

Tutkintotyö

Ville Peijariniemi

HAJA-ASUTUS- JA MAASEUTUALUEIDEN PIENJÄNNITEVERKON RAKENTAMISEN  
JA SANEERAAMISEN YHDENMUKAISTAMINEN

Työn ohjaaja:  
Työn teettäjä:  
Tampere 2007

Diplomi-insinööri Seppo Järvi  
Vattenfall Verkko Oy, Insinööri Kimmo Järvinen

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Sähkötekniikan koulutusohjelma

Sähkövoimatekniikka

Pejariniemi, Ville

Haja-asutus- ja maaseutualueiden pienjänniteverkon rakentamisen ja saneeraamisen yhdenmukaistaminen

Tutkintotyö

61 sivua

Työn ohjaaja

Diplomi-insinööri Seppo Järvi

Työn teettäjä

Vattenfall Verkko Oy, valvojana verkostosuunnittelija

Kimmo Järvinen

Joulukuu 2007

Hakusanat

Auraus, Pienjänniteverkko, kaapelointi

## TIIVISTELMÄ

Sähkönlaatu ja jakeluvarmuus ovat nousseet hyvin suuriksi tekijöiksi jakeluverkkoyhtiöissä. Nykyään kiinnitetään huomiota hyvin paljon keskijänniteverkon säävarmaan rakentamiseen, myös pienjänniteverkkoa pyritään nykyään rakentamaan mahdollisimman paljon kaapelina, niin maisemallisten, kuin käyttövarmuustekijöiden takia. Tässä työssä keskityttiin haja-asutus ja maaseutujen pienjänniteverkkojen rakentamiseen. Tarkastelun kohteena oli toteutettavan verkon muoto, komponentit, käytettävät johdinkoot sekä rakennusmenetelmät. Lähestymistapana eri verkonrakennusmenetelmiin oli niiden aiheuttamat kokonaiskustannukset mukaan lukien investointikustannukset sekä pitoaikana aiheutuvat kustannukset. Kustannukset kullekin verkkorakenteelle ja rakennustavalle määriteltiin suunnitelmien pohjalta yksikköhinnoin. Kaapeliverkon kustannukset määriteltiin auraus- sekä kaivuumenetelmiä käyttäen. Näitä kustannuksia verrattiin toisiinsa tarkoituksena saada käsitys kuinka suuria säästöjä tai lisäkustannuksia kaapeliverkon rakentamisesta syntyy verrattuna ilmajohtoverkkoon. Laskelmien tuloksena todettiin, että auraamalla rakennettaessa pienjänniteverkko tulee ilmajohtoverkkoa halvemmaksi kokonaiskustannuksiltaan. Kaapelointi todettiin kannattavaksi, mikäli rakennettavasta kohteesta pystytään auraamaan noin 40% ja loput kaapeloimaan kaivamalla.

Myös kaapeliverkossa käytettävät komponentit kuten verkonhaaritus menetelmät olivat yhtenä tutkimuksen kohteena. Tällä osin vertailtiin erilaisten haaritusmenetelmien soveltuvuutta Vattenfall Verkko Oy:n verkonrakentamiseen. Pyrkimyksenä oli samalla selvittää minkä kokoista kaapelia kannattaa haja-asutusalueiden kaapeliverkoissa kustannustehokkaasti käyttää. Nykyisten kulutusten perusteella päädyttiin 95mm<sup>2</sup> alumiinikaapeliin.

TAMPERE POLYTECHNIC

Electrical Engineering

Electrical Power Engineering

Pejariniemi, Ville Standardizing of low voltage network renovation and new  
constucting in rural areas

Engineerin Thesis 61 pages

Thesis Supervisor Seppo Järvi (MSc)

Commissioning Company Vattenfall Verkkö Oy, Supervisor: Kimmo Järvinen (BSc)

Decemper 2007

Keyword ploughing, low voltage network, capling

## ABSTRACT

Quality and distribution of electricity has come the most important matter in electric companies. Today there are concentrated in building medium-voltage lines to sustain all weather conditions. Also low voltage network is built more and more by cabling because of landscape and distribution reasons. This thesis is concentrated in low voltage distribution network in rural areas. The main focus is shape of the network, and components used. Purpose was to find the best cable size and building methods to be used in rural area cabling. Expenses to each method were estimated by unit prices used in Vattenfall Verkkö Oy. Expenses for cable network were estimated for ploughing and digging. These expenses were compared to over all expenses caused by building overhead cable network. Target was to have a picture of the differences of expenses between these different ways to build a distribution network. Result of the calculations was that building low-voltage network by ploughing, will total expenses be less than if the same network were built by overhead network. Cabling was found out to be profitable if 40% of the network were able to be built by ploughing and the rest of it by digging.

Also the components, like branching methods, used in distribution network built by cabling were in focus. Target was to find the most functional component to Vattenfall's network. According to today's consumptions in rural-area, the best cable size to be used was 95mm<sup>2</sup> aluminium cable.

# ALKUSANAT

Tämä työ on tehty Vattenfall Verkko Oy:lle Tampereen Sarankulmassa. Tutkintotyö käsitteli maaseudun pienjänniteverkon kaapelointia, ja sen rakennusmenetelmiä. Työ sisälsi monenlaista toimintaa, aina suunnittelusta ja kustannuslaskennasta kahvipöytäkeskusteluihin.

Työn ohjaajana Vattenfall Verkko Oy:ssa toimivat Merja Leppänoru sekä Kimmo Järvinen. Heille, sekä koko maastosuunnittelu-, sekä toteutusosastoille haluan osoittaa kiitokseni työn valmistumisesta. Kiitokset myös Seppo Järvelle, joka toimi ohjaajanani koululla. Erityiset kiitokset avopuolisolleni Milla Kupiaiselle, joka sai kestää monenmoista tilannetta pitkään kestäneen päättötyörupeaman aikana.

Tampereella 12. Joulukuuta 2007

---

Vile Peijariniemi

## SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ.....	2
ABSTRACT .....	3
ALKUSANAT .....	4
1 JOHDANTO.....	7
2 VERKONSUUNNITTELU .....	8
2.1 Yleissuunnittelu.....	8
2.2 Pienjännitekaapeliverkon suunnittelu.....	8
2.3 Pienjänniteverkon muoto.....	8
3 PJ-VERKON MITOITUS.....	9
3.4 Johdonsuojaus.....	11
3.4.1 Johtimen kuormitettavuus /3/ .....	11
3.4.1 Oikosulkusuojaus /3/ .....	12
3.4.2 Ylivirtasuojaus /3/ .....	14
3.4.3 Kosketusjännitesuojaus .....	15
3.4.4 Selektiivisyys.....	16
3.2 Jännitteenalenema.....	17
4 KAAPELIVERKON OMINAISUUDET .....	18
4.1 Käyttövarmuus .....	19
4.2 Maisemalliset tekijät.....	19
4.3 Maankäyttö-oikeudet.....	20
4.4 Muutettavuus .....	20
5 TALOUDELLINEN MITOITUS .....	20
5.1 Johtimen valinta taloudellisin perustein .....	22
6 KAAPELOINTIMENETELMÄT.....	24
6.1 Kaapelin auraaminen .....	25
6.1.1 Aurat.....	27
6.2 Kaapeliojan kaivuu.....	28
6.3 Louhinta ja betonointi.....	28
6.4 Kaapelin tunkkaus .....	30
6.5 Kaapelin mekaaninen suojaus .....	31
7. VERKON SUUNNITTELU TYÖKALUT .....	32
7.1 Xpower verkonhallinta ohjelma .....	32
7.2 CPP-kustannus yksiköt.....	33
7.3 RNA- ja AM-laskenta.....	33
8 VERKON RAKENNE .....	34
8.1 Verkon komponentit.....	34

8.2 Sulakkeiden sijoittelu .....	39
8.3 Rinnankaapelointi vai haaroitus? .....	40
8.4 Runkojohdon vahvistuskustannukset .....	41
<b>9 TUTKITTAVAT MUUNTOPIIRIT .....</b>	<b>43</b>
9.1 Kivijärvi.....	43
9.2 Kivijärven muuntopiirin saneeraussuunnitelma .....	44
9.2.1 Amka-runko .....	46
9.2.2 Kaapelirunko .....	47
9.3 Varsavuori .....	48
9.4 Varsavuoren muuntopiirin saneeraussuunnitelma.....	49
9.4.1 Amka-runko.....	51
9.4.2 Kaapelirunko .....	51
9.5 Investointikustannusten vertailu .....	51
<b>10 VERKON RAKENNE OLETUSKUORMILLA.....</b>	<b>55</b>
<b>11 YHTEENVETO .....</b>	<b>58</b>
<b>LÄHTEET .....</b>	<b>60</b>

## 1 JOHDANTO

Nykyään pienjänniteverkkoa rakennettaessa sekä saneerattaessa pyritään verkko rakentamaan mahdollisimman suurelta osin maakaapelina. Kaapeloinnin tavoitteena on mahdollisimman hyvä sähkönlaatu asiakkaalle. Käytännössä tämä tarkoittaa luonnon aiheuttamien katkojen sekä jännitteen vaihteluiden minimoimista. Kaapelointi ei kuitenkaan ole täysin ongelmaton.

Kaapeloinnin suunnittelua hankaloittaa tulevaisuuden ennustaminen, koskaan ei voi varmaksi tietää minkälaisia rasitteita verkon kannalta tulevaisuus tuo tullessaan. Tämä tulee esille erityisesti maaseutuverkoissa, joissa lisäliittymiä tulee tonttien lohkomisen ja uusien tonttien perustamisesta. Toisaalta myös maaperä aiheuttaa ongelmia kaapeloinnille. Kalliolle on luonnollisesti mahdotonta kaivaa kaapeliojaa, mikä hankaloittaa ja täten lisää kaapeloinnin kustannuksia merkittävästi.

Tässä lopputyössä pohditaan, minkälaisella rakenteella maaseutuverkkoa tulisi tulevaisuudessa rakentaa. Verkon rakenne tässä tapauksessa pitää sisällään liittymiskaapelin, sekä runkojohdon kustannustehokkaan koon sekä pituuden. Lisäksi vertaillaan erilaisia haaroitusmenetelmiä kaapeliverkossa.

Rakentamistavat ja niiden kustannuserojen vertailu on myös yhtenä pohdinnan kohteena. Kaapeloinnin rakentamisvaihtoehtoina pohditaan kaapeliojan kaivuun sekä auraamisen eroja kustannuspohjalta eri tilanteissa. Lisäksi tutkitaan eri kaapelointivaihtoehtoja tilanteissa, joissa kumpikaan edellä mainituista menetelmistä eivät ole mahdollisia, kuten esimerkiksi kallioisilla paikoilla.

Jakeluverkkoa suunnitellaan aina tietyillä oletuskuormilla. Työssä pyritään hahmottelemaan arvioiduilla kulutuksilla suunnitelluista verkoista aiheutuneita ylimääräisiä investointikustannuksia. Kyseinen vertailu tehdään laskemalla arviokulutuksilla suunnitellun verkon hinta ja toteutuneilla kulutuksilla rakennetun verkon hinta sekä vertaamalla näitä kahta toisiinsa.

## **2 VERKONSUUNNITTELU**

### **2.1 Yleissuunnittelu**

Verkon yleissuunnittelussa tavoitteena on selvittää minkälainen verkko toteuttaa sille asetettuna ajanjaksona sille asetetut vaatimukset. Tärkeimpänä tavoitteena on toteuttaa kullekin alueelle asetetut tavoitteet. Tavoitteina voidaan pitää esimerkiksi sähkönlaadullisia tavoitteita. Pitkällä ajanjaksolla tärkeimmäksi kriteeriksi nousee jännitteenaleneman toteutuminen myös tulevaisuudessa verkkoon tehtävien muutosten jälkeen. Täten ei riitä, että verkko suunnitellaan täyttämään pelkästään kyseisen hetken vaatimukset, vaan on pyrittävä suunnittelemaan verkko tulevaisuutta varten./1/

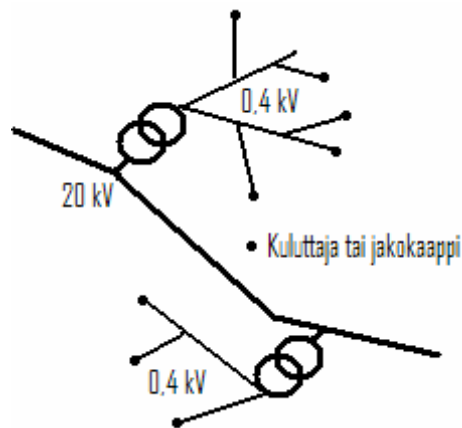
### **2.2 Pienjännitekaapeliverkon suunnittelu**

Luotettavuus ja ympäristösyistä on Suomessa jo pitkään tehty taajamien jakeluverkot kaapeloimalla. Keskeisimpänä kriteerinä kaapeliverkkoa suunniteltaessa on sen kustannustehokkuus. Kalliin investointi ja muutuskustannusten takia pitäisi kaapeliverkko mitoittaa hyvin pitkän aikavälin ennusteen mukaan.

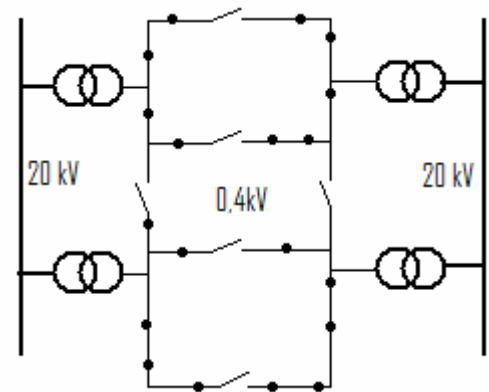
### **2.3 Pienjänniteverkon muoto**

Pienjänniteverkot voidaan yleisesti jakaa kahteen rakenteelliseen osaan, silmukka- ja säteisverkkoon. Silmukkaverkkoa käytetään lähinnä taajamissa, joissa kuluttajatiheys on suuri, ja täten viasta aiheutuvat keskeytykset vaikuttavat hyvin laajalle asiakaskunnalle. Silmukoinnin avulla voidaan vikatilanteessa osalle kuluttajia toimittaa sähköä vaihtoehtoista reittiä. Haja-asutusalueilla ei silmukointia voida kustannustehokkaasti toteuttaa, sillä muuntopiirien välillä saattaa olla pitkiäkin matkoja ilman kuluttajia. /2/ Kuvissa 1 ja 2 on havainnollistettu näiden kahden verkon rakennetta.





Kuva 1. Säteisverkko



Kuva 2. Silmuverkko /2/

Haja-asutusalueilla on yleensä kustannustehokkainta käyttää juurikin säteisverkkoa. Säteisverkossa runkojohdosta haaroitetaan kuluttajille säteittäisiä haaroja. Säteisverkkoa, ja yleensäkin pienjänniteverkkoa suunniteltaessa tulee kuitenkin ottaa huomioon asiakkaat, jotka ottavat hetkittäin suuria kuormia, kuten esimerkiksi hitsauslaitteita käyttävät kuluttajat ja pumppaamot. Tämän kaltaiset asiakkaan aiheuttavat verkkoon jännitevaihteluita. Näille asiakkaille tulisi pyrkiä syöttämään sähköä suoraan muuntajalta omalla johdolla ilman haaroja, jotta verkon muiden asiakkaiden sähkönlaatu ei heikkenisi.

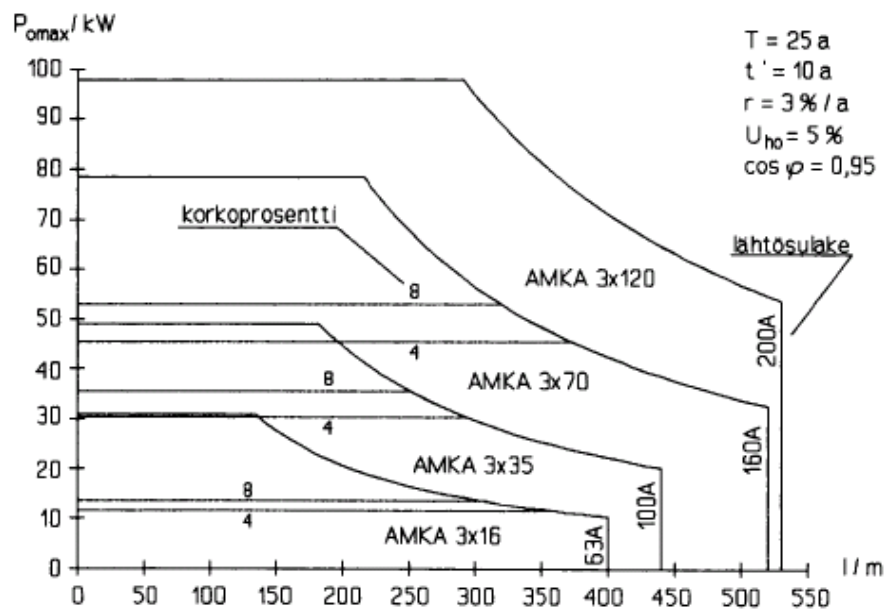
### 3 PJ-VERKON MITOITUS

Sähköverkolle, kuten kaikille sähkölaitteille on annettu tietyt kriteerit ja normit, jotka niiden pitää täyttää. Verkon sähköisellä mitoituksella varmistetaan, ettei verkossa aiheutuvista vioista aiheudu haittaa henkilöille tai kenenkään omaisuudelle. Päällimmäisenä tarkastelun kohteena ovat johtimien poikkipinnat sekä johtimia suojaavat varokelaitteet.

Pääperiaatteena verkon mitoituksessa on valita kuhunkin tilanteeseen johtimet, joiden investointi ja käyttökustannuksista koostuvat kokonaiskustannukset olisivat mahdollisimman pienet. Lisäksi johtimien on täytettävä niille asetetut tekniset

vaatimukset. Näitä vaatimuksia ovat jännitteenalenema, oikosulkukestoisuus, sähköturvallisuusmääräysten ensimmäinen, ja toinen nolausehto. Näitä mitoitussehtoja käydään läpi seuraavissa kappaleissa.

Lakervin Erkin kirjassa /1/ on laadittuna kaavio eri johtokokojen taloudelliselle mitoittamiselle. Kaaviosta voidaan hahmottaa amka-johtojen maksimi pituuksia eri kuormituksilla. Kyseistä kaaviota voidaan soveltaen käyttää myös maakaapeloinnin suuntaa antavana lähteenä. Kyseinen kaavio ei kuitenkaan täysin vastaa nykyajan vaatimuksia. Suurimmilla johtopoikkipinnoilla, AMKA70 ja AMKA120:llä, ei päästä taulukon mukaisiin johdinpituuksiin suojaukselle asetettujen määräysten rajoissa. Taloudellista mitoittamista on käsitelty tarkemmin kappaleessa 6.



Kaavio 1: Johtimen valintataulukko pituuden funktiona /1, s. 64/

### 3.4 Johdonsuojaus

Jakeluverkon suojaus toteutetaan yleisimmin sulakesuojauksella. Sulakkeella saadaan hoidettua verkonsuojauksen kaikki kolme tärkeintä osaa, ylikuormitussuojaus, oikosulkusuojaus ja kosketusjännitesuojaus. Myös verkon selektiivinen suojaus, joka helpottaa esimerkiksi vian paikantamista, voidaan helpoiten hoitaa samaisilla sulakkeilla. /3/

Yleisesti verkon suojauksessa suositellaan noudatettavan standardia SFS6000-4-41 413.1.3, jonka mukaan suojauksen pitää toimia vikatilanteessa alle 5 sekunnissa /4/. Jakeluverkossa voidaan kuitenkin käyttää taulukon 1 mukaisia arvoja, mikä saattaa johtaa suojan toiminta-ajan yli 5 sekuntiin.

*Taulukko 1.* Pienin oikosulkuvirta, jolla ylivirtasuojan katsotaan toimivan riittävän nopeasti

Ylivirtasuojaja	Oikosulkuvirta		Ylivirtasuojan toiminta-aika liittymän sähköverkossa
	Sähkölaitoksen jakeluverkossa	Liittymän päävärrokkeen luona	
Sulake $I_N \leq 63 \text{ A}$	$2,5 \times I_N$	$3,5 \times I_N$	5 s
Sulake $I_N > 63 \text{ A}$	$3,0 \times I_N$	$4,5 \times I_N$	
Johdonsuojakatkaisija	$2,5 \times I_N$	$3,5 \times I_N$	

#### 3.4.1 Johtimen kuormitettavuus /3/

Johtimien kuormitettavuuden määrittämisessä tavoitteena on varmistaa johtimelle mahdollisimman pitkä käyttöikä. Johtimen kuormitettavuudelle olennaisena tekijänä on sen asennustapa. Kuormituskäyrän huomioonottaminen vaikuttaa myös johtimen kuormitettavuuteen esimerkiksi kaapelin kuormitettavuus nousee maahan asennettuna noin 20%. Erilaisten johtimien kuormitettavuudet eri asennusolosuhteissa on esitetty verkostosuosituksessa SA:92. Kyseisen taulukon

arvot on saatu sähköturvallisuusmääräyksen A4-93 taulukoissa 25.2-9...25.2-17 /5/ esitettyjä korjauskertoimia hyväksikäyttäen.

### **Hätäkuormitettavuus /3/**

Tiettyjä johtimia voidaan hätäkuormittaa yllättävissä tilanteissa tiettyyn rajaan saakka. Hätäkuormitus sallitaan ainoastaan palonkestävästi asennetuilla johtimilla. Tämä johtaa siihen, että ainoastaan kaapeleita voidaan kuormittaa yli suositellun kuormitusrajan. Kaapelivalmistajat suosittelevat, että kaapelia ei saa kuormittaa hätäkuormitusta vastaavalla virralla kaapelin eliniän aikana yli 500h, eikä yli 50h kerrallaan /3/. Ilmajohdoilla ei vastaavaa hätäkuormitusta voida sallia. Myös palonkestämätön asennus johtaa hätäkuormituksen estämiseen.

### **3.4.1 Oikosulkusuojaus /3/**

Oikosulkuvirran määrittämisellä pystytään varmistamaan, että verkko saadaan suojattua oikeanlaisilla suojalaitteilla. Oikosulkusuojauksella varmistutaan, etteivät johtimet vahingoitu tai tuhoudu verkossa tapahtuvan yksivaiheiden oikosulun seurauksena. Oikosulkuvirran suuruuteen vaikuttavat johtimien ja muiden verkkokomponenttien resistanssit ja impedanssit. Oikosulkuvirta on myös päällimmäisenä tekijänä pienjänniteverkon suunnittelussa, sillä oikosulkuvirralla on annettu tietty arvo, joka pitää toteutua kulutuspisteessä. Standardissa 6000-8-801 kuluttajan liittymispisteessä oikosulkuvirran suositellaan olevan 250A. Kyseisellä virta-arvolla pystytään varmistamaan, että kiinteistön pistorasiaryhmää suojaavan 16A C-tyyppin katkaisija toimii riittävän nopeasti /4/. Myös verkon jännitejäykkyyttä voidaan havainnollistaa oikosulkuvirran perusteella, - mitä suurempi oikosulkuvirta, sitä jäykempi verkko. Yksivaiheinen oikosulkuvirta lasketaan kaavan 1 mukaan. /3/

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

(kaava 1)

Jossa,

$U_v$  = Verkon vaihejännite

$R_m$  = 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 myötäreaktanssi ( $\Omega/\text{km}$ )

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

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

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

$L$  = johdon pituus (km)

Standardin 6000-8-801 mukaan oikosulkuvirtasuojan toiminta-aika ei saa ylittää 5 sekunnin rajaa. Käytettäessä kappaleessa 3.4 esitetyn taulukon 1 mukaista sulakkeen valintaa, saattaa 5 sekunnin raja kuitenkin ylittyä. Täten verkon haltian harkintaan jää miten sulakkeet valitaan. Kaapelien valmistajat kuitenkin ilmoittavat kaapelien oikosulkusietoisuuden juurikin 5 sekunnin aikamäärälle.

### **Liittymisjohtojen oikosulkusuojaus**

Liittymisjohtojen oikosulkusuojauksessa, käytettäessä taulukon 1 mukaisia sulakkeita pitää suunnittelijan varmistaa standardissa SFS 6000-8-801 olevia vaatimuksia, jotka perustuvat verkkoyhtiöiden ajan mittaan toteamiin tuloksiin.

Vattenfall Verkko Oy:ssä suunnitellaan liittymisjohdot ja niiden suojaus siten, että ne toteuttavat kyseisen standardin kohdan 1 vaatimukset. Pienin käytetty liittymisjohto koko on  $25\text{mm}^2$  alumiinia tai  $16\text{mm}^2$  kuparia.

”Liittymiskaapelin poikkipinta on vähintään  $10\text{mm}^2$  kuparia tai  $16\text{mm}^2$  alumiinia ja johdon loppupäässä on liittymisjohtoa ylikuormitukselta suojaavat suojalaitteet, esim. pääsulakkeet” /4/

Liittymisjohdon oikosulkusuojan on toimittava taulukon 1 mukaisella oikosulkuvirralla 15 sekunnissa. Käytettäessä kyseisen taulukon arvoja mitoittaessa oikosulkusuojausta voidaan suunnittelijan ja rakentajan harkinnan mukaan käyttää StM 25§ taulukon 25.2-20 mukaisia sulakkeita. Oikosulkusuojauksen toiminta maksimissaan 15 sekunnissa on todennettava laskemalla tai mittaamalla. Sulakkeita valittaessa on otettava huomioon, että kaikki standardin SFS-EN 60260 mukaiset sulakkeet eivät täytä 15 sekunnin vaatimusta oikosulkuvirran ollessa kolminkertainen sulakkeen nimelliseen virtaan nähden

### **3.4.2 Ylivirtasuojaus /3/**

Pienjännitejohdot, jotka on asennettu palonkestävästi, eivät tarvitse ylivirtasuojasta. Käytännössä kuitenkin kaikki ilmassa olevat linjat on sähköturvallisuusmääräysten mukaan aina suojattava ylivirralla. Kun taas kaapeleille, joiden oletetaan olevan asennetut palonkestävästi maan alle, ei ylivirtasuojasta tarvita.

#### **Kaapelin ylikuormitussuojaus**

Koska maakaapelien oletetaan olevan palonkestävästi asennettuja, ei niitä tarvitse suojata ylivirralla. Tämä väite perustuu verkostosuosituksen SA 2:92 mukaan pitkäaikaisiin kokemuksiin. Maakaapelia ei kuitenkaan saa jättää täysin suojaamatta. Pienjännitejohtojen suojauksen pitää aina toteuttaa kosketusjännitesuojauksesta annetut vaatimukset. Liittymisjohtojen ei kuitenkaan

oleteta olevan palonkestävästi asennettuja, joten pitää verkko suojata ylikuormitusta vastaan. Täten liittymisjohtojen kuormituksensieto määrää suojaavan suojalaitteen nimellisvirran.

### **Ilmajohdon ylikuormitussuojaus**

Koska riippukierrekaapelin (AMKA) asennus ei vahvavirtamääräyksen A4-93 mukaan ole palonkestävä, pitää se suojata ylikuormitussuojalla johdon alkupäästä, jolloin myös oikosulkusuojaus tulee hoidettua samalla. Liittymisjohdon ylikuormitussuojaus hoidetaan kuluttajan päävarokkeella. Tässä tapauksessa pitää varmistua, että liittymisjohto tulee suojattua oikosululta verkkoa suojaavalla sulakkeella. /5/

## **3.4.3 Kosketusjännitesuojaus**

### **Ensimmäinen nollosehto**

Kosketusjännitesuojauksella eli 1. nollosehdon toteutumisella pyritään varmistamaan, ettei vian sattuessa verkkoon jää vaarallisia jännitteitä. Sähköturvallisuusmääräyksen 9§5 määrittelee 1. nollosehdon seuraavasti.

”Ääri ja PEN- tai suojajohtimen välisen eli yksivaiheisen oikosulun sattuessa missä tahansa galvaanisesti yhtenäisessä järjestelmässä, ylivirtasuojan tai muun suojalaitteen on kytkettävä oikosulku nopeasti pois tai PEN tahi suojajohtimen jännite maahan nähden ei missään osassa järjestelmää saa oikosulun aikana olla niin suuri, että siitä aiheutuu vaaraa” /5/

Kosketusjännitesuojauksen katsotaan toteutuneen kun vaihe- ja äärijohtimen välille syntyneestä galvaanisesta oikosulusta ei aiheudu oikosulun aikana johtimen ja maan välille yli 75V jännitettä /4/. Kuten edellä mainittiin, hoidetaan kosketusjännitesuojaus oikosululta suojaavilla sulakkeilla. Kyseiset sulakkeet valitaan taulukon 1 mukaan.

### Toinen nolausehto

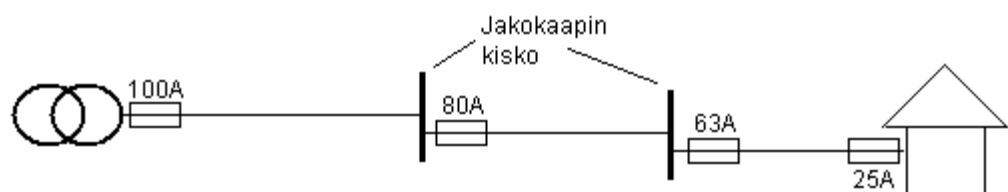
Toisen nolausehdon tarkoituksena on pienentää PEN-johtimen katkeamisesta syntyvä kosketusjännitettä katkeamiskohdan takaisessa verkossa. Toinen nolausehto määritellään sähköturvallisuusmääräyksessä 9§5 seuraavasti.

”PEN-johdin on maadoitettava enintään 200 m etäisyydellä verkon syöttöpisteestä (mieluiten ennen lähintä liittymää) ja jokaisen yli 200 m pitkuisen johdon tai johtohaaran loppupäässä tahi enintään 200 m etäisyydellä loppupäästä” /5, s34/

PEN-johtimen maadoituselektrodien maadoitusimpedanssin saa maksimissaan olla 100Ω, mikäli maadoitusolosuhteiden puitteissa kyseiseen arvoon päästään.

### 3.4.4 Selektiivisyys

Säteittäisessä kaapeliverkossa voidaan hyväksikäyttää sulakkeiden selektiivistä sijoittelua. Selektiivisessä suojauksessa verkon kaapeille voidaan sulakkeiden kokoa pienentää kulutusten puitteissa. Tämänkaltaisella sulake sijoittelulla mahdollistetaan vian aiheuttaman sähkönjakelukatkon rajaaminen mahdollisimman pienelle alueelle. Lisäksi vian paikantaminen ja rajaaminen onnistuu täten suhteellisen helposti. Yksinkertaisimmillaan selektiivisyys toteutetaan pienentämällä sulake kokoa pykälittäin verkon solmukohtissa muuntajalta kuluttajalle päin. Kuvassa 3 on havainnollistettu selektiivistä verkon suojausta kaapeliverkossa.



Kuva 3. Verkon selektiivinen sulakesijoittelu



### 3.2 Jännitteenalenema

Jännitteenalenemalla tarkoitetaan lähdön alkupään eli muuntajalla vallitsevan jännitteen ja asiakkaan kulutuspisteessä vallitsevan jännitteen erotusta. Jännitteen alenema on yksi sähkönlaatuun eniten vaikuttavista tekijöistä, ja täten tänä päivänä erittäin merkittävä tekijä verkon mitoituksessa. Jakeluverkon jakelujännitteelle säädetyssä standardissa SFS-EN 50160 mukaan jännitteen ei tulisi vaihdella 10% enempää. /6/

”Jokaisen viikon aikana 95 % jakelujännitteen tehollisarvojen 10 minuutin keskiarvoista tulee olla  $U_n \pm 10\%$ ” /6/

”Kaikkien jakelujännitteen tehollisarvojen 10 minuutin keskiarvojen tulee olla  $U_n +10/-15\%$ .” /6/

Verkkoa suunniteltaessa lasketaan johtimista aiheutuva jännitteen alenema. Jännitteen alenemaan vaikuttaa kuormitusvirran suuruus, ja sekä johtimien ja muuntajien resistanssit ja kapasitanssit. Muuntajan jännitteenalenema saadaan laskettua kaavalla 2

$$\Delta U = \frac{S}{S_N} \cdot \left( r_k \cos \varphi + x_k \sin \varphi + \frac{(x_k \cos \varphi + r_k \sin \varphi)^2}{200} \right) \quad (\text{kaava 2.})$$

jossa,

$\Delta U$  = Muuntajan jännitteenalenema (%)

$S$  = Muuntajan kuorma (kVA)

$S_N$  = Muuntajan nimelliskuorma (kVA)

$r_k$  = muuntajan oikosulkureaktanssi (%)

$x_k$  = muuntajan sulkureaktanssi (%)

$\varphi$  = muuntajan kuorman vaihesiirtokulma

Johtojen jännitteenalenemaprosetti lasketaan kaavalla 3

$$\Delta U = \frac{100}{230} \cdot \sum I_j (R_{i-j} \cos \varphi_j + X_{i-j} \sin \varphi_j) \quad (\text{kaava 3})$$

jossa,

$\Delta U$  = johdon jännitteenalenema (%)

$I_j$  = solmupisteen j kautta kulkeva virta (A)

$R_{i-j}$  = johdon kahden peräkkäisen solmupisteen i-j välinen resistanssi ( $\Omega$ )

$X_{i-j}$  = johdon kahden peräkkäisen solmupisteen i-j välinen reaktanssi ( $\Omega$ )

$\varphi_j$  = solmupisteen j kautta kulkevan virran vaiheensiirtokulma

Jännitteenalenemasta on kuluttajalle monenlaista haittaa. Yhtenä yleisimpänä haittana pidetään valojen välkyntää. Välkynnälle on laadittu raja standardissa SFS-EN 50160 2.4.2, jonka rajoissa se pitää pysyä. Yleisimpiä jännitteen välkynnän aiheuttajia verkossa ovat yksivaiheiset kulutuslaitteet kuten hitsauskoneet sekä yksivaiheiset vesipumput. Myös moottorit aiheuttavat verkossa jännitteen heilahtelua käynnistettäessä. Esimerkiksi suurimpien moottorien käynnistyksessä tulisi käyttää pehmokäynnistystä. Pahimmassa tapauksessa jotkin kulutuslaitteet eivät toimi lainkaan. Tämänkaltaista oireilua on havaittavissa vanhojen jakeluverkkojen pisimpien haarojen viimeisillä kuluttajilla.

Yleisimmin jännitteen alenemaa pyritään ehkäisemään rakentamalla verkko tarpeeksi vahvaksi.

## 4 KAAPELIVERKON OMINAISUUDET

Pienjänniteverkon kaapeloinnista on verkolle niin hyötyä kuin haittaakin. Täten pitää verkkoa suunniteltaessa punnita onko ilmalinja vai maakaapeliratkaisu parempi. Päällimmäisenä tavoitteena verkon suunnittelussa on saavuttaa parempi

käyttövarmuus sähkön jakeluun. Nyky-yhteiskunnassa on paljon laitteita, jotka eivät siedä lyhyitäkään sähkökatkoja tai ”jänniteheilahduksia”. Sähkön jakeluvarmuuden takaamiseksi ollaan suurilta osin siirtymässä maakaapeliratkaisuun. Pienjänniteverkon kaapelointi ei kuitenkaan ole niin yksioikoista. Kaapeloinnin haasteena ovat kaapeloinnin investointi kustannukset sekä tulevaisuudessa verkkoon mahdollisesti tehtävät muutokset.

#### **4.1 Käyttövarmuus**

Nyky-yhteiskunnassa on hyvin paljon laitteita, jotka eivät siedä sähkönjakelun katkeamisia tai jännitteen vaihteluita kuten esimerkiksi tietokoneet. Tästä syystä sähkönjakelussa on entistä enemmän pitänyt alkaa kiinnittämään huomiota sähkönjakelun jatkuvuuden varmistamiseen. Käyttövarmuuden kannalta kaapeliverkko on ilmajohtoverkkoa paljon varmempi, sillä kaapeleihin eivät vaikuta sää olosuhteet. Esimerkiksi linjoille tuulesta kaatuneista puista johtuvat katkot ja ukkosesta johtuvat jännitevaihtelut eivät vaikuta maan alla oleviin kaapeleihin. Myöskään Suomen ilmastossa tyypillinen tykkylumi ei aiheuta ongelmia kaapeliverkossa.

#### **4.2 Maisemalliset tekijät**

Verkon rakentaminen vioittaa aina maastoa jonkin verran. Rakennusvaiheessa työkoneet aiheuttavat maastoon kutakuinkin saman verran vahinkoa, esimerkiksi työkoneiden liikuttelusta jää jälkiä maahan. Kaapelointi on kuitenkin pitemmällä aikavälillä ilmalinjaa parempi maiseman kannalta, sillä työkoneiden jäljet saadaan suhteellisen hyvin maisemoitua, eikä rakennus töiden jälkeen maastoon jää näkyviä verkon osia kuten ilmalinjassa. Työkoneiden aiheuttamia vahinkojakin voidaan minimoida rakentamalla linja maan ollessa roudassa, jolloin voidaan minimoida työkoneiden painaumista aiheutuneet vahingot. Nykyään iso osa kaapeloinnista pyritään suorittamaan auraamalla, joka on mahdollista myös talvella maan ollessa

roudassa 15-20 cm. Auraamalla jälkiä jää ainoastaan koneen renkaista sekä aurasura, joka sekin on helppo tasoittaa esimerkiksi kaivinkoneen pyörillä. /7/

### **4.3 Maankäyttö-oikeudet**

Aina kun jotain rakennetaan toisen maaperälle, on maankäyttöoikeuksien oltava kunnossa. Yleensä maanomistajat ovat suopeampia myöntämään lupia jos linja rakennetaan maan alle. Esimerkiksi pelloilla ilmalinjat aiheuttavat ongelmia suurten maatalouskoneiden käytölle. Lisäksi pylvääät ja niiden harukset vievät osan viljeltävästä pinta-alasta. Toisaalta maanviljelijät saattavat suhtautua pelloille tehtäviin kaapelointeihin varauksella jo olemassa olevien tai tulevaisuudessa tehtävien salaojitusten takia. Tästä syystä kaapelit olisi suotavaa saada mahdollisimman syvälle.

### **4.4 Muutettavuus**

Suurimpana vaikeutena verkon kaapeloinnin suunnittelussa lienee verkkoon tulevaisuudessa tulevat uudet liittymän, sekä kuormitusten odottamaton kasvaminen. Kuormitusten ennustamaton kasvu ja lisäliittymät aiheuttavat aina päänvaivaa kaapeliverkkoa suunniteltaessa. Koska maakaapeliverkon vahvistaminen saattaa maastosta riippuen olla erittäin vaikeaa verrattuna esimerkiksi ilmajohtoverkkoon. Täten tulevaisuuden kuormitusmuutokset ja uudet liittymät tulee pyrkiä ennakoimaan mahdollisimman hyvin. Päällimmäisenä tarkastelun kohteena kyseisenlaisessa tapauksessa on runkojohdon suunnittelu kustannustehokkaasti.

## **5 TALOUDELLINEN MITOITUS**

Investoitaessa johonkin kohteeseen, ei voida pelkästään tarkastella sen hetkisiä investointi kustannuksia. Investoitavasta kohteesta koituu kustannuksia myös sen

koko pitoaikana, ja tästä syystä on ennen hankinta päätöstä vertailtava eri vaihtoehtoja ja niiden kustannuksia niiden koko käyttöajalta.

Jotta saadaan laskettua investoinnin kokonaiskustannukset, pitää investointi, eli hankintamenoihin lisätä juoksevat menot joita syntyy kohteen pitoaikana. Jakeluverkossa juoksevat kulut koostuvat lähinnä häviökustannuksista, viankorjauksesta, tarkastuksista sekä raivauksesta syntyvistä kuluista. Kaapeliverkossa raivauksesta ja tarkastuksista syntyvät kulut tosin voidaan jättää kokonaan pois.

Runkojohtoa valitessa kannattaa laskea eri johtolajeista syntyviä häviökustannuksia. Häviökustannusten tarkasteluun kannattaa paneutua varsinkin niissä paikoissa, joissa kuormitukset ovat korkeita. Suuressa osassa haja-asutusalueiden jakeluverkkoa tulee kuitenkin oikosulkuvirralla vaaditut arvot määräämään runkokaapelin poikkipinnan.

### **Verkkokomponenttien pitoaikoja Vattenfall Verkko Oy:ssa**

Pitoaika on käsite, jolla määritellään verkon käyttöikä. Kaikille verkon komponenteille on määritelty tekninen elinikä, jonka perusteella elinkaarikustannuksia lasketaan. Käyttöikämääritelmän perusteella voidaan myös määrittää esimerkiksi asiakkaan laskuun tehtävien verkostotöiden kustannukset verkon jäljellä olevan käyttöajan perusteella. Seuraavassa on esitelty Vattenfall Verkko Oy:ssa käytettyjä pitoaikoja. /8/

-Pienjänniteilmajohdot	35 vuotta
-Pienjännitekaapelit	40 vuotta
-Keskijänniteilmajohdot	40 vuotta
-Keskijännitekaapelit	45 vuotta
-Pylväsmuuntamot	35 vuotta
-Puistomuuntamot	40 vuotta
-Kiinteistömuuntamot	40 vuotta
-Jakelumuuntamot	35 vuotta

## 5.1 Johtimen valinta taloudellisin perustein

Kaapelin taloudellisessa suunnittelussa saadaan laskemalla määritettyä eri johdinlajeista aiheutuvat häviökustannukset. Häviökustannukset määrittämällä pystytään määrittämään rajateho, jolla on häviökustannusten perusteella kustannustehokkaampaa valita runkokaapelin poikkipinta suurempaan. Todellisuudessa kaapelin valinta ei kuitenkaan ole aina näin yksioikoista. Kulutuksia on vaikea ennustaa pitkälle aikavälille, mikä varsinkin kaapeliverkkoa suunniteltaessa olisi hyvin tärkeää, jotta verkkoa ei rakenneta liian vahvaksi saatikka liian heikoksi. Rajateho saadaan laskettu kaavalla 4. /7/

$$P_0 = \sqrt{\frac{(K_{r2} - K_{r1}) \cdot U^2}{hp \cdot (R_1 - R_2) \cdot C}} \quad (\text{Kaava 4.})$$

Jossa,

$P_0$  = Rajateho (kustannukset samansuuruiset)

$K_r$  = Johdon rakentamiskustannukset

$hp$  = häviötehon hinta (€/kW,a)

$R$  = johtimen tasavirtaresistanssi

$C$  = kapitalisointikerroin, jolla 1. tarkasteluvuoden häviökustannukset kerrotaan.

Kapitalisointikerroin  $C$  saadaan laskettua korkoprosentin, sekä arvioidun tehon nousun avulla diskonttauskaavalla 5.

$$C = \varphi \frac{\varphi^t - 1}{\varphi - 1} \quad (\text{Kaava 5.})$$

Jotta kapitalisointikerroin saadaan laskettua, pitää  $\varphi$  määrittää kaavan 6 avulla.

$$\varphi = \frac{(1 + r/100)^2}{1 + p/100} \quad (\text{Kaava 6.})$$

Koska tässä työssä paneudutaan lähinnä haja-asutus verkon kaapelointiin, voidaan verkon tehon vuotuiseksi kasvuprosentiksi olettaa 1 %. Suurimpana tehon lisäyksen aiheuttajana ovat uudet liittymät, joita vuosien varrella rakennetaan. Kaapeliverkon käyttöikäksi  $t$  määritetään 40 vuotta. Korkoprosentiksi valitaan 11 %, joka on Vattenfall Verkko Oy:n käyttämä korkoprosentti verkon korjausvaihtoehtojen vertailussa. /8/

### ***Esimerkki.***

Tutkitaan kahdesta eri kaapelista aiheutuvia kustannuksia investointi ja häviökustannusten pohjalta AXMK50 ja AXMK95. Lasketaan edellä esiteltyjen kaavojen avulla mikä on se rajateho, jolloin harkitaan kannattaako rakentaa AXMK95 kaapelilla investointikustannuksiltaan halvemmän AXMK50 sijaan. Ensin pitää määrittää kummankin kaapelin rakennuskustannukset. Kyseiset kustannukset määritetään Xpowerin CPP yksikköhinnoin. Esimerkissä lasketaan kustannukset kaivamalla kaapelit maahan yhtä pitkältä matkalta.

*Taulukko 2.* Kaapelien rakennuskustannukset samanpituisella matkalla

	AX50	AX95
kaivamalla	5 465 €	6 555 €
auraamalla	3 312 €	4 403 €

Kun kaavaan 5 sijoitetaan arvot  $r = 1\%$  ja  $p = 11\%$  saadaan  $\varphi$  arvoksi 0,892. Tämän jälkeen voidaan laskea kapitalisointikerroin  $C$  kaavalla 4, jossa  $t = 40$ a. Saadaan kapitalisointikertoimeksi  $C = 8,174$ .

Tämän jälkeen voidaan sijoittaa lasketut tekijät kaavaan 3. Oletetaan häviötehon hinnan olevan  $75\text{€}/\text{kW}$ , $a$ , joka Vattenfall Verkko Oy:n pienjännite ja muuntajien kuormitusteholle määrittelemä hinta.

$$P_0 = \sqrt{\frac{(K_{r2} - K_{r1}) \cdot U^2}{hp \cdot (R_1 - R_2) \cdot C}} = \sqrt{\frac{(6555\text{€} - 5463\text{€}) \cdot 400^2}{75\text{€}/\text{kW}, a \cdot (224,7\Omega - 112,6\Omega) \cdot 8,173}}$$

$$\Rightarrow P_0 = 50,4 \text{ kW}$$

Tämän laskumenetelmän perusteella kannattaa kaapelikoon suurentamista harkita verkon ottaman tehon ollessa yli 50 kW. Jo olemassa olevaa verkkoa kaapeloitaessa voidaan runkojohdon koko määrittää edellä kyseisellä laskutavalla. Johtoa ei tosin pelkästään voida valita taloudellisen mitoittamisen perusteella. Verkon on toteutettava sille määrätyt sähköiset arvot.

*Taulukko 3.* Rajatehoja eri kaapelikokojen välillä edellä annettujen arvojen perusteella.

kaapelit	AX50 / AX95	AX95 / AX150	AX150 / AX185	AX95 / AX185
rajateho	50,4kW	95,1kW	94,4kW	94,9kW

Taulukosta 3 havaitaan, että 40 vuoden pituisella ajanjaksolla on 150mm<sup>2</sup> ja 185mm<sup>2</sup> pinta-alaltaan olevien alumiinikaapeleiden välillä rajateho on samaa luokkaa kuin 95mm<sup>2</sup> ja 185mm<sup>2</sup> pinta-alaa olevien kaapeleiden välinen rajateho. Tämän perusteella ei rajateholaskentaan perustuvien taloudellisten perusteiden kannata käyttää 150mm<sup>2</sup> pinta-alaltaan olevaa kaapelia lainkaan.

### **Rajatehon merkitys käytännössä**

Rajatehon merkitys maaseutuverkkoa suunniteltaessa ei kuitenkaan nouse määrääväksi tekijäksi. Maaseutuverkossa kuormat ovat suhteellisen pieniä ja hajanaisesti sijoittuneita, ja tästä syystä runkojohdon kokoon vaikuttaa suuremmalta osin oikosulkuvirrasta ja jännitteenalenemasta johtuvat määräykset.

## **6 KAAPELOINTIMENETELMÄT**

Kaapelointia tehdään nykyään pääsääntöisesti kahdella eri tavalla: auraamalla kaapeli suoraan maahan sekä kaivamalla ensin kaapelioja, johon kaapeli levitetään. Näistä kahdesta vaihtoehdosta auraus on ehdottomasti halvin vaihtoehto. Aurausta ei kuitenkaan voida toteuttaa paikoissa, joissa maaperä on kallioista tai



louhikkoista, myöskään kestopäällysteiseen tiehen ei aurausta voida hyödyntää. /9/ Kaapeliojankaivuulla voidaan kaapelointi toteuttaa niissä paikoissa, joissa aurauksella kaapelointia ei pystytä toteuttamaan. Luonnollisesti kaivaminenkin on mahdotonta kalliopaikoilla. Kallio-osuuksilla pitää käyttää esimerkiksi kaapeliojan louhintaa, betonointia tai vastaavia menetelmiä. Tämän kaltaiset kaapelointimenetelmät ovat vasta kokeiluasteella lähinnä keskijänniteverkkojen puolella.

### **6.1 Kaapelin auraaminen**

Kaapelin aurauksen pääpiirteisenä ideana on leikata maahan viilto ja asettaa kaapeli samanaikaisesti viiltoon. Viilto, eli aurausura toteutetaan aurauslaitteella, joka usein miten on kytketty esimerkiksi kaivinkoneeseen. Kuvassa 2 on havainnollistettu aurausta peltoon. Kuvasta huomataan myös, ettei maahan jää juurikaan työn jälkiä. Usein auraus toteutetaan tieltä, mutta Vattenfall Verkko Oy:ssä ei kuitenkaan voida aurata maankäyttöoikeuksista johtuen tiehallinnon omistamilla tieosuuksilla tienpenkkaan, vaan kaapeli sijoitetaan näillä tieosuuksilla tiealueen ulkopuolelle.



Kuva 2. Kaapelin aurausta pellolle (AXMK95 + puhelinkaapeli)

Jotta auraamalla saavutettaisiin laadukas lopputulos, on kaapelireitin esiauraus suotavaa. Esiaurauksessa kaapelireitti aurataan läpi ilman kaapelia. Tällä pystytään varmistumaan reitin maaperästä, eikä kaapelia aurattaessa törmätä yllättäviin vastoinkäymisiin kuten kiviin, jotka aiheuttaisivat sen, että kaapeli joudutaan poistamaan aurasta, joka taas aiheuttaa lisätyötä. Aurattavan kaapelin maksimikokona pidetään 185mm<sup>2</sup> kaapelia. Näinkin paksun kaapelin takia auralaite on melko leveä. Tämä taas vaatii esiaurauksen. Kaapelin syvyys auraamalla pyritään pitämään noin 70–80cm, tätä syvemälle mennessä tarvitaan erikoiskalustoa. Liukas alusta aiheuttaa auraamiselle pidosta aiheutuvia ongelmia. Märällä, mutaisella pellolla ei telakoneella pystytä juurikaan auraamaan, koska itse kone ei pysy paikallaan. Jäisellä alustalla auraus joudutaan tekemään pyöräkoneella, johon on asennettuna kitkaketjut. Myös ilman lämpötila vaikuttaa kaapelin aurattavuuteen. Kesällä lämpötilan ollessa korkea, saattaa kaapelin pinta vioittua helposti, vastaavasti talven pakkasilla kaapelista tulee hyvin jäykkää ja täten vaikeasti aurattavaa. /18/

### 6.1.1 Aurat

Kaapeloinnissa käytettävät aurat voidaan jakaa pääpiirteittäin kahteen ryhmään; staattisiin sekä täryttäviin. Täryttävät aurat ovat staattisia auroja monimutkaisempia, ja täten kalliimpia niin hankintahinnaltaan kuin käyttökustannuksiltaan. Toisaalta täryttäviä auroja voidaan pitää staattisia auroja parempina monestakin syystä. /9/

Täryttävässä aurassa värinäliike on joko pystysuuntaista tai ympyränmuotoinen. Liikkeen taajuus on yleensä noin 1100–2300 tärytystä minuutissa. Tärytyksen ansiosta auraa vetävän laitteen tehovaatimus on pienempi kuin staattisella auralla. Tämä johtuu tärytyksestä johtuvasta ”leikkaavasta” liikkeestä, joka saa maakerrosten hienojakoisen maan siirtymään auran tieltä. Hienojakoisen maan aineksen siirtymisestä on etua aurattaessa montaa kaapelia kerrallaan, sillä kaapelit saadaan heti sopivalle etäisyydelle toisistaan maan aineksen valuessa kaapelien väliin. /9/

Auran tärytyksellä edesauttaa kaapelin kulkemista auran putken lävitse. Näin saadaan pienennettyä aurausvaiheessa kaapeliin kohdistuvaan vetorasitusta. /9/ Kuvassa 3 on havainnollistettu täryttävää kaapeliauraa.



*Kuva 3. Täryttävällä auralla varusteltu traktori /12/*

## **6.2 Kaapeliojan kaivuu**

Kaapelin asentaminen tapahtuu yksinkertaisesti levittämällä kaapeli auki kaivettuun ojaan. Kaapelin asentamisessa ojaan on se hyväpuoli, että asennussyvyys pystytään varmistamaan helpommin kuin auraamalla. Lisäksi kaapeleille voidaan rakentaa kunnon hiekkapeti vioittumisen ehkäisemiseksi.

## **6.3 Louhinta ja betonointi**

Niissä paikoissa, joissa kaapeliojaa ei pystytä kaivamaan saatikka auraamaan, on turvauduttava vaihtoehtoisin toimenpiteisiin. Kallioisille osuuksille kaapelille voidaan joko louhia oja kallioon tai rakentaa kaapeli suoraan kallion pintaan ja suojata se esimerkiksi betonoimalla. Pääasiassa tämänkaltaisia toimenpiteitä on toteutettu keskijänniteverkossa, mutta päästääkseen mahdollisimman suureen kaapelointi asteeseen on tämän kaltaisia toimenpiteitä toteutettava myös pienjänniteverkossa. Kallioon kaapelointi on lisäksi hyvin kallista, joten kynnyks tämänkaltaisten rakenteiden tekemiseen on hyvin suuri. Vattenfall Verkko Oy:lla

on kokemusta yhdestä laajemmasta betonointi kohteesta. Perhossa rakennettiin keskijänniteverkkoa kaapeloimalla kallionpäälle. Kustannuksiksi kyseisessä kohteessa betonointirakenteelle tuli 40-55€/m. Kyseisessä kohteessa käytettiin kaapelin suojana halkaistua putkea, jonka osuus kustannuksista oli melko suuri. Pelkästään betonoimalla arvioitu kustannus on hieman pienempi.

Louhintamenetelmä on hyvin paljon betonointia kalliimpaa, noin 60-80€/m./10/ Mikäli kalliokaapeloinnin rakentamiskustannukset saadaan laskettua noin kolmannekseen betonoinnin nykyisestä arviohinnasta, alkaa se olla kustannusten osalta kannattavampaa kuin ilmalinjan rakentaminen. Hinta-arvio perustuu kalliolle rakennetun ilmalinjan pitoajalta syntyvien kustannusten perusteella.



*Kuva 4.* Kaapeli suojattu halkaistulla putkella





*Kuva 5.* Putken päälle on valettu betonikerros

#### **6.4 Kaapelin tunkkaus**

Tien alitukset tehdään tunkkaamalla eli pengerlävistyksellä. Pengerlävistystä voidaan toteuttaa kalliota pehmeämpään maalajiin. Toimenpide tehdään yleensä joko tunkkaamalla tai kairaamalla. Tunkkauksen tuloksena tie pysyy kokoajan käyttökuntoisena, eikä korjaustoimenpiteitä tien osalta tarvita. Tämänkaltaisen toimenpide on kuitenkin erittäin kallista verrattuna kaivamiseen saati auraamiseen (noin 21-kertainen kustannus auraukseen nähden). Täten haja-asutus seudulla jossa teiden alitus on suinkin mahdollista toteuttaa kaivamalla tai auraamalla, aiheuttamatta tielle ja liikenteelle merkittävää haittaa, on tunkkausta pyrittävä välttämään.

## 6.5 Kaapelin mekaaninen suojaus

Kaapelin mekaaniselle suojaukselle on asetettu määräyksiä standardissa SFS6000-5-52. Suositeltava asennussyvyys kaapelille on 0,7 metriä. Paikalliset olosuhteet, kuten maaperän laatu, käyttötarkoitus ja omistussuhteet asettavat kaapelin asennussyvyydelle ja suojaukselle omat määräyksensä. Pääpiirteittäin standardi määrää kaapelille lisäsuojausta tapauksissa joissa kaapelia ei saada tarpeeksi syväälle. Metallivaipattomille kaapeleille kuten Vattenfall Verkko Oy:n yleisimmin käyttämälle AXMK kaapelille on lisäsuojauksesta määrätty edellä mainitussa standardissa taulukossa 4.

Taulukko 4. Metallivaipattomien kaapelien suojaus

Kaapelin asennussyvyys h	Standardin SFS-EN 50086-2-4 mukaisen iskunkestävyyden mukaan	Standardin SFS 5608 mukaisen lujuusluokan mukaan
$h > 0,7 \text{ m}$	–	merkkinauha
$0,5 \text{ m} < h \leq 0,7 \text{ m}$	kevyt käyttö L	kevyt käyttö C
$0,3 \text{ m} \leq h \leq 0,5 \text{ m}$ piha ja puistoalueilla	–	raskas käyttö A
$0,3 \text{ m} \leq h \leq 0,5 \text{ m}$ muilla alueilla	normaali käyttö N	keskiraskas käyttö B

Taulukkoa 2 luetaan siten, että asennettaessa kaapelia maahan, on jommankumman standardin SFS-EN50086-2-4 tai SFS 5608 täytyttävä. Tämänhetkinen standardi ei suoraan ota kantaa kallion päälle asennettavaan kaapeliin. Syksyllä 2007 on kuitenkin tulossa uusi standardi, jossa täydennetään juuri tämänkaltaisten asennusmenetelmien määräyksiä.

Uuden standardin mukaan kallion päälle asennettu metallivaipaton kaapeli voidaan suojata pelkällä betonivalulla. Suosituksena on kuitenkin, että kaapeli suojataan kourulla tai muototeräksellä, jonka päälle betonikerros valetaan. Louhikoissa, joissa kaapelia ei saada tarpeeksi syväälle vaan se jätetään esimerkiksi alle 0,5 metrin syvyyteen on kaapeli suojattava B-luokan suojalla. Alle 30 cm syvyyteen

asennettava kaapeli määritellään maan pinnalle asennetuksi, täten se pitää suojata kuten maanpinnalle jätetty kaapeli. /19/

*Lainaus uudesta standardista*

” Maan pinnalla oleva kaapeli on varustettava mekaanisella lisäsuojuksella kuten raskaan käytön suojaputkella (SFS 5608 luokka A), betonikourulla, betonivalulla tai vastaavalla tavalla. Kallion pintaan kiinnitetyn kaapelin suojana suositellaan käytettäväksi muototerästä tai putkea/kourua ja päälle tehtyä betonivalua.”

## **7. VERKON SUUNNITTELU TYÖKALUT**

Tässä opinnäytetyössä tehdyt suunnitelmat, sekä niiden pohjalta tehdyt kustannusarviot, on suurelta osin tehty Teklan Xpower verkoston suunnittelu ohjelmalla, sekä siihen integroiduilla CPP-kustannusyksiköillä

### **7.1 Xpower verkonhallinta ohjelma**

Tekla Xpower on keskeinen työkalu jakeluverkon suunnittelussa. Xpowerissa jakeluverkkoa voidaan suunnitella suoraan karttapohjaan. Verkkoyhtiöissä, kuten myös Vattenfall Verkko Oy:ssä kyseistä ohjelmaa käytetään myös tietolähteenä verkkotiedoille, lisäksi sen välityksellä voidaan jakaa tietoa yrityksen sisällä esimerkiksi katkopaikoista ja niiden ajankohdista.

Xpowerilla voidaan verkkotopologia suunnitella suoraan maantieteelliseen karttapohjaan aina verkon suojauksia myöten. Myös laskennallinen osa hoidetaan samalla ohjelmalla. Täten saadaan helposti ja nopeasti suunniteltua toimivaa ja standardeja noudattavaa jakeluverkkoa ilman suuria laskutoimituksia. /13/



## **7.2 CPP-kustannus yksiköt**

Xpower suunnitteluohjelmaan on integroitu rakentamisprojektien hallintaan ja suunnitteluun tarkoitettu rakentamisen tietojärjestelmä CPP, (Construction Project Planning). CPP:llä voidaan helposti muuttaa suunnitelma rakentamisen toimenpiteisiin tai vastaavasti materiaali luetteloksi. /13/

Jokaiselle CPP-yksikölle on määritelty hinta, joista kunkin suunnitelman kustannukset koostuvat. Xpowerilla suunnitelman ja siitä saatujen CPP-yksiköiden summaa voidaan käyttää arviona rakentamisen kustannuksille. Tässä opinnäytetyössä tehdyt suunnitelmat ja kustannusarviot ovat tehty edellä mainitulla tavalla. Tarkemmat kustannukset ja suunnitelmat saadaan vasta maastosuunnittelun jälkeen, jolloin voidaan varmistua maaston ja maaperän verkonrakentamiselle tuottamista vaatimuksista.

## **7.3 RNA- ja AM-laskenta**

Xpoweriin on yhdistetty RNA/AM työkalu (Reliability based Network Analysis / Asset Management). Kyseinen työkalu on tarkoitettu keski- ja pienjänniteverkon kriittisyyden, luotettavuuden sekä elinkaarikustannusten laskentaan. /13/

### **RNA (Reliability based Network Analysis)**

RNA on luotettavuuslaskentaosio, jolla voidaan määrittää verkon vikaantumisen todennäköisyyttä sekä vioista aiheutuvia kustannuksia. /13/

### **AM (Network Analysis)**

Network Analysis laskennalla lasketaan verkon kokonaiskustannuksia sen koko pitoaikana. Laskennalla voidaan määrittää verkon häviökustannukset, kunnossapitokustannukset sekä luotettavuuslaskennasta saatavana viankorjaus- ja keskeytyskustannukset. AM-laskenta ei kuitenkaan ota huomioon verkonrakennuskustannuksiin maastosta aiheutuvia kustannuksia kuten kaivuuta,

aurausta, louhintaa tai tien alitse tehtävää tunkkausta. Investointikustannukset on täten aina tehtävä CPP-yksiköillä. /13/

Laskettuani elinkaarikustannuksia edellä mainituilla ohjelmilla, eivät vastaukset tuntuneet realistisilta. Eroa ei juuri ilmennyt ilmajohtoverkon ja kaapeliverkon välillä, ja syntyneetkin erot olivat ilmajohtoverkolle suotuisat. Laskenta toimii moitteettomasti keskijänniteverkossa, mutta pienjänniteverkon osalta järjestelmän parametointi on vielä kesken. Näistä syistä päädyimme laskemaan elinkaarikustannukset Vattenfall Verkko Oy:n yksikköhinnoilla.

## 8 VERKON RAKENNE

### 8.1 Verkon komponentit

Jakeluverkon rakenne koostuu perinteisessä ilmaverkossa runkojohdosta, ja liittymisjohdoista. Kaapeliverkossa lisä komponentteina ilmajohtoverkkoon verrattuna on haaroitus ja jakokaapit. Olemassa on myös muunlaisia haaroitusmenetelmiä kuten esimerkiksi T-haarat, mutta niiden käyttö on erittäin harvinaista, joten ne on jätetty pois tästä työstä. Seuraavassa on pieni kuvaus pienjänniteverkon komponenteista.

#### **Liittymisjohto**

Liittymiskaapeli/-jodin on johdin jolla sähköenergia toimitetaan asiakkaalle. Liittymisjohdossa ei ole haaroja, vaan se tulee suoraan jako- tai haaroituskaapilta tai vastaavasti ilmajohtoverkossa pylväältä asiakkaan käyttöpisteeseen.

#### **Runkojohto**

Runkojohto toimii pienjänniteverkossa niin sanottuna siirtojohtona, jolla sähkö vietään muuntajalta lähemmäs asiakasta. Runkojohdosta haaroitetaan liittymisjohtoja asiakkaille.

### **Muuntamo**

Haja-asutusalueille ei Vattenfall Verkkö Oy:ssä vuoden 2007 helmikuussa tehdyn päätöksen jälkeen rakenneta enää pylväsmuuntamoita. Haja-asutus seudulle rakennettavat muuntamot ovat niin sanottuja maaseutumuuntamoita.

Maaseutumuuntamot ovat ulkonäöltään pääpiireittään samanlaisia kuin taajamassa käytetyt puistomuuntamot. Maaseutumuuntamossa ei ole lainkaan keskijännitekojeistoa, vaan keskijännite johto kytketään suoraan muuntajan kiskoihin. Muuntajan vaurioituessa koko muuntamo on mahdollista vaihtaa uuteen. Varsinaisia korjaustoimenpiteitä ei täten tarvitse toimittaa maastossa vaan ne voidaan suorittaa myöhemmin paremmissa olosuhteissa /11/. Käytännössä jakelumuuntaja vaihdetaan kuitenkin paikanpäällä koppia siirtämättä. Muuntamo voidaan varustaa 50 – 200kVA jakelumuuntajalla. Kuvassa 6 on havainnollistettu maaseutumuuntamo maastossa.



*Kuva 6. Maaseutumuuntamo*

### **Jako- / Haaroituskaappi, haaroitusputki, sekä T-haara**

Kuten jo mainittiin jako- ja haaroituskaapeilta voidaan nimenmukaisesti jakaa sähköä joko liittymisjohtimilla asiakkaille tai vastaavasti haaroittaa runkojohtoa. Haaroituskaapin ja jakokaapin erona on, että haaroituskaapilla jako tehdään liittinkytkennällä eli kaapissa ei ole kiskoa. Jakokaapissa vastaavasti jako tehdään kaapissa olevassa kiskossa ja/tai siinä olevilla varokekytkimillä. Ulkoisesti jako- ja

haaroituskaapit ovat samanlaisia. Haaroituskaappina käytetään yleisesti ulkoisilta mitoiltaan pienintä jakokaappia. Rajoittavana tekijänä haaroituskaapin käyttöön on, että sillä pystytään kytkemään 4 kaapelia, jotka maksimi pinta-alaltaan voivat olla  $95\text{mm}^2$ . Tämä tosin koskee ainoastaan liitinliitoksella toteutettua haaroitusta. Aivan uutena vaihtoehtona jako- ja haaroituskaapeille on haaroitusputki. Haaroitusputki on yksinkertaisimmillaan muoviputki, jonka sisään kaapelit tuodaan kuten jako- ja haaroituskaapeissakin. Maahan asennetun putken päälle liu'utetaan toinen putki, jolla saadaan aikaan suljettu tila kaapeleiden suojaksi./17/ Kyseisenlaisia jakoputkia on Vattenfall Verkko Oy:ssa asennettuna vain muutamia kappaleita, joten omaa kokemusta ei haaroitusputkista vielä ole.

#### Haaroituskaappi:

- + Suhteellisen edullinen
- + Soveltuu hyvin kaapelihaarojen päihin
- Rajallinen haaroituskyky (4 kpl kaapeleita)
- Voidaan kytkeä maksimissaan  $95\text{mm}^2$  kaapeli (liitinliitos)

#### Jakokaappi:

- + Monen kokoisia, koko voidaan valita tarpeen mukaan
- + Voidaan varustaa varokkeilla
- Kallein

#### Haaroitusputki: /17/

- + Hyvin edullinen vaihtoehto
- + Helppo / nopea asentaa
- + Voidaan haaroittaa jopa  $240\text{mm}^2$  kaapeleita
- Rajallinen haaroitettavuus, (3-4 kpl kaapelia)
- Ei kokemuksia kyseisestä rakenteesta

T-haara:

- + Edullinen
- + Helppokäyttöinen
- Vaikea korjata vioituessa
- Ei sovi kovinkaan hyvin Vattenfall Verkko Oy:ssa käytettyihin kaapelikokoihin

Runkojohdon haaroittaminen kannattaa sijoittaa sellaiseen paikkaan, josta voidaan haaroittaa mahdollisimman monta kaapelia kuten esimerkiksi kuluttajien liittymisjohtoja. Tämänkaltaisessa tapauksessa ei ole vaihtoehtona kuin jakokaappi, jossa liittymisjohdot voidaan suojata varokkeilla.

Haaroituskaappeja tulee sijoittaa haaraajohtojen päihin, jossa laajenemiselle ei ole kovinkaan suurta todennäköisyyttä. Haaroituskaappi on mahdollista varustaa myös kiskolla. Kiskolla varustetussa haaroituskaapissa voidaan työskennellä kiskojen ollessa jännitteisenä. Etuna kiskolla varustetussa haaroituskaapissa verrattuna liittimillä varustettuun haaroituskaappiin on, että verkon muuttuessa voidaan tarvittaessa kaappiin lisätä varokekytkin. Toisena etuna on, että kyseisellä rakenteella voidaan haaroittaa myös suurempia kaapeleita kuin 95mm<sup>2</sup>. Tästä syystä kyseistä haaroitustapaa voidaan käyttää myös runkojohdossa, jos liittymisjohtoja ei ole mahdollista haaroitetaan samasta pisteestä. Huonona puolena kiskoilla varustetussa kaapissa verrattuna liittimillä varustettuun kaappiin on sen investointikustannukset.

Haaroitusputki on noin 38 % halvempi kuin samoilla liittimillä varustettu haaroituskaappi /14/. Täten sitä kannattaisi kokeilla maaseutuverkossa lähtöjen päissä, joissa haaroitus jaetaan kahden kuluttajan kesken eikä uusia kulutuspisteitä todennäköisesti ole tulossa. Koska kyseisestä rakenteesta ei ole kovinkaan paljon kokemusta, ei sitä kannata heti aluksi kokeilla sähkönjakelun kannalta kriittisissä solmukohdissa, vaan kokemusta kannattaa kerätä ensin kohteissa, joissa vikaantumisesta johtuva katko aiheuttaa mahdollisimman pientä haittaa. Valmistajan mukaan kaapeleiden kytkentä tehtäisiin amka-liittimillä. Tätä

rakennetta tuskin otetaan käyttöön Vattenfall Verkko Oy:ssä. Todennäköisin vaihtoehto kytkennän toteuttamiseen olisi käyttää samaa liitintä kuin haaroituskaappien tapauksessakin.

T-haara on hyvin helppokäyttöinen haaroitusmenetelmä. Haaroitusjatkos sisältää valumuotin, johon kaapelit asennetaan. Muotti täytetään pienjännitteelle tarkoitettulla, valumuoviseoksella, joka tekee liitoksesta tiiviin. Valumuoviseos sekoitetaan valumuovipussissa, joka sisältää kovetteen ja valumuovin. Kovete ja valumuovi sekoitetaan keskenään ja kaadetaan muottiin. Valu toimii eristeenä ja on veden pitävä /15/. Ongelmana tämänkaltaisten haaroitusmenetelmien kanssa, ainakin Ensto Oy:n tarjoamien haaroitusjatkosten kanssa on niiden liitettävyyys Vattenfall Verkko Oy:ssä yleisesti käytössä oleviin kaapelikokoihin. Tarjolla olevista kuudesta haaroitin koosta vain kaksi sopii Vattenfall Verkko Oy:n kaapelikokoihin.

Runko 4 x 50mm<sup>2</sup>

haarat 4 x 25mm<sup>2</sup>

Runko 4 x 95mm<sup>2</sup>

haarat 4 x 50mm<sup>2</sup>

Täten T-haaroitusjatkosten käyttö voidaan rajoittaa lähinnä pienten, 25A pääsulakkeella varustettujen, liittymisjohtojen haaroittamiseen paikoissa, jossa voidaan olla täysin varma, ettei lisä liittymiä ole tulossa. Haaroitukselle, jossa runko olisi 95mm<sup>2</sup> ja haarat 50mm<sup>2</sup> kaapelia, ei juurikaan ole tarvetta. Lisäksi vianhoidon kannalta maan alle jätetyt liitoksen, on aina hyvin vaikeita korjata mahdollisissa vikatapauksissa. T-haaran kanssa samankaltainen haaroitusmenetelmä on niin sanottu ”ryöstöliitos”. Tämänkaltaisessa liitoksessa Runkojohtoon liitetään pienempi haarakaapeli /16/. Tämänkaltaista ratkaisua olisi mahdollista kokeilla paikoissa, joissa runkojohdon varrella on yksi liittymä, eikä läheisyyteen ole tulossa muita liittymiä. Maan alle jätettävien liitokset ovat hyvin hankalia jos tulevaisuudessa verkkoon tarvitsee tehdä kytkentämuutoksia.

## **8.2 Sulakkeiden sijoittelu**

Haja-asutusverkossa ei verkon selektiivisyyttä kannata varta vasten rakentamaa, vaan selektiivisyys kannattaa hoitaa, siten kuin verkon muu rakenne sen mahdollistaa. Ilmalinjassa tämä tarkoittaa lähinnä oikosulkusuojan sijoittamista lähdön alkupäähän muuntajalle. Välivarokkeiden käyttöä verkossa tulee uutta verkkoa rakentaessa välttää. Tällä tavoin saadaan verkon suojaus pidettyä yksinkertaisena, ja täten vikatilanteessa helposti hallittavissa. Koska kaikki uudet liittymät rakennetaan siten, että oikosulkuvirta kuluttajan pääsulakkeilla on vähintään 250A ja pienin liittymisjohdon koko on 25mm<sup>2</sup> alumiinia, voidaan oikosulkuvirtasuojana käyttää 80A sulaketta. Maaseutuverkossa harvoin kulutukset nousevat niin suureksi, että kyseinen sulakekoko käy liian pieneksi. Tämä väite perustuu tutkimaani, noin 60 nykyisen maaseutuverkon lähtöjen kuormitusvirtoja. Lähtöjen määrää nykyisillä kuormituksilla olisi myös mahdollista vähentää suuressa osassa muuntopiirejä. Yleensä lähtösulakkeiden määrä on sama kuin lähtevien johtimien määrä. Lähtösulakkeiden vähentäminen aiheuttaisi pienjännitepuolen vikatilanteessa vian vaikutusalueen suurenemisen.

Kaapeliverkossa, jossa haaroitukseen käytetään jako- tai haaroituskaappeja, voidaan verkko sijoittaa jonkin verran välivarokkeita. Jakokaapit on asennettu maahan, joten niissä sulakkeiden käsittely esimerkiksi vikatilanteessa on paljon helpompaa kuin pylväässä olevien välivarokkeiden. Kaapeliverkossa muuntajalle sijoitetaan runkojohtoa suojaava oikosulkusulake, jonka suuruus määräytyy tapauskohtaisesti, mutta kuitenkin siten, että verkkoon syntyy selektiivisyyttä. Jakokaapilta lähtevä kuluttajan liittymiskaapeli suojataan 63A sulakkeella. Yhteen 63A sulakkeeseen pyritään kytkemään mahdollisuuksien rajoissa kaksi alle 35A pääsulakkeilla varustettua liittijää. Jakokaappien välistä runkokaapelia ei suojata erillisillä välivarokkeilla, vaan johtimet kytketään suoraan kaapin kiskoon. Jakokaapilta haaroituskaapille, jossa ei ole välivarokkeita, lähtevä runkokaapeli suojataan 63A sulakkeella, mikäli haaroituskaappiin on liitetty maksimissaan 35A liittymiä. On kuitenkin tärkeää arvioida liittymien kulutus oikein, jotta sulakkeen

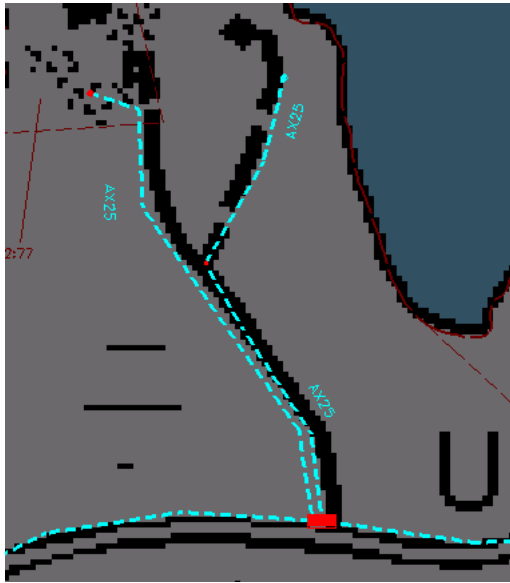
ylikuormituksesta johtuvat sulakepalot ehkäistäisiin ja selektiivisyys saataisiin toimimaan mahdollisimman tehokkaasti.

### **8.3 Rinnankaapelointi vai haaroitus?**

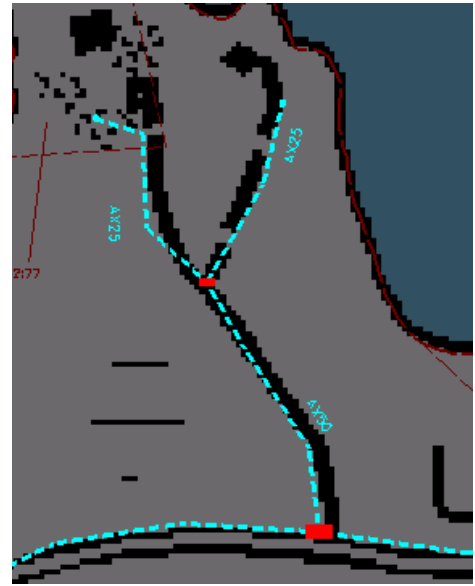
Edellä on esitelty erilaisia kaapeliverkossa käytettäviä haaroitusmenetelmiä. Kysymyksenä on kuitenkin milloin kannattaa kaapeli haaroittaa, ja milloin kahden rinnakkain asennetun kaapelin rakentaminen on kannattavampaa. Yksioikoista vastausta tähän ei varmastikaan ole, sillä asiaan vaikuttaa monet asiat kuten maisemalliset tekijät, maankäyttö oikeudet jne. Pelkästään kustannuksia tarkastelemalla saadaan investointikustannuksiin perustuvat rajat jako- / haaroituskaapin rakentamiselle.

Kahden kaapelin rinnakkain asentaminen tai haaroittaminen tulee kysymykseksi usein tapauksissa, joissa vähintään kaksi liittymää on samalla suunnalla. Tällöin pohditaan kysymystä, ”Kaksi pientä kaapelia, vai yksi iso kaapeli?” Investointikustannuksiin perustuvassa laskennassa on otettu huomioon kaapelien kytkentäkustannukset, kaivuu ja aurauskustannukset, kaappien kustannukset, sekä mahdollisten kytkimien lisäämisestä aiheutuvat kustannukset. Kytkimistä johtuvat kustannukset tulevat mukaan laskettaessa  $95\text{mm}^2$  ja siitä suurempien kaapelien rakentamisia. Pituudet perustuvat laskentaan, jolla määritellään rajapituus jonka ylittäessä haaroituskaapin asentaminen tulee investointikustannuksiltaan edullisemmaksi. Pituuksiin ei voi kuitenkaan sokeasti luottaa, sillä sähköiset vaatimukset eivät välttämättä täyty kyseisillä pituuksilla verkon muista tekijöistä johtuen. Kuvassa 7 on havainnollistettu rinnan asennettuja liittymiskaapeleita, ja kuvassa 8 vastaavasti haaroitettua, lyhyttä runkokaapelia.





Kuva 7. Rinnan asennetut kaapelit.



Kuva 8. Haaroitettu runkokaapeli.

Taulukko 5. Rajapituus 2xAX95 ja AX185 + jakokaappi

<b>Kaivamalla</b>	<b>252m</b>
(ilman kytkintä)	232m
<b>Auraamalla</b>	<b>187m</b>
(ilman kytkintä)	169m

Taulukon 5 pituusarvoilla tarkoitetaan sitä pituutta, kuinka pitkälle kahta, eri lähdön, runkojohtoa kannattaa viedä samaan suuntaan ennen kuin lähtö kannattaa muuttaa yhdeksi lähdöksi ja haaroittaa kauempana kahteen suuntaan. Ero kaivuun ja aurauksen välillä johtuu nykyisestä tavasta hinnoitella useamman kuin yhden kaapelin samanaikainen auraus. Kahden AX25, ja yhden AX50 ja haaroituskaapin välillä vastaava rajapituus on 183 metriä.

#### 8.4 Runkojohdon vahvistuskustannukset

Kuten on mainittu, ei maaseutuverkossa kuormitus useinkaan aiheuta lisäkulutuksia verkonrakentamiselle. Johtimien koko määritetään lähes kokonaan oikosulkuvirralla määrättyjen arvojen täyttymiseksi. Tarvittavan oikosulkuvirran saavuttamiseksi johtimien koko on niin suuri, ettei niiden kuormituksensietorajaa

saavutetaan hyvin harvoin. Täten haja-asutusalueen verkko joudutaan mitoittamaan lähes aina kuormituksen kannalta liian vahvaksi. Vaikka nykyisten liittymien arvot täytyisivät, tarvitsee pohtia, kannattaako verkko rakentaa vieläkin vahvemmaksi mahdollisten tulevaisuudessa tulevien liittymien takia. Vai toteutetaanko verkon vahvistus tulevaisuudessa.

Joskus kuitenkin verkkoon liitetään suuria kuluttajia, tai verkon tasapainon kannalta hankalia kulutuskohteita, kuten pumppaamoita. Näille kuluttajille saatetaan joutua rakentamaan kokonaan oma lähtö, jotta sähkön laatu verkossa pystytään ylläpitämään. Myös verkon laajentuessa törmätään usein tilanteeseen, että lähtöä, johon uusi kuluttaja liittyy, joudutaan vahvistamaan vaadittujen arvojen saavuttamiseksi. Tämä vahvistaminen toteutetaan ilmalinjassa yleensä johto vaihtamalla, tai vaihtoehtoisesti rakentamalla uusi johto vanhan rinnalle. Pois vaihdettua ilmajohdinta voidaan käyttää sen kunnosta riippuen uudestaan, kun taas kaapeli, joka on käynyt ”pieneksi” ei voida käyttää uudestaan. Täten vanhaa kaapeliverkko vahvistaessa on kannattavaa pyrkiä vanhan kaapelin hyödyntämiseen. Täten uuden kaapelin rakentaminen vanhan rinnalle lienee ainut vaihtoehto.

*Taulukko 6.* Verkon investointikustannukset verkon vahvistamisen jälkeen

	AM70	AX95 auraamalla	AX95 kaivamalla
alkuperäinen	6 058 €	4 056 €	7 382 €
vahvistus	3 756 €	4 056 €	7 382 €
uudet pylv/harus (2kpl).	821 €		
	<b>10 635 €</b>	<b>8 112 €</b>	<b>14 764 €</b>

On myös mahdollista, että jälkepäin asennettava kaapeli joudutaan rakentamaan kaivamalla, ainakin tilanteissa, joissa ei ole olemassa olevan kaapelin reitistä olla täysin varmoja. Tällätavoin pystytään ehkäisemään jo olemassa olevan kaapelin vioittumista rakentamisvaiheessa. Tällä tavoin kokonaishinnaksi tulisi 11438 €.

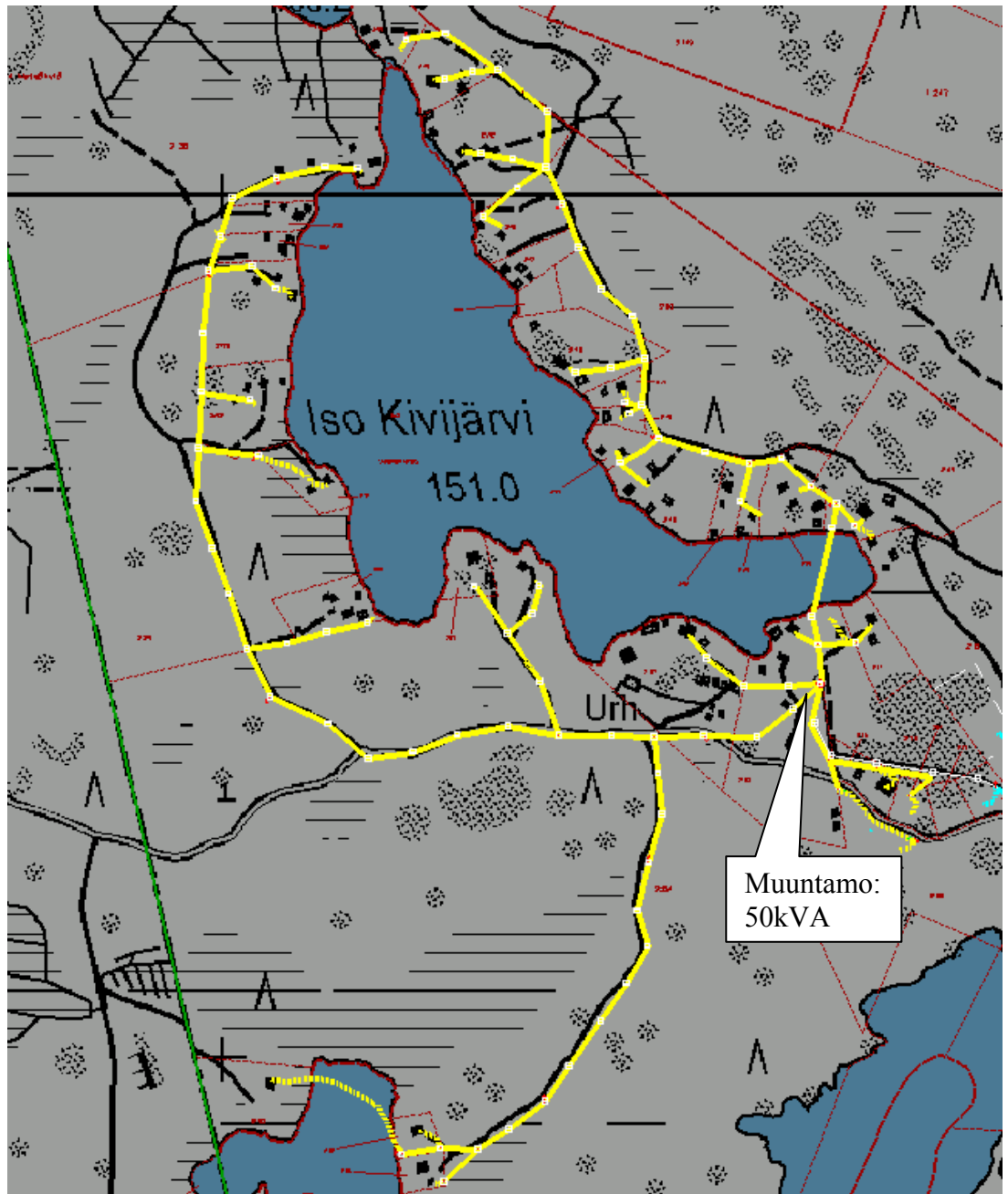
## 9 TUTKITTAVAT MUUNTOPIIRIT

Tutkittaessa muuntopiirien kaapeliverkon rakennetta tehtiin erilaisia suunnitelmia kahteen eri muuntopiiriin, – Varsavuoren muuntopiiriin Kurussa ja Kivijärven muuntopiiriin Ylöjärvellä. Syynä näiden kahden muuntopiirin valintaan vaikutti muuntopiirissä olevien pylväiden ikä, molemmissa on vuotta 1965 vanhempia pylviä. Lisäksi maaston koostumus vaikutti valintaan. Kummassakin muuntopiirissä on kallio tai kiviperäistä ja täten vaikeasti kaapeloitavaan maastoa.

### 9.1 Kivijärvi

Kivijärven muuntopiiri sijaitsee muutama kilometri Ylöjärveltä Kurun suuntaan. Muuntopiiri on tyypillinen, pääasiassa vapaa-ajan asunnoista koostuva muuntopiiri. Muuntopiiriin kuuluu tällä hetkellä 31 kuluttajaa, joiden kokonaiskulutus vuodessa on 160MWh. Laskennallinen huipputeho on 44kW.

Kulutus on jakautunut muuntopiirissä hyvin epätasaisesti. Noin 50 % kokonaiskulutuksesta sijaitsee järven itä-rannalla, ainoastaan 18 % kulutuksesta sijaitsee länsirannalla. Loput kulutuksesta on muuntajan läheisyydessä etelä reunalla, jossa sijaitsee suhteellisen uusia kuluttajia sekä muuntopiirin kulutukseltaan suurin yksittäinen liittymä, jossa yksinään toteutuu noin 23 % kokonaiskuormituksesta. Lisäksi muuntajalta etelään on kolme vapaa-ajan asuntoa, joissa kulutus on erittäin pientä.

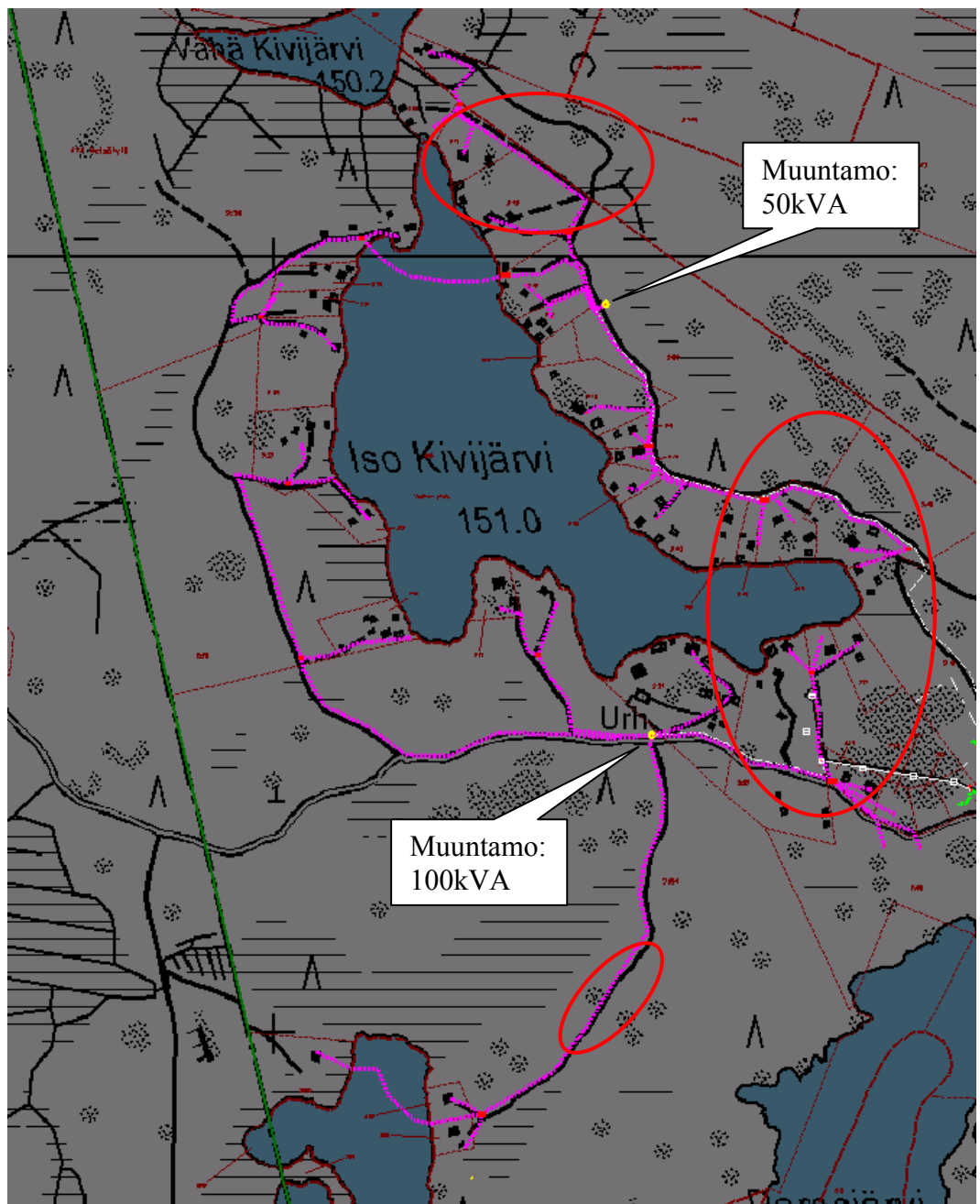


Kuva 9. Kivijärven muuntopiiri

## 9.2 Kivijärven muuntopiirin saneeraussuunnitelma

Kivijärven muuntopiiri on levittäytynyt suhteellisen laajalle alueelle, ja koska muuntopiiri levittäytyy Iso Kivijärven ympärille, muotoutuu johtojen pituus erittäin pitkäksi, jos saneerauksen yhteydessä muuntamon paikka pidetään ennallaan. Tästä syystä kaapelointi vaatisi jokaiseen lähtöön 185mm<sup>2</sup> kaapelit aivan lähtöjen loppuun saakka. Tämä ei liene tulevaisuuden kannalta kovinkaan viisasta, sillä

järven itä ja länsipuolisten runkojohtojen pohjoispäässä saavutetaan juuri ja juuri oikosulkuvirralla vaaditut arvot, ja täten muuntopiirin laajenemisvaihtoehdot ovat hyvin rajalliset. Lisäksi investointikustannuksiin nähden kyseisenlainen verkkoratkaisu tässä tapauksessa olisi hyödytön tulevaisuudessa mahdollisesti rakennettavien liittymien kannalta. Tästä syystä päädyin jakamaan muuntopiirin kahteen uuteen piiriin. Nykyistä muuntamon paikkaakaan ei oteta käyttöön, vaan paikka muuttuu noin 150 metriä lännen suuntaan. Koska nykyinen Kivijärven muuntamo on rakennettu vuonna 1971, on se joka tapauksessa saneerattava. Kuvassa 10 on esitetty Iso Kivijärven muuntopiirien muoto saneerauksen jälkeen kaapeloituna. Kyseisellä verkko muodolla on tehty kaksi eri suunnitelmaa, toisessa runkojohtona on maakaapeli, ja toisessa Ilmajohto. Kuvaan on ympyröity punaisella ne alueet, joissa todennäköisesti ei kaapelia pystytä auraamaan, ja täten aiheuttavat lisäkustannuksia kaapelointiin.



Kuva 10. Iso Kivijärven pienjänniteverkkon saneerausehdotus kaapeloituna.  
Kiviset alueet on ympäröity punaisella

### 9.2.1 Amka-runko

Ensimmäiseksi laskettiin investointihinta kyseiselle verkolle runkojohdon ollessa ilmajohtoa. Ilmajohto vaihtoehdossa myös muuntajien keskijännitesyöttö suunniteltiin ilmajohtona, PAS50 johtimilla. Tämä syystä, että pienjännitelinja

kulkee samaa reittiä kuin keskijännitelinja, joten samaan kohtaan ei ole perusteltua sekä kaapeloida että rakentaa uutta ilmalinjaa samaan aikaan. Täten keskijännitepylväitä voidaan hyödyntää kummankin jännitetason johtimiin. Ilmajohtoverkossa liittymien syöttö on toteutettu kaapeloimalla, joten ilmalinja on suunniteltu pääpiirteittäin vain teiden varsille, josta liittymiskaapelit haaroitetaan kulutuspisteille. Verkko on suunniteltu siten, että kuluttajien liittymiskaapeleina on pyritty käyttämään mahdollisimman paljon AX25 kaapelia. Kuitenkin eteläisen muuntopiirin läntisen lähdön kauimmaisten kuluttajien kaapelit on suunniteltu AX50, jotta sähköiset arvot täytyisivät. Myös suurimman kuluttajan syöttö on toteutettu AX50 kaapelilla sen suuren kulutuksen takia.

Eteläisellä muuntopiirillä ei pystytä kattamaan koko Iso Kivijärven läntistä rantaa. Sähkö johdetaan järven luoteisosan kuluttajille pohjoisen muuntopiiristä järvikaapelilla. Vaadittujen sähköisten arvojen rajoissa ei syöttöä voida rakentaa kiertämällä järveä pohjoisen puolelta, eikä kolmatta muuntajaa ole kustannustehokkaasti järkevää rakentaa järven länsipuolelle. Järvikaapelia on käytetty myös eteläisimmän lähdön päässä, jossa myöskään ei järveä pystytä kiertämään. Kyseisen lähdön päässä ei ole paineita uusien liittymien syntymisestä, sillä noin 400 metriä nykyisistä kuluttajista etelään menee keskijännitelinja, johon voidaan tarvittaessa rakentaa uusi muuntamo, josta järven ympäristöä voidaan syöttää.

Lähtöjen suojaus on toteutettu yhdellä muuntamolla sijaitsevalla 80A oikosulkusuojalla. Välivarokkeita ei ole käytetty.

## 9.2.2 Kaapelirunko

Kaapelirungolla toteutettuna verkko on muodoltaan hyvin samanlainen kuin ilmalinja-rungolla. Täysin kaapelilla toteutetussa verkossa haaroituspisteitä on kuitenkin vähemmän ja täten kuluttajien liittymisjohdot ovat hieman pitempiä. Suunnitelmassa haaroitus ja jakokaappien sijainnit on pyritty suunnittelemaan siten, ettei liittymisjohtojen pituus kasva suhteettoman pitkiksi. Runkojohdon

solmupisteet on suunniteltu jakokaapein ja lähtöjen päässä olevien liittymien solmukohdat haaroituskaapein. Haaroituskaappeja suunniteltaessa on otettu huomioon mahdolliset lisäliittymät. Haaroituskaapit on sijoitettu paikkoihin, joihin ei todennäköisimmin ole tulossa lisäliittymiä yli haaroituskaapin kapasiteetin.

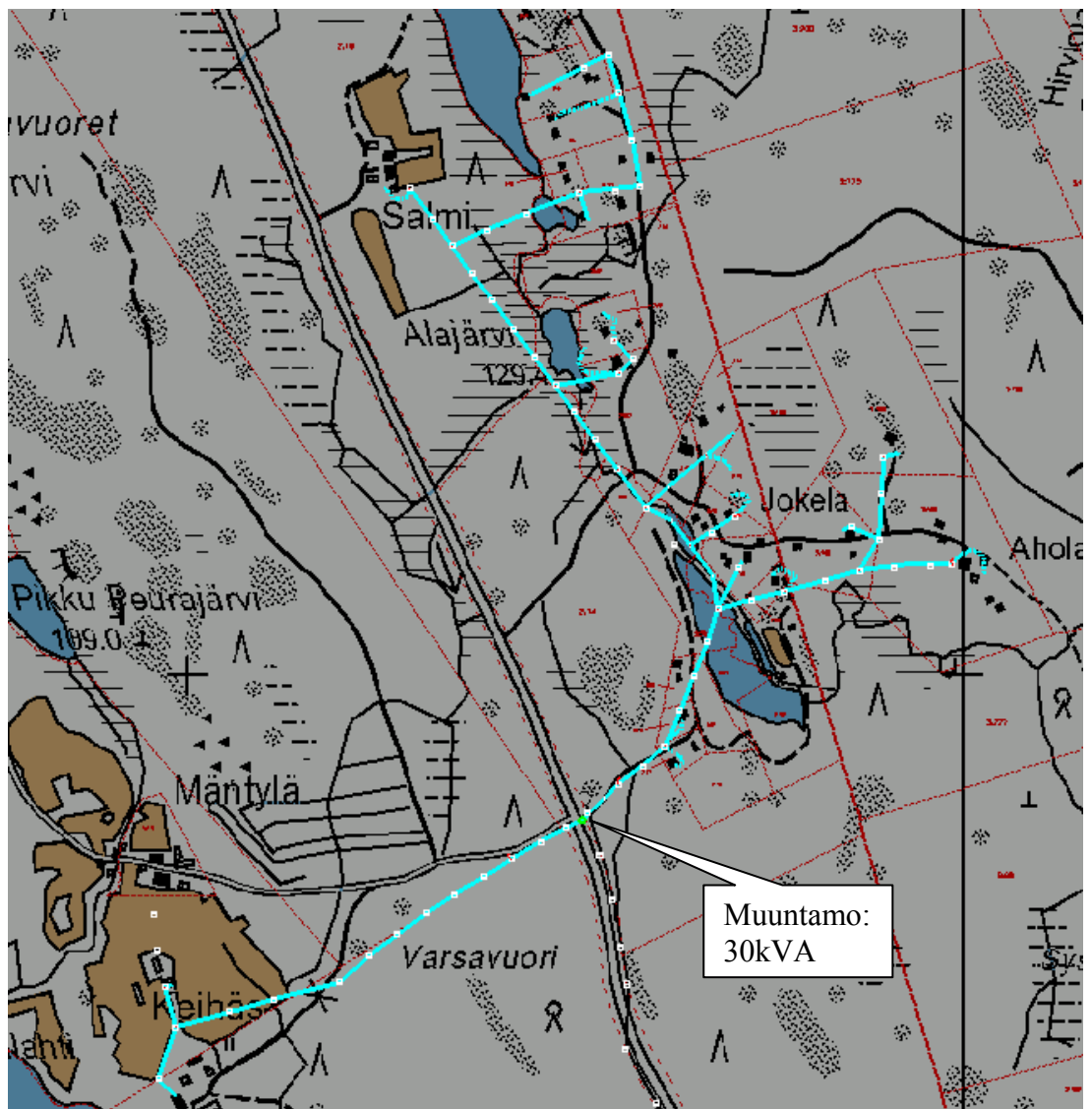
Runkojohdon varrella oleviin jakokaappeihin ei ole suunniteltu välivarokkeita. Runkojohdon oikosulkusuojaus on toteutettu muuntamalla olevalla varokkeella. Tapauksissa, jossa runkojohto jatkuu haaroituskaapille, on kuitenkin lisätty liittymiä suojaava varoke, joilla verkkoon saadaan selektiivisyyttä. Kuluttajien lähdöt on suojattu 63A varokkeilla. Yhden 63A: varokkeen taakse on pyritty kytkemään kaksi kuluttajaa. Pohjoinen muuntamo on 50kVA, ja eteläinen 100kVA.

### **9.3 Varsavuori**

Varsavuoren muuntopiiri sijaitsee hieman Kurusta pohjoiseen. Muuntajan alueelle kuuluu 18 kuluttajaa, joissa kaikissa on hyvin pieni kulutus. Kokonaiskulutus vuodessa on 56,7MWh. Huippukulutus verkossa on 17kW joka vastaa yhden nykyaikaisen omakotitalon laskennallista huipputehoa.

Suurin osa kulutuksesta sijaitsee yli 500 metrin päässä muuntajalta vesistöjen läheisyydessä. Kuitenkin suurin yksittäinen kuluttaja sijaitsee muuntamon länsipuolella, sekin satojen metrien päässä. Nykyisistä määräyksistä johtuen muuntajan paikkaa pitää saneerauksen yhteydessä harkita uudelleen. Kunnoltaan muuntopiiri on erittäin heikkoa, melkein kaikki pylväät ovat vuodelta 1948, joista noin 30 kappaletta on merkitty kahdella varoituskauhalla. Pylväisiin kiipeäminen ja täten vikatilanteessa linjan korjaaminen saattaa nykyisin olla erittäin hankalaa. Kyseinen muuntopiiri on oivallinen kohde saneerausvaihtoehtojen tutkimiseen.



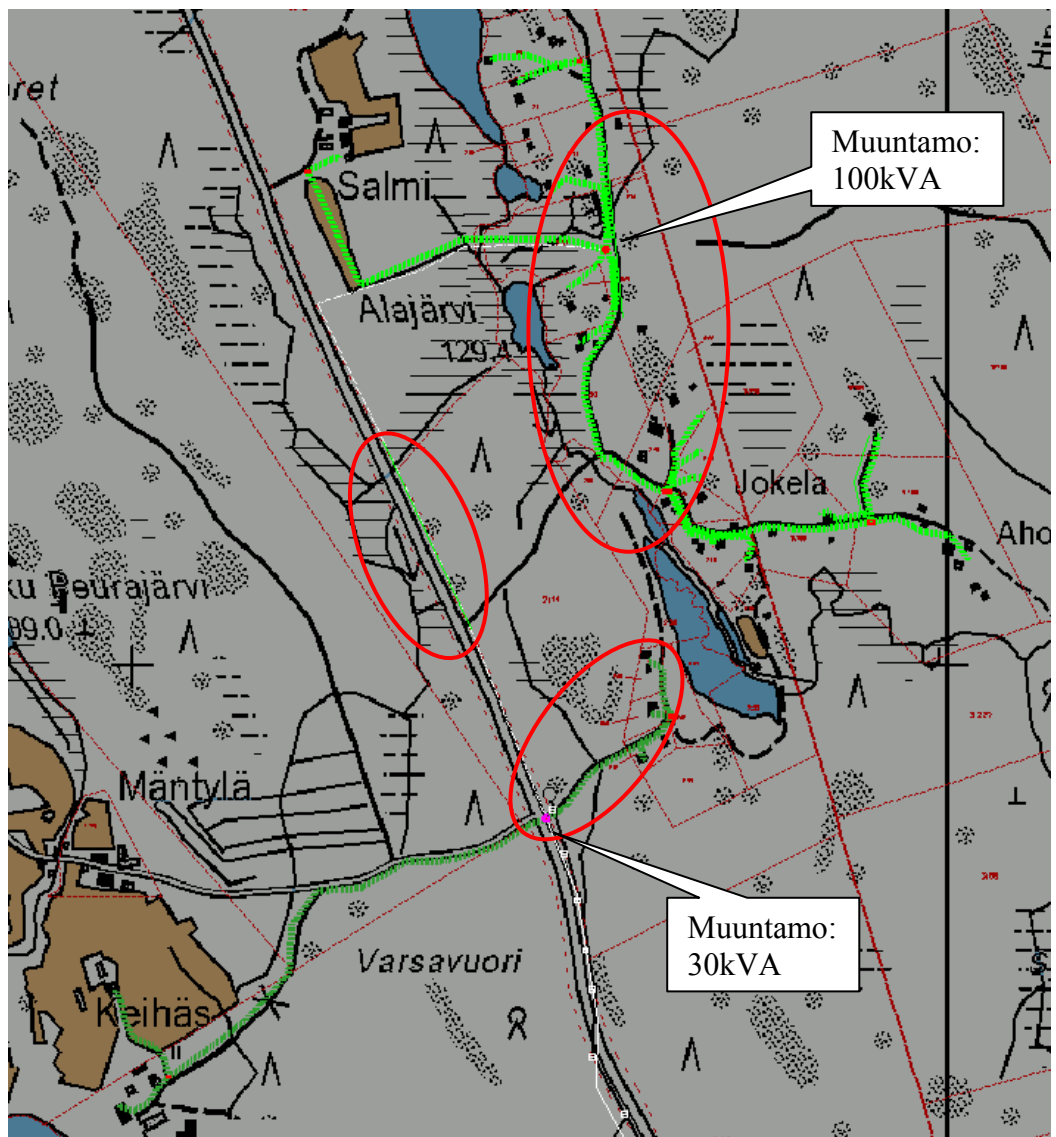


Kuva 11. Varsavuoren muuntopiiri

#### **9.4 Varsavuoren muuntopiirin saneeraussuunnitelma**

Kuten Kivijärven muuntopiirissäkin jaetaan Varsavuoren muuntopiiri kahteen eri muuntopiiriin. Uusi muuntamo pyritään sijoittamaan mahdollisimman lähelle ja keskeiselle paikalle kulutuspisteisiin nähden. Uuden muuntajan paikaksi valittiin kohta, josta sähköä saataisiin jaettua mahdollisimman lyhyillä johtimilla kaikille kuluttajille. Nykyinen Varsavuoren muuntamo pysyy samalla paikalla. Nykyiseltä muuntamolta syötetään ainoastaan viittä kuluttajaa, kahta lännessä olevaa kuluttajaa, ja kolmea kuvassa 11 eteläisimmän järven läntisellä puolella. Kaikki

muut kuluttajat saavat sähkönsä uudesta muuntajasta. Nykyinen Varsavuoren muuntamo ei tulevaisuuden kannalta ole kovinkaan hyvässä paikassa, sillä muuntamolta ei pystytä kustannustehokkaasti syöttämään tulevaisuudessa mahdollisia liittymiä kovin paljon kauempana, kuin nykyiset läntisimmät liittymät. Muuntamon paikkaa ei kuitenkaan tässä vaiheessa ole tarvetta muuttaa, sillä liittymien tuleminen kyseiseen paikkaan hyvin epätodennäköistä.



Kuva 12. Varsavuoren pienjänniteverkkon saneerausehdotus kaapeloituna. Kiviset alueet on ympäröity punaisella

### 9.4.1 Amka-runko

Ilmalinjaverkko on suunniteltu samoin periaattein kuin Kivijärvenkin muuntopiirit. Keskijännitelinja on suunniteltu ilmalinjaksi PAS50 johtimilla. Tieltä muuntamolle asti pylväsvälit on mitoitettu pienjännitelinjalle sopiviksi, jotta luoteessa olevalle kuluttajalle ei tarvitse rakentaa erikseen pylväslinjaa pienjännitejohtimille. Pienjänniteverkon runkojohdoksi on suunniteltu AM70 johdin. Kyseinen johdinkoko mahdollistaa melko pitkälle tulevaisuuteen verkon vahvistamisen rinnalle asennettavalla linjalla ilman pylväsvaihtoja. Kyseisen johtimen käyttö kuitenkin vaatii nykyisin Varsavuoden jakelumuuntajan vaihtamisen suurempaan 100kVA muuntajaan.

Pohjoinen muuntopiiri on jaettu kahteen lähtöön, pohjoiseen ja eteläiseen. Kummassakin lähdössä on 80A varoke, välivarokkeita ei ole käytetty.

### 9.4.2 Kaapelirunko

Aivan kuten Kivijärven tapauksessa, on kokonaan kaapeloitu verkko muodoltaan hyvin samanlainen kuin ilmajohtimilla toteutettuna. Runkojohtona on käytetty AX95 kaapelia ja suurin osa liittymiskaapeleista on AX25 kaapelia. Kyseinen kaapelikoko mahdollistaa pohjoisen muuntopiirin laajenemisen jonkin verran pohjoiseen. Kaakon suuntaan laajenemispainetta ei kyseisen muuntopiirin suhteen ole, sillä jos kyseiseen ilman suuntaan tulevaisuudessa tulee sähköntarvetta, on uuden muuntamon rakentaminen kannattavin vaihtoehto. Nykyistä Varsavuoren muuntamoaa ei kaapelointitapauksessa tarvitse suurentaa.

## 9.5 Investointikustannusten vertailu

Kummallekin verkkomuodolle on laskettu arvioitu kustannus kummassakin tapauksessa. Kustannukset ovat CCP-yksiköillä toteutettuja arvioita.

Kaapeliverkkoa suunniteltaessa kustannusten arviointi on hankalampaa kuin ilmalinjaa suunniteltaessa, sillä maa-aineksen koostumusta ei aina voida täysin varmaksi määrittää maan pinnalta, saati kartaapohjalta. Kustannukset saattavat

nousta yllättävän paljonkin suunnitelluista, jos suunnitelmassa kustannukset on laskettu pelkästään aurauksen varaan. Taulukoissa 6 ja 7 on esitelty Kivijärven ja Varsavuoren muuntopiirien saneerauksen investointikulut kaapeliverkkona, ja ilmajohtorunkoisena. Kaapeliverkolle on laskettu kustannukset kaivamalla sekä auraamalla.

*Taulukko 6.* Kivijärven muuntopiirin investointikustannukset

	Auraamalla	Kaivamalla	Amka
Runko	116 292 €	157 406 €	130 809 €
Liittymiskaapelien kaivuu	22 141 €	22 141 €	13 596 €
	<b>138 433 €</b>	<b>179 547 €</b>	<b>144 405 €</b>

*Taulukko 7.* Varsavuoren muuntopiirin investointikustannukset

	Auraamalla	Kaivamalla	Amka
Runko	67 696 €	95 859 €	86 612 €
Liittymiskaapelien kaivuu	8 825 €	8 825 €	6 839 €
	<b>76 521 €</b>	<b>104 684 €</b>	<b>93 451 €</b>

Taulukoissa esitettyyn ”runko” hintaan kuuluu keskijännitejohdot, muuntajat sekä koko pienjänniteverkon rakentaminen. Liittymisjohtojen kaivuukulut sisältyvät kohtaan *liittymiskaapelien kaivuu*.

Taulukossa 8 on esitetty pelkän pienjänniteverkon investointikustannukset. Kyseisestä taulukosta voidaan arvioida auraukustannusten olevan noin 83 % ilmalinjan investointikustannuksiin nähden ja kaivamalla rakennettaessa kulut ovat noin 30% korkeammat kuin ilmajohtolla.

*Taulukko 8.* Pienjänniteverkon investointikustannus, ilman liittymisjohtojen kaivuuta

<b>Kivijärvi</b>		
Auraamalla	72 825 €	86 %
AMKA	84 089 €	100 %
Kaivamalla	103 341 €	130 %
<b>Varsavuori</b>		
Auraamalla	38 954 €	85 %
AMKA	45 656 €	100 %
Kaivamalla	57 979 €	127 %

### **Elinkaarikustannukset**

Elinkaarikustannuksiltaan kaapeliverkon oletetaan olevan ilmajohtoverkkoa paljon edullisempi. Maakaapeliverkkoon ei sen pitoaikana juurikaan kohdistu ylläpito kuluja. Kuluja ilmenee ainoastaan satunnaisista vikatilanteista, jotka kohdistuvat lähinnä jako- ja haarituskaappeihin tai maansiirtotöistä aiheutuneista kaapelivaurioista. Ilmajohtoverkkoon kohdistuu erinäinen määrä kustannuksia sen pitoajalle. Suurin kustannusten aiheuttaja on johtokatuja raivaus, joka tehdään joka kuudes vuosi, eli noin kuusi kertaa ilmajohtoverkon pitoaikana. Toinen suuri kustannus koostuu linjan tarkastamisesta, joka sekin tehdään 6 vuoden välein. Lisäksi verkkoon joudutaan tekemään pieniä satunnaisia kunnossapitotöitä, kuten pylväiden oikaisuja ja vaihtoja sekä harusten uusimisia ja kiristämisiä. Taulukossa 9 on esitetty kummankin kohteen ilmalinjaverkon elinkaarikustannukset. Kustannukset on laskettu Vattenfall Verkko Oy:n verkon ylläpidolle määritellyillä yksikkökustannuksilla.

*Taulukko 9.* Kohteiden ilmalinjan elinkaarikustannukset

	Kivijärvi	Varsavuori
Pj-linjan raivaus	2 757 €	1 853 €
Kj-linjan raivaus	1 333 €	1 132 €
tarkastus	3 406 €	2 077 €
muut	456 €	406 €
	<b>7 952 €</b>	<b>5 468 €</b>

Lisäämällä taulukon 5 pienjänniteverkon investointikustannuksiin taulukossa 6 esitetyt pienjänniteverkosta aiheutuvat kokonaiskustannukset. Vertaamalla tästä saatua tulosta taulukon 5 auraamalla rakennetun verkon investointikustannuksiin, saadaan suhteellinen ero näiden kahden rakennustavan kokonaiskustannuksiin. Kivijärven tapauksessa auraamalla toteutetun verkon kokonaiskustannukset on 80 % ilmalinjaisesta verkosta, ja vastaavasti Varsavuoren tapauksessa 78 %. Vastaavasti kaivamalla rakennettu verkko on kokonaiskustannuksiltaan Kivijärven tapauksessa noin 23 % ilmalinjaverkkoa kalliimpi, ja vastaavasti, Varsavuoren tapauksessa noin 27 %.

### **Kaapeloinnin erikoistoimenpiteet**

Koska harvoin maaperä on kokonaisuudessaan aurauskelpoista, joudutaan maaperää työstämään kaivamalla, mutta hankalimmissa paikoissa on turvauduttava erikoisempiin kaapelointimenetelmiin, joita on esitelty kappaleessa 6.3.

Tässä työssä tarkastelussa olleissa kohteissa voitaisiin kaivamalla suorittaa noin 60% osuus runkokaapelien pituudesta, ja silti päästäisiin kokonaiskustannuksilta samaan kuin ilmajohtoverkossa. Kyseiseen arvoon ei kuitenkaan ole otettu huomioon mahdollisia erikoistoimenpiteitä.

Kohteiden kaapeloinnille on laadittu yksityiskohtaisempi kustannusarvio mahdollisten erikoistoimenpiteiden varalle. Kuvissa 10 ja 12 ja punaisella ympyröidyt alueet ovat kaivuukelvotonta maa-ainesta, joten niiden osalta kaapeloinnin hinta on arvioitu uudestaan louhimalla, sekä betonoimalla.

Taulukossa 10 on esitetty arviot näistä osuuksista syntyvistä lisäkustannuksista.

*Taulukko 10.* Louhinnan ja betonoinnin kustannukset

	<u>Kivijärvi</u>	<u>Varsavuori</u>
betonoimalla	28 290 €	32 390 €
louhimalla	55 200 €	63 200 €

Kuten taulukosta 6 voidaan huomata, voi erikoistoimenpiteet tehdä kaapeloinnista hyvinkin paljon kalliimpaa kuin ilmalinjan rakentamisesta. Esimerkiksi vuonna

2006 eräissä rakennuskohteissa nousivat rakennuskustannukset louhittavan osuuden takia noin 2,6-kertaiseksi arvioituun nähden. Täten suuria kohteita suunniteltaessa, tulee tärkeäksi etukäteen tutustua ja ottaa selvää mitenkä maaperää pystytään työstämään. Taulukossa 11 on esitetty arvioitu kokonaiskustannukset esimerkkikohteille, kun kalliokohdat on betonoitu.

*Taulukko 11.* Esimerkkikohteiden investointikustannukset kokonaisuudessaan

	Kivijärvi	Varsavuori
Runko	116 292 €	67 696 €
Liittymiskaapelien kaivuu	22 141 €	8 825 €
betonointi	28 290 €	32 390 €
Tienalitus tunkkaamalla		1 790 €
	<b>161 723 €</b>	<b>108 911 €</b>

## 10 VERKON RAKENNE OLETUSKUORMILLA

Uutta jakeluverkkoa suunniteltaessa pitää tulevaisuuden kulutus arvioida jonkin suuruiseksi, jotta voidaan varmistua että sähköiset vaatimukset toteutuvat myös tulevaisuudessa. Vattenfall Verkko Oy:ssa 25A pääsulakkeilla varustettujen kuluttajien kulutus arvioidaan uutta kohdetta suunniteltaessa olevan noin 20 – 30 MWh vuodessa. Kulutuksen perusteella saadaan laskettua kuormitusvirrat erilaisten kulutuskäyrien mukaan.

Tässä työssä on tarkoituksena tarkastella nykyisillä, toteutuneilla kulutuksilla sekä arvioituilla kulutuksilla toteutetun verkon rakenteellisia sekä kustannuksellisia eroja. Oletus kulutuksena 25A sulakkeella olevien kuluttajien osalta on käytetty 25MWh/a, ja 35A sulakkeilla 45MWh/a.

### **Kivijärvi**

Kivijärven tapauksessa ainoana erona kappaleessa 9.2 esitettyyn verkkoon on jakelumuuntajan koko. Molemmat muuntajat pitää olla 200kVA, sillä 100kVA, joka on seuraava pienempi koko, olisi kokoajan reilussa ylikuormassa. Koska

AX95 kaapelia voidaan kuormittaa omakotitalon kulutuskäyrän mukaisesti aina 210MWh/a, ei kaapeleiden ylikuormitusta synny eikä jännitteen alenema nouse missään kohdassa verkkoa yli 6.4%.

### **Varsavuori**

Varsavuoren tapauksessa ei eteläisemmälle muuntopiirille tarvitse tehdä mitään muutoksia. Pohjoisemmassa muuntopiirissä kuten Kivijärvelläkin pitää jakelumuuntajan olla 200kVA, jotta muuntamo ei olisi ylikuormassa. Lisäksi Muuntamolta etelään lähtevä lähtö pitää muuttaa AX185 300 metrin matkalta aina seuraavalla jakokaapille asti, jotta lähdön hännillä olevien kuluttajien jännitteenalenema saadaan alle 6,5 %, joka on Vattenfall Verkko Oy:n vaatimus uusille kuluttajille.

### **Päätelmä**

Näiden kahden tapauksen perusteella ei kuormituksista aiheudu suurtakaan eroa verkon muotoon tai rakenteeseen. Suurimpana erona on jakelumuuntajan koko. Tosin niiden lähtöjen osalta, joihin liitetään paljon kuluttajia, on jännitteenalenema johtimen koon kasvuun vaikuttava tekijä. Täten pisimpien ja mahdollisesti tulevaisuudessa vielä lisää kuormitettavien lähtöjen alkupää tulee harkinnan mukaan rakentaa mieluiten AX185 kaapelilla esimerkiksi 1-2 ensimmäisen jakokaapin väliä, riippuen haaroituspisteiden etäisyydestä toisiinsa. Erityisesti, jos kulutus keskittyy kauas muuntajalta, tulee suuri poikkipinta välttämättömäksi jännitteen aleneman kannalta.

Esimerkkinä voidaan verrata Kivijärven pohjoisen muuntopiirin eteläistä lähtöä sekä Varsavuoren pohjoisen muuntopiirin eteläistä lähtöä. Kummassakin lähdössä on saman verran kulutuspisteitä ja saman verran kulutusta. Kuitenkin Varsavuoren muuntopiirissä pitää lähdön alkupäätä vahvistaa yli 300 metrin matkalta. Tämä johtuu juurikin kulutuksen sijainnista muuntamolta katsottuna. Kivijärvellä kulutus on jakaantunut tasaisemmin ja lähimmät kuluttajat ovat lähellä muuntamoaa. Kun taas Varsavuorella lähimmäinenkin kuluttaja on noin 400 metrin päässä



muuntamosta, joka aiheuttaa jännitteen aleneman kasvua koko lähdön osalta. Tämänkaltaisissa tilanteissa voidaan harkita jopa uuden muuntamon rakentamista lähemmän kulutusta. Kyseisessä kohteessa ei kuitenkaan siihen ole ruvettu, koska muuntopiirin laajeneminen tässä tapauksessa on hyvin epätodennäköistä. Täten muuntajan sijoittelulle ja johtimien pituudelle ei varsinaisesti voida määrittää mitään yksioikoista sääntöä, vaan ne on tutkittava tapauskohtaisesti. Muuntajien sijoittelu ja kaapelien koko on hyvin paljon riippuvainen kulutuksen sijainnista, suuruudesta ja tulevaisuudessa tapahtuvista muutoksista verkkoon.

Kaapelikoon määrittämisessä maastoa kannattaa tarkastella myös maantieteellisesti esimerkiksi yleensä rakentaminen pysähtyy järven rantaan, joten kaapelin kokoon ei kannata kauheasti varata turhaa kapasiteettia. Näin esimerkiksi niemennokkaan rakennettavan runkokaapelin tilanteessa. Tämänkaltaisissa tapauksissa pitää kuitenkin ottaa huomioon tulevaisuudessa mahdollisesti järven yli vedettävä kaapeli, jos se vaan on suinkin mahdollista.

Taulukossa 12 on esitetty kaapelilähtöjen maksimipituuksia, jotka saavutetaan oikosulkuvirran ja maksimi jännitteenaleneman rajoissa. Maksimi kuormitus on laskettu 100 metrin liittymiskaapelilla 6 eri kuluttajalle. Liittymiskaapelit on haaroitettu aivan runkojohdon päässä. Kun kulutus on jakautunut runkojohdon koko pituudelle, voidaan saavuttaa jonkin verran pitempi runkojohto sekä korkeampi kulutus. Taulukosta huomataan, ettei muuntamon koko kovinkaan merkittävästi vaikuta lähdön maksimi pituuteen. Johtopäätöksenä voidaan ajatella, että runkojohdonjärkevä maksimipituus on noin 800–900 metriä. Liittymisjohdot pitää pyrkiä rakentamaan mahdollisimman lyhyeksi, jotta tähän tavoitteeseen päästäisiin. Liittymisjohdon pituus tulee aina vain tärkeämmäksi, mitä kauempana muuntajalta ollaan. Tässäkin tapauksessa on kuitenkin tapauskohtaisesti määritettävä kulutuskeskittymät, jonka perusteella voidaan valita muuntajan optimaalisin sijainti, sekä muuntopiirien määrä.

Taulukko 12. Kaapelilähtöjen esimerkkipituuksia

Muuntaja 100kVA				Muuntaja 200kVA			
Kaapeli	pituus / m	yht / m	kuormitus	Kaapeli	Pituus / m	yht. / m	kuormitus
AX95	800	900	n.110MWh	AX95	830	930	n.110MWh
AX25	100			AX25	100		
AX185	200	990	n.110MWh	AX185	200	1020	n.110MWh
AX95	690			AX95	720		
AX25	100			AX25	100		

## 11 YHTEENVETO

Tämän työn tarkoituksena oli tutkia maaseutuverkon kaapeloinnin kustannuksia ja vertailla niitä perinteisempään ilmalinjarakentamiseen. Tulevaisuuden tavoitteena on saavuttaa mahdollisimman suuri kaapelointiaste myös maaseutu- sekä haja-asutusalueiden verkoissa. Tämä johtaa siihen, että myös kallioisilla paikoilla joudutaan verkko toteuttamaan kaapeloimalla. Näihin ongelmiin kohtiin haettiin erilaisia kaapelointivaihtoehtoja. Toteutuskelpoisimmiksi vaihtoehdoiksi nousi betonointi sekä louhinta. Haja-asutus ja maaseutuverkkoon mielestäni sopivin vaihtoehto näistä kahdesta olisi betonointi sen kustannusten takia. Alueille, joissa betonointi jäisi häiritsevästi näkyviin, voitaisiin harkita louhintaa. Itse en kuitenkaan täysin hylkäisi ilmalinjaverkon rakentamista maaseudulla. Maaseudulla ilmalinjasta ei välttämättä koidu kovinkaan suurta esteettistä haittaa, joten kaapelirakentamiselle kaikkein vaikeimmat olosuhteet voitaisiin edelleen rakentaa ilmalinjana. Tosin pienet osuudet voidaan tuki jopa louhia, jottei linjaa tarvitse nostaa ilmaan muutaman pylvään välin takia. Mikäli kalliokaapeloinnin kustannukset saadaan laskettua noin kolmannekseen arvioituista kustannuksista, alkaa kaapelointi olla ilmalinjarakentamista kannattavampaa myös kalliolla. Tähän hinta-arvioon ei ole vielä laskettu mukaan maisemallista arvoa, joka kaapeloinnilla saavutetaan.

Normaali olosuhteissa kaapelointi pyritään rakentamaan mahdollisimman suurelta osin auraamalla. Tässä työssä tutkittiinkin auraamalla ja kaivamalla toteutetun verkon kustannuseroja toisiinsa nähden sekä verrattiin näitä ilmalinjaverkkoon.

Mikäli verkko tosiaan pystytään auraamaan, on kaapelointi kaikin puolin erittäin hyvä vaihtoehto pienjänniteverkon rakentamiseen. Lukuisten käymieni keskustelujen perusteella auraus ei kuitenkaan ole niin yleinen rakennusmenetelmä kuin yleisesti luullaan. Vaikka suunnitelmaan kaapelointi on laitettu aurattavaksi, on urakoitsija usein kuitenkin rakentanut linjan kaivamalla. Yleisestikin olen saanut käsityksen, että auraamisesta ei ylipäättänsäkään olla kovin innostuneita verkon rakennustapana. Yhtenä syynä tähän on laitteiston sopimattomuus auraukseen eikä uutta kalustoa haluta hankkia lyhyiden sopimuskausien takia. Nykyisin rakennettavista kaapeleista suurin osa rakennetaan kaivamalla, vaikka Vattenfall Verkko Oy:n ohjeen mukaan kaapeliverkkoa pitäisi rakentaa maaseudulle ainoastaan auraamalla.

Auratun kaapelin syvyyttä ei voida aurauksen jälkeenpäin silmämääräisesti todeta ja varmistaa. Ehdotuksena onkin hankkia käyttöönottotarkastuksen tekijälle kaapeli tutka, jolla kaapelin syvyys voitaisiin varmistaa ja näin kaapeliverkon laatua paremmin valvoa

Kaapeliverkolle oli tarkoituksena määrittää maaseutuverkkoon sopiva runkokaapelin koko sekä verkkomuoto, jota voitaisiin soveltaa suuressa osassa maaseutuverkkoja. Erinäisten laskentojen ja suunnitelmien perusteella maaseutuverkon kustannustehokkaimmaksi runkojohdon kooksi muotoutui 95mm<sup>2</sup> alumiinikaapeli (AXMK95). Tietyissä kohteissa, lähinnä pisimpien ja eniten kuormitettujen lähtöjen alkupäätä tulisi vahvistaa 185mm<sup>2</sup> alumiinikaapelilla (AXMK185) esimerkiksi 1-2 haaroitusväliä. Kaapeliverkon haaroitusmenetelmiä verrattiin toisiinsa. Yksikään tutkituista vaihtoehdoista ei suoranaisesti pysty kattamaan kaikkia verkon haaroituskohtia tai ainakaan se ei ole kustannustehokkaasti kannattavaa. Työtä tehdessäni tulin siihen tulokseen, että jakokaapeilla toteutetaan lähinnä runkokaapelin haaroittaminen, ja haaroituskaapeilla sekä koe käyttöön tulevalla haaroitusputkella toteutetaan haaroitus johtolähtöjen päissä. Mikäli haaroitusputki osoittautuu vastaisuudessa käyttökelpoiseksi haaroitustavaksi tulisi sitä käyttää alueilla, joissa siitä ei ole esteettistä haittaa.

## LÄHTEET

### **Painetut lähteet:**

1. Lakervi, Erkki, Sähkölaitosten jakeluverkkojen suunnittelu, Insinööritieto Oy 1982
2. Lakervi, Erkki, Sähkölaitosten jakeluverkkojen suunnittelu, Otatieta Oy, 1996, Helsinki
3. Verkostosuositus SA 2:92 Pienjänniteverkon ja jakelumuuntajan sähköinen mitoittaminen, Sähköenergialiitto ry
4. SFS 6000-8-801, Pienjännitesähköasennukset, Suomen standardoimisliitto ry 2005, s 388
5. Vahvavirtajohtomääräykset, A4-1993, Sähkötarkastuskeskus
6. SFS-EN, Yleisen jakeluverkon jakelujännitteen ominaisuudet, Suomen standardoimisliitto ry 2000
7. Kaarlela, Markus, Kaapeloinnin kannattavuus Fortum sähkönjakelun keskijänniteverkossa. Diplomityö, Energiatekniikan osasto, LTTK Paimio 2002
8. Vattenfall Verkko Oy:n julkaisematon materiaali.
9. Verkostosuositus TK 2:87 Kaapeliauraus, Sähköenergialiitto ry
10. Vattenfall Verkko Oy:n julkaisematon materiaali.
11. Ilves, Petri, Keskijänniteverkon kaapelointi maaseutualueella. Tampereen ammattikorkeakoulu, Sähköosasto, Tampere 2007

### **Sähköiset lähteet:**

12. Sahlins Maskin Ab, [www.sivu]. [viitattu 27.10.2007] Saatavissa [http://www.sahlins.com/engelsk/maskin\\_e/PDF/4080.pdf](http://www.sahlins.com/engelsk/maskin_e/PDF/4080.pdf)
13. Tekla Oy, [www.sivu]. [viitattu 28.10.2007] Saatavissa <http://www.tekla.com>
14. SLO Oy, [www.sivu]. [viitattu 27.10.2007] Saatavissa <http://www.slo.fi/products/productList.do?productGroup=5420>
15. Ensto oy, [www.sivu]. [viitattu 30.10.2007] Saatavissa [http://www.ensto.com/www/library/attachments/pdf/5rG3EC2gY/Ensto.Downloads.SubCategoryFile\\_1/Files/CurrentFile/Maakaapeliratkaisut.pdf](http://www.ensto.com/www/library/attachments/pdf/5rG3EC2gY/Ensto.Downloads.SubCategoryFile_1/Files/CurrentFile/Maakaapeliratkaisut.pdf)

16. Tyco Electronics, [www.sivu]. [viitattu 20.11.2007] Saatavissa [termousadka.com/files/raychem/bmha.pdf](http://termousadka.com/files/raychem/bmha.pdf)
17. SLO Oy, [CD-ROM] Verkstopäivä Tampereella 30.11.2007

**Painamattomat lähteet:**

18. Ghrister, Hemming, Ab Bröderna Hemming Veljekset Hemming Oy, puhelinhaastattelu 21.11.-07, puh]
19. Sähköpostikeskustelu, Vettenfall Verkko Oy – Inspecta