan parantaa syvämaadoituksilla. Kuten liitteen 8 rakennekuvasta nähdään, kytketään potentiaalinhojausrenkaan päät kaapelikaivantojen mukana tuleviin maadoitusjohtimiin, jotka menevät muuntamon maadoituskiskolle. Kun järjestelmä rakennetaan elektrodien johtimen osalta ehjäksi lenkiksi, sen eheys voidaan todeta mittauksella. /4/ , /10/ , /13/

## 7. PIENJÄNNITEVERKON SUUNNITTELU

Pienjänniteverkkoa syötetään jakelumuuntamolta, jossa 20 kV:n keskijännite jännite muutetaan yleensä 400 V:n tasolle. Haja-asutusalueilla pienjänniteverkon on pääasiassa toteutettu pylväsmuuntamoita ja riippukierrejohtoja käyttäen. Taajama-alueella taas on yleisempää käyttää kellari- tai puistomuuntamoita ja kaapeloitua pienjänniteverkkoa, sillä keskustoissa ei välttämättä ole tilaa tai ulkonäkösyistä ei ole sallittua käyttää riippukierrejohtoja. /1/ , /5/

Maaseuduilla pienjänniteverkot on useimmiten rakennettu säteittäisiksi. Tämä johtuu enimmäkseen siitä, että rengaskäytön toteuttaminen on huomattavasti kalliimpaa. Vaikka jakelukeskeytyskustannukset saataisiin rengasverkkoa käyttäen pieneneväksi, olisi siitä saatava hyöty silti pienempi kuin jakelun varmistavien rengasjohtojen kustannukset. Säteittäisverkossa kaikki johdot ovat yhdestä pisteestä syötettyjä, jolloin verkon suojaus on yksinkertaisempaa ja helpompi toteuttaa. Tiheämmin asutulla kaupunkialueella on kuitenkin kannattavampaa rakentaa verkko rengasmuotoon, vaikka sitä käytetäänkin säteittäisesti. /1/ , /5/ , /6/

Pienjänniteverkkoa suunniteltaessa, täytyy erityisesti kiinnittää huomiota seuraaviin asioihin:

- taloudellisuus
- kuormituskestoisuus
- oikosulkukestoisuus
- jännitetaso
- jännitevaihtelut
- ensimmäisen nollausehdon toteutuminen
- ympäristö. /1/

Pienjänniteverkon suunnittelussa tullaan pääasiassa toimeen samoilla suunnitteluperiaatteilla kuin keskijänniteverkon suunnittelussa. Pyritään valitsemaan johto, joka täyttää sekä taloudelliset että tekniset vaatimukset. Johdon sijoituspaikka asettaa sille

seuraavia rajoittavia vaatimuksia: kuormitettavuus, jännitteenalenema, oikosulkukestoisuus ja syötön automaattisen poiskytkennän toiminta. /1/

## 7.1. Kaapeleiden kuormitettavuus

Runkokaapelia käytetään syöttämään sähköä verkon jakelumuuntamosta jakokaapeille. Sen kuormitettavuuksiin vaikuttaa paljon muuntamo- ja maa-asennusten olosuhteet. Sekä muuntajien että kaapeleiden kuormitettavuutta laskettaessa pyritään komponenttien vanhenemisnopeuden pitämään normaalina. Liitteenä 9 olevassa Verkostosuositus SA 2:08:n taulukossa esitetään runkokaapeleiden kuormitettavuuksia eri asennusolosuhteissa. /15/

Runkokaapelille on määritelty omat hätäkuormituskertoimet poikkeuksellisten tilanteiden varalta. Kuten keskijännitekaapeleilla, hätäkuormitettavuustilanteiden määrä on pidettävä mahdollisimman vähänä ja nämä tilanteet eivät saa olla säännöllisesti toistuvia. PEX kaapeleiden hätäkuormitettavuuskertoimina voidaan käyttää maa-asennuksissa 1,15 ja muuntamoasennuksissa 1,19. PVC-eristeisille kaapeleille ei ole määritetty hätäkuormitettavuuskertoimia, sillä niitä ei hätätilanteessakaan saa kuormittaa normaalia enemmän. Muissakin kaapeleissa saattavat liittimet asettaa omia rajoituksia hätäkäyttöille. /15/

Liittymiskaapeli syöttää kuluttajan pääkeskusta ja päättyy liittymän pääsulakkeisiin, joko verkon jakelumuuntamosta, jakokaapista tai ilmajohdon pylväältä. Liittymiskaapelina pyritään käyttämään maakaapelia aina kun muu verkkokin on toteutettu kaapeloiden. Liittymiskaapeleiden hätäkuormitettavuus on mahdollista vain erikoistapauksissa ja palonkestävissä asennuksissa PEX- ja paperieristeisillä kaapeleilla, jolloin kertoimet ovat samat kuin runkokaapeleilla. Liitteessä 10 esitetään liittymiskaapeleiden kuormitettavuuksia. /15/

## 7.2. Pienjänniteverkon mitoitus

SFS 6000 standardin mukaan on pienjännitejohdoilla oltava aina ylivirtasuojaus, vähintään oikosulkusuoja. Maakaapeleilla voidaan ylikuormitussuoja kuitenkin jättää pois, jos ne on asennettu palonkestäväksi. Pienjänniteverkon ylivirtasuojaus on tavallisesti toteutettu sulakkeita käyttäen, jolloin sulakkeet vastaavat ylikuormitussuojauksen lisäksi myös oikosulkusuojauksesta, kosketusjännitesuojauksesta ja mahdollisesti myös vikapaikan selektiivisestä erottamisesta. Tässäkin suunnitelmassa käytössä olevat gG-tyypin sulakkeet on tarkoitettu suojaamaan sekä ylikuormitukselta että oikosuluilta. /8/ , /15/

Kaapelin poikkipinta-alan valintaan vaikuttavat mm. kaapelin kuormitettavuus, oikosulkukestoisuus sekä jännitteenalenema. Ensin valitaan kuormitettavuudeltaan sopiva kaapeli liitteiden 9 ja 10 taulukoista. Tämän jälkeen tarkistetaan, että oikosulkuvirran suuruus on riittävä kaapelin loppupäähän asti ja että jännitteenalenema ei ole liian suuri missään verkon osassa.

Maakaapeliverkon runkokaapelin sulakevalintaan vaikuttaa kaapelin poikkipinta ja hätäkuormitettavuus. Liittymiskaapelin sulake määräytyy edellä mainittujen lisäksi myös ylikuormituskestoisuuden mukaan. Liitteessä 11 on esitetty kaapeleiden suurimmat sallitut tai suositeltavat ylivirtasuojat. Taulukossa kaapelit on jaettu runkojohtoihin ja liittymisjohtoihin. /15/

## 7.3. Pienjänniteverkon oikosulkusuojaus

Oikosulkusuojan tulee katkaista oikosulkuvirta mahdollisimman nopeasti ja vikavirran on oltava tarpeeksi suuri sulakkeen nopeaan palamiseen. Standardin SFS 6000 määrää, että jakeluverkossa automaattisen poiskytkennän tulisi olla enintään 5 sekuntia. Taulukkoon 5 on listattu sulakkeiden 5 sekunnin toimintavirrat sekä muissa suojaustapauksissa vaadittuja oikosulkuvirtoja. Alla olevalla kaavalla 11 voidaan laskea yksivaiheisen vikavirran suuruus. Liitteenä 5 on kaavaan kuuluvia muuntajan arvoja. /8/ , /15/

$$I_{k1} = \frac{0,95 \times 3U_v}{\sqrt{(2R_m + R_{m0} + 3L(R_v + R_0))^2 + (2X_m + X_{m0} + L(2X_v + X_{v0} + 3X_0))^2}} \quad (11)$$

missä

$U_v$  = verkon vaihejännite (V) ja 0,95 on IEC 60909 jännitekerroin

$R_m$  = muuntajan oikosulkuresistanssi ( $\Omega$ )

$X_m$  = muuntajan oikosulkureaktanssi ( $\Omega$ )

$R_{m0}$  = muuntajan nolaresistanssi ( $\Omega$ )

$X_{m0}$  = muuntajan nolareaktanssi ( $\Omega$ )

$R_v$  = vaihejohtimen resistanssi ( $\Omega/\text{km}$ )

$X_v$  = vaihejohtimen reaktanssi ( $\Omega/\text{km}$ )

$X_{v0}$  = vaihejohtimen nolareaktanssi ( $\Omega/\text{km}$ )

$R_0$  = nolajohtimen resistanssi ( $\Omega/\text{km}$ )

$X_0$  = nolajohtimen reaktanssi ( $\Omega/\text{km}$ )

$L$  = johdon pituus /15/

Standardin SFS 6000 mukaan jakeluverkon syötön automaattisen poiskytkennän tulee toteutua enintään 5 sekunnissa. Pidemmätkin poiskytkentäajat voidaan hyväksyä, jos liittymiä koskevat vaatimukset toteutuvat. Tällöin käytettävän ylivirtasuojan mitoitusvirta voidaan mitoittaa alla olevan taulukon 6 mukaisesti. Taulukon oikosulkuvirrat on laskettu valmiiksi taulukon 6 viimeiseen sarakkeeseen. /15/

**Taulukko 5. Sulakkeiden pienimmät vaaditut oikosulkuvirrat /15/**

Sulakkeiden pienimmät vaaditut oikosulkuvirrat eri suojaustapauksissa.

1) Lähde SFS-EN 60269-1 ”Pienjännitevarokkeet. Osa 1: Yleiset vaatimukset”

2) Lähde SFS 6000-8-801 ”Jakeluverkot” taulukko 801A.

3) Lähde A1 1993 ”Sähköturvallisuusmääräykset” 1. nollausehto, taulukko 9.5-1.

Sulakkeen nimellisvirta A	Oikosulkuvirta 5 s laukaisuaajalla 1)	Oikosulkuvirta 2,5 tai 3 x verkon sulake 2)	Oikosulkuvirta 3,5 tai 4,5 x asiakkaan pääsulake 3)
25	110	62,5	87,5
35	165	87,5	122,5
50	250	125	175
63	320	157,5	220,5
80	425	240	360
100	580	300	450
125	715	375	562,5
160	950	480	720
200	1250	600	900
250	1650	750	1125
315	2200	945	1417,5
400	2840	1200	1800
500	3800	1500	2250
630	5100	1890	2835

**Taulukko 6. Pienin oikosulkuvirta, jonka mukaan ylivirtasuoja voidaan mitoittaa /8/**

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

Vuoteen 2008 asti liittymisjohtojen vikasuojaus ilmajohtoverkossa perustui nopeaan gG-sulakkeeseen, joka toimi 1-v oikosulussa 15 sekunnissa. Nykyäänkin voidaan toimia näiden standardien mukaan kun työskennellään vanhassa verkossa, joka on rakennettu ennen 1.4.2008. Tämä pätee myös silloin, kun vanhoihin muuntopiireihin rakennetaan uusia johto-osia. Kokonaan uusissa muuntopiireissä ja vanhan verkon täydellisessä peruskorjauksessa tulee vikasuojaus perustaa nykyisten standardien mukaisiin gG-

sulakkeisiin, jotka toimivat 5 sekunnissa. Lisäksi nykyään suositellaan kuluttajan pääsulakkeiden luona olevan oikosulkuvirran suuruudeksi vähintään 250 A. /15/

#### 7.4. Pienjänniteverkon jännitteenalenema

Pienjänniteverkon johtojen jännitteenalenemaprocentti voidaan laskea kaavalla:

$$U_{h\%} = \frac{I_p \times R + I_q \times X}{U_v} \times 100\% \quad (12)$$

missä

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

$I_p$  = johdon pätövirta (A)

$I_q$  = johdon loisvirta (A)

$R$  = johdon resistanssi pituutta kohden ( $\Omega/\text{km}$ )

$X$  = johdon reaktanssi pituutta kohden ( $\Omega/\text{km}$ )

$U_v$  = vaihejännite (V)

Johtojen impedanssi arvoja on esitetty liitteessä 12.

#### 7.5. MP012 Puuluoto–alueen suunnitelma

Puuluodon muuntopiirialueella runkojohtona käytetään AXMK 4\*185 ja liittymisjohtoina kolmea eri kaapelityyppiä: AXMK 4\*25, AXMK 4\*50 ja AXMK 4\*95. Kaapeleiden kuormitettavuudet on tarkistettu liitteen 9 ja 10 taulukoista. Runkojohdon AXMK 4\*185 pienin kuormitus liitteen 9 mukaan on 273 A ja suurin virta muuntamoilta jakokaapeille lähtevissä johdoissa on 173 A, joten kaapelia voidaan käyttää koko matkalla. Pienempikin kaapeli kävisi tässä tapauksessa, mutta Tornion Energialla on päätetty, että runkokaapelina käytetään kyseistä kaapelia. Runkokaapeleiden mukana kaapeliojiin asennetaan myös maadoitusjohtimeksi 25 mm<sup>2</sup> Cu köyttä, johon jakokaappien suojamaadoitukset kytketään.

Seuraavaksi valitaan runkojohdolle sulake, joka on suurempi kuin maksimikuormitusvirta ja pienempi kuin liitteen 11 taulukossa oleva suurin sallittu ylivirtasuojan arvo. Liitteen 13 Xpowerin laskentatuloksista saadaan kaikkien lähtöjen maksimikuormitusvirrat: J778 Puuluodonkatu 173 A, J784 Jokirannankatu 88 A, J777 Jokirannankatu 47 A. Valitaan jokaiseen lähtöön 250 A:n gG-sulake, joka täyttää yllä olevat vaatimukset. Valitsemalla näin suuri sulake, voidaan johtolähtöjen jakorajoja helposti muuttaa, ilman että sulakekokoja tulisi tarkistaa joka kerta.

Liitteenä 14 on alueen jakokaappien layout-kuvat sekä jakokaaviot, joista tulee ilmi jakokaapeilla käytetyt sulakkeet. Tarkasteltaessa reittiä muuntajalta jakokaapille J786, ensin valittiin muuntajalle sulakkeeksi 250 A gG-sulake. Sen jälkeen joka kaapille valittiin pienempi sulakekoko selektiivisyyden parantamiseksi. Joka paikassa ei ollut mahdollista porrastaa näin sulakekokoja, mutta tällä johtoreitillä se pystyttiin tekemään.

Tarkistetaan oikosulkusuojauksen toimivuus laskemalla yksivaiheisen vikavirran suuruus muuntajasta kauimpana olevalle kuluttajalle. Kauimpana muuntajasta on jakokaapilta J786 syötettävän ilmalinjan päässä oleva kuluttaja 99055, esitetty kuvassa 3. Kaavaa 11 käyttämällä saadaan laskettua oikosulkuvirran suuruus. Laskutoimitukset on esitetty liitteessä 4. Taulukossa 7 on sekä Xpowerin laskennasta saadut arvot että lasketut arvot. Taulukosta nähdään, että lasketut arvot eivät poikkea paljon verkostolaskentaohjelman arvoista. Taulukossa on myös merkitty suunnitelmassa käytetyt ylivirtasuojat sekä taulukon 6 pohjalta lasketut pienimmät sallitut oikosulkuvirrat. Taulukosta nähdään, että viimeisellä kuluttajalla oikosulkuvirran suuruus on 255 A, mikä on enemmän kuin suositusten mukainen 250 A.

**Taulukko 7. Yksivaiheisen oikosulkuvirran arvot**

	Ik1 (A)		Ylivirtasuojan gG-sulake (A)	Pienin sallittu oikosulkuvirta (A)
	Teoria	Xpower		
J784	2727	2613	250	750
J785	1909	1865	200	600
J786	1566	1535	160	480
Viimeinen kuluttaja	255	259	35	87,5





**Kuva 3. Kauimpana oleva kuluttaja**

Lasketaan jännitteenalenema kuluttajalle, jolla jännitteenalenema on suurimmillaan. Xpowerin laskennasta nähdään, että pienin jännite on kuluttajalla 08015, joka saa sähkönsyöttönsä jakokaapilta J336.

Jännitteenaleneman laskemiseen käytettävään yhtälöön 12 tarvittavat solmupisteiden virrat saadaan Xpowerin laskennasta. Solmupisteiden virrat on esitetty taulukossa 8, lisäksi taulukossa on kaavaan tarvittavat pätö- ja loisvirran arvot. Taulukkoon 9 on laskettu johtojen koko pituuden resistanssit ja reaktanssit sekä joka johto-osan jännitteenalenema.

**Taulukko 8. Verkon solmupisteiden virrat**

	I (Xpower)	I <sub>p</sub> = I*cosφ	I <sub>q</sub> = I*sinφ
MP012 - J778	186	177	58
J778 - J779	66	63	21
J779 - J336	36	34	11
J336 - 08015	16	15	5

**Taulukko 9. Koko johtopituudelle lasketut resistanssit ja reaktanssit**

	Pituus (km)	R <sub>v</sub> (Ω/km)	X <sub>v</sub> (Ω/km)	R (koko johto)	X (koko johto)	U <sub>hv</sub> (%)
AX185	0,159	0,182	0,082	0,029	0,013	2,55
AX185	0,134	0,182	0,082	0,024	0,011	0,76
AP240	0,082	0,140	0,060	0,011	0,005	0,19
MC10	0,045	1,974	0,11	0,089	0,005	0,60

Johto-osien yhteenlaskettu jännitteenalenema on noin 4,1 % ja aiemmin laskettu muuntajan jännitteenalenema on 1,6 %. Kun nämä lasketaan yhteen, voidaan tulosta verrata Xpowerin arvoihin (taulukko 10).

**Taulukko 10. Pj-verkon jännitteenalenemat (MP012)**

	Laskenta	Xpower
U <sub>hv</sub> Yhteensä	5,7 %	5,2 %
U <sub>min</sub> (V)	217 V	218 V

Laskettu jännitteenalenema poikkeaa hieman verkostolaskennasta saadusta jännitteenaleneman arvosta. Tämä johtuu luultavasti siitä, että verkostolaskenta ottaa huomioon kuluttajien kuormitushuippujen eriaikaisuudet. Käsinlaskennassa niiden huomioiminen ei käytännössä ole mahdollista.

## 7.6. MP028 Juova–alueen suunnitelma

Kuten Puuluodon muuntopiirialueella myös MP028 muuntopiirialueella runkojohtona käytetään AXMK 4\*185, liittymisjohtona alueella käytetään pelkästään AXMK 4\*25, sillä kuluttajien pääsulakkeet ovat pääasiassa 16 A tai 25 A gG-sulakkeita. Kaapeleiden kuormitettavuudet tarkistetaan liitteen 9 ja 10 taulukoista. Suurin muuntamolta jakokaapeille lähtevä virta on 101 A, joten AXMK 4\*185 käy runkojohdoksi koko matkalle, vaikka pienempikin kävisi.

Liitteestä 13 saadaan lähtöjen maksimikuormitusvirrat, joiden perusteella valitaan sulakekoot. Muuntamolta jakokaapeille J770 Koivuletontie ( $I_{\max} = 101 \text{ A}$ ) ja J773 Ahtaajankatu 86 A ( $I_{\max} = 86 \text{ A}$ ) meneville lähdöille valitaan jälleen 250 A gG-sulakkeet. Muuntamolta syötettäville kuluttajille valitaan 50 A gG-sulakkeet, sillä se on jakokaapilla yleensä käytettävä sulakekoko. Muut jakokaapeilla käytetyt sulakkeet on esitetty liitteessä 15 olevissa jakokaappien J770 - J776 layout kuvissa sekä jakokaavioissa.

Tarkistetaan oikosulkusuojauksen toimivuus laskemalla yksivaiheisen vikavirran suuruus muuntajasta kauimpana olevalle kuluttajalle käyttäen yhtälöä 11. Kauimpana muuntajasta on Kalamiehenkatu 5:n kuluttaja 17003. Laskutoimitukset on esitetty liitteessä 13. Taulukossa 11 on sekä Xpowerin laskennasta saadut arvot että lasketut arvot. Taulukossa on myös merkitty suunnitelmassa käytetyt ylivirtasuojat sekä taulukon 2 pohjalta lasketut pienimmät sallitut oikosulkuvirrat. Taulukosta nähdään jälleen, että lasketut arvot ovat lähes samoja kuin Xpowerilta saadut arvot.

**Taulukko 11. Oikosulkuvirtojen vertailua**

	Ik1 (A)		Ylivirtasuojaja gG-sulake (A)	Pienin sallittu oikosulkuvirta (A)
	Teoria	Xpower		
J773	2418	2324	250	750
J774	1796	1760	200	600
J775	1345	1310	200	600
Viimeinen kuluttaja	469	469	50	125

Xpowerin laskennasta nähdään, että pienin jännite on kuluttajalla 17001, joka saa sähkönsyöttönsä jakokaapilta J774.

Yhtälöön 12 tarvittavat solmupisteiden virrat saadaan Xpowerin laskennasta. Solmupisteiden virrat on esitetty taulukossa 12, lisäksi taulukossa on kerrottu kaavaan valmiiksi pätö- ja loisvirran arvot. Taulukossa 13 on laskettu johtojen resistanssit ja reaktanssi huomioiden johdon koko pituus.

**Taulukko 12. Solmupisteiden virroista lasketut pätö- ja loistehot**

	I	I*cosφ	I*sinφ
MP028 - J773	86	82	27
J773 - J774	61	58	19
J774 - AX25	19	18	6
AX25 - 17001	19	18	6

**Taulukko 13. Koko johtopituudelle lasketut resistanssit ja reaktanssit**

	Pituus (km)	$R_v$ ( $\Omega$ /km)	$X_v$ ( $\Omega$ /km)	R (koko johto)	X (koko johto)	$U_{hv}$ (%)
AX185	0,186	0,182	0,082	0,034	0,015	1,38
AX185	0,077	0,182	0,082	0,014	0,006	0,41
AX25	0,072	1,298	0,088	0,093	0,006	0,75
MC10	0,033	1,974	0,11	0,065	0,004	0,52

Johto-osien yhteenlaskettu jännitteenalenema on noin 3,1 % ja aiemmin laskettu muuntajan jännitteenalenema on 1,2 %. Kun nämä lasketaan yhteen, voidaan tulosta verrata Xpowerin arvoihin (taulukko 14).

**Taulukko 14. Pj-verkon jännitteenalenemat (MP028)**

	Laskenta	Xpower
$U_{hv}$ Yhteensä	4,3 %	3,5 %
$U_{min}$ (V)	220 V	222 V

Molempien muuntopiirien jännitteenalenematulokset poikkeavat hieman Xpowerin antamista arvoista, mikä johtuu jälleen Xpowerin huomioimista kuluttajien kuormitushuippujen eriaikaisuuksista.

## 8. KATUVALAISTUS

Katuvalaistusta suunniteltaessa päätettiin pylväsväliksi n. 35–40 metriä. Katuvalaistuksen suunnitteluun ei käytetty mitään erillistä valaistuksen suunnitteluohjelmaa. Valaisimiksi valittiin Philipsin Selenium SPG340 SON-T70 tyyppin valaisimet, joissa on 70 W suurpainenatrium lamput. Pylväänä käytetään 8 m teräspylväitä. Valaisimien kaapelointiin käytetään AXMK 4\*25 kaapelia. Katuvalaistuspylväät maadoitetaan suunnitelmaan merkityiltä paikoilta.

Kuva katuvalaistus suunnitelmasta on liitteenä 17. Kuvassa näkyy myös kaksi alueelle asennettavaa uutta katuvalokeskusta, Uv012 ja Uv028. Katuvalokeskuksiin asennetaan 20 A sulakkeet suojamaan lähtöjä. Katuvalaistukselle on myös laskettu suunnitelmassakin näkyvät yksivaiheisen oikosulkuvirran arvot taulukkoon 15 käyttäen kaavaa 11. Laskutoimitukset on tehty liitteessä 4. Oikosulkuvirtojen suuruudet on laskettu kaapelireittien ja jakorajojen päähän.

Standardin SFS 6000 mukaan sulakkeen nimellisvirran ollessa alle 63 A, on oikosulkuvirran oltava vähintään  $2,5 \times$  sulakkeen  $I_N$ . Sulakkeen nimellisvirran ollessa 20 A, on oikosulkuvirran siis oltava vähintään 50 A. Verkon pienin oikosulkuvirta, 100 A, on siis riittävän suuri.

**Taulukko 15. Katuvalaistuksen yksivaiheiset oikosulkuvirrat**

	$I_k$ arvot
Jokirannantie	309 A
Kromitie	112 A
Karumaankatu	228 A
Koskelankatu	100 A
Koivuletontie	177 A

## 9. SÄHKÖN LAATU

Standardin SFS-EN 50160 ”Yleisen jakeluverkon jakelujännitteen ominaisuudet” mukaan jakelujännitteen ei tulisi vaihdella enempää kuin  $230\text{ V} \pm 10\%$  ja kaiken kaikkiaan vaihtelua ei tulisi olla enempää kuin  $230\text{ V} + 10\% - 230\text{ V} - 15\%$ . Suurin vaihteluvälisi saisi siis olla  $196 - 253\text{ V}$ . /9/ /15/

Sähköenergialiitto Sener ry on määritellyt jakelujännitteen laadulle kolme tasoa: korkea laatu, normaali laatu ja standardilaatu eli minimitaso. Tasot on jaettu seuraavasti:

**Korkealaatu:** Tehollisarvojen 10 minuutin keskiarvot ovat välillä  $220 - 240\text{ V}$  ja 10 minuutin arvojen keskiarvo  $225 - 235\text{ V}$ .

**Normaalilaatu:** Tehollisarvojen 10 minuutin keskiarvot ovat välillä  $207 - 244\text{ V}$ .

**Standardilaatu:** 95 % tehollisarvojen 10 minuutin keskiarvoista välillä  $207 - 253\text{ V}$  ja 100 % tehollisarvojen 10 minuutin keskiarvoista välillä  $196 - 253\text{ V}$ . /15/

Taulukossa 16 on jännitteen muutokset jaettu eri verkonosille, lisäksi siinä on esitetty jokaiselle jakelujännitteen laadulle sallitut jännitteenalenemaprosentit.

**Taulukko 16. Suositellut jännitealueet ja alenemat /15/**

Osaverkko	Jännitteen vaihtelualue		Jännitteenalenema		
	Minimi	Maksimi	Korkea laatu	Normaali laatu	Standardi laatu
Keskijänniteverkko	19 kV	22 kV	$\pm 4\%$	$\pm 10\%$	$95\% \pm 10\%$
Pienjännitejakelu Muuntamo <sup>1)</sup>	196 V 220V	253 V 253V	$\pm 4\%$	$\pm 10\%$	$+10 - 15\%$
Pienjänniterunkoverkko Liittymisjohto <sup>2)</sup>	210V 207V	253V 253V		1-2 % 3-7 %	2-4 % 3-7 %
Sisäjohtoverkko	198V	253V			1-4 %

<sup>1)</sup> Jännitetasoa voidaan säätää, jos käytettävissä on väliottokytkin.

<sup>2)</sup> Liittymisjohto kuluttajan liittämiskohtaan saakka

## 10. TYÖN TULOKSET

Taulukossa 17 nähdään verkon nykytilanne ja taulukossa 18 verkon saneerauksen aiheuttamat muutokset. Taulukkoon on koottu kaikkien Puuluodon alueella olleiden muuntajien arvot, jotta arvoja voidaan tarkemmin verrata toisiinsa. Taulukoista nähdään, että jännitteenalenema on saneerauksen jälkeen pienempi jokaisella muuntajalla. Ennen suunnittelun tekoa alueen verkon minimijännitteen keskiarvo oli n. 214 V, suunnittelun jälkeinen minimijännitteen keskiarvo taas oli 217 V, eli suunnitelman toteutus nostaisi minimijännitettä n. 3 V.

Verrattaessa muuntajien ja verkon teho- ja energiahäviöiden summaa huomataan, että ne ovat vähentyneet huomattavasti. Verkon yhteenlasketut tehohäviöt pienenevät 13,3 kW:sta 11 kW:iin. Muuntajien tehohäviöt pienenevät 7,3 kW:sta 6,2 kW:iin. Energiahäviöitä verrattaessa huomataan, että koko alueen sähköverkon häviöt vähenevät n. 15 % saneerauksen jälkeen.

**Taulukko 17. Verkon nykytilanne**

ENNEN		MP012	MP195	MP028	MP238	Yhteensä
$U_{\min}$ (V)	Muuntaja	226,1	223,6	227,7	223,8	901,2
	Verkko	217,2	209,4	220,8	208,8	856,2
$U_h$ (%)	Muuntaja	1,7	2,8	1	2,7	8,2
	Verkko	5,6	9	4	9,2	27,8
$P_h$ (kW)	Muuntaja	1,1	3,5	1,1	1,5	7,3
	Verkko	1,4	7,5	1,5	2,9	13,3
$E_h$ (kWh)	Muuntaja	3765	9981	5331	3391	22468
	Verkko	2421	10056	3130	3519	19126
K-aste (%)	Muuntaja	49	67	34	81	231
	Verkko	34	56	29	47	166

**Taulukko 18. Suunnitelman jälkeinen tilanne**

<b>JÄLKEEN</b>		<b>MP012</b>	<b>MP195</b>	<b>MP028</b>	<b>Yhteensä</b>
<b>U<sub>min</sub> (V)</b>	Muuntaja	226,1	224,2	227,4	677,7
	Verkko	218	210,8	222	650,8
<b>U<sub>h</sub> (%)</b>	Muuntaja	1,7	2,5	1,1	5,3
	Verkko	5,2	8,3	3,5	17
<b>P<sub>h</sub> (kW)</b>	Muuntaja	1,9	3,0	1,3	6,2
	Verkko	3,6	6,0	1,4	11,0
<b>E<sub>h</sub> (kWh)</b>	Muuntaja	6718	9466	5537	21721
	Verkko	5761	7700	2892	16353
<b>K-aste (%)</b>	Muuntaja	55	60	38	153
	Verkko	48	56	25	129



## 11. KUSTANNUSARVIO

Taulukon 19 hintatiedot on otettu Energiamarkkinaviraston vuoden 2010 hinnastosta. Taulukkoon on koottu suunnitelmassa käytetyt komponentit ja laskettu kustannusarvio verkon saneeraukselle. Kilometrien mukaan hinnoiteltavien tuotteiden määrät on laskettu yläkanttiin, myös kaapeleiden kaivuhinta on laskettu yläkanttiin käyttämällä taajama-alueen hintaa. Aluetta ei pystytty tarkkaan määrittämään haja-asutusalueeksi tai taajama-alueeksi, siksi kustannusarviossa käytettiin kalliimman kaivun hintaa. Taulukosta nähdään, että koko saneerauksen yhteenlasketuksi hinnaksi tulee n. 314 000 euroa. /3/

**Taulukko 19. Kustannusarvio**

	Yksikköhinta	Määrä	Yhteensä
<b>Muuntamo</b>			
Puistomuuntamo, tyyppi 1 (ulkoa hoidettava)	27 170 kpl	2	54 340,00 €
<b>Muuntaja</b>			
300 – 315	7 200 kpl	2	14 400,00 €
<b>20 kV maakaapelit (asennus)</b>			
95 – 120 maakaapeli	34 200 km	1,1	37 620,00 €
Kojeistopääte	1 250 kpl	5	6 250,00 €
Pylväspääte	2 620 kpl	2	5 240,00 €
Jatko	2 460 kpl	2	4 920,00 €
<b>0,4 kV maakaapelit (asennus)</b>			
enintään 25 maakaapeli	7 250 km	3,5	25 375,00 €
35 – 50 maakaapeli	9 710 km	0,15	1 456,50 €
70 maakaapeli	12 490 km	0,05	624,50 €
150 – 185 maakaapeli	19 460 km	2,4	46 704,00 €
<b>0,4 kV ja 20 kV maakaapelit (kaivu)</b>			
Taajama-alue	21 450 km	2,8	60 060,00 €
<b>Jakokaapit ja jonovarokeytkimet</b>			
Kaapelijakokaappi vähintään 630 A	1 530 kpl	17	26 010,00 €
Jonovarokeytkin enintään 160 A	270 kpl	89	24 030,00 €
Jonovarokeytkin 250 – 400 A	400 kpl	18	7 200,00 €
<b>Yhteensä</b>			<b>314 230,00 €</b>

## 12. YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli suunnitella Puuluodon pienjännite- ja keskijänniteverkon sekä katuvalaistuksen saneeraus. Työn tuloksena valmistuivat suunnittelukuvat, jakokaappien layout-kuvat sekä kustannusarvio kyseisen kohteen saneerauksesta. Kaikki suunnitellut tavoitteet toteutuivat ja suunnitelmakuvia voidaan käyttää sellaisenaan, kun alueen saneeraus aloitetaan.

Suunnitelman piirtämisessä ei itsessään ollut paljon ongelmia, sillä Xpower ohjelma oli jo ennestään tuttu. Ongelmia tuotti Xpowerin laskentatulosten ja omien teoreettisten laskelmieni vertailu. Välillä tulokset eivät täsmänneet ollenkaan, jolloin piti alkaa tutkimaan, mitä arvoja Xpower käyttää missäkin tilanteessa. Ohjelmasta oli melko hankala etsiä sen käyttämiä arvoja. Eniten ongelmia tuottivat jännitteenaleneman poikkeavuudet. Lopulta kuitenkin selvisi, että verkostolaskenta ottaa huomioon kuluttajien eriaikaiset kuormitushuiput.

Mielestäni sähköverkon saneeraus oli mielenkiintoinen aihe opinnäytetyöksi, opin paljon uutta työtä tehdessäni ja monet koulussa oppimani asiat ymmärsin nyt paljon selvemmin. Suunnitelman teossa olisi auttanut, jos minulla olisi ollut aikaa tutustua paremmin suunnitelmassa käyttämiini komponentteihin. Etenkin keskijänniteverkon osiin olisi voinut jo koulussa perehtyä enemmän. Mielestäni työ onnistui kuitenkin hyvin ja valmistui suunnitellussa aikataulussa.

## 13. LÄHDELUETTELO

- /1/ Elovaara, Jarmo; Haarla, Liisa, Sähköverkot I, Otatieto, 2011.
- /2/ Elovaara, Jarmo; Haarla, Liisa, Sähköverkot II, Otatieto, 2011.
- /3/ Energiamarkkinavirasto, Verkkokomponentit ja indeksikorjatut yksikköhinnat vuodelle 2010 (alv 0 %).
- /4/ HeadPower Oy, Verkoston vakiorakenteet.
- /5/ Lakervi, Erkki; Partanen, Jarmo, Sähkönjakelutekniikka, 1. painos, Otatieto, 2008.
- /6/ Martimo, Antero, Sähkönjakelutekniikan kurssimateriaali, 2008.
- /7/ Monni, Markku, Sähkölaitos asentajan ammattioppi 3, 4. painos, Kirjapaino Laine Direct Oy, 2003.
- /8/ SFS 6000 Pienjännitesähköasennukset ja sähkötyöturvallisuus, 1. painos, Suomen Standardisoimisliitto, 2007.
- /9/ SFS-EN 50160 Yleisen jakeluverkon jakelujännitteen ominaisuudet, Suomen Standardisoimisliitto.
- /10/ Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL, Maadoituskirja, 5. painos, Sähköinfo Oy, 2007.
- /11/ Tornion Energia Oy, Toimintasuunnitelma 2011.
- /12/ Tornion Energia Oy, Vuosikertomus 2010.
- /13/ Verkostosuositus RJ 19:06 Pylväserotinasemien ja muuntopiirien maadoitukset standardin SFS 6001 mukaan, Energiateollisuus ry.

/14/ Verkostosuositus SA 5:94 Keskiänniteverkon sähköinen mitoittaminen,  
Sähköenergialiitto ry.

/15/ Verkostosuositus SA 2:08 Pienjänniteverkon ja jakelumuuntajan sähköinen  
mitoittaminen, Energiateollisuus ry.

## 14. LIITELUETTELO

LIITE 1	Kuvat saneerattavasta kohteesta
LIITE 2	10 kV ja 20 kV ilmajohtojen ja 20 kV kaapelien johtotietoja
LIITE 3	Suunniteltu kj-verkko
LIITE 4	Laskentatulokset
LIITE 5	Jakelumuuntajien resistanssit ja reaktanssit
LIITE 6	Suunniteltu pj-verkko
LIITE 7	Puistomuuntamon maadoituskaavio
LIITE 8	Puistomuuntamon perustuksen rakennekuva
LIITE 9	Runkokaapeleiden kuormitettavuus
LIITE 10	Liittymiskaapeleiden kuormitettavuus
LIITE 11	Pienjännitekaapeleiden suurimmat sallitut ylikuormitussuojat
LIITE 12	Johtojen resistanssit ja reaktanssit
LIITE 13	Xpowerin pj-laskenta
LIITE 14	Jakokaapit J777-J786 (MP012)
LIITE 15	Jakokaapit J770-J776 (MP028)
LIITE 16	Suunniteltu uv-verkko

