

Ilkka Vaarasuo

# 20 kV SÄHKÖNJAKELUVERKON KEHITTÄMISSUUNNITELMA

Opinnäytetyö  
Sähkötekniikan koulutusohjelma


Lokakuu 2012




**MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU**

Mikkeli University of Applied Sciences

## KUVAILULEHTI

 <b>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU</b> Mikkeli University of Applied Sciences		<b>Opinnäytetyön päivämäärä</b>  15.10.2012
<b>Tekijä(t)</b>  Ilkka Vaarasuo	<b>Koulutusohjelma ja suuntautuminen</b>  Sähkötekniikka	
<b>Nimeke</b>  20 kV sähköjakeluverkon kehittämissuunnitelma		
<b>Tiivistelmä</b>  <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella 20 kV sähköjakeluverkkoon muutoksia ESE-Verkko Oy:lle. Sähköjakeluvarmuus ja hyvä sähkön laatu ovat tärkeimmät tekijät verkkoyhtiön toiminnassa, joihin pyrittiin löytämään parannuskeinoja opinnäytetyön suunnitelmien avulla. Kehitettävä sähköverkon osa sijaitsee Mikkelin kaupungin kaakkoisosassa, Tuukkala-Kaituenmäki-Moisio-alueella.</p> <p>Päätarkoituksena oli selvittää uuden johtolähdön käyttöönottoa ja reittiä Pursialan sähköasemalta uudelle erotinasemalle. Uuden johtolähdön avulla on tarkoitus rajata vikojen aiheuttamien katkojen laajuutta pienemmälle alueelle. Samalla esille tulleet muun verkon saneerausmahdollisuudet pyrittiin ottamaan huomioon. Lopuksi tarkasteltiin yleisesti verkon tilaa ja pyrittiin löytämään kehitysideoita yksittäisille johtohaaroille.</p> <p>Työn suorittaminen sisälsi suunnittelutyötä maastossa ja verkkotietojärjestelmän parissa. Työtä helpotti muun henkilökunnan asiantuntemus ja kokemukset verkon tilasta, sekä suurimmista ongelmakohtista. Myös omat kokemukset, muun muassa alueen viankorjaustöistä, helpottivat verkon kriittisimpien kohtien suunnitteluissa. Yhteistyö oli sujuvaa ja edesauttoi hyvän lopputuloksen saavuttamisessa.</p> <p>Työn tuloksena saatiin aikaiseksi eri suunnittelukokonaisuuksia, jotka menevät lopullisten päätösten ja tarkastelujen jälkeen käytäntöön. Suunnitellut muutokset on määrä toteuttaa tulevien vuosien aikana. Uuden johtolähdön rakentamistyöt aloitetaan jo ensi vuonna.</p>		
<b>Asiasanat (avainsanat)</b>  Suunnittelu, sähköverkot, sähköjakelu, jännite, kustannuslaskenta		
<b>Sivumäärä</b>  49+6	<b>Kieli</b>  Suomi	<b>URN</b>
<b>Huomautus (huomautukset liitteistä)</b>		
<b>Ohjaavan opettajan nimi</b>  Arto Kohvakka	<b>Opinnäytetyön toimeksiantaja</b>  ESE-Verkko Oy	

## DESCRIPTION

 <p><b>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU</b> Mikkeli University of Applied Sciences</p>		<b>Date of the bachelor's thesis</b>  15.10.2012
<b>Author(s)</b>  Ilkka Vaarasuo	<b>Degree programme and option</b>  Electrical engineering	
<b>Name of the bachelor's thesis</b>  Development desing of 20 kV electricity grid		
<b>Abstract</b>  The aim of this thesis was to design changes in a 20 kV electricity grid to ESE-Verkko Oy. The reliability of electricity supply and the good quality of electricity are the most important factors in an electricity company's operations to which this thesis' aimed at finding better solutions. The electricity grid under development is located in the south-eastern part of Mikkeli, in the area of Tuukkala-Kaituenmäki-Moisio.  The main purpose was to look into the introduction of the new line output and its route from Pursiala's 110/20 kV substation to the new disconnector station. With the help of the new line output the purpose is to limit faults caused by power outages to a smaller area. At the same time other reconstruction possibilities of the grid were tried to be considered. Finally, the condition of the grid was reviewed.  This thesis included design work in the terrain and work with network data system. The work was facilitated by the expertise of the other personnel and their experience from the grid's condition as well as its largest problems. Also own experiences, for example fault repairing work, eased the design of the grid's most critical points. The co-operation was smooth and it assisted reaching good end result.  As a result of the work different design unities were achieved and they will be put into practice after final decisions and revisions. The planned changes are supposed to be carried through during the next years. The construction of the new line output will be started already next year.		
<b>Subject headings, (keywords)</b>  Designing, electrical grids, electricity supply, voltage, cost accounting		
<b>Pages</b> 49+6	<b>Language</b> Finnish	<b>URN</b>
<b>Remarks, notes on appendices</b>		
<b>Tutor</b>  Arto Kohvakka	<b>Bachelor's thesis assigned by</b>  ESE-Verkko Oy	

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	1
2	ESE-VERKKO OY .....	1
3	YLEISTÄ SÄHKÖNSIIRROSTA JA – JAKELUSTA.....	2
3.1	Jänniteportaat.....	2
3.2	1 kV järjestelmä.....	3
3.3	1 kV järjestelmän tekninen toteutus .....	5
4	SÄHKÖN LAATU.....	6
4.1	Sähkönjakelun keskeytykset.....	7
4.2	Keskeytyskustannukset.....	8
4.2.1	Maasulkuvirran kompensointi .....	9
4.2.2	Kunnossapito.....	10
5	SÄHKÖNJAKELUVERKON SUUNNITTELUN TEORIAA .....	11
5.1	Jakeluverkon suunnittelu ja parametrien määrittäminen .....	11
5.2	Teknis-taloudellinen tarkastelu.....	12
5.3	Johtimen ja muuntajan taloudellinen mitoittaminen.....	13
5.4	Johtimen ja muuntajan valinta .....	15
5.5	Verkoston kuormitusten ennustaminen .....	17
5.6	Ympäristötekijät .....	18
5.7	Ilmastotekijät .....	19
6	MAASTOSUUNNITTELU .....	19
6.1	Kaapelireittien valinta.....	20
6.2	Sähköjohtojen asennus maahan ja veteen.....	21
6.3	Sähköjohtojen sijoittaminen tiealueelle.....	21
7	VERKOSTOSUUNNITTELUN LÄHTÖKOHDAT .....	22
7.1	Jakeluverkon alueen käsittely .....	22
7.1.1	Alueen tulevaisuuden näkymät.....	23
7.2	Pursialan sähköasema .....	24
7.3	Verkon nykytila .....	24
7.3.1	Johtolähtöjen kuormitukset.....	26
7.3.2	Pylväiden kuntokartoitus .....	27
7.4	Johtolähtöjen rakenne .....	27

7.5	Vikahistoria.....	28
8	UUDEN JOHTOLÄHDÖN REITTIVAIHTOEHDOT.....	29
8.1	Vaihtoehto A.....	29
8.2	Vaihtoehto B.....	31
8.2.1	Lappeenrannantie - Anttolantie -risteysalue.....	32
8.2.2	Laajaharjun alueen käsittely.....	33
8.2.3	Laajalampi – Kaituenmäki -KJ-linja.....	35
8.2.4	Kaituenmäen alueen käsittely.....	36
8.2.5	Uusi erotinasema.....	37
8.3	Vaihtoehto C.....	39
9	ALUEEN MUUT 20 KV VERKON MUUTOKSET.....	40
9.1	Moision alue.....	40
9.2	Tuukkalan alue.....	41
9.3	Lappeenrannantien suunta.....	42
9.4	Kyyhkylä- Lenius- johtohaarat.....	43
10	KUSTANNUSLASKELMAT UUDELLE JOHTOLÄHDÖLLE.....	45
10.1	Head Power.....	45
10.2	Vaihtoehtojen vertailu.....	46
10.3	Tulokset.....	47
11	JOHTOPÄÄTÖKSET.....	48
	LÄHTEET.....	49

#### LIITTEET

1 Pursialan sähköaseman johtolähdöt

2 Alueen KJ-verkon nykytila

3 Kustannuslaskelmat

## 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on uudelleen suunnitella jakeluverkon rakennetta sähköjakelun varmuuden parantamiseksi Mikkelin eteläisellä alueella. Samalla työssä selvitetään eri vaihtoehtoja vähentämään keskijänniteverkon aiheuttamia katkoja asiakkaille. Myös jo olevan keskijänniteverkon saneeraustarvetta selvitetään ja pyritään hakemaan eri vaihtoehtoja sähköjakeluvarmuuden parantamiseksi. Lisäksi pyritään huomioimaan alueen tulevaisuuden näkymiä ja ennakoimaan mahdollisia sähkökulutuksen muutoksia. Työn tilaajana toimii ESE-Verkko Oy, joka on alueen jakeluverkkoyhtiö.

Tämän opinnäytetyön pohjalta yhtiön on tarkoitus aloittaa saneeraustyöt ja jakaa niitä sopiviin kokonaisuuksiin tuleville vuosille. Esille tulevien kehitysideoiden perusteella on tavoitteena löytää sopivimmat ratkaisut ongelmiin. Toimivat suunnitelmat edellyttävät asioiden monipuolista tutkimista sekä monien muuttuvien tekijöiden huomioonottamista. Nämä lukuisat muuttuvat tekijät ja niiden optimointi tulee olemaan keskeisessä roolissa tämän opinnäytetyön onnistuneessa läpiviennissä.

Työtä viedään eteenpäin yhteistyössä verkkoyhtiön käyttö- ja suunnitteluhenkilöstön kanssa. Heiltä saama palaute työn aikana edesauttaa työn etenemistä ja minimoi turhia sudenkuoppia, joita näin laaja työ voisi tuoda mukanaan. Kaiken kaikkiaan odotan laajaa oppimisprosessia, joka tulee edistämään omaa osaamista sähköverkon suunnittelun ja kokonaisuuden ymmärtämisen kannalta.

## 2 ESE-VERKKO OY

Etelä-Savon Energia Oy (ESE) on Mikkelin kaupungin 100 % omistama energiayhtiö. Yhtiön palveluksessa työskentelee vajaat sata vakituista työntekijää. ESE-Verkko Oy on ESE:n tytäryhtiö. ESE-Verkon vastuulla on sähköjakelu omalla verkkoalueellaan, joka sijaitsee pääosin Mikkelin kaupungin alueella sekä hieman kaupunkia ympäröivällä haja-asutusalueella. Yhtiön jakeluverkkoalueella on viisi 110/20 kV sähköasemaa sekä kaksi 110 kV ja kolme 20 kV kytkinasemaa. Yhtiöllä on oma noin 23 kilometrin mittainen 110 kV suurjännitelinja ja noin 240 kilometrin mittainen 20 kV keskijänniteverkko. Keskijänniteverkosta hieman alle 50 % on kaapeloitu. 400/230 V pienjännitemuuntopiirejä verkossa on noin 330 kappaletta. Jakeluverkon alueella on

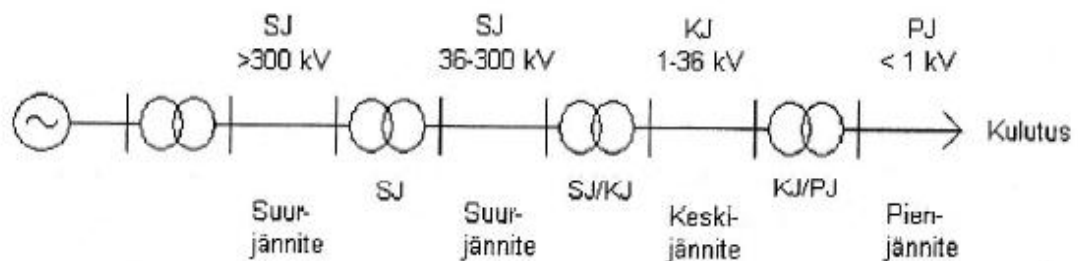
noin 23 500 asiakasta eli käyttöpaikkaa, ja yhteenlaskettu vuotuinen sähkönkulutus on noin 345 000 MWh.

### 3 YLEISTÄ SÄHKÖNSIIRROSTA JA – JAKELUSTA

Kaikki kuluttajat ja tuotantolaitokset Suomessa on lähes sataprosenttisesti kytkettyinä yhteiseen verkkoon. Yhtenäisen sähkövoimaverkon päätarkoitus on voimansiirto hyvällä hyötysuhteella. Hyvään hyötysuhteeseen päästään käyttämällä erilaisia siirto- ja jakelujännitteitä. Hyötysuhde on riippuvainen siirron ja jakelun aiheuttamista virtalämpöhäviöistä  $P_k = R \times I^2$  ja siirron teho on muotoa  $P = U \times I$ . Tästä seuraa, että jännitteen ollessa suuri siirrettävä sähkövoima (virta) saadaan mahdollisimman pieneksi, ja virran ollessa pieni häviöt saadaan minimoitua. (Elovaara & Haarla 2011, 54.)

#### 3.1 Jänniteportaat

Suomessa sähköä siirretään ja jaetaan tuotantolaitoksilta kuluttajille eri jännitteillä. Nykyään Suomessa siirto- ja jakelujännitteet vaihtelevat välillä 400 kV – 400/230 V. Kantaverkon jännitteet ovat 400, 220 ja 110 kV. Suurjännitejakeluverkossa jännite on 20 tai 10 kV sekä pienjakeluverkossa 400/230 V. Jännitteet ilmoitetaan aina pääjännitteenä, eli kahden vaihejohtimen välisenä jännitteenä. Suomessa siirto- ja jakeluverkko on pääasiassa 3-vaiheinen vaihtosähköjärjestelmä. Vaihtosähkön taajuus on 50 Hz. Vaihtosähkön etuna on sen edullinen muuntaminen eri jännitetasoihin, eikä järjestelmä vaadi erikseen paluujohdinta. Kuvassa 1 on esitetty kaaviokuva siirto- ja jakeluverkon rakenteesta. (Elovaara & Haarla 2011, 54.)



**KUVA 1. Esimerkkikaavio siirto- ja jakeluverkon rakenteesta (Lohjala 2005, 64.)**

Periaatteena on, että siirtoverkossa perättäisten jännitteiden suhde on 2 (esimerkiksi 220 kV  $\rightarrow$  110 kV). Muuntosuhde on suurempi alemmilla jännitetasoilla (esimerkiksi 110kV  $\rightarrow$  20 kV, tai 20 kV  $\rightarrow$  400V). Jännitettä muutetaan muuntajalla. Oikean siirtojännitteen valinnassa voidaan hyödyntää taulukoita, joiden avulla voidaan optimoida siirron tarve ja siirtoetäisyys. Karkeasti sanottuna pitkät siirtomatkat edellyttävät korkeamman jännitteen käyttöä. Mutta liian korkean siirtojännitteen käyttö ei ole järkevää rakenteellisten kustannusten noustessa. (Elovaara & Haarla 2011, 54.)

Sähköverkko pyritään aina rakentamaan johtorenkaksi ja silmukkaverkoiksi käyttövarmuuden parantamiseksi. Tällöin puhutaan yleisesti rengassyötöstä. Tämän tyyppin verkkoa pystytään vikatilanteissa syöttämään kahdelta suunnalta vika-alueen jäädessä mahdollisimman pieneksi. Lisäksi silmukkaverkko pienentää verkon häviöitä suhteessa säteisverkkoon. Säteisverkko on nimensä mukaan rakennettu säteistä, eli sitä voidaan syöttää ainoastaan yhdestä suunnasta. Kyseistä verkkotyyppiä käytetään haja-asutusalueilla, joissa silmukkaverkon rakentaminen on mahdotonta tai suhteettoman kallista. Säteisverkon suurin ongelma on vikatilanteiden aiheuttamat jakelukeskeytykset verkon loppupään kuluttajille. (Elovaara & Haarla 2011, 57.)

Kantaverkon suurilla jännitteillä johtorenkait pidetään yleensä suljettuina. Tämä avulla jännitteen alenemaa ja tehohäviöitä saadaan pienennettyä ja samalla käyttövarmuus paranee. Silmukkaverkoiksi rakennetut suur- ja pienjännitejakeluverkot pidetään normaalisti avoimena. KytKentäraja tehdään normaalisti suurjänniteverkossa erottimella ja pienjännitepuolella jakokaapilla. (Elovaara & Haarla 2011, 57.)

### **3.2 1 kV järjestelmä**

1 kV järjestelmä on kehitetty korvaamaan pitkiä yksittäisiä 20 kV johtohaaroja haja-asutusalueilla parantaen sähkönjakeluvarmuutta. Jakeluvarmuutta parantavat huomattavasti käytettävät 1 kV kaapelit, jotka ovat aina eristettyjä. Kaapelit ovat normaaleja PJ-kaapeleita, kuten AMKA-riippukierrekaapeli, ja ne voidaan sijoittaa hieman huonompaankin maastoon. Iso osa 1 kV jakelujärjestelmistä on rakennettu AMKA:lla ja muuntamot on toteutettu pylväsmuuntamoina. Myös maakaapelointi on yleistä, jolloin muuntamot (1000/400 V) rakennetaan kuvassa 2 olevan esimerkin tavoin. Ratkaisua puoltaa myös tieto siitä, että nykyisillä kustannus- ja laskentaperusteilla 20 kV verkon

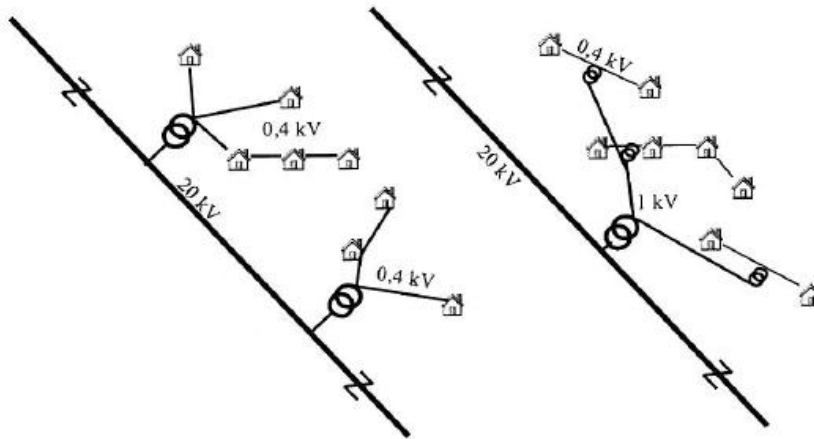


kaapelointi ei ole kannattavaa vaikka käyttöikä olisi kaksinkertainen 20 kV ilmajohdon käyttöikään verrattuna. (Lohjala 2005, 77- 82.)



**KUVA 2. 1000/400 V muuntamo**

1 kV jakelujärjestelmä sijoittuu käytössä olevien 20 kV ja 400 V väliin, ja sitä käsitellään pienjännitteenä. 1 kV jakelujärjestelmä edellyttää siis siirtymistä kolmiportaiseen jakelujärjestelmään. 1 kV jakelujärjestelmä vaatii kaksi muuntajaa, joilla 20 kV jännite muunnetaan ensiksi 1 kV ja lopuksi vielä 400 V. Kolmikäämisiä 20/1/0,4 kV kolmikäämimuuntajia käytetään kohteissa, joissa 20 kV pitää muuntaa sekä 1 kV että 400V. Kolmikäämimuuntajan käyttö vähentää osaltaan huollettavien laitteistojen määrää sekä kokonaishäviöitä. Kaksi- ja kolmijännitejakeluportaan järjestelmien erot on esitetty kuvassa 3. (Lohjala 2005, 77- 78.)

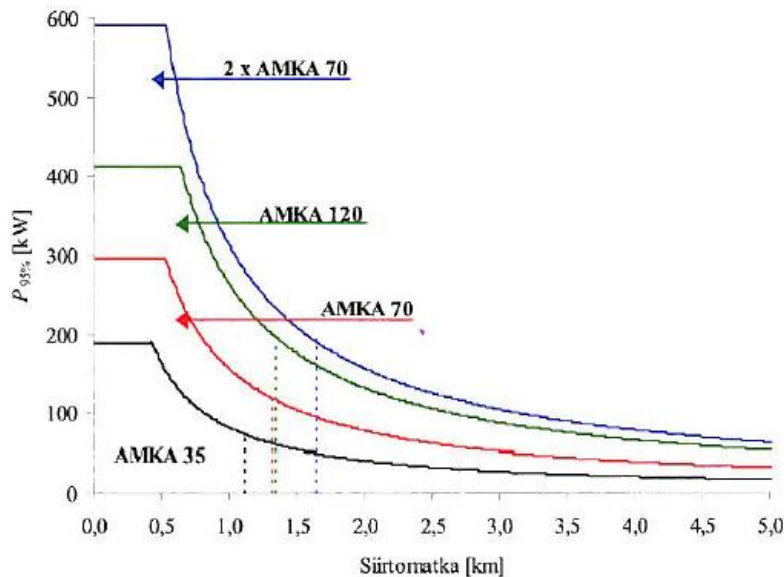


**KUVA 3. Kuluttajien syöttö kahdella eri jakelujärjestelmällä (Lohjala 2005, 77.)**

### 3.3 1 kV järjestelmän tekninen toteutus

1 kV järjestelmä voi olla joko maadoitettu tai maasta erotettu. Suurin käytännön ero syntyy järjestelmien suojauksissa. Maadoitettu 1 kV järjestelmä suojataan, kuten normaali PJ-järjestelmä. Suojaus toteutetaan sulakesuojauksella lisäksi, että sulakesuojaus laukaisee jakelun poikki kaikilta vaiheilta yhtäaikaaisesti. Tämä estää jännitteen epäsymmetrian, josta voisi olla haittaa kuluttajille. Maasta erotettu 1 kV järjestelmä saadaan tehtyä poistamalla yhteys 20/1 kV muuntajan kannelle tuodun 1 kV tähtipisteen ja maan väliltä. Tämä toteutus vaatii suojakseen katkaisijan, joka laukaisee verkon jännitteettömäksi sekä maasulussa että oikosulussa. (Lohjala 2005, 102-103.)

1 kV tekniset rajoitukset tulevat esille tarkasteltaessa sähkötehon siirtomatkoja. Normaalijärjestelmässä 20 kV jännitteellä voidaan siirtää 50 kertaa enemmän sähkötehoa 50 kertaa kauemmas verrattuna 400 V jännitetasoon. 1 kV järjestelmällä voidaan puolestaan siirtää 2,5 kertaa enemmän sähkötehoa 2,5 kertaa kauemmas kuin 400 V jännitetasolla. 1 kV järjestelmän suurimmat rajoittavat tekijät ovat käytettävä kaapelityyppi sekä suojaustapa. Kuvasta 4 nähdään eri riippukierrekaapelien siirtomatkat ajan funktiona, kun jännitteen alenema on 8 %. Kuvan pystykatkoviivat ovat sulakesuojatun kaapelin pisimpiä nollausehdon mukaisia siirtomatkoja. (Lohjala 2005, 143- 144.)



**KUVA 4. Riippukierrekaapelin siirtomatkat ajan funktiona (Lohjala 2005, 144.)**

#### 4 SÄHKÖN LAATU

Jakeluverkkoyhtiön velvollisuus on luotettavasti toimittaa asiakkaalle riittävän laadukasta sähköä. CEER (Council of European Energy Regulators) on määritellyt, että laadukkaan sähkön osa-alueet sisältävät hyvän asiakaspalvelun, sähköisesti hyvän jännitteen laadun sekä sähkön toimitusvarmuuden. Hyvä asiakaspalvelu vaikuttaa jo itsessään yhtiön imagoon ja sitä kautta asiakastyytyvyyteen. Toimiva asiakaspalvelu sisältää muun muassa täsmällisen laskutuksen ja energian mittauksen sekä toimivan vikapäivystyksen. Sähkön toimitusvarmuuteen CEER määrittelee neljä päätekijää: Ovatko käyttökatkot suunniteltuja vai suunnittelemattomia ja puhutaanko pitkistä vai lyhyistä katkoista? Millä jännitetasolla keskeytys syntyy ja kuinka monta keskeytystä vuodessa on keskimäärin yhtä asiakasta kohti? (CEER 2003, 24.)

Suunnitellut katkot pitävät sisällään kaikki ne verkkoon kohdistuvat toimenpiteet, joista on informoitu asiakkaita etukäteen. Kaikki ne katkot, joista asiakasta ei tiedoteta etukäteen, lasketaan suunnittelemattomiksi katkoiksi. Standardin SFS-EN 50160 mukaan pitkät katkot ovat yli kolmen minuutin mittaisia. Lyhyet katkot ovat tätä lyhyempiä. Katkoksi määritellään tilanne, jossa jännite on laskenut alle yhteen prosenttiin nimellisjännitteestä. Jännitteen ollessa 1-90 % nimellisjännitteestä on kyseessä jännitekuoppa. Erilaiset indeksit kuvaavat keskeytysten määrää ja kestoa. Niitä käytetään yleisesti verkkoyhtiöiden laadun mittaamiseen. SAIFI-indeksi kuvaa pitkien keskeytysten lukumäärää, josta käytetään myös lyhennettä CI. Lyhyet katkot voidaan kuvata

MAIFI-indeksillä. Sitä käytetään asiakkaiden kohdalla, joille lyhyestäkin katkosta voi olla suurta haittaa. SAIDI kuvaa puolestaan keskeytyksen keskimääräistä pituutta yhtä asiakasta kohti. Tapahtuneiden keskeytysten keskimääräistä kestoa kuvataan CAIDI-indeksillä. (Elovaara & Haarla 2011, 422- 423.)

#### 4.1 Sähkönjakelun keskeytykset

Sähköverkkoyhtiöiden tavoitteena on toimittaa asiakkaille hyvälaatuista sähköä luotettavasti ja turvallisesti. Käyttökatoja kuitenkin ilmenee, vaikka toimenpiteitä niiden ehkäisemiseksi tehdäänkin hyvin monella rintamalla. Toimenpiteillä, jotka kohdistuvat verkkoon, pyritään vähentämään vikojen ja keskeytysten määrää, rajoittamaan niiden laajuutta sekä lyhentämään keskeytysaikoja. Ohessa on listattu muutamia keinoja, joilla voidaan vähentää vikojen syntyä ja keskeytysten määrää;

- mekaanisten suojausten lisääminen jakeluverkkoon, jotta ulkopuoliset tekijät, kuten eläimet, eivät pääse kosketuksiin jännitteisiin osiin
- toteutetaan ylijännitesuojaus venttiilisulakkeilla
- sammutusmuuntajien lisääminen sähköasemille, joilla sammutetaan maasulkuja ja saadaan vähennettyä jälleenkytkentöjä
- korvataan kriittisimmät keskijänniteverkon ilmalinjat maakaapelilla tai päällystetylle ilmajohtolla
- käytetään jakeluun vaihtoehtoista tekniikkaa, kuten 1 kV järjestelmää
- kiinnitetään huomioita johtokatuihin sekä niiden raivaukseen. (Lohjala 2005, 63.)

Keskeytysten laajuutta voidaan rajoittaa, varsinkin haja-asutusalueella, rakentamalla halpoja ja yksinkertaisia sähköasemia (110/20 kV). Tällä tavoin saadaan lyhennettyä johtopituuksia, jolloin vika-alueet saadaan rajattua pienemmiksi. Lisäksi suojausautomaatiikan ja katkaisija-asemien lisäys helpottavat keskeytysten laajuuden rajaamista. Katkon pituuksia voidaan lyhentää esimerkiksi

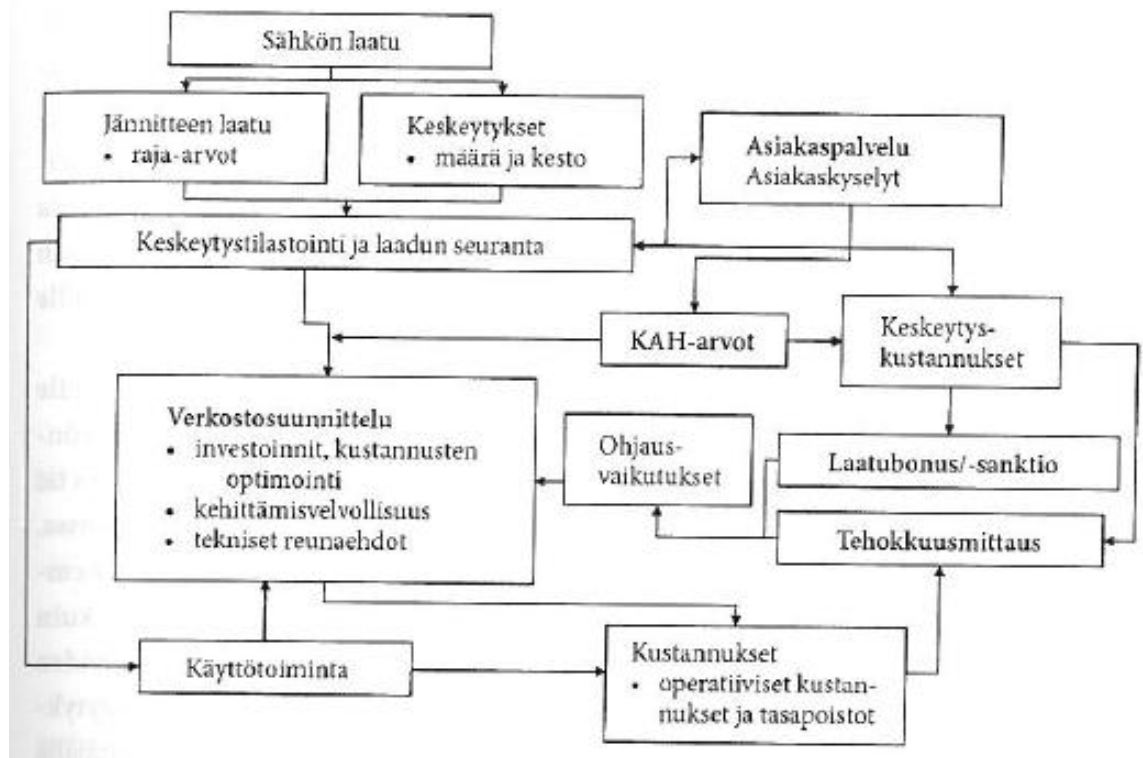
- parantamalla verkon automaatiota
- lisäämällä kaukokäyttöerottimia ja kaukovalvontaa
- hyödyntämällä henkilökunnan verkostotuntemusta vikapaikkojen etsinnässä
- kehittämällä suurhäiriöiden varalle viankorjausorganisaatiota ja toimivalmiuden ylläpitoa erinäisten harjoitusten avulla

- valmistautumalla yhteistyössä muiden verkkoyhtiöiden ja urakoitsijoiden kanssa hätätilanteiden varalle. (Lohjala 2005, 63 -64.)

## 4.2 Keskeytyskustannukset

Jokainen sähkönjakelun keskeytys aiheuttaa kustannuksia sekä sähköyhtiölle että asiakkaalle. Asiakkaan kannalta kustannukset voivat olla hyvin moninaisia. Suurimmat taloudelliset kustannukset syntyvät tuotantovajauksista, elintarvikkeiden pilaantumisista sekä kaikesta siitä lisätyöstä, jota sähkökatko aiheuttaa. Kustannukseksi voidaan laskea myös yksittäisten asiakkaiden mielipahat, jotka voivat kohdistua sähköyhtiöön. Keskeytyskustannuksen suuruus voidaan ilmoittaa KAH-arvolla. KAH- arvo kuvastaa keskeytyksestä aiheutuvan haitan suuruutta. KAH-arvojen perusteella voidaan arvioida keskeytyksistä aiheutuvien haittojen sekä keskeytyskustannusten suuruutta asiakkaita kohtaan. Tavallisesti KAH-arvo ilmoitetaan keskeytyskustannuksen suuruutena tehoa kohti yhden tunnin aikana [ $\text{€kW}$ , h]. Lisäksi KAH-arvot on hyvä määrittää erikseen eri asiakasryhmille sekä taajama- ja haja- asutusalueille. Eri asiakasryhmiä ovat muun muassa kotitaloudet, loma- asunnot, maataloudet sekä teollisuus. (Lohjala 2005, 70.)

Keskeytyskustannukset voidaan määrittää erikseen myös pika (PJK)- ja aikajälleenytkennöille (AJK). Kustannuksen suuruus ilmoitetaan tyypillisesti tehoa tai yhtä jälleenytkentään kohti [ $\text{€kW}$ ,  $\text{€kpl}$ ]. Keskeytyskustannuksia pyritään pienentämään monipuolisella ennakkohuollolla. Ennakkohuollot lisäävät ylläpitokustannuksia, mutta niillä on suora vaikutus korjauskustannuksiin sekä asiakkaiden keskeytyskustannuksiin. Kuvassa 5 on esimerkki, kuinka keskeytystietoja voidaan hyödyntää verkkoyhtiön toiminnassa. (Lohjala 2005, 70 - 71.)



**KUVA 5. Keskeytystietojen hyödyntäminen verkkoyhtiössä (Lakervi & Partanen 2008, 79.)**

#### 4.2.1 Maasulkuvirran kompensointi

Jakeluverkon tyypillisin jakelukeskeytyksen aiheuttaja on yksivaiheinen maasulku. Maasulku aiheuttaa vikapaikassa maadoitusjännitteen, jonka suuruus on riippuvainen vikavirran suuruudesta ja vikavirran kohtaaman maadoitusresistanssin tulosta. Maadoitusjännite saattaa muodostaa ihmisille ja eläimille vaarallisen kosketusjännitteen.

Suomen maaperän johtavuus on hyvin heikko, minkä seurauksena jakelumuuntamoilla ja erotinasemilla käytettävien suojamaadoitusten sekä pienjänniteverkon käyttömaadoitusresistansseja on vaikea saada pieniksi. Tämän vuoksi Suomessa keskijänniteverkko on erotettu maasta. Maasta erotetun verkon maasulkuvirrat ovat yleensä 5 – 100 A, jolloin maadoitusjännitteet pysyvät kohtuullisina ja sähköturvallisuusmääräykset saadaan täytettyä. Maadoitukseen käytettävän kuparin kohtuuttoman suurta tarvetta voidaan pienentää ottamalla käyttöön maasulkuvirran kompensointilaitteet. Kompensointilaite, eli sammutuskela, pienentää maasulkuvirtaa ja monesti ehkäisee katkaisijan laukeamisen sähköaseman johtolähdössä. Sammutuskela rakennetaan sähköasemalle 20 kV verkon tähtipisteen ja maan väliin. Kelan induktiivinen vikavirta vastaa johtokapasitanssien kautta kulkevaa kapasitiivista maasulkuvirtaa, jolloin kompen-

sointi toimii suunnitellusti. Kuvassa 6 on esitetty sammutusmuuntaja Pursialan sähköasemalta. Maasulkuvirtojen kompensointiratkaisut ovat keskeisessä osassa jakeluverkon pitkän aikavälin kehittämissuunnitelmissa. (Lakervi & Partanen 2008, 72.)



**KUVA 6. Sammutusmuuntaja**

#### **4.2.2 Kunnossapito**

Kunnossapidon päätarkoitus on ylläpitää ja säilyttää yrityksen käyttöomaisuuden tuototokyky. Tämän päivän markkinataloudessa kunnossapidon merkitys yrityksen koko liikestrategiassa on kasvanut. Kunnossapitoon satsataan yhä enemmän resursseja, joka samalla kohdistaa kunnossapitoon enemmän odotuksia ja näkyvien tulosten saavuttamisen tarvetta. Yrityksen käyttöomaisuus kattaa pysyvään käyttöön tarkoitettujen rakennukset, maa- alueet, koneet, kalustot sekä osakkeet ja osuudet. Käyttöomaisuuden avulla yritys valmistaa tuotteita tai palveluja, joita myydään kuluttajille tai toisille yrityksille. Tuotteiden ja palveluiden myynnillä yritys saa tuloja, joilla se kattaa omat kulunsa ja tekee liikevoiton. (Järviö 2006, 11- 12.)

Kunnossapidon määritelmät, termit ja käsitteet perustuvat standardeihin, jotka ovat voimassa koko EU:n alueella. Standardien mukaan kunnossapito on kaikenkattavaa toimintaa. Standardissa SFS- EN 13306 kunnossapito määritellään koostuvan kaikista kohteen elinaikaisista teknisistä, hallinnollisista ja liikkeenjohdollisista toimenpiteistä, joiden tarkoituksena on ylläpitää tai palauttaa kohteen toimintakyky sellaiseksi, että kohde pystyy suorittamaan vaaditun tehtävän. (Järviö 2006, 14, 29.)

Kunnossapitotoimintojen pääajit on luontevaa jakaa viiteen kokonaisuuteen, jotka ovat:

- huolto
- ehkäisevä kunnossapito
- korjaava kunnossapito
- parantava kunnossapito
- vikojen ja vikaantumisen selvittäminen. (Järviö 2006, 41- 43.)

## **5 SÄHKÖNJAKELUVERKON SUUNNITTELUN TEORIAA**

Sähköverkon tarkoitus siirtää sähkötehoa tuotantolaitoksilta kuluttajille. Tärkeimmät kriteerit verkolle ovat sen luotettavuus, taloudellisuus, pitkäikäisyys ja turvallisuus sekä kyky toimittaa riittävän laadukasta sähköä. Verkkoa suunniteltaessa tulee kaikki osatekijät ottaa hyvin tarkasti huomioon tapauskohtaisesti. (Elovaara & Haarla 2011, 73.)

Verkon suunnittelu voidaan jakaa kahteen osaan, jotka muodostuvat pitkän ja lyhyen aikavälin suunnitelmista. Lyhyellä aikavälillä tarkastellaan ja tehdään verkon rakennusohjelmat noin viiden vuoden ajanjaksolle. Pitkän aikavälin tarkastelujakso on noin 5 – 15 vuotta. Käytössä on myös ylipitkä tarkasteluväli, 15 – 30 vuotta, jota suositellaan käytettäväksi suurempia kokonaisuuksia silmällä pitäen. Rakennusohjelmien avulla voidaan luoda yksityiskohtaisempia suunnitelmia sähköasemista ja johtojen rakenteista ja varusteista. Tässä työssä keskitytään keski- ja pienjänniteverkkojen (20 kV, 400/230 V) suunnitteluun. (Elovaara & Haarla 2011, 73.)

Sähkönsiirrossa taloudellisuus ja luotettavuus aiheuttavat usein ristiriitaisia vaatimuksia suunnittelun näkökulmasta. Liian suuri taloudellinen satsaus verkon luotettavuuteen ei ole järkevää. Toisaalta epäluotettava verkko vaikuttaa negatiivisesti myös talouteen aiheutuneiden katkojen ja vikojen seurauksena. (Elovaara & Haarla 2011, 73.)

### **5.1 Jakeluverkon suunnittelu ja parametrien määrittäminen**

Jakeluverkko pyritään suunnittelemaan ja rakentamaan valmiiksi yhdellä kertaa niin, että suunnitelmat vastaavat lopullista kuormitustarvetta. Keski- ja pienjänniteverkkojen suunnitelmissa ei tarvitse ottaa niin suuresti huomioon hetkellisiä tehoja kuin kan-



taverkkoa suunniteltaessa. Suunnitteluprosessissa on otettava huomioon jo olemassa olevan verkoston nykytila, tulevaisuuden kehitystekijät, jotka vaikuttavat suunniteltavaan verkkoon, tavoitteet, kuinka verkko toteutetaan, sekä usein ratkaisevin tekijä, eli rahoitusmahdollisuudet (Lakervi 1996, 9.). Kokonaan uuden verkon suunnittelussa otetaan huomioon keski- ja pienjänniteverkkojen rakenteet, sekä valitaan kohteeseen sopivat jakelumuuntajat. Kokonaisuudessaan verkon suunnittelu vaatii tarkkaa optimointia. (Lakervi & Partanen 2008, 63.)

Keskeisimmät suunnitteluun ja työn lopputulokseen vaikuttavia tekijöitä ja parametreja ovat

- jakelujärjestelmässä käytettävät jännitetasot
- rakenteet ja komponentit
- suunnittelun reunaehdot: jännitteen alenema, vikavirtakestoisuudet
- talouslaskenta: häviöiden hinnat, korko, pitoajat
- keskeytyskustannusten parametrit
- mitoitusvahvuudet eri kuormitustilanteissa
- verkon käytettävyyksivaatimukset
- suunnittelujakson pituus
- muu yhdyskuntasuunnittelu (Lakervi & Partanen 2008, 68 – 69).

## 5.2 Teknis-taloudellinen tarkastelu

Kaikki verkostosuunnittelu tähtää siihen, että teknisesti toimiva ratkaisu on kokonais-kustannuksiltaan mahdollisimman edullinen pitkällä aikavälillä. Kustannusten minimointi on mahdollista, jos tiedetään suunnittelutehtävään liittyvät reunaehdot. Tyypillisiä reunaehtoja ovat seuraavat:

- jännitteen alenema ei saa olla sallittua suurempi
- johtojen tulee olla oikosulkukestoisia
- suojaustoimintojen pitää olla riittävät ja määräysten mukaiset
- sähköturvallisuuden liittyvät määräykset tulee täyttyä. (Elovaara & Haarla 2011, 73.)

Sähkönjakeluverkon komponenttien käyttöajat ovat yleensä hyvin pitkiä, parhaimmillaan yli 50 vuotta. Tämä asettaa erityishaasteita kokonaissuunnitteluun, joka korostaa

pitkän aikavälin teknis-taloudellisen suunnittelun merkitystä. Pitkän aikavälin kehittämissuunnitelmassa määritetään pääpiirteittäin, miten verkkoa tulisi kehittää kokosen suunnittelujakson aikana. Samalla selvitetään, kuinka suuria investointeja verkkoon tarvitsee tehdä eri vuosina, jotta verkko täyttäisi koko tarkastelujakson ajan sille asetetut vaatimukset ja tavoitteet. Kokonaissuunnitelman keskeinen osio on päättää periaatteista ja lähtötiedoista, joilla yksityiskohtaisempi verkostosuunnittelu tehdään. (Lakervi & Partanen 2008, 63 – 64.)

### 5.3 Johtimen ja muuntajan taloudellinen mitoittaminen

Keskeisin asia sähkönjakelujohtoja mitoittaessa on oikean poikkipinnan valinta johdolle. Johdon poikkipinnalla on suora vaikutus rakentamiskustannuksiin sekä laskennallisesti vertailukelpoisiksi tehtyihin häviökustannuksiin. Rakentamiskustannukset sisältävä materiaali-, kuljetus- ja työ-, yms. kustannukset. Kokonaiskustannus  $K$  saadaan laskettua kaavalla  $K = K_r + \kappa K_{h1}$ , jossa  $K_r$  on rakentamiskustannukset ja  $\kappa K_{h1}$  on koko pitoajan häviökustannusten nykyarvo. (Lakervi & Partanen 2008, 65.)

Oikean ja kustannustehokkaimman johdon poikkipinnan valinta tulee tehdä käytettävissä olevien poikkipintojen joukosta. Mitoitusohjeen suunnittelussa haetaan rajakäyriä, joilla kaksi peräkkäistä poikkipintaa johtaa samaan taloudelliseen tilanteeseen. Tehtävänä on ratkaista rajateho, jonka avulla voidaan valita suurempi tai pienempi johtimen poikkipinta. Rajateho ( $S_1$ ) saadaan selville kaavan 1 mukaisesti

$$S_1 \geq U \sqrt{\frac{k_{1A2} - k_{1A1}}{\kappa c_h (r_{A1} - r_{A2})}} \quad (1)$$

jossa:

$S_1$  = näennäisteho

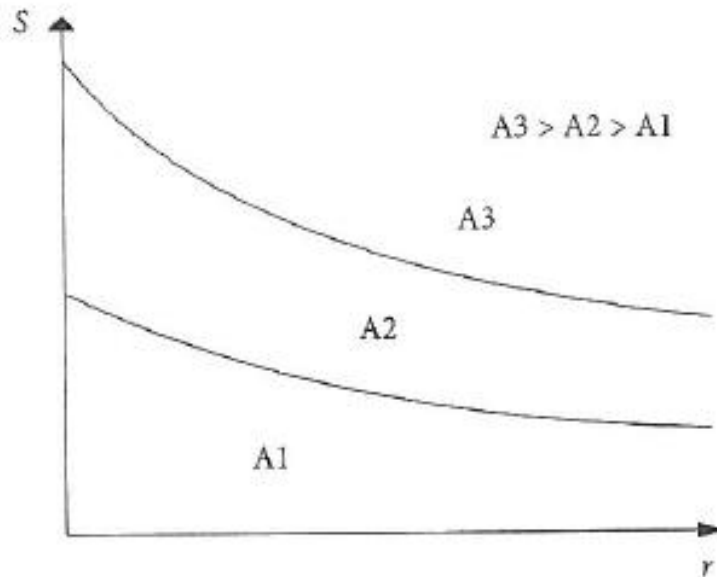
$U$  = jännite

$k_{1A2}, k_{1A1}$  = johdin poikkipintojen  $A_1$  ja  $A_2$  investointikustannukset €/km

$r_{A1}, r_{A2}$  = johdin poikkipintojen  $A_1$  ja  $A_2$  resistanssit  $\Omega/\text{km}$

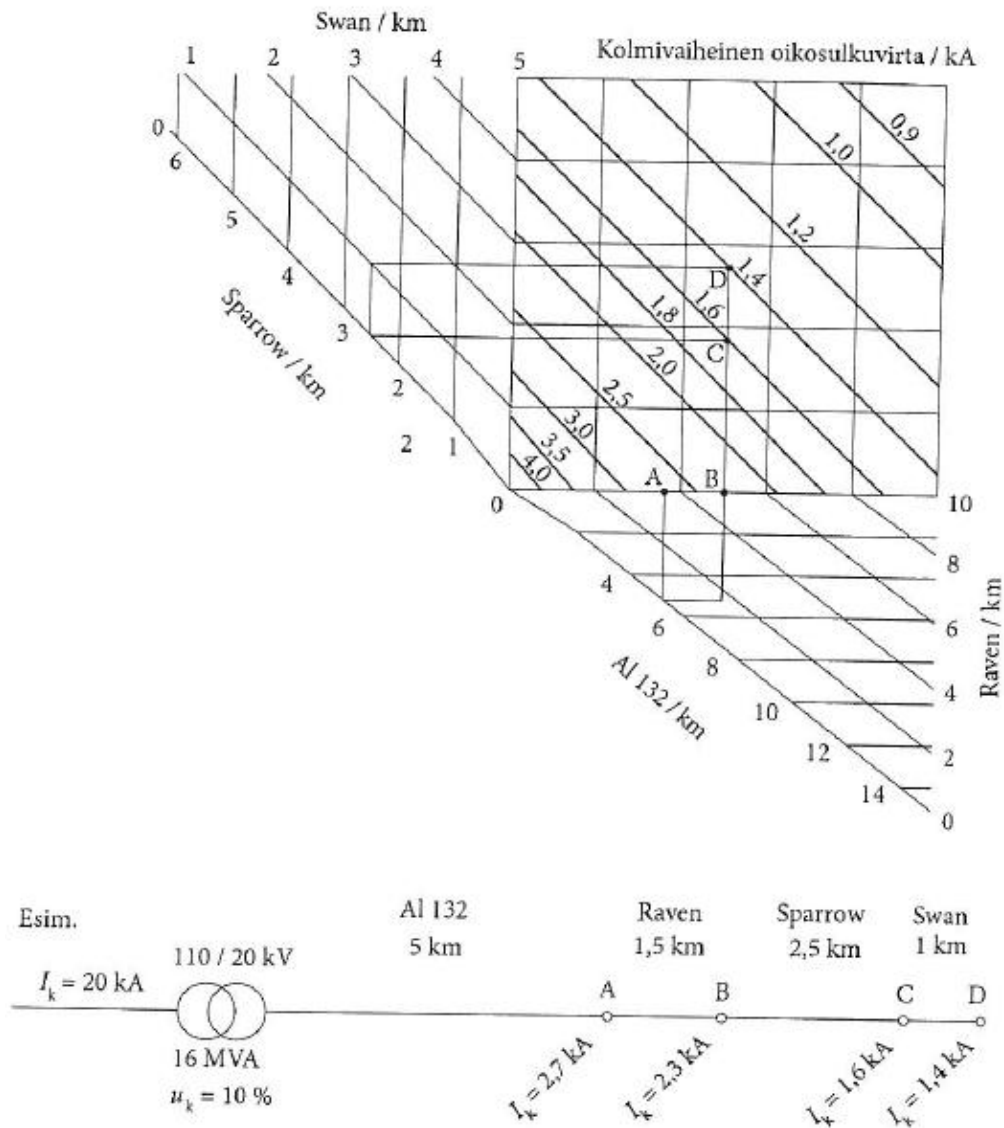
$\kappa c_h$  = häviöiden hinta korjauskertoimella €/kW,a

Johdon näennäistehon on oltava vähintään yhtä suuri tai suurempi ensimmäisenä käyttövuonna, jotta suuremman poikkipinnan käyttö on taloudellista. Esimerkki eri johdinpoikkipintojen taloudellisista rajatehoista tehonkasvun funktiona on esitetty kuvassa 7. (Lakervi & Partanen 2008, 65 – 66.)



**KUVA 7. Johdinpoikkipintojen taloudelliset rajatehot tehonkasvun funktiona (Lakervi & Partanen 2008, 66.)**

Johtimen ja järjestelmän kolmivaiheinen oikosulkuvirta voidaan määrittää esimerkiksi kuvan 8 mukaisen nomogrammin avulla. Kuvassa on esitetty jakeluverkko, joka koostuu erimittaisista ja -tyyppisistä johdoista. Nomogrammin avulla on määritetty oikosulkuvirrat haarapisteissä A – D. (Lakervi & Partanen 2008, 262 - 263.)



**KUVA 8. Nomogrammi 20 kV:n johdon kolmivaiheisen oikosulkuvirran määrittämiseksi (Lakervi & Partanen 2008, 263.)**

Mitoituksen tarkkuutta lisää huomattavasti teho- ja energiahäviöiden huomioon ottaminen. Samalla suunnitteluprosessi hieman vaikeutuu, mutta taloudelliset edut voivat olla huomattavia. Häviöt aiheuttavat katetta tuottamatonta lisäkuormitusta verkon eri osiin ja häviöiden minimointi on verkkoyhtiöille tärkeää. (Lakervi & Partanen 2008, 65 – 66.)

#### 5.4 Johtimen ja muuntajan valinta

Verkostosuunnittelun suunnitteluparametrien määrittämisessä keskeisessä osassa ovat verkossa käytettävät komponenttityypit ja -koot. Esimerkiksi avojohdoissa, kaapeleissa ja muuntajissa on valittavana hyvin monta erilaista tyyppiä ja kokoa. Kaapeleissa

on valittavan poikkipintoja välillä 16 - 300 mm<sup>2</sup>. Ilmajohdoissa on myös valittavana monta erilaista johdintyyppiä, kuten Raven, Sparrow ja Swan. Muuntajien valinta on myös keskeisessä asemassa verkostosuunnittelussa. Päämuuntajiksi sähköasemille valitaan yleensä 10, 16, 25 tai 40 MVA muuntaja. Jakelumuuntajien koot vaihtelevat tyypillisesti 50 – 500 kVA välillä. Haja-asutusalueilla on käytössä lisäksi 16 ja 30 kVA ja taajama-alueilla 800 ja 1000 kVA muuntajia. Maakaapeliverkossa muuntajat pyritään sijoittamaan puistomuuntamoihin ja avojohtoverkossa pylväisiin. Verkkoyhtiön on hyvä tehdä perusohjeisto eri rakennevaihtoehtojen käytölle. Perusohjeisto auttaa tekemään suunnitteluprosessin alkulaskelmat, joita myöhemmin tarkennetaan prosessin edetessä. Lisäksi yhtiön on hyvä määrittää periaatteet ja kriteerit eri johdintyyppien käytölle. (Lakervi & Partanen 2008, 73 - 74.)

Jakeluverkon komponentit mallinnetaan virtapiirilaskelmiin resistansseista ja reaktansseista muodostuvilla sijaiskytkennöillä. Verkon kokonaismalli koostuu toisiinsa kytkettyjen komponenttien malleista. Laskentatehtävän tyyppi ja tarkkuus määrittää, kuinka yksinkertaista mallia voidaan käyttää. Pätötehohäviö- ja oikosulkuvirtalaskuissa johto voidaan kuvata pitkittäisellä impedanssilla. Sen resistiivinen osa on suoraan verrannollinen johdinmateriaalin resistiivisyyteen ja johdon pituuteen sekä kääntäen verrannollinen johtimen poikkipinta - alaan. Reaktanssi liittyy magneettikenttään ja on eniten riippuvainen vaihejohtimien keskinäisistä etäisyyksistä. Kuvassa 9 on esitetty jakelujohtojen resistansseja ja reaktansseja. Muuntajan resistanssi  $R_k$  ja reaktanssi  $X_k$  voidaan laskea kilpiarvoista seuraavasti

$$R_k = u_r \frac{U_N^2}{S_N} \quad (2)$$

$$X_k = u_x \frac{U_N^2}{S_N} \quad (3)$$

joissa:

$u_r = P_k / S_N$  = muuntajan suhteellinen oikosulkuresistanssi

$u_x$  = muuntajan suhteellinen oikosulkureaktanssi

$U_N$  = muuntajan nimellisjännite

$S_N$  = muuntajan nimellisteho

$P_k$  = nimelliskuormitushäviöt

Tyyppi	Jännite kV	Johtimen poikkipinta Al/ Fe, mm <sup>2</sup>	Resistanssi Ω/km (+ 20 °C)	Reaktanssi Ω/km	Maakapasitanssi nF/km/vaihe (kΩ/km)
Avojohto	0,4	25/0	1,26	0,30	
Avojohto	0,4	50/0	0,64	0,28	
Ilmakaapeli, AMKA	0,4	35/0	0,87	0,10	
Maakaapeli	0,4	120/0	0,25	0,07	
Avojohto	11	50/0	0,64	≈ 0,4*	6,0 (177)
Maakaapeli	11	185/0	0,16	0,08	230–360 (4,6–2,9)
Avojohto	20	54/9	0,54	≈ 0,4*	6,0 (177)
Maakaapeli	20	120/0	0,25	0,11	230–360 (4,6–2,9)
Avojohto	110	242/39	0,12	≈ 0,4*	

\* arvo on riippuvainen johtimien välisestä etäisyydestä sekä orsirakenteesta

### KUVA 9. Tyypillisiä jakelujohtojen resistansseja ja reaktansseja (Lakervi & Partanen 2008, 26.)

Tyypillisesti sähkönjakeluverkon laskut kohdistuvat tapauksiin, joissa on kaksi jänniteporrasta. Muuntajan impedanssi määräytyy tarkasteltavan jänniteportaan nimellisiarvoista. Toisen jänniteportaan jännite-, virta- ja impedanssiarvot pitää redusoida tarkasteltavaan jänniteportaaseen. Teho ei muutu vaihdettaessa jänniteporrasta. Jännite ja virta saadaan muutettua muuntosuhteen mukaisesti. Jännitteen kasvaessa virta pienenee. Impedanssin muunnos on muuntosuhteeseen nähden neliöllinen. (Lakervi & Partanen 2008, 25 - 27.)

### 5.5 Verkoston kuormitusten ennustaminen

Sähköverkon kehittämiseen vaikuttaa keskeisesti pyrkimys ennustaa kuormitusten muutokset. Kuormitukset voivat joko kasvaa tai jopa pienentyä ja oikeanlainen arviointi on kehittämissuunnitelmien kannalta hyvin tärkeää. Verkon saneerauksen tai kokonaan uuden verkon suunnittelun yhteydessä on pyrittävä mahdollisimman totuuden mukaisiin ennustuksiin, jotta vältytään verkon yli- tai alikapasiteetilta. Ennustuksen kohteena on yleensä vuosienenergia. (Lakervi & Partanen 2008, 90.)

Jo olemassa olevien verkkojen alueella sähkön kulutustasot voidaan arvioida melko tarkasti perustuen aikaisempiin sähkönkulutuslukuihin. On myös järkevää jaotella verkon eri osat asiakasryhmien ja aluejaon perusteella. Kunnilla voi olla omia kaupunginosajoilla tehtyjä suunnitelmia, esimerkiksi asuntotuotannon laajuuteen, joilla on suuri vaikutus sähkön tarpeeseen. Tämä alueittainen tehtävä kuluttajaryhmäjaottelu helpottaa selvittämään kunkin maantieteellisen osan, esimerkiksi kaupunginosan, eri

asiakasryhmien laajuudet ja ominaiskulutukset. Laskemalla nämä yhteen saadaan selville alueen kokonaiskulutus. Yksi perusennusteinen asiakasryhmäjaottelu on seuraava:

- kotitalous
- maatalous
- sähkölämmitys
- jalostus
- palvelu
- loma- asutus.

Asiakasryhmän laajuutta kuvataan yleensä asiakas- tai työpaikkamäärällä ja rakennusten pinta-alalla. Itse kulutusta kuvataan ominaiskulutuksilla jokaista vuotta kohti, kuten MWh/ asunto tai MWh/ työpaikka. Alueellisten ominaisennustusten laatiminen on verkkoyhtiön tehtävä, joka samalla helpottaa verkon kehittämissuunnitelmien laadintaa. Energiaennusteilla voidaan vaikuttaa suoraan sähköasemien syöttöalueiden ja uusien syöttöpisteiden käyttöönottamiseen ja jakorajojen muuttamiseen verkossa. Energiaennusteet on mahdollista muuttaa tehoennusteiksi kuormitusmallien avulla. (Lakervi & Partanen 2008, 90- 91.)

## **5.6 Ympäristötekijät**

Teknisten järjestelmien vaikutukset ympäristöön tulee huomioida sähköverkkoa suunniteltaessa. Vaikutukset kohdistuvat luonnon lisäksi muun muassa ihmisen terveyteen. Ympäristökysymykset ovat hyvin keskeisessä asemassa suunnittelua, ja ne muodostavat osaltaan myös taloudelliset reunaehdot. Taloudellisin verkoston rakentamistapa saattaisi olla suoran linjan rakentaminen, mutta ympäristötekijät, kuten vesistö tai muu ympäristön kulttuuriperintö, voi hankaloittaa rakentamista. Kaupunkialueella ympäristölliset reunaehdot määritellään lähes valmiiksi viranomaisten puolesta, kuten kaavoituksilla. Haja-asutusalueella viranomaismääräysten lisäksi esille tulevat eri sidosryhmät, kuten maanomistajat, jotka osaltaan vaikuttavat maankäyttöön ja sitä kautta ympäristöön. Sähkönjakelun ympäristövaikutukset ovat täten hyvin moninaiset. Suurimpia riskitekijöitä ovat erilaiset päästöt luontoon ja rakentamisesta aiheutuvat maaston muodonmuutokset, jotka ovat usein esteettisiä. Lait ja määräykset suojaavat osaltaan luonnon liiallista kuormitusta verkostoa suunniteltaessa ja rakennettaessa. Kaiken

kaikkiaan ympäristötekijät otetaan hyvin tarkasti huomioon sähkölaitoksen kaikessa toiminnassa. (Lakervi & Partanen 2008, 94- 101.)

## 5.7 Ilmastotekijät

Viime vuosina lisääntyneiden myrskyjen ja runsaslumisten talvien vuoksi aiheutuneet laajat ja pitkät katkokset sähköjakelussa ovat herättäneet sähköyhtiöt. Ilmasto on Suomessa muuttumassa haasteellisemmaksi sähköjakelun kannalta. Lisäksi on herännyt kysymys, voisiko ilmaston aiheuttamiin riskitekijöihin varautua paremmin. Tutkitusti tiedetään, että ilmaston lämpeneminen aiheuttaa muutoksia ilmastossa. Kasvihuonepäästöjen lisääntyessä ilmasto muuttuu epävakaisemmaksi. Suomessa se näkyy ilmaston ääri-ilmiöinä, kuten lisääntyvinä myrskyinä ja runsaslumisina talvina, myös eteläisessä Suomessa. Tulevaisuuden säätyyppien tarkka ennustaminen on vaikeaa, mutta epävakauden lisääntymien on odotettavissa.

Sähköjakelun kannalta syksyn ja talven lämpeneminen vaikuttaa lisääntyvinä jakelukatkoksin. Pitkän syksyn leuto sää ei välttämättä ehdi jäädyttää maata riittävästi ennen lumentuloa, jolla on suora vaikutus pylväiden ja puiden lumikuormakestävyyteen. Lumen painosta taittavat ja katkeilevat oksat sekä kokonaiset puut aiheuttavat paljon sähkökatkoja. Lisäksi jäätymätön maa yhdistettynä kovaan tuuleen kaataa heikoimpia puita sekä pylväitä. (Lohjala 2005, 59 - 61.)

## 6 MAASTOSUUNNITTELU

Maastosuunnittelun tarkoituksena on kustannuskeskeisesti ja monipuolisesti selvittää sähköverkon rakentamiseen liittyviä asioita. Sähkösuunnitelman perusteella tehdään maastokartoitus ja selvitetään puuston sekä maapohjan kustannusarvio. Maastosuunnittelun aikana käydään maankäyttöneuvottelut maan omistajan ja viranomaisten kanssa sekä anotaan prosessiin liittyvät luvat. Koko prosessin aikana on huomioitava voimassa olevat standardit, määräykset ja suositukset. (Adato 2009.)

Maastosuunnittelun keskeisimmät selvittävät asiat kokonaistarkastelussa ovat seuraavat:

- maanomistajien yhteystietojen selvittäminen
- linjausluvan sopiminen maanomistajan kanssa



- linjauksen ja rakenteiden paikkojen merkintä maastoon
- maaperätutkinta
- tarvittaessa korkeusvaaituksen tekeminen
- vesi-, viemäri- ja kaukolämpöverkkojen sijaintien selvitys
- piirto kartalle
- maankäyttölupien sekä tarvittavien erikoislupien hakeminen, tarkastelu ja seuranta
- korvauslaskelmien laadinta
- eri asianosaisten informointi työn edetessä. (Adato 2009.)

## 6.1 Kaapelireittien valinta

Maakaapelin sijoittamiseen on järkevää hyödyntää maastossa olevia valmiita reittejä. Sijoittamisessa on myös hyvä huomioida vikaantuneen kaapelin korjausmahdollisuudet. Aoraus- ja kaivuukaluston leveys ja paino vaikuttavat työn siisteyteen ja työjälkeen korjaustarpeisiin jälkikäteen. Lisäksi on sovittava maanomistajan kanssa, mitä tehdään kaivauksista esiin tuleville kiville ja muulle maa- ainekselle. Odottamattomat kaapelireittien muutokset voivat muuttaa sähköistä mitoitususta. Mitoituksessa ja kaapelireittien valinnassa on lisäksi osattava huomioida myöhemmät haaroitustarpeet. Standardi SFS-8-814 sisältää yleisiä ohjeita ja määräyksiä kaapelien asennuksesta maahan ja veteen. (Adato 2009.)

Teiden hyödyntäminen kaapelireittiä varten on suositeltavaa. Huomioon otettavia seikkoja ovat tien omistuspohja sekä tien kunto. Yksityisteiden osalta otetaan yhteys tiehoitokunnan edustajaan tai yksityisomistajaan. Myös tien tekijään on hyvä olla yhteydessä. Kapeaan tiehen kaapeli kannattaa sijoittaa keskelle, mutta leveämmillä tien luiskaan helpottamaan kaapelivikojen korjausta tien pysyessä samalla ajokunnossa. Kaapeliasennuksen jälkeen tien on oltava kunnoltaan vähintään yhtä hyvä kuin ennen töiden aloittamista. Teiden alitukseen käytetään suojaputkia. Putket on helpoin asentaa tien rakentamisen yhteydessä. Vähän liikennöity tie voidaan myös hetkellisesti sulkea liikenteeltä, jolloin putken sijoittaminen on helppoa poikittaisen kaivannon avulla. Mikäli tien käyttökatko on mahdoton toteuttaa, voidaan tie alittaa tunkkaamalla tai poraamalla. (Adato 2009.)

## 6.2 Sähköjohtojen asennus maahan ja veteen

Standardin SFS 6000-8-814 mukaan maahan asennettavat kaapelit tulee sijoittaa riittävän syvälle ja suojata erikseen mekaanisesti. Asennussyvyys on riippuvainen paikallisista olosuhteista, kuten maan omistusoikeudesta, käyttötarkoituksesta ja maan laadusta ja sen routimisesta. Kaapelit suositellaan asennettavaksi maahan 0,7 metrin syvyyteen, ja se tulee suojata mekaanisesti esimerkiksi putkella tai hienolla hiekalla. Kaapelit on suojattava mekaanisesti kaivannossa muun muassa isoilta ja teräviltä kiviltä. Kaapelin ja maanpinnan väliin, noin 0,2 – 0,4 metrin syvyyteen, on suositeltavaa asettaa varoitusnauha osoittamaan kaapelin sijaintia. Nämä toimenpiteet parantavat huomattavasti kaapelin käyttöikä ja ennalta ehkäisevät turhia kaapelivaurioita. (SFS 2007, 583- 584.)

Maahan asennettavat kaapelit tulee olla rakenteeltaan riittävän vahvoja. Maahan asennettavaksi tarkoitetut kaapelit ovat mekaanisesti riittävän vahvoja vaipallisia kaapelityyppejä. Veteen asennettavan kaapelin pitää lisäksi olla soveltuva asennettavaksi veteen valmistajan ohjeiden mukaisesti. Ilman maadoitettavaa kosketussuojaa oleva veteen asennettava kaapeli tulee suojata rantaosuudella 2 metrin syvyyteen saakka alaveden korkeudesta sopivalla tavalla tai kaapeli kaivetaan pohjaan. Kaapelin suojauksessa on huomioitava rannan muoto, laatu ja muut mekaaniset rasitukset, kuten jään ja veden korkeuden vaihtelut. (SFS 2007, 583- 584.)

## 6.3 Sähköjohtojen sijoittaminen tiealueelle

Sähköjohtojen sijoittamista maatiealueelle ohjaa voimakkaasti kaikkia tietä käyttävien osapuolien turvallisuus. Maantielaki (503/2005), maankäyttö- ja rakennuslaki (132/99) sekä sähköturvallisuuslaki (410/96) ohjaavat sähköjohtojen sijoittamista maanteiden varsille. Varsinaista rakennustyötä ohjaavat sähkötyöturvallisuutta koskevat kauppa- ja teollisuusministeriön päätökset sähköalan töistä (516/96 ja 1194/99). Lisäksi turvallisia työmenetelmiä ja johtorakenteita koskevia ohjeita on annettu SFS-standardeissa.

Sähköjohtojen sijoittamista suunniteltaessa tulisi mahdollisimman laajasti selvittää muiden yhdyskuntatekniikan osapuolien sijoitusalueen käyttöä koskevat hankkeet ja suunnitelmat. Yhteydenpito tienpitövirnaomaiseen heti suunnittelun alkuvaiheessa on

ensiarvoisen tärkeää. Suunnittelussa on otettava huomioon tienpitäjän esittämät tiealueen kunnossapitoon sekä liikenne- ja rakennustekniikkaan liittyvät näkökohdat. Näillä on suora vaikutus verkkotoiminnan kannalta pitkällä aikavälillä edullisimman ratkaisun löytämiseen. Varsinaisissa verkon rakennustöissä ja kunnostuksissa on lisäksi noudatettava tienpitäjän antamia ohjeita liikennejärjestelyistä. (Liikennevirasto 2011, 10.)

## **7 VERKOSTOSUUNNITTELUN LÄHTÖKOHDAT**

Tässä opinnäytetyössä on tarkoitus löytää vaihtoehtoja sähköjakelun laadun ja varmuuden parantamiseksi Laajalampi- Kaituenmäki- Laajaharju- Moisio- Silvasti- Tuukkala-alueella. Tämänhetkinen ongelma on kohtuuttoman suuri kuormitus yksittäisille johtolähdöille Pursialan sähköasemalla. Lähtöjen rinnalle tulisi suunnitella uusi johtolähtö, jolla saataisiin kevennettyä nykyistä tilannetta. Tähän on tarkoitus löytää erilaisia ratkaisuvaihtoehtoja, joita vertaamalla löytyisi paras mahdollinen lopputulos työlle. Kyseessä on kehitystyö ja keskittyy pääosin 20 kV verkon suunnitteluun. Pohdittavaa siis riittää.

### **7.1 Jakeluverkon alueen käsittely**

Kehitettävän jakeluverkon alueella sijaitsee kuusi asuinalueita:

1. Kaituenmäki
2. Silvasti
3. Tuukkala
4. Moisio
5. Laajaharju
6. Laajalampi (osa alueesta).

Kuvassa 10 on esitetty kartalta kyseiset alueet. Lisäksi kuvaan on merkitty Pursialan sähköaseman sijainti (7.). Laajalammen alue on pääosin kerrostaloaluetta, ja siellä sijaitsee eniten kulutuspaikkoja. Kaituenmäen, Silvastin ja Laajaharjun alueella sijaitsee omakoti-, rivitalo- ja kerrostaloasutusta. Lisäksi Lappeenrannantien varrella on huoltoasema ja koulu sekä sairaala-alue. Moisio-alueella sijaitsee sairaalan lisäksi muutama kerros- ja rivitalo. Tuukkalassa on omakotiasutusta, joitakin maatiloja sekä

kesämökkejä. Lisäksi Porrassalmentien varrella sijaitsee Kyyhkylän kuntoutussairaala, jonka yhteydessä on pienimuotoista hotelli- ja ravintolatoimintaa.

Alueella sijaitsee kehitettävän alueen yksittäiset johtohaarat, joilla sijaitsevien muuntopiirien kulutukset jäävät suhteellisen pieniksi. Kaiken kaikkiaan kehitettävällä alueella on pääosin asuinrakennuksia. Alueella ei ole teollisuutta tai vastaavia sähkön suurkuluttajia, mutta muutoin asiakasmääriltään alue on merkittävä ESE-Verkon koko jakeluverkosta.



**KUVA 10. Kehitettävän jakeluverkon alueella sijaitsevat asuinalueet**

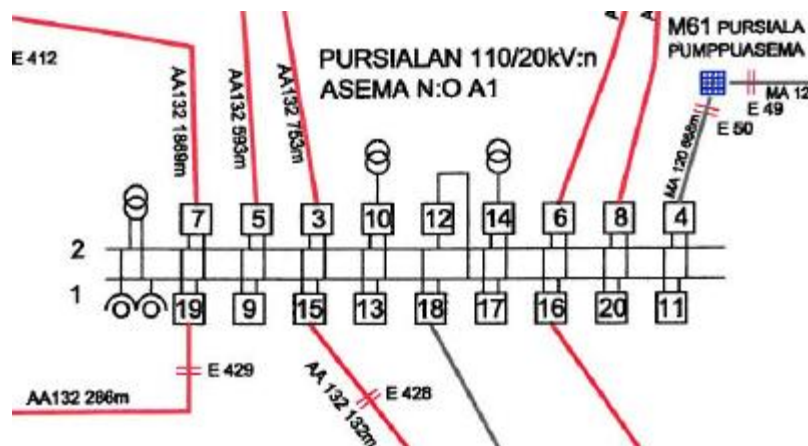
### 7.1.1 Alueen tulevaisuuden näkymät

Kokonaisuudessaan alue on hyvin pitkälle valmiiksi rakennettu, joten suuria sähkönkulutuksen muutoksia suuntaan tai toiseen ei ole näköpiirissä. Seuraava suurempi rakennemuutos voi olla edessä Moisio sairaala-alueella. Varsinaiset sairaalatoiminnot ovat vähenemään päin, mutta käytössä on vielä vuodeosastoja ja muita vastaavia tiloja. Aluetta on suunniteltu matkailukäyttöön, mutta mitään tarkempia kaavoituksia tai suunnitelmia ei vielä ole tehty. Lisäksi Saimaan puoleista rantaa on esitetty sijoitus-

vaihtoehtona Mikkeliin vuodeksi 2017 suunnitelluille asuttomessuille, jonne on tarkoitus rakentaa noin 40 pientaloa (Ahdelma 2012, 2). Moision alueen suunnitelmat eivät varsinaisesti vaikuta uuteen johtolähtöön tai sen suunnitelmiin. Moision alueen muutokset voivat vapauttaa nyt alueelle menevän maakaapelin muun verkon käyttöön.

## 7.2 Pursialan sähköasema

Pursialan sähköasema on 110/20 kV muuntoasema. Asemalta on 110 kV yhteydet Fingridin 400 kV sähköasemalle ja Pursialan voimalaitokselle. Lisäksi asemalta lähtee ESEn oma 110 kV linja Kirjalan sähköaseman suuntaan. Pursialan asemalla on kaksi 110/20 kV päämuuntajaa, jotka syöttävät kahta 20 kV kiskostoa, ja niissä on käytössä tällä hetkellä yhteensä 10 erillistä johtolähtöä. Kenno 9 on vapaana ja käytettävissä uudelle johtolähdölle. Kennostoissa on käytössä tyhjä-, SF6- ja vähäöljykatkaisijoita. Kuvassa 11 on esitetty kaaviokuva aseman johtolähdöistä. Tutkittavan alueen johtolähdöt on merkitty kuvaan numeroin 15, 18 ja 19, mutta sähköasemalla tunnuksin A1K15, A1K18 ja A1K19.



KUVA 11. Pursialan sähköaseman johtolähdöt

## 7.3 Verkon nykytila

Tällä hetkellä aluetta syöttää Pursialan sähköasemalta kaksi 20 kV johtolähtöä. Lisäksi Moision sairaala-alueelle on oma 20 kV kaapelilähtö. Tämä lähtö on pelkästään sairaala-alueen omassa käytössä, mutta siitä on yhteys myös toiseen aluetta syöttävään johtolähtöön. Tätä yhteyttä on käytetty suunnitellusti ainoastaan huoltotöiden aikana. Alueen kaksi varsinaista johtolähtöä ovat varsin suuren kulutuksen alaisina. Kokonaisuudessaan alueella asuu yli 2000 asiakasta, jolle sähkö jaetaan yli 30 muuntopiirin ja

noin 20 kilometrin keskijänniteverkon avulla. Nämä vastaavat noin 10 prosenttia ESE-Verkon asiakas- ja muuntajamääristä sekä keskijänniteverkon osuudesta. Kehitettävän alueen nykyinen KJ-verkko on esitetty kuvassa 12.



**KUVA 12. Koko alueen KJ- verkko**

Alueen verkko on teknisesti kohtalaisen hyvässä kunnossa. Lisävarmuutta sähkönjakeluun saataisiin uuden johtolähdön lisäksi nykyisten linjojen uudelleen sijoituksilla sekä tietysti kaapeloinneilla. Myös vanhojen avojohtojen korvaaminen päällystetyillä johtimilla vähentäisi katkojen määrää. Ensiarvoisen tärkeää olisi vahvistaa verkkoa sähköaseman suunnalta ja edetä patkka kerrallaan kohti latvahaaroja. Tällä tavoin lopputuloksesta tulisi paras mahdollinen. Ei ole järkevää parantaa johtolähtöä matkan varrelta, jos alkupää on vikaherkkä.

### 7.3.1 Johtolähtöjen kuormitukset

Taulukossa 1 on esitetty Pursialan sähköaseman jokaisen johtolähdön kokonaisvuosienergiat sekä muuntopiiri- ja asiakasmäärät. Lisäksi jokainen lähtö on tyypitetty sen mukaan, mikä on niiden kaapelointiaste (City, Taajama, Maaseutu). Vertailun vuoksi taulukkoon on lisätty myös koko ESE-Verkon muuntopiirit, asiakasmäärät ja kokonaisvuosienergia. Jokainen lähtö on merkitty tunnuksin A1KXX riippuen kennonumerosta. Tarkemmin tutkittavat lähdöt ovat A1K15, A1K18 ja A1K19.

**TAULUKKO 1. Pursialan sähköaseman johtolähdöt**

Pursialan läh- döt		Kaap.aste	Luokitus	Mp	Asiakkaat	Energia [MWh]
A1K03	Ristiinantie	75	City	6	784	10936
A1K04	Vesilaitos	100	City	11	21	20241
A1K05	Kattilansilta	90	City	13	1365	17116
A1K06	Tuppurala	85	city			
A1K07	Kirjala	55	Taajama			
A1K08	Pursiala_vanha	80	City	6	63	2268
<b>A1K15</b>	<b>Moisio</b>	<b>5</b>	<b>Maaseutu</b>	<b>22</b>	<b>585</b>	<b>10185</b>
A1K16	Salosaari	18	Maaseutu	4	33	774
<b>A1K18</b>	<b>Moision sair.</b>	<b>100</b>	<b>City</b>	<b>1</b>	<b>57</b>	<b>2259</b>
<b>A1K19</b>	<b>Laajalampi</b>	<b>47</b>	<b>Taajama</b>	<b>11</b>	<b>1865</b>	<b>8143</b>
			PUR yht.	74	4773	71922
			A1K15, A1K18, A1K19 yht.	34	2507	20587
			<b>ESE- Verkko yht.</b>			
	<b>Kaapelointiaste</b>	<b>Lähtötyyppi</b>	<b>Lähtöjen lkm.</b>			
	75 - 100%	City	48	138	13209	208108
	30 - 75%	Taajama	8	58	5357	47464
	0 - 30 %	Maaseutu	16	140	4966	82504
		Lähdöt yht.	72	336	23532	338076

Tarkemmat muuntopiirikohtaiset (A1K15, A1K18 ja A1K19) tiedot, kuten muuntajien huipputehot ja PJ- kaapelien yhteispituudet, on esitetty liitteessä 1. Liitteestä huomataan, että käytössä olevat muuntajat ovat huipputehoiltaan oikein mitoitettu, eikä muutama poikkeusta lukuun ottamatta suuria huipputehon ylityksiä tai huomattavia alitehoja ole nähtävissä. Jakelumuuntaja kestää hetkellistä ylikuormaa valmistajan ohjeiden mukaisesti, joka on normaalisti noin 1,5 kertaa nimellistehon  $S_n$  (Aura & Tonteri 1996, 22- 23). Kokonaisuudessaan lähtöjen kokonaiskuorma ei ole merkittävän suuri, mutta suuremman vaikutuksen tekee asiakkaiden kokonaismäärä, joka on hieman yli 2500.

### 7.3.2 Pylväiden kuntokartoitus

Alueen ilmalinjojen pylvälle on tehty laaja kuntotarkastus Exsane Oy:n toimesta. Tuloksista perusteella voidaan todeta, että alueen pylväävät ovat kohtalaisen hyvässä kunnossa. Eniten esiintyy latvalahoisuutta ja heikenneitä harustuksia sekä muita pieniä rakenteellisia puutteita. Lisäksi pylväiden ympäristön kasvustojen raivausta suositellaan. Ainoastaan kahdeksaan pylvääseen on lisätty merkkinauhat, jotka kieltävät pylvääseen kiipeämisen. Tarkastettuja pylvääitä on yhteensä noin 250. Tarkastuksen perusteella ei ole suurta painetta linjojen pikaiseen uusintaan pylväiden heikon kunnan vuoksi.

### 7.4 Johtolähtöjen rakenne

Tarkasteltavien johtolähtöjen A1K15, A1K18 ja A1K19 KJ- kaapelien yhteispituus on hieman alle 20 kilometriä. Tarkempi erittely eri kaapeleista on nähtävillä taulukossa 2. Lähtö A1K18 on 100 % ja lähtö A1K19 noin 50 % kaapeloitu. Lähtö A1K15 on lähes kokonaan ilmalinjaa kaapelointiasteen ollessa vain noin 5 %. Kaapeloinnin lisääminen lähtöihin A1K15 ja A1K18 on järkevintä aloittaa sähköaseman suunnalta. Toinen järkevä vaihtoehto on jatkaa jo olemassa olevia kaapelireittejä korvaamalla vikaherkimpiä ilmalinjoja. Tätä tarkastelua tehdään lisää työn edetessä.

Noin puolet ilmalinjasta on Al 132- ilmajohtoa, joka on pitkään käytössä ollut alumiininen johdin. Toinen paljon käytetty alumiininen johdintyyppi on Raven, jonka teräsydin antaa sille hyvän kestävyuden. Päälystettyjä KJ-ilmakaapeleita (SAMKA ja SAXKA) on ESE- Verkon jakeluverkossa kokonaisuudessaan todella vähän. Maakaapeleista käytössä on vanhempaa paperieristeistä APYAKMM- kaapelia sekä uudempaa muovieristeistä AHXAMK-W- kaapelia, jota sähkölaitosympäristössä puhutellaan ”wiski” -kaapeliksi. Nykyiset kaapeloinnit hoidetaan poikkeuksetta wiskillä.



**TAULUKKO 2. Tarkasteltavat johtolähdöt**

	KJ-kaapelit/Johtolähtö [m]		
	A1K15	A1K18	A1K19
AA132	5289	x	1980
AF63	8162	x	x
RA120	x	x	155
RA121	143	x	x
MA70	190	x	x
MA120	148	x	2058
MA124	300	1290	x
yht.	<b>14232</b>	<b>1290</b>	<b>4193</b>
Lähdöt			
yht.	<b>19715</b>		

Ilmalinjat, tunnus/johdin- tai kaapelityyppi:

- AA132 = AI 132
- AF63 = Raven 3x54/9
- RA120 = SAMKA 3x120
- RA121 = SAXKA 3x120

Maakaapelit, tunnus/kaapelityyppi:

- MA70 = APYAKMM 3x70
- MA120 = APYAKMM 3x120
- MA 124 = AHXAMK-W 3x120

**7.5 Vikahistoria**

2000-luvun alkupuolella ja sitä aikaisemmin alue on ollut kohtalaisen vikaherkkä. Odottamattomia katkoja oli enemmän suhteessa muuhun jakeluverkkoon. Vuonna 2005 tehty laajempi linjaraivaustyö vähensi katkoja huomattavasti. Toinen katkoja vähentänyt tekijä on sammutusmuuntajien käyttöönotto Pursialan sähköasemalla samana vuonna.

Vuosien 2007 – 2012 välisenä aikana alueen lähdöissä on ollut yhteensä 21 KJ-katkoa, eli noin neljä katkoa vuodessa. Näistä katkoista kuusi on aiheutunut viasta ja kaksi suunnitellusta työkatkosta. Lisäksi verkossa on ollut kahdeksan pikajälleenkytkentää ja viisi aikajälleenkytkentää. Viime vuosina odottamattomia katkoja on ollut

täten suhteellisen vähän, mutta verkon rakenteen vuoksi katkoaluetta on vaikea rajata pieneksi.

## **8 UUDEN JOHTOLÄHDÖN REITTIVAIHTOEHDOT**

Pursialan sähköaseman uuden johtolähdön reitin valinta ja suunnittelu on yksi keskeisimmistä asioista tässä työssä. Kaapeli on tarkoitus sijoittaa maahan, joten se luo haastetta alueen ollessa pääasiassa taajamaa. Maakaapelilla pyritään sähkön hyvään laatuun ja toimitusvarmuuteen. Ensimmäinen tavoite on löytää jo olemassa olevasta verkosta sellainen haarakohta, johon uusi johtolähtö olisi järkevintä viedä ja yhdistää muuhun verkkoon. Verkkoyhtiön toiveissa on, että tämä solmukohta olisi Keituenmäellä, Laajaharjun ja Silvastin välissä. Järkevä vaihtoehto voisi olla Laajatien ja Lappeenrannantien välissä, johon yhtyvät tällä hetkellä KJ-linjat kolmelta eri suunnalta. Liitteessä 2 on esitetty alueen tämänhetkinen KJ-verkko, josta nähdään myös muuntajien ja erottimien sijainnit.

### **8.1 Vaihtoehto A**

Ensimmäisenä ajatus uuden johtolähdön reitiksi oli mahdollisimman suora reitti sähköasemalta erotinasemalle Laajatien päähän. Heti alusta saakka selkeä tavoite oli saada reitti maahan, joten ilmalinjaa vaihtoehtona käsiteltiin suurella varauksella. Tämä senkin vuoksi, että kaikki ylimääräiset päätteet maakaapelin ja ilmalinjan välissä aiheuttavat turhia epävarmuustekijöitä sähkönjakeluun. Lisäksi perinteiset ilmajohtoihin liittyvät vikaantumismekanismit pyrittiin minimoimaan. Uuden johtolähdön pituudeksi tulisi noin 2- 3 kilometriä riippuen sen tarkemmasta reitistä.

Reitin suunnittelu oli helpoin aloittaa maastossa maastonsuunnittelun parissa. Heti alusta saakka oli selvillä suurimmat ongelmakohdat reitin varrelta. Sähköaseman suunnalta katsottuna Anttolantien ja Lappeenrannantien sekä niiden risteys olisi ensimmäinen pohdinnan paikka. Tiedossa on, ettei valmiita alituksia ole, joten poraaminen tai tunkkaaminen olisivat ainoat vaihtoehdot kohteiden alituksiin. Lisäksi tiedetään, että maasto kyseisellä alueella on hyvin kivikkoista ja kallioista, joten teiden alitukset onnistuisivat todennäköisesti ainoastaan poraamalla. Maaston rakenne hie- man helpottuu lähestyttäessä uutta erotinasemaa. Reitti tulisi suunnitella siten, että

vältyttäisiin turhilta kallion räjäytystöiltä tai kohtuuttoman pitkiltä kadunavauksilta. Yhtälö kuulostaa hankalalta, muttei mahdottomalta.

Sähköaseman suunnalta ensimmäisenä olisi järkevintä alittaa Anttolantie ja siirtyä sen jälkeen risteyksen suuntaan. Anttolantien alituksen jälkeen vaihtoehtoja reitin jatkamiseen on useita. Yksi vaihtoehto on jatkaa reitti Lappeenrannantien itäpuolta lähelle erotinasemaa ja tehdä tien alitus siellä. Toinen vaihtoehto on jatkaa tien samaa puolta ja yhtyä kevyenliikenteenväylään Kyläkouluntielle ja jatkaa sitä pitkin muuntamolle M261. Tällä hetkellä muuntamolta on yhteys erottimelle E416. Ongelman aiheuttaisi puistomuuntamon koko, jossa ei tällä hetkellä ole yhtään vapaata kennoa käyttöön-otettavaksi. Kolmas ja hieman vieraampi tapa reitille olisi hyödyntää Moisiolampea. Tämän vaihtoehdon etuina olisi kaivutöiden vähäisempi tarve, mutta käytännön kokemuksen puute KJ-vesistökaapeleista aiheuttaa epävarmuutta.

Kuvassa 13 on esitetty kartalla Pursialan sähköaseman sijainti (P) sekä suunnitellun uuden erotinaseman paikka (E). Erotinaseman sijainti on suuntaa antava, ja sitä tarkennetaan työn edetessä. Lisäksi kuvaan on hahmoteltu erivärisillä katkoviivoilla uuden suoran johtolähdön reittivaihtoehtoja erivärisillä katkoviivoilla. Reitit ovat suuntaa antavia, eikä tässä vaiheessa ole vielä mietitty tai selvitetty maankäyttöoikeuksia ja muita toimenpidelupia. Suoran johtolähdön etuina on sen yksinkertaisuus ja mahdollisten vikapaikkojen vähäisyys.

On myös mietittävä edullisinta vaihtoehtoa uudelle johtolähdölle, eli ilmalinjaa. Ilmalinja olisi kohtalaisen helppo sijoittaa valtatie reuna- alueelle ja johtimena voisi käyttää esimerkiksi päällystettyä BLL- johdinta. Tämä ei ole ensisijainen vaihtoehto, mutta on otettava huomioon kokonaistarkastelussa.



**KUVA 13. Uuden suoran johtolähdön reittihahmotelmat**

## 8.2 Vaihtoehto B

Hyvin nopeasti suunnittelun edetessä huomattiin, että uutta johtoreittiä voisi hyödyntää myös jo olemassa olevan KJ- verkon saneeraukseen. Eli korvattaisiin uudella johtolähdöllä tiettyjä osia vanhaa verkkoa ja muutoksilla päästäisiin eroon muun muassa pienillä kulutuksilla olevista pylväsmuuntamoista sekä vanhemmista ilmalinjoista. Tämä synergiaetu voitaisiin saavuttaa Lappeenrannantien länsipuoleisilla asuinalueilla Laajajarjussa, Laajalammella sekä Kaituenmäellä. Reittimuutos ei tietysti poista ensimmäistä haastepaikkaa sähköasemalta lähdettäessä, eli Anttolan- ja Lappeenrannantien alituksia.

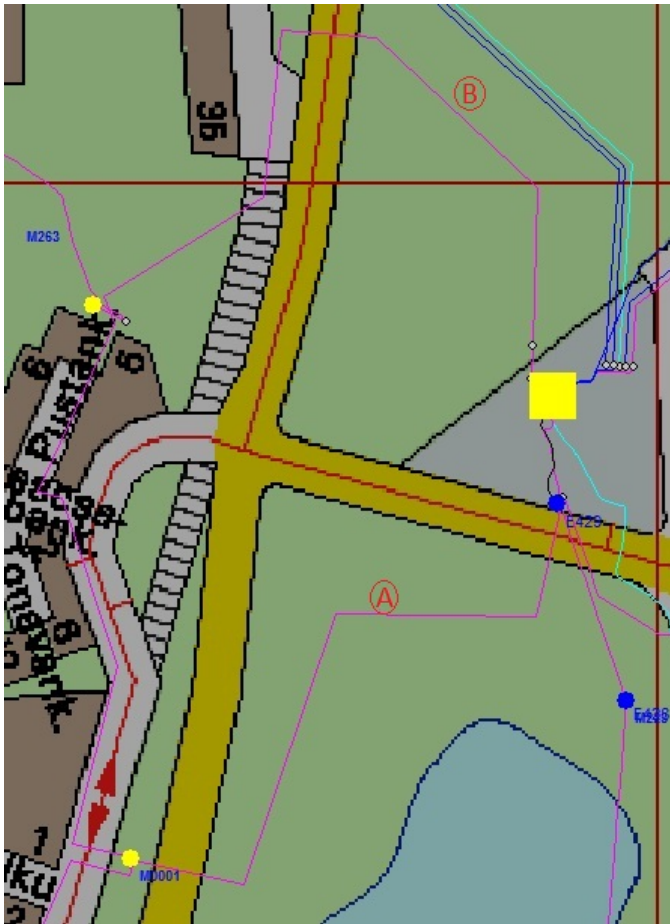
Kaiken kaikkiaan reitti kannattaa tarkastella neljässä eri osassa: isojen teiden alituspaikkojen määrittäminen, Laajajarjun alueen uudelleenjärjestelyt, Laajalampi- Kaituenmäki KJ- yhteyden uusiminen ja Kaituenmäen alueen käsittely.

### 8.2.1 Lappeenrannantie - Anttolantie -risteysalue

Isojen teiden alitukset tulevat olemaan isotöisiä projekteja. Alitukset on pakko tehdä poraamalla tai tunkaamalla, koska teiden kaivaminen auki ei ole mahdollista suurten liikennemäärien vuoksi. Tiet voisi tuki ylittää ilmalinjalla, mutta peruslähtökohta on välttää ylimääräisiä, vikamahdollisuuksia lisääviä päätteitä johtolähdössä. Mutta ilmalinjan käyttö vaihtoehtona tulee ottaa huomioon kokonaistarkastelussa.

Risteys voidaan alittaa kahdesta eri paikasta, riippuen lopullisesta kaapelireitistä ja mahdollisista muista verkon muutoksista. Yhden kaapelin ja suorimman reitin käyttöönoton yhteydessä olisi alitettava molemmat tiet, koska risteysalueelle ei ole varattu tyhjiä putkia. Teiden alitukset olisi järkevintä tehdä hieman kauempana risteyksestä, koska pyörätiet ja alikulkusillat hankaloittaisivat poraamista. Tiet ovat myös kapeampia kyseisiltä kohdilta. Tämä reitti (A) on hahmoteltu kuvaan 14. Reitti mahdollistaisi myös muuntamolle M263 menevän ilmalinjan korvaamisen maakaapelilla. Molemmat kaapelit liitettäisiin, myöhemmin esille tulevaan, puistomuuntamoon M0001.

Teiden alitusten yhteydessä on hyvä ajatella myös muita johtolähtöjä sekä niiden mahdollista saneeraustarvetta tai suunnitelmia. Tällä hetkellä Pursialan sähköasemalta lähtevät neljä ilmalinjalähtöä (A1K03, A1K05, A1K07 ja A1K19) ylittävät Lappeenrannantien lähellä sähköasemaa. Tätä työtä pohtiessa on herännyt ajatus vaihtaa kyseiset johtolähdöt maakaapeleiksi heti sähköasemalta lähdettäessä, jollakin aikavälillä. Tämä ajatus on hyvä ottaa huomioon tässä vaiheessa, koska uuden johtolähdön tienalituksen yhteydessä tulisi tehdä varaus myös neljälle muulle kaapelille. Vaihtoehtona olisi alittaa tie useammalla muoviputkella tai yhdellä, esimerkiksi teräksisellä, isolla putkella. Ison putken sisälle voidaan asentaa jokaiselle kaapelille oma muoviputki. Tämän yhteisen tienalituksen tarkempaa paikkaa tulisi etsiä kuvan 14 osoittamasta reitiltä (B). Uuden johtolähdön kannalta tämä reitti on pidempi, mutta toisi mukanaan muita lisähyötyjä tulevaisuudessa.



**KUVA 14. Iso risteysalue**

### 8.2.2 Laajaharjun alueen käsittely

Uuden johtolähdön reitti olisi järkevää viedä Laajaharjun asuinalueen läpi, koska samalla olisi mahdollista päästä eroon kahdesta pylväsmuuntamosta korvaamalla ne yhdellä puistomuuntamalla (M0001). Laajaharju on pääasiassa omakotitaloaluetta ja alue on valmiiksi rakennettu, joten tiedossa on kohtuullisen tarkat sähkönkulutukset. Tämän perusteella uuden puistomuuntajan sijoitus ja mitoitus voidaan mieltä hyvin tarkasti.

Maakaapelin ainoa reittivaihtoehto kulkee Tuukkalantien mukaisesti. Reitti on suurin mahdollinen ja sen varrelle olisi järkevää sijoittaa uusi puistomuuntamo. Kaapeli tulisi kaivaa jalkakäytävään, koska muuten maasto kyseisellä alueella on todella kallioista ja haastavaa. Samaan kaivantoon on mahdollista upottaa uudet PJ-kaapelit. Kahden muuntamon korvaaminen yhdellä muuntamalla onnistuu helposti PJ-puolen kaapeloinneilla. Laajaharjun KJ-kaapelin reitti, uuden puistomuuntamon (M0001) sijoituspaikka ja nykyiset pylväsmuuntamot (M148 ja M263) on esitetty kuvassa 15.

Yksi tärkeä etu Laajaharjun alueen käsittelyssä on pylväsmuuntajan M148 korvaaminen puistomuuntajalla. Tällä muutoksella päästäisiin eroon noin 400 metriä pitkstä ilmalinjasta, joka ylittää sekä Moisiolammen että Lappeenrannantien.

Toisen pylväsmuuntajan (M263) poistaminen mahdollistaisi johtolähdön A1K19 yhtenäisen maakaapeloinnin sähköasemalta erottimelle E412, joka sijaitsee Laajalammen puolella. Tämä ratkaisu vahvistaisi kyseistä johtolähtöä ilmalinjojen jäädessä pois sähköaseman suunnalta.



KUVA 15. Laajaharju

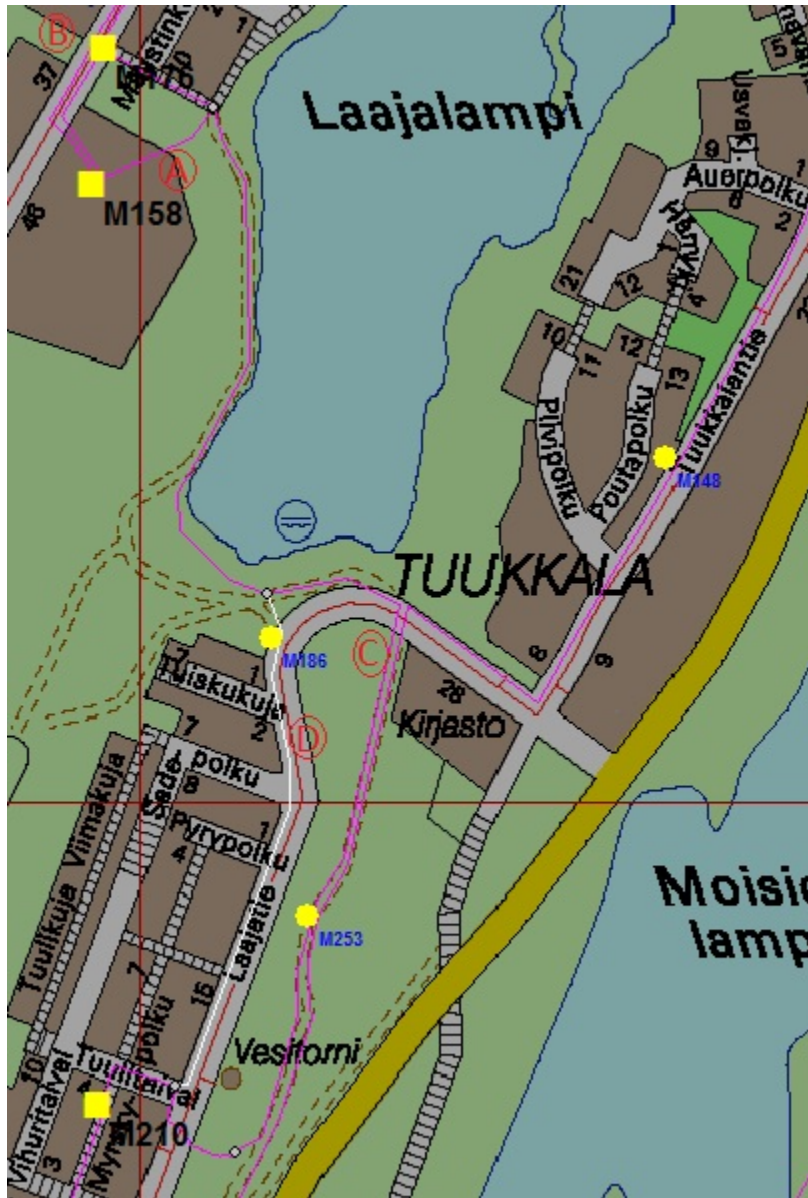
### 8.2.3 Laajalampi – Kaituenmäki -KJ-linja

Tällä hetkellä Laajalammelta on KJ-ilmalinjayhteys Kaituenmäelle. Yhteys on vuosien saatossa aiheuttanut ongelmia lumikuormien ja myrskyjen aikana. Muuntajien M158 ja M186 välinen linja ei ole pitkä, vain noin puoli kilometriä. Tämän yhteyden kaapelointi parantaisi sähkönjakeluvarmuutta huomattavasti. Kaapelointiin ei voida hyödyntää nykyistä ilmalinjareittiä, koska maaperä alueella on pääosin kalliota. Kaapeli on tämän vuoksi vietävä Laajalammen rannassa menevää lenkkipolkua pitkin, joko suoraan muuntamolta M158 (A) tai muuntamon M176 (B) kautta.

Kaituenmäen puolella Laajalammelta tuleva kaapeli yhtyisi lähellä uimarantaa samaan kaivantoon Laajaharjun suunnasta tulevan uuden johtolähdön kanssa (C). Molemmat kaapelit jatkaisivat samassa kaivannossa, kunnes Laajalammelta tuleva kaapeli haarautuisi muuntamolle M210 uuden kaapelin jatkaessa suoraan uudelle erotinasemalle.

Yksi vaihtoehto Laajalammelta tulevalle kaapelille on suurempi, Laajatien mukaisesti menevä reitti (D). Jalkakäytävää pitkin menevä lyhyempi reitti mahdollistaisi samalla PJ-verkon uusimisen alueella. Ratkaisu helpottaisi samalla muiden muutosten tekoa Kaituenmäen alueella. Kaikki reittivaihtoehdot (A-D) on esitetty kuvassa 16.





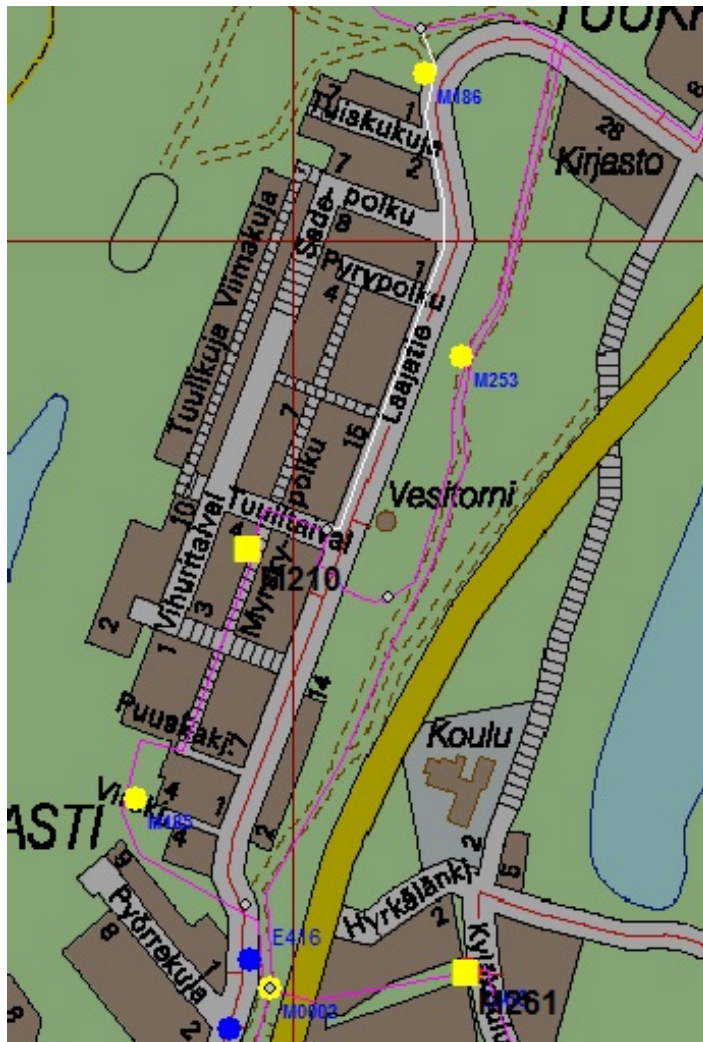
KUVA 16. Laajalampi- Kaituenmäki

#### 8.2.4 Kaituenmäen alueen käsittely

Kaituenmäen asuinalue on myös valmiiksi rakennettua omakoti-, rivi- ja kerrostalo- aluetta. Alueella sijaitsee tällä hetkellä yhden puistomuuntamon lisäksi kolme pyl- väsmuuntamo. Puistomuuntamo M210 sijaitsee keskeisellä ja hyvällä paikalla. Muuntaja on tällä hetkellä kooltaan 315 kVA. Muuntamossa on vapaana yksi KJ- kenno, jota voisi hyödyntää jatkamalla nykyistä kaapelointia uudelle erotinasemalle. Näin muuntaja saataisi kytkettyä renkaaseen, joka parantaisi muuntamon käyttövar- muutta huomattavasti. Alueen muuntajien kokonaismäärää olisi mahdollista pienentää vaihtamalla muuntaja M210 suurempaan (800 kVA) ja vahvistamalla PJ-yhteyksiä. Näillä toimilla pienet (200 kVA) pylväsmuuntajat M186 ja M253 olisi mahdollista

poistaa käytöstä kokonaan. Lisäksi pylväsmuuntaja M185 (200 kVA) olisi mahdollista korvata uudella puistomuuntamolla. Kaikki muutokset on esitetty kuvassa 17.

Ilman PJ-puolen muutoksia ei ole järkevää tehdä myöskään KJ-puolen uudistuksia, koska KJ-kaapeloinnit edellyttävät joka tapauksessa katujen osittaista aukaisua. Tämänhetkinen PJ-verkko on pääosin AMKA-linjaa, ja niiden siirtäminen maahan onnistuisi KJ-kaapelointien yhteydessä. On muistettava, ettei kaikkia PJ-uudistuksia tarvitse tehdä kerralla, vaan olisi järkevää edetä katu kerrallaan.



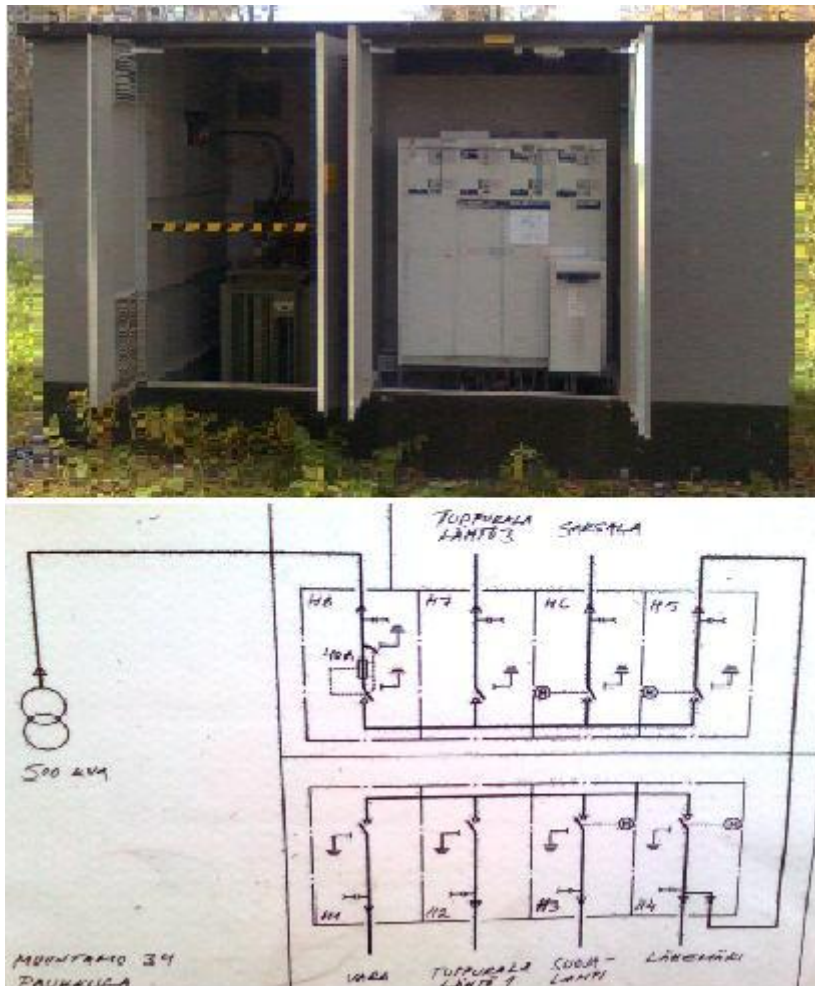
KUVA 17. Kaituenmäki

### 8.2.5 Uusi erotinasema

Kuten aikaisemmin todettiin, erotinasema kannattaa rakentaa puistomuuntamoksi. Uuden erotinaseman paikka (M0003) on esitetty kuvan 17 alareunassa Pyörrekujan alkupäässä. Paikka on hyvin looginen ja korvaa samalla erottimet E300 ja E416.

Muuntamossa on kaksi kiskoa, jotka voidaan erottaa toisistaan. Lisäksi muuntamossa on kolme tai neljä normaalia KJ-erotinta ja yksi muuntajaerotin. Tämä tekninen ratkaisu mahdollistaa kahden eri lähdön jännitteen käyttöä kiskoilla. Myös kahden eri aseman jännitteitä on mahdollisuus käyttää kiskoerottimien ollessa auki. Kuvassa 18 on esitetty vastaavalla idealla toteutettu puistomuuntamo, jonka kytkentäkaavio havainnollistaa muuntamon kytkentämahdollisuuksia.

Muuntajan koko on valittava kulutuksen mukaisesti. Kaikki pylväsmuuntamon M185 kuluttajat, sekä osa nykyisen muuntajan M210 kuluttajista siirrettäisiin uuden puistomuuntamon piiriin PJ-ratkaisuin. Ratkaisu keventäisi hieman muuntajan M210 kokonaisuormaa ja samalla muuntamo M185 poistettaisiin kokonaan. Uuden muuntajan koko olisi näillä ratkaisuilla joko 315 tai 500 kVA.

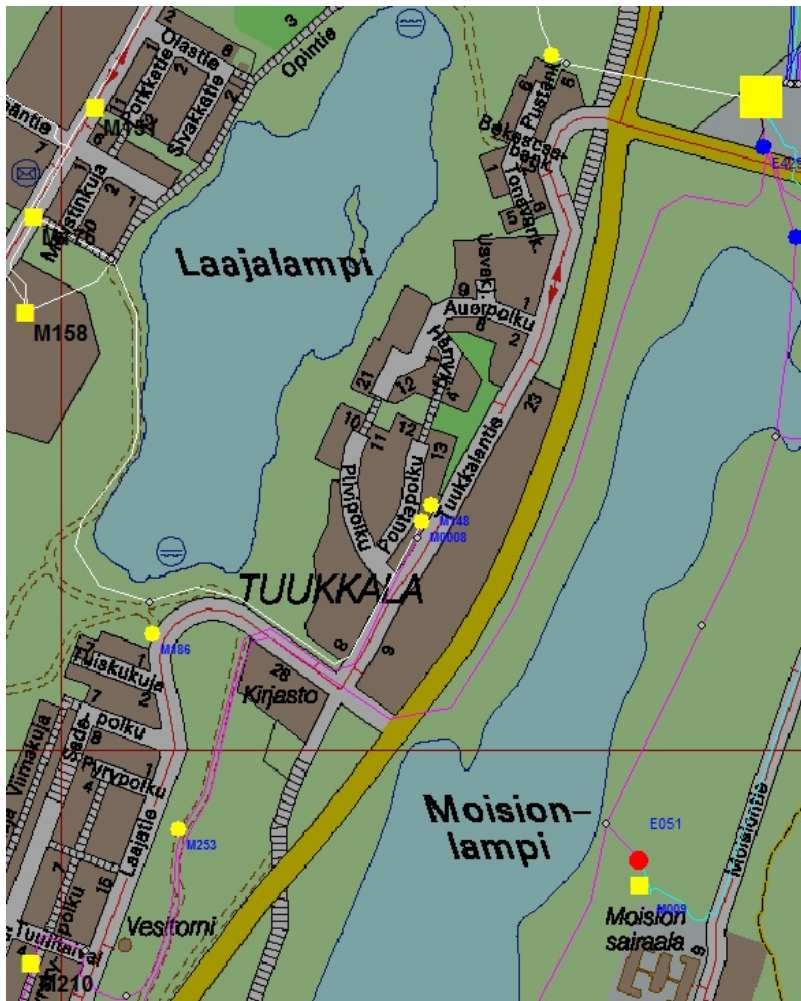


**KUVA 18. Puistomuuntamo**

### 8.3 Vaihtoehto C

Kolmantena vaihtoehtona on noussut esille hieman yksinkertaistettu vaihtoehto, jossa uusi johtolähtö pyrittäisiin viemään mahdollisimman suoraan uudelle erotinasemalle. Samalla kuitenkin pyrittäisiin saamaan aluekohtaiset saneeraussuunnitelmat mukaan Laajaharjun ja Kaituenmäen osalta hieman edellisistä suunnitelmista muokattuina.

Yksi vaihtoehto olisi korvata Laajaharjun muuntamo M148 puistomuuntamalla M0008 ja yhdistää se Laajalammen lähtöön. Tämä ratkaisu mahdollistaisi pienemmät kaivutyöt Laajaharjun alueella sekä uuden johtolähdön tuomisen Lappeenrannantien vartta pitkin maakaapelina Kaituenmäelle saakka. Uusi yhteys olisi siis suora linja sähköasemalta uudelle erotinasemalle, mikä luonnollisesti vahvistaisi yhteyden käytövarmuutta entisestään. Laajalammelta muuntamolta M176 tuleva kaapeli ja uusi kaapeli yhtyisivät samaan kaivantoon Laajatien alkupäässä ja jatkaisivat siinä Kaituenmäen puolelle. Ratkaisu edellyttäisi, että Laajalammelta tuleva kaapeli tekisi mutkan puistomuuntamon M0008 kautta, mutta kaapelin lisatarve ei ole merkittävän suuri. Tämä ratkaisu on esitetty kokonaisuudessaan kuvassa 19. Nämä linjaukset eivät vaikuta Kaituenmäen suunnitelmiin, vaan niissä voitaisiin edetä aikaisemmin esille tulleiden ideoiden mukaan.



KUVA 19. Vaihtoehto C

## 9 ALUEEN MUUT 20 KV VERKON MUUTOKSET

Uuden johtolähdön suunnittelu ja käyttöönotto on tärkeysjärjestyksessä ensimmäisenä koko alueen sähkönjakeluvarmuuden parantamiseksi. Samalla on myös hyvä hieman miettiä alueen muun verkon kehityssuuntia. Kaiken kaikkiaan alueella on useita pieniä muuntopiirejä, joista iso osa on yksittäisten ilmalinjojen päässä. Muutoksilla olisi mahdollista päästä eroon yksittäisistä johtohaaroista ja poistaa huonokuntoisimmat ja vikaherkimmät paikat pois verkosta. Tilannetta kannattaa tarkastella johtohaara ja alue kerrallaan.

### 9.1 Moision alue

Kuten jo aikaisemmin todettiin, Moision alue ja varsinkin Saimaan puoleinen ranta on tulevana vuosina suurten muutosten edessä. Mikkelin kaupunki on aloittamassa yleis- ja asemakaavaudistuksen alueelle, joiden tarkoitus on vauhdittaa Asuntomessujen

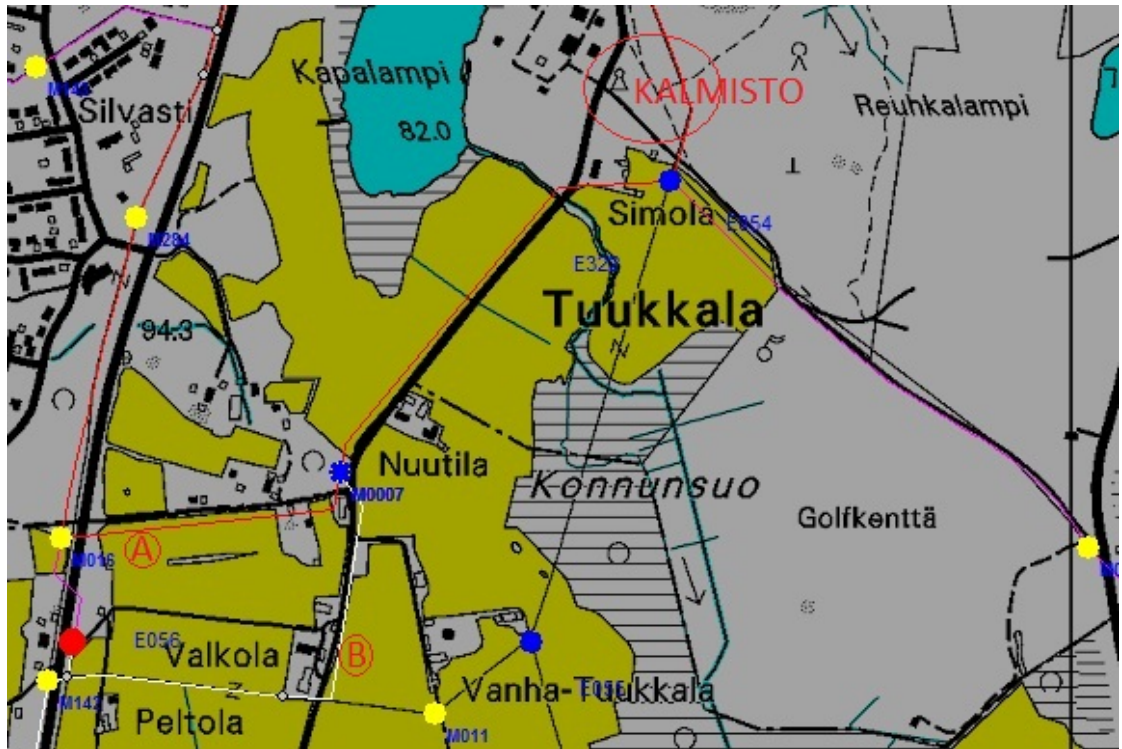
saantia Mikkeliin vuodeksi 2017. Sähköverkon suunnitelmien suhteen on edettävä maltillisesti, koska tulevat kaavat vaikuttavat huomattavasti verkostosuunnitelmien lopputulokseen. Tämä vuoksi Moision alue jätetään, alkusuunnitelmista poiketen, käsittelemättä tarkemmin tässä opinnäytetyössä.

## 9.2 Tuukkalan alue

Tuukkalan alue on peltomaista maalaisaluetta. Alueella sijaitsee omakotitaloasutusta ja muutama maatalo. Nykyinen sähkölinja on vanhaa ilmalinjaa, jota hieman muuttamalla olisi mahdollista parantaa linjan käyttövarmuutta.

Uusi linja olisi järkevintä toteuttaa ilmalinjalla, mutta maakaapelointikaan ei ole pois suljettu vaihtoehto. Kaapelointi olisi järkevää ainoastaan, jos koko lähdön alkupää olisi myös kaapeloitu. Tämä edellyttäisi, että kaikki sairaalatoiminnot poistuvat Moision alueelta, jolloin Moision sairaalalle menevä kaapeli voitaisiin ottaa koko jakeluverkon käyttöön. Vaihtoehto on olemassa, mutta se on riippuvainen koko Moision alueen kehittämissuunnitelmista, joita Mikkelin kaupunki kovasti työstää eteenpäin.

Kuvaan 20 on hahmoteltu uuden linjan paikka. Kuvaan on merkitty myös risteysalueella sijaitseva vanha kalmisto, joka on suojeltu kohde, joten se on kustannussyistä järkevä kiertää. Uusi linja olisi luontevaa siirtää tien laitaan vasemmalle erottimen E054 jälkeen. Tämän muutoksen avulla päästäisiin eroon vikaherkästä Konnunsuon pätkästä, joka on hankalakulkuista maastoa ja suhteellisen kaukana tiestä. Samalla myös muuntajan M011 siirtoa uuden linjan varteen olisi syytä miettiä. Siirto mahdollistaisi vanhojen linjojen purkamisen kokonaan pois, mikäli latvahaarojen uudet suunnitelmat toteutuisivat sekä Lappeenrannantien että Porrassalmentien suunnilla. Tuukkalan alueen uuden linjan yhdistäminen Lappeenrannantien varressa jo olevaan linjaa olisi mahdollista toteuttaa kahta eri reittiä. Molemmat linjavaihtoehdot (A ja B) ja muuntajan M011 uusi paikka (M0007) on esitetty kuvassa 20.

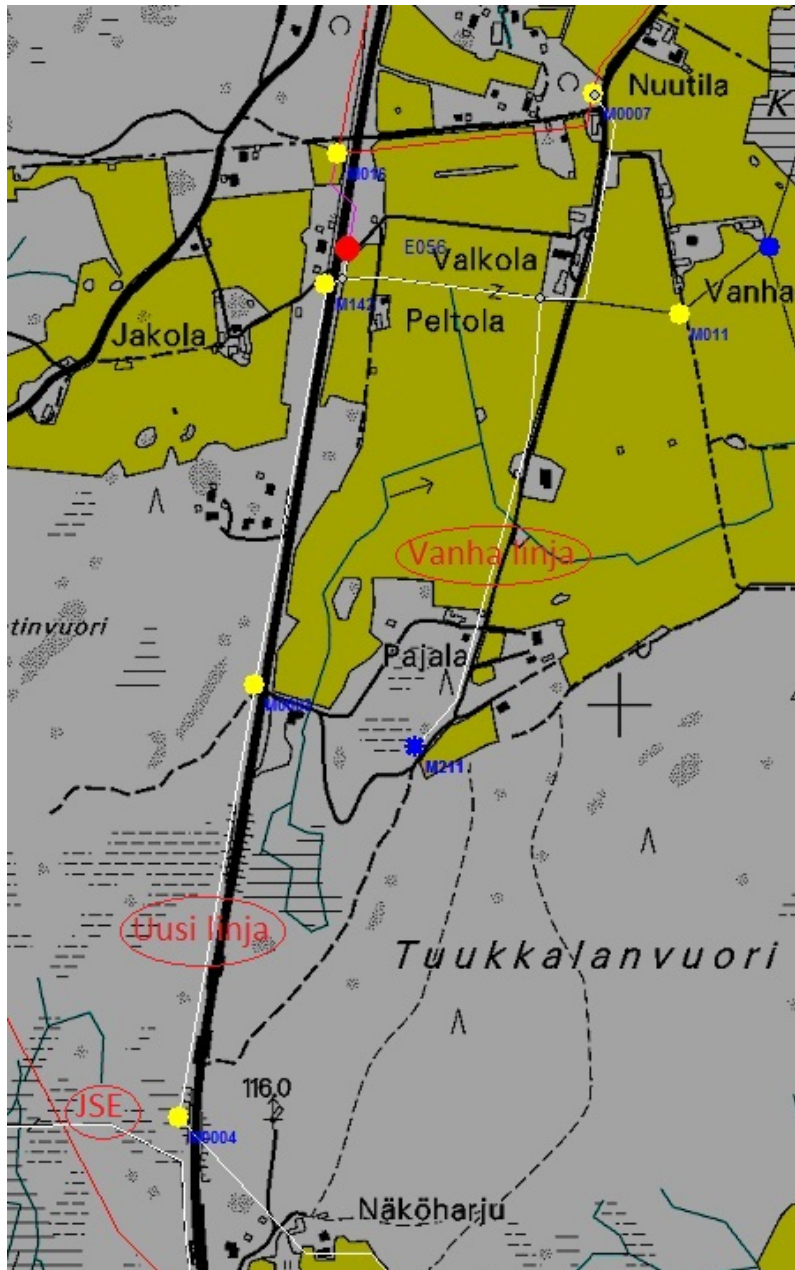


**KUVA 20. Tuukkala**

### 9.3 Lappeenrannantien suunta

Suunnitellun uuden erotinaseman kohdalta etelään jatkuva ilmalinja kulkee Lappeenrannantien varressa ja linja on hyvässä kunnossa. Alueella sijaitsee Silvastin asuinalue, joka saa sähkönsä juuri kyseisestä linjasta. Pienen muutoksen linjaan voisi tehdä sen kääntyessä Tuukkalan suuntaan. Yksi vaihtoehto olisi jatkaa linjaa valtatie reunaan myöten lähes ESE-Verkon ja Järvi-Suomen Energian (JSE) jakelurajaan asti. Tämä mahdollistaisi KJ-yhteyden rakentamisen kahden jakeluverkkoyhtiön välille. Yhteyttä olisi mahdollista hyödyntää suurimmissa vikatilanteissa tai huoltotoimissa.

Linjauudistuksen jälkeen olisi mahdollista poistaa pylväsmuuntamolle M211 osin metsässä menevä ilmalinja. Myös itse muuntamon sijaintia tulisi harkita ja vaihtoehtona olisi siirtää se valtatie reunaan. Muuntaja on hyvin pienellä kuormalla. Uudesta ilmalinjasta tulisi alle kilometrin mittainen. Saman verran vanhempaa ilmalinjaa saataisi poistettua vikaherkemmästä metsästä. Uusi ja vanha sekä JSE:n linjat on esitetty kuvassa 21.



**KUVA 21. Lappeenrannantien uudistukset**

#### 9.4 Kyyhkylä- Lenius- johtohaarat

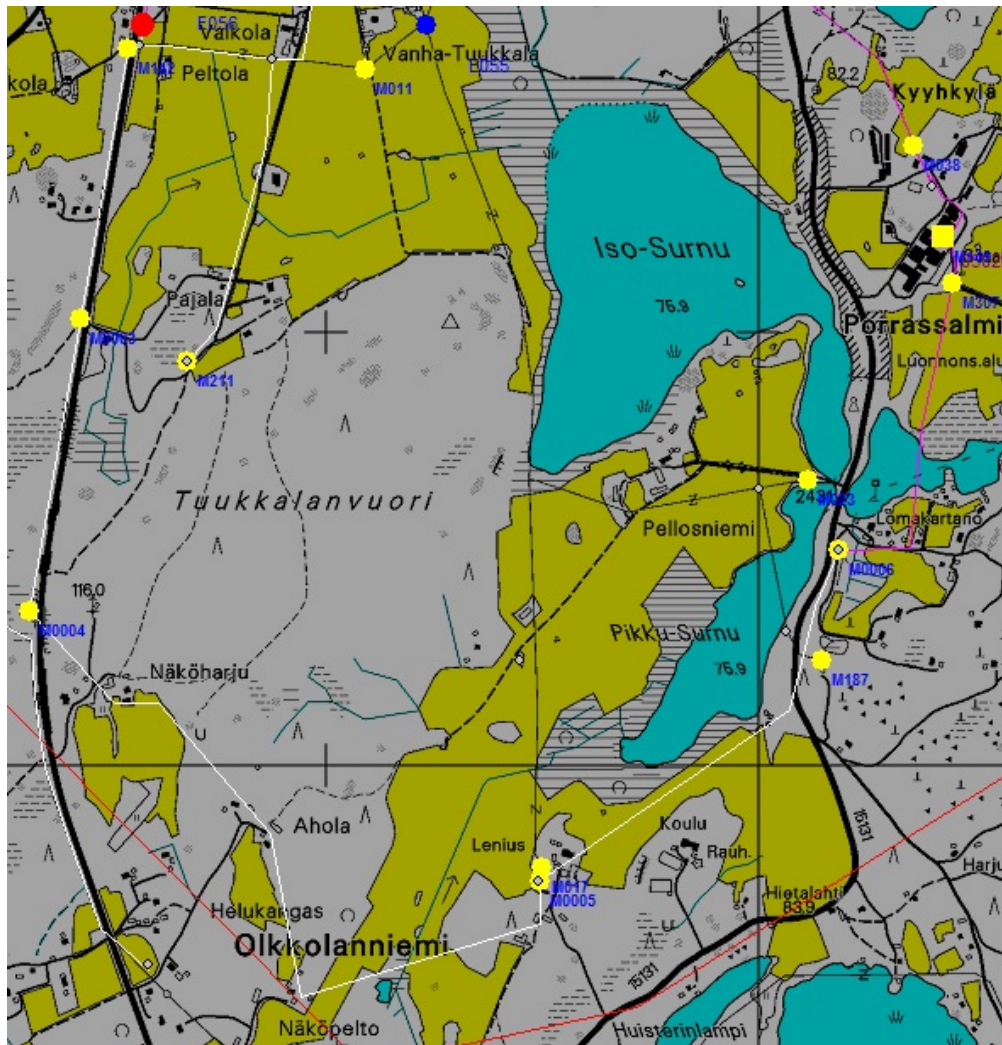
Alueen perimmäisen ja pisimmän haaran kehittämisessä olisi syytä harkita yhden kilovoltin järjestelmän käyttöönottoa. Muuntajat M17, M23 ja M187 ovat kulutukseltaan pieniä ja suhteessa muuhun verkkoon pitkän johtohaaran päässä.

Kyyhkylän alueelle menevä 20 kV ilmalinja kulkee hyvin, erottimelta E54, tienvarressa Porrassalmentiehen saakka. Linja jatkaa sen jälkeen metsässä päättyen Kyyhkylän kuntoutuskeskuksella sijaitsevaan muuntamoon M307. Kyseistä metsälinjaa ei ole



mahdollista siirtää tien varteen, koska Kyyhkylään menevän tien risteysalueen molemmin puolin on luonnonsuojelualue.

Kyyhkylän alueen sähkönjakeluvarmuutta olisi mahdollista parantaa rakentamalla 1 kV jakelurengas Kyyhkylästä Leniukseen ja sitä kautta Lappeenrannantien varteen kaavailtuun uuteen linjaan. Tähän linjaukseen olisi mahdollista hyödyntää jo olemassa olevaa PJ-verkkoa. Kaiken kaikkiaan 1 kV linja olisi mahdollista rakentaa käyttämällä linjan molemmissa päissä yhtä kolmikäämistä muuntajaa (20kV/1kV/400V) sekä kahda 1 kV/400V muuntajaa. Nämä muuntajat sijoitettaisiin Leniukseen ja Porrassalmentien varteen. Leniuksen 1 kV muuntaja korvaisi nykyisen muuntajan M017. Porrassalmentien varteen rakennettavalla 1 kV/400V muuntajalla korvattaisiin muuntajat M023 ja M187. Jakelurenkaan käyttöönotolla päästäisiin eroon alueen yksittäisestä pisimmästä, erottimelta E055 lähtevästä, 20 kV johtohaarasta eroon. Alueen kehittämissuunnitelma ja uusi linjaus on esitetty kuvassa 22.



**KUVA 22. 1 kV verkko**

## 10 KUSTANNUSLASKELMAT UUDELLE JOHTOLÄHDÖLLE

Eri vaihtoehtojen teknis-taloudellinen tarkastelu on tehtävä ennen lopullista päätöstä. Tässä esimerkissä käsitellään ainoastaan uutta johtolähtöä ja sen eri toteutusvaihtoehtoja. Taloudellinen vertailu on tärkeää ja tässä tapauksessa suhteellisen helppoa, koska tiedossa on uuden johtolähdön reittivaihtoehdot ja toteutustavat. Tarkoituksena on vertailla eri vaihtoehtoja toisiinsa ja löytää sitä kautta järkevin tapa toteuttaa uusi johtolähtö.

### 10.1 Head Power

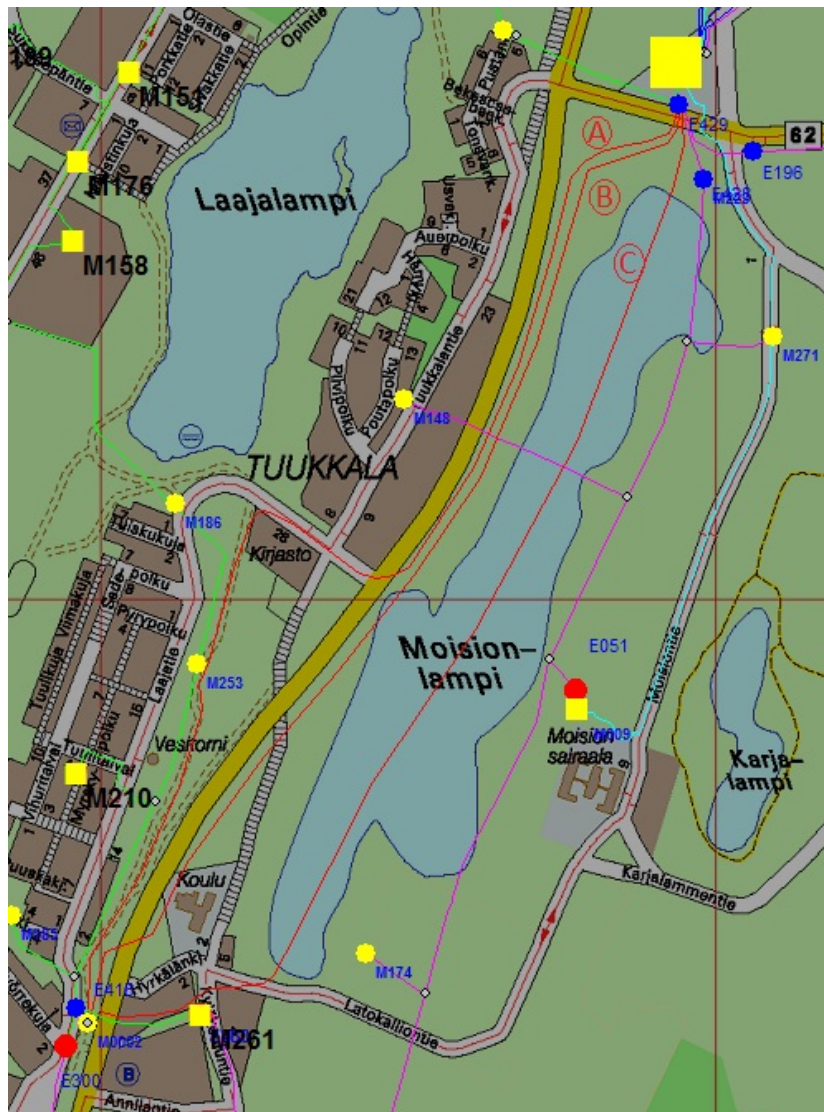
Kustannusten laskennassa apuvälineenä käytetään Head Power - ohjelmistoa, joka on kehitetty hyvin yksityiskohtaisten laskelmien laadintaan. Ohjelmiston ominaisuuksiin kuuluu myös teknisiä kokoonpano- ja kokoamisohjeita sekä kaikenkattavasti myös muita rakentamiseen liittyviä faktoja, kuten turvallisuusohjeita. Ohjelmisto ja sen pohjalta muokatut sovellukset ovat hyvin käytettyjä apuvälineitä sähkölaitosrakentamiseen liittyvien laskelmien laadinnassa. Työn tilaajan ja urakoitsijan on mahdollisuus laskea hyvin yksityiskohtaisesti yksittäisen urakan kokonaishinta joko kokonaisurakana tai yksikköhinnoitteluna.

Yksikköhinnoittelussa jokaiselle työlle on oma erillinen hinta, esimerkiksi metriä kohden, ja työ sisältää usein siihen kuuluvat materiaalit ja muut kustannuksia tuovat seikat. Urakkahinnoittelu taas sisältää kaikki kustannukset, jotka koko urakka sisältää. Urakkahinnoittelu on täten paljon karkeampi ja mahdollisesti myös hieman riskialttiimpi mahdollisten ongelmien ja lisätöiden tuomien kustannusten vuoksi, jos niitä ei ole osattu ottaa huomioon hinnoittelun yhteydessä. Usein suuremmilla työn tilaajilla on käytössä tiettyjä sopimusurakoitsijoita, jotka noudattavat enemmän tai vähemmän sopimushintoja sekä yhteisiä pelisääntöjä ongelmatilanteiden ratkaisuja varten. Kaikki hinnoittelut ja urakat pohjautuvat kuitenkin sopimukseen, jotka molemmat osapuolet ovat hyväksyneet ja pyrkivät pitämään niistä kiinni. Sopimukseen on usein lisätty lisäkohtia sopimusrikkeistä ja muista mahdollisesti esille tulevista ongelmista. Paine on molemminpuolinen, jonka vuoksi kustannuslaskelmien paikkaansa pitävyys ja niihin panostaminen on hyvin keskeisessä osassa kaikkien projektien läpiviennissä.

## 10.2 Vaihtoehtojen vertailu

Vertailulaskelmiin on loogisinta ottaa mukaan kaikki esille tulleet toteutustavat uudelle johtolähdölle. Tarkoituksena on selvittää eri rakentamiskäytösten kustannuseroja ja miettiä eri vaihtoehtojen ominaisuuksia myös teknisiltä ominaisuuksiltaan. Teknista-taloudellinen kokonaistarkastelun loppupäätelmät tulevat olemaan ratkaisevassa roolissa lopullista päätöstä tehtäessä.

Kaikissa ratkaisuissa laskelmat on tehty lyhimmän ja yksinkertaisemman reittivaihtoehdon mukaisesti, jotta laskelmat olisivat mahdollisimman vertailukelpoisia toisiinsa nähden. Kaikki reittivaihtoehdot (A-C) on esitetty kuvassa 23, jossa A on maakaapeli, B ilmalinja ja C vesistökaapeli.



KUVA 23. Kustannuslaskelmissa käytetyt johtoreitit

Esimerkit on laskettu yksikköhinnoittelulla, eli jokaiselle eri työlle on sopimuskohtaiset hinnat. Liitteeseen 3 on koostettu jokaisen kolmen vaihtoehdon laskelmat, kuvaukset ja yksikkömäärät kustakin työstä. Sopimusteknisistä syistä liitteestä on poistettu yksikköhinnat.

### 10.3 Tulokset

Taulukkoon 3 on koostettu kaikkien vaihtoehtojen kokonaiskustannukset. Tuloksista huomataan, että maakaapelointi- ja vesistökaapeliratkaisut ovat lähes samanhintaisia ja ilmalinja on lähes puolet halvempi. Kokemuksen perusteella voidaan todeta, että kustannusero maakaapeloinnin ja ilmalinjan välillä on odotetunlainen. Vesistökaapelointiin liittyvät kokemukset ovat niin vähäisiä, että tässä työssä saadut tulokset ovat mielenkiintoisia ja antavat lisätietoa tämän tehtävän lisäksi myös tulevaisuutta ajatellen.

Tulosten perusteella voidaan todeta, että lopullisen päätöksen tekemiseen tarvitaan vielä vahva tekninen perustelu. Eri toteutustapojen kustannuserot ovat toki prosentuaalisesti suuria, mutta kokonaisuudessaan ei niin merkittäviä, että taloudellinen rajoite ohjaisi voimakkaasti valintoja.

#### TAULUKKO 3. Kustannuslaskennan kooste

Linjatyyppi	Etäisyys sähköasemalta (m)	Kustannus (€)
Suora maakaapeli	2200	110 000
Suora ilmalinja	2000	60 000
Vesikaapeli	2000 (vesimatka 1400)	106 000

Suoran maakaapelin käyttöä puoltaa sen alhainen vikaantumisherkkyys, jolloin sähkönjakeluvarmuus olisi paras mahdollinen. Myös valtiovallan ”kannustus” kaapeloinnin lisäykseen tulee ottaa huomioon päätöksiä tehtäessä. Huonoja puolia maakaapelissa on sen rakentamisen korkea hinta ja mahdollisten vikojen vaikea paikannus. Samat ominaisuudet ovat vesikaapelilla, mutta mahdollisten kaapelivaurioiden paikannus ja korjaus ovat maakaapeliakin hankalampaa. Ilmalinjan rakentamisen hyviä puolia ovat sen edullisemmat rakennuskustannukset sekä sen sijoitus valtatie reunaan. Ilmalinja on herkempi vikaantumaan, mutta vikojen löytäminen ja korjaaminen on yleensä no-

peampaa. Suora johtolähtö sähköasemalta erotinasemalle on vaihtoehto muiden joukossa, mutta lopullinen ratkaisu olisi järkevää tehdä ottamalla huomioon myös olemassa olevan verkon saneeraustarpeet ja -mahdollisuudet.

## **11 JOHTOPÄÄTÖKSET**

Tälle opinnäytetyölle oli olemassa konkreettinen tarve, joka motivoi tekemään suunnitelmia parhaalla mahdollisella tavalla. Samalla huomasin suunnittelun merkityksen laajuuden koko jakeluverkkotoiminnan kannalta. Toteutukseen menevät suunnitelmat vaikuttavat parhaimmillaan vuosikymmeniä jakeluverkon toimintaan ja sitä kautta muun muassa sähkön laatuun ja toimitusvarmuuteen. Investoinnit ovat usein suuria ja saneerausten väliajat pitkiä, joten suunnitelmissa on osattava huomioida hyvin monia asioita. Kokonaisvaltainen ja hyvin laadittu suunnitelma edesauttaa hyvän lopputuloksen saavuttamisessa. Myös tässä opinnäytetyössä esille tulleet ongelmanratkaisukeinot ja suunnitelmat tulevat vaikuttamaan pitkään ESE-Verkon jokapäiväiseen toimintaan.

Työssä esille tulleet ideat ja kehityskohteet ovat hyvin monipuolisia. Niissä on pyritty huomioimaan alueen koko verkon tarpeet ja kehitysmahdollisuudet. Esille ei noussut yhtä selvästi yli muiden olevaa ideaa tai kokonaisuutta, vaan lopullinen ratkaisu tulee olemaan mahdollisimman hyvä teknis-taloudellinen kompromissi. Suunnitellut verkostomuutokset tulevat olemaan yhtiön työllistämällä tulevina vuosina ja uusi johtolähtö on jo osin budjetoitu ensi vuoden investointilistalle. Alueen koko verkon muutokset tulevat ajoittumaan useammalle vuodelle, ja niitä toteutetaan järkevissä kokonaispakeeteissa.

Sain paljon apua ongelma-kohtien selvittelyyn hyvin monelta ESE-Verkon työntekijältä ja kaikki osapuolet suhtautuivat oikealla vakavuudella tähän työhön. Työn aikana opin käyttämään ABB:n verkkotietojärjestelmä Integraa sekä perehdyin Head Power-ohjelmiston sisältöön ja sen laskentaominaisuuksiin. Järjestelmien tuntemus ja niiden hallinta ovat keskeisessä osassa myös suunnittelijan arjessa, ja sain siihen paljon hyvää oppia. Kaiken kaikkiaan olen tyytyväinen lopputulokseen. Nyt käytössä on selkeitä ratkaisumalleja, ja niitä tarkentamalla on hyvä edetä kohti lopullisia suunnitelmia.

## LÄHTEET

Adato Energia Oy 2009. Maastosuunnittelu. Seminaari. Etelä-Savon ammattiopisto, Mikkeli. 1.- 2.-10.2009.

Ahdelma, Jukka 2012. Mikkeli sijoittaa messut Saimaan rannalle. Länsi-Savo 7.9.2012, 2.

Aura, Lauri & Tonteri, Antti J. 1996. Sähkökoneet ja tehoelektroniikan perusteet. Porvoo: WSOY.

CEER (Council of European Energy Regulators) 2003. Second benchmarking report on quality of electricity supply. WWW-julkaisu. [http://www.autorita.energia.it/allegati/pubblicazioni/volume\\_ceer2.pdf](http://www.autorita.energia.it/allegati/pubblicazioni/volume_ceer2.pdf). Päivitetty 09/2003. Luettu 6.6.2012.

Elovaara, Jarmo & Haarla, Liisa 2011. Sähköverkot 1. Helsinki: Otatieto Oy.

Järviö, J. 2006. Kunnossapito. Helsinki: Kunnossapitoyhdistys ry.

Lakervi, Erkki 1996. Sähkönjakeluverkkojen suunnittelu. Helsinki: Otatieto Oy.

Lakervi, Erkki & Partanen, Jarmo 2008. Sähkönjakelutekniikka. Helsinki: Otatieto Oy.

Liikennevirasto 2011. Sähköjohdot ja maantiet. WWW-julkaisu. [http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo\\_2011-04\\_sahkojohdot\\_ja\\_web.pdf](http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo_2011-04_sahkojohdot_ja_web.pdf). Luettu 28.6.2012.

Lohjala, Juha 2005. Haja-asutusalueiden sähkönjakelujärjestelmien kehittäminen – erityisesti 1000 V jakelujännitteen käyttömahdollisuudet. Lappeenrannan teknillinen yliopisto: Digipaino.

Suomen Standardoimisliitto SFS 2007. SFS- Käsikirja. Pienjänniteasennukset ja sähkötyöturvallisuus. 1. painos. Helsinki.

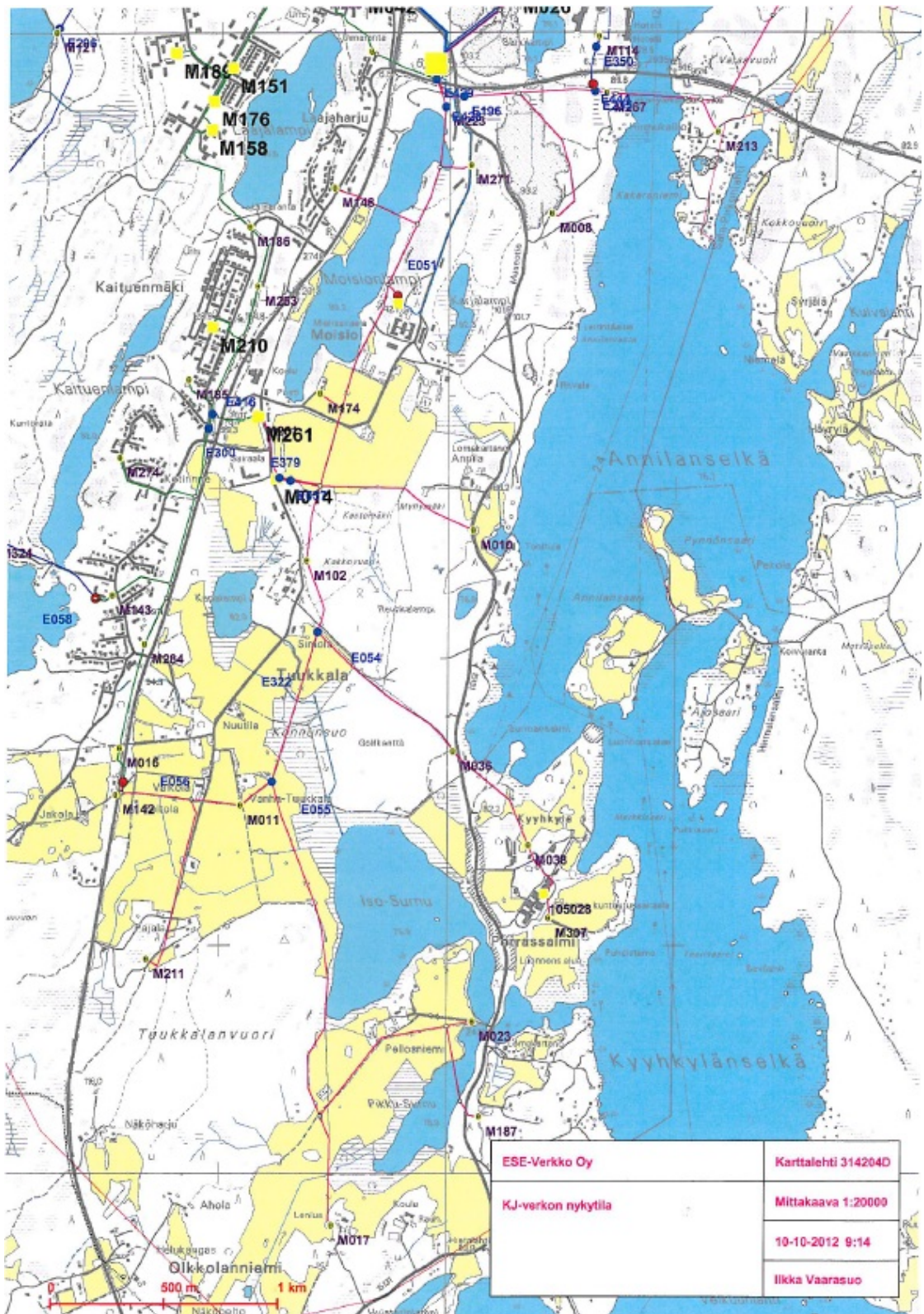
Energiamarkkinaviraston julkaisuja 1/2003. Sähkön laatu jakeluverkkotoiminnan arvioinnissa. WWW-julkaisu. [http://www.emvi.fi/files/Sahkon\\_laatu\\_TTY-LTY\\_1-2003.pdf](http://www.emvi.fi/files/Sahkon_laatu_TTY-LTY_1-2003.pdf). Päivitetty 18.8.2003. Luettu 12.6.2012.

LIITE 1.

Pursialan sähköaseman johtolähdöt

PURSIALA		Kaapelit			Energia	Muuntajan	Muuntajan	
Lähtö		Muuntaja	PJ yht.[m]	Asiakkaat	[kWh/a]	huipputeho [kW]	koko [kVA]	
<i>AIK15</i>	<i>Moisio</i>							
	Maaseutu	M307	256	3	45265	15,57	315	
		M284	4197	101	1060357	410,25	315	
		M274	5009	89	1056727	362,75	315	
		M271	368	46	99078	33,53	200	
		M261	923	14	1739350	372,09	500	
		M223	430	3	158611	56,52	200	
		M211	2727	12	226224	50,21	100	
		M187	2792	18	362480	99,35	200	
		M174	18	1	2700	0,97	200	
	Kyyhkylä	M149	1	1	1507000	540,00	500	
		M148	4228	110	630399	173,21	200	
		M143	3919	82	840544	380,51	315	
		M142	2015	12	349750	183,56	315	
		M102	707	6	73392	23,78	50	
		M038	435	25	419223	130,61	200	
		M036	1736	9	130201	68,53	100	
		M023	1707	12	212335	60,61	100	
		M017	2332	9	241843	59,06	100	
		M016	1518	10	30344	13,35	100	
		M014	1510	5	390847	128,40	200	
		M011	2656	11	237387	80,44	100	
		M010	908	6	370496	85,78	200	
		<i>Summa kohteesta Asiakkaat:</i>			<i>585</i>	<i>10184553</i>		
<i>AIK18</i>	<i>Moisio sairaala</i>							
	City	M009	2071	57	2259119	475,00	500	
		<i>Summa kohteesta Asiakkaat:</i>			<i>57</i>	<i>2259119</i>		
<i>AIK19</i>	<i>Laajalampi</i>							
	Taajama	M263	1251	24	376748	226,15	200	
		M253	1131	44	246755	68,91	200	
		M233	1891	38	603699	151,90	315	
		M210	2556	269	1052986	338,25	315	
		M206	4023	170	1123864	285,72	500	
		M189	2031	403	1213194	371,71	500	
		M186	1403	30	201495	63,73	200	
		M185	2075	40	340925	93,00	200	
		M176	615	166	648251	179,20	500	
		M158	976	402	1153435	375,95	800	
		M151	3308	279	1181934	345,69	500	
		<i>Summa kohteesta Asiakkaat:</i>			<i>1865</i>	<i>8143286</i>		

Alueen KJ- verkon nykytila





Alueen KJ- verkon nykytila



## Kustannuslaskelmat

Sähkönjakelun Yksiköt - Copyright HeadPower Oy					
Yksiköiden yksikköryhmä: Rakentamisyksiköt - Kokonaisyksiköt					
Tulosteen tyyppi: Hinnasto					
MAAKAAPELI					
Työnimi	Yks	Sisältää	Ei sisällä	€/yk	Määrä
Puistom. perustaminen, hyvä maapohja, ei up.	kpl	Perustuksen maanrakennustyöt massanvaihtoineen. Vaaditun tasoisen perustuksen, routasuojaukset ja salaojat. Kaapeliputkitusten asennuksen perustukseen. Potentiaalinojauksen kaivun ja asennuksen.	Muuntamon ja muuntajan asennusta. Maadoitusten kytkentää muuntamoon ja maadoituselektrodien asennusta. Louhintaa tai paalutusta.		1
Kj-kaapelin A240 asennus ojaan tai aurauksen yhteydessä	m	Kaapelin asennuksen kaapeliojaan tai asennuksen aurauksen yhteydessä. Ilmoitukset sijaintimittauksen tekijälle työselostuksen mukaisesti ennen kaapeliojan täyttöä.	Kaapeliojan kaivua ja peittoa. Kaapelin aurasta. Putkituksia, suojauksia ja varoitusnauhaa. Maadoitusköyden vetoa. Päätteiden ja jatkojen asennusta,		2130
Kj-kaapelin A240 veto putkeen	m	Kaapelin asennuksen putkeen. Tarvittavat asennuksen valmistelutyöt, putken katkaisut, läpivientien ja vetokohdan tiivistämisen. Ilmoitukset sijaintimittauksen tekijälle työselostuksen mukaisesti ennen kaapeliojan täyttöä.	Kaapeliojan kaivua ja peittoa. Putkitusta tai kaapelihyllyn asennusta. Suojauksia ja varoitusnauhaa. Maadoitusköyden vetoa. Päätteiden ja jatkojen asennusta, kytkentöjä ja		70
Kj-kaapelijatkon A95-300	kpl	Kj-maakaapelijatkon asentamisen sekä mahdollisen maadoituksen jatkamisen.	Kaivutöitä		4
Kj-kaapelin A95-300 sisäpäätteen asentaminen	kpl	Kj – maakaapelin sisä- ja pistokepäätteen tekeminen. Kaapelin kiinnitys ja kytkentä ilmaeristeiseen tai Sf6-kojeistoon. Merkinnät tilaajan ohjeen mukaisesti. Vaiheistus.			1
Kj-kaapelin kulmapistokepäätteen A90-300 asentaminen	kpl	Kj – maakaapelin sisä- ja pistokepäätteen tekeminen. Kaapelin kiinnitys ja kytkentä ilmaeristeiseen tai Sf6-kojeistoon. Merkinnät tilaajan ohjeen mukaisesti. Vaiheistus.			1
Kaapeliojan kaivu haja-asutusalueella tai rakentamattomalla taajama-alueella, pohja 40 cm.	m	Vapaaseen irtomaahan kaivettavan kaapeliojan kaivun, peiton, tiivistyksen ja tasauksen kaivuuta edeltävään tasoon. Varoitusnauhan asennuksen. Mahdollisten kaivusteiden sijainnin selvittämisen ennen kaivua. Ilmoitukset sijaintimittauksen tekijälle työselostuksen mukaisesti ennen kaapeliojan täyttöä.	Kaapelin asennusta, putkituksia tai suojakouruja. Suojahiekoitusta. Asfaltin, laatoituksen tai reunakivien purkua tai rakentamista. Nurmetusta tai muuta pinnoitusta. Sijaintimittauksia.		2100
Kaapelin suojaushiekan levitys	m3	Tarvittaessa suodatinkankaan asennus kaapeliojan pohjalle. Kaapeliojan pohjan päälle asennetaan min 100mm hienojakoista ja kivetöntä suojahiekkaa. Lisäksi kaapelin	Kaapelin asennusta tai ojan kaivua ja täyttöä. Putkitusta Kaapelin suojakourun ja -nauhan asennusta. Asfaltointia, nurmetusta		25
Kaapelisuojakourun lk A 140 mm asentaminen	m	Kaapelisuojakourun tai suojalevyn asentamisen. Tilaaja määrittää työselostuksessaan käytettävän suojakourun tai -levyn koon ja suojausluokan.	Kaapelin asentamista. Kaapeliojan kaivua ja täyttöä.		2100
Maadoitusköyden asennus kaapeliojaan	m	Maadoitusköyden levitys kaapeliojaan kaapelinvedon yhteydessä. Kytkenän maassa esim. muuntamomaadoitukseen. Kytkenän tarvittaessa molemmissa päissä.	Muita maadoituksia. Kaapeliojan kaivua ja peittoa		2200
Suunnattu poraus, sisältää 140-160 mm lk A muoviputken	m	Alitusputken tekemisen suunnatulla porauksella. Aloituskuoppien kaivun, täytön, tiivistyksen ja tasauksen. Määrittämisen mukaisen putken tilatun yksikön mukaisesti. Kaapelinvetoköyden asennuksen alitusputkeen. Tyhjäksi jäävien alitusputkien tulppauksen.	Muita kaivutöitä. Kaapelin tai maadoitusköyden vetoa. Sijoituslupien ja sijaintimittauksien tekoa.		70

## Kustannuslaskelmat

VESIKAAPELI					
Nimi	Yks	Sisältää	Ei sisällä	€/yk	Määrä
Puistom. perustaminen, hyvä maapohja, ei up.	kpl	Perustuksen maanrakennustyöt massanvaihtoineen. Vaaditun tasoisen perustuksen, routasuojaukset ja salaojat. Kaapeliputkitusten asennuksen perustukseen. Potentiaalinohjauksen kaivun ja asennuksen. Erillisen puistomuuntamon sokkelin asennuksen tarvittaessa. Pintamaan tasauksen ja viimeistelyn (nurmetus ja sorastus). Mahdolliset viranomaiskatselmukset.	Muuntamon ja muuntajan asennusta. Maadoitusten kytkentää muuntamoon ja maadoituselektrodien asennusta. Louhintaa tai paalutusta.		1
Kj-kaapelin A240 asennus veteen	m	Kaapelin laskun veteen. Tarvittaessa ankkuroinnin pohjaan. Ilmoitukset sijaintimittauksen tekijälle työselostuksen mukaisesti.	Kaapeliojan kaivua ja peittoa. Putkitusta, suojauksia ja varoitusnauhaa. Maadoitusköyden vetoa.		1400
<b>Sukellus</b>		Tarkistus	Asennusta		1400
Kj-kaapelin A240 asennus ojaan tai aurauksen yhteydessä	m	Kaapelin asennuksen kaapeliojaan tai asennuksen aurauksen yhteydessä. Ilmoitukset sijaintimittauksen tekijälle työselostuksen mukaisesti ennen kaapeliojan täyttöä.	Kaapeliojan kaivua ja peittoa. Kaapelin aurasta. Putkituksia, suojauksia ja varoitusnauhaa. Maadoitusköyden vetoa. Päätteiden ja jatkojen asennusta,		530
Kj-kaapelin A240 veto putkeen	m	Kaapelin asennuksen putkeen. Tarvittavat asennuksen valmistelutyöt, putken katkaisut, läpivientien ja vetokohdan tiivistämisen. Ilmoitukset sijaintimittauksen tekijälle työselostuksen mukaisesti ennen kaapeliojan täyttöä.	Kaapeliojan kaivua ja peittoa. Putkitusta tai kaapelihyllyn asennusta. Suojauksia ja varoitusnauhaa. Maadoitusköyden vetoa. Päätteiden ja jatkojen asennusta, kytkentöjä ja		70
Kj-kaapelijatkon A95-300 asentaminen	kpl	Kj-maakaapelijatkon asentamisen sekä mahdollisen maadoituksen jatkamisen. Mahdollisen kaapelisuojaan asentamisen.	Kaivutöitä		5
Kj-kaapelin A95-300 sisäpäänteen asentaminen	kpl	Kj – maakaapelin sisä- ja pistokepäänteen tekeminen. Kaapelin kiinnitys ja kytkentä ilmaeristeiseen tai Sf6-kojeistoon. Merkinnät tilaajan ohjeen mukaisesti. Vaiheistus. Mahdollisten ylijännitesuojien asennus, kytkentä ja maadoitus. Kaapelin maadoitusköyden kytkentä.			1
Kj-kaapelin kulmapistokepäänteen A90-300	kpl	Kj – maakaapelin sisä- ja pistokepäänteen tekeminen. Kaapelin kiinnitys ja kytkentä ilmaeristeiseen tai Sf6-kojeistoon. Merkinnät			1
Kaapeliojan kaivu haja-asutusalueella tai rakentamattomalla taajama-alueella, pohja 40 cm.	m	Vapaaseen irtomaahan kaivettavan kaapeliojan kaivun, peiton, tiivistyksen ja tasauksen kaivuuta edeltävään tasoon. Varoitusnauhan asennuksen. Mahdollisten kaivuusteiden sijainnin selvittämisen ennen kaivua. Ilmoitukset sijaintimittauksen tekijälle työselostuksen mukaisesti ennen kaapeliojan täyttöä.	Kaapelin asennusta, putkituksia tai suojakouruja. Suojahiekoitusta. Asfaltin, laatoituksen tai reunakivien purkua tai rakentamista. Nurmetusta tai muuta pinnoitusta. Sijaintimittauksia.		530
Kaapelin suojaushiekan levitys	m3	Tarvittaessa suodatinkankaan asennus kaapeliojan pohjalle. Kaapeliojan pohjan päälle asennetaan min 100mm hienojakoista ja kivetöntä suojahiekkää. Lisäksi kaapelin	Kaapelin asennusta tai ojan kaivua ja täyttöä. Putkitusta Kaapelin suojakourun ja –nauhan asennusta. Asfaltointia, nurmetusta		10
Kaapelisuojakourun lk A 140 mm asentaminen	m	Kaapelisuojakourun tai suojalevyn asentamisen. Tilaaja määrittää työselostuksessaan käytettävän suojakourun tai -levyn koon ja suojausluokan.	Kaapelin asentamista. Kaapeliojan kaivua ja täyttöä.		500
Maadoitusköyden asennus kaapeliojaan	m	Maadoitusköyden levitys kaapeliojaan kaapelinvedon yhteydessä. Kytkenän maassa esim. muuntamomaadoitukseen. Kytkenän tarvittaessa molemmissa päissä.	Muita maadoituksia. Kaapeliojan kaivua ja peittoa		2000
Suunnattu poraus, sisältää 140-160 mm lk A muoviputken	m	Alitusputken tekeminen suunnatulla porauksella. Aloituskuppien kaivun, täytön, tiivistyksen ja tasauksen. Määrityksen mukaisen putken tilatun yksikön mukaisesti. Kaapelinvetoköyden asennuksen alitusputkeen.	Muita kaivutöitä. Kaapelin tai maadoitusköyden vetoa. Sijoituslupien ja sijaintimittauksien tekoa.		70
Rannat		Rantojen ruoppausta			1

## Kustannuslaskelmat

ILMALINJA					
Nimi	Yks	Sisältää	Ei sisällä	Gyk	Määrä
Puistom. perustaminen, hyvä maapohja, ei up.	kpl	Perustuksen maanrakennustyöt massanvaihtoiheen. Vaaditun tasaisen perustuksen, routasuojaukset ja salaojat. Kaapeliputkitusten asennuksen perustukseen. Potentiaalinhjauksen kaivun ja asennuksen.	Muuntamon ja muuntajan asennusta. Maadoitusten kytkentää muuntamoon ja maadoituselektrodien asennusta. Louhintaa tai paalutusta.		1
Kj-kannatusrakenteen (avojohto tai PAS) asentaminen	kpl	Kj-kannatusrakenteen asennuksen eristimiseen pylvääseen. Johtimien sitomisen ja kiinnitykset.	Pylväs-, harus- ja tukirakenteita. Valokaarisuojien asennusta. Johtimien kiristystä.		16
Kj-kulmarakenteen (avojohto tai PAS) asentaminen kannatusorrella	kpl	Kulmakannatusrakenteen asennuksen eristimiseen pylvääseen. Johtimien kiinnitykset. Tilaaja ilmoittaa tarvittaessa työselostuksessaan käytettävät kannatuspitimet.	Pylväs-, harus- ja tukirakenteita. Valokaarisuojien asennusta. Johtimien kiristystä.		5
Kj-kulmarakenteen I- tai II- pylväs (avojohto tai PAS) asentaminen	kpl	Kulmarakenteen asennuksen eristimiseen pylvääseen. Johtimien kiinnitykset. Tilaaja ilmoittaa tarvittaessa työselostuksessaan käytettävät kannatuspitimet.	Pylväs-, harus- ja tukirakenteita. Valokaarisuojien asennusta. Johtimien kiristystä.		3
Kj-pääterakenteen I- tai II- pylväs (avojohto tai PAS) asentaminen	kpl	Pääterakenteen asennuksen eristimiseen pylvääseen. Johtimien kiristämisen, kiinnittämisen ja kytkennät. Tilaaja ilmoittaa tarvittaessa työselostuksessaan käytettävät eristin- ja sidetyypit.	Pylväs-, harus- ja tukirakenteita. Valokaarisuojien asennusta.		2
Päällystetyt avojohdot 157mm2 vetäminen	m	Johtimien vetämisen. Rakentamisen yhteydessä tarvittavat jatkokset. Tarvittaessa johtokadun oksimisen vastaamaan etäisyysvaatimuksia	Pylväs-, harus- tai tukirakenteita. Kannatus-, kiristys- tai pääterakenteita.		1920
Valokaarisuojauksen yks-sarvilla asentaminen	kpl	Valokaarisuojasarvien asentamisen PAS-johdon kannatus-, kulma- tai pääteorkeen.	Pääte-, kulma- ja kannatinrakenteita.		12
Kj-kaapelin A240 asennus ojaan tai aurauksen yhteydessä	m	Kaapelin asennuksen kaapeliajaan tai asennuksen aurauksen yhteydessä. Ilmoitukset sijaintimittauksen tekijälle työselostuksen mukaisesti ennen kaapelioiden täyttöö.	Kaapelioiden kaivua ja peittoa. Kaapelin aurausta. Putkituksia, suojauksia ja varoitushauhaa.		80
Kj-kaapelin A95-300 sisäpääteiden asentaminen	kpl	Kj – maakaapelin sisä- ja pistokepääteiden tekeminen. Kaapelin kiinnitys ja kytkentä ilmaeristeiseen tai Sf6-kojeistoon.			1
Kj-kaapelin A95-300 pylväspääteiden asentaminen	kpl	Kj – maakaapelin pylväspääteiden tekeminen. Kaapelin ja ylijännitesuojien kiinnitys päätetelineeseen ja kytkentä. Kaapelin asennus suojausineen pylvääseen.			2
Kj-kaapelin kulmapistokepääteiden A90-300	kpl	Kj – maakaapelin sisä- ja pistokepääteiden tekeminen. Kaapelin kiinnitys ja kytkentä ilmaeristeiseen tai Sf6-kojeistoon. Merkinnät			1
Puupylvään luokka 2 enintään 14 m pystytys	kpl	Pylvään siirtämisen pystytyspaikalle. Pylväskuopan kaivun ja pylvään pystytyksen. Latvasuojauksen asennuksen. Kuopan peittämisen, tiivistyksen sekä kaivujälkien tasauksen.	Kannatinrakenteita Tukirakenteita Harusrakenteita.		18
Puupylvään luokka 3 ja 4, enintään 12 m pystytys	kpl	Pylvään siirtämisen pystytyspaikalle. Pylväskuopan kaivun ja pylvään pystytyksen. Latvasuojauksen asennuksen. Kuopan peittämisen, tiivistyksen sekä kaivujälkien tasauksen.	Kannatinrakenteita Tukirakenteita Harusrakenteita.		8
Haruksen 2x25, haruslaatan HL60 ja laattasilmuksen asentaminen	kpl	Haruslaatan, laattasilmuksen ja harusvaijerisarjan asentamisen lukoilla tai haruskiinnikkeellä, harusen kiristämisen.	Pylväitä, kannatinrakenteita tai muita tukirakenteita.		10
Kaapelioiden kaivu haja-asutusalueella tai rakentamattomalla taajama-alueella, pohja 40 cm.	m	Vapaaseen irtomaahan kaivettavan kaapelioiden kaivun, peiton, tiivistyksen ja tasauksen kaivuuta edeltävään tasoon. Varoitushauhan asennuksen. Mahdollisten kaivuusteiden sijainnin selvittämisen ennen kaivua. Ilmoitukset sijaintimittauksen tekijälle työselostuksen mukaisesti ennen kaapelioiden täyttöö.	Kaapelioiden asennusta, putkituksia tai suojakouruja. Suojahiekoitusta. Asfaltin, laatoituksen tai reunakivien purkua tai rakentamista. Nurmetusta tai muuta pinnoitusta. Sijaintimittauksia.		70
Kaapelin suojaushiekan levitys	m3	Tarvittaessa suodatinkankaan asennus kaapelioiden pohjalle. Kaapelioiden pohjan päälle asennetaan min 100mm hienojakoista ja kivetöntä suojaehiekkää. Lisäksi kaapelin päälle asennetaan min 100mm hienojakoista ja kivetöntä suojaehiekkää.	Kaapelioiden asennusta tai ojan kaivua ja täyttöö. Putkitusta Kaapelin suojakourun ja -nauhan asennusta. Asfaltointia, nurmetusta tai muuta pinnoitusta.		5
Kaapelisuojakourun lk A 140 mm asentaminen	m	Kaapelisuojakourun tai suojaevyn asentamisen. Tilaaja määrittää työselostuksessaan käytettävän suojakourun tai -levyn koon ja suojausluokan.	Kaapelioiden asentamista. Kaapelioiden kaivua ja täyttöö.		70
Maadoitusköyden asennus kaapeliajaan	m	Maadoitusköyden levitys kaapeliajaan kaapelinvedon yhteydessä. Kytkenän maassa esim. muuntamomaadoitukseen. Kytkenän tarvittaessa molemmissa päissä.	Muita maadoituksia. Kaapelioiden kaivua ja peittoa		80