

SELVITYS 20 kV VERKON KÄYTTÖVARMUUDEN PARANTAMISEKSI MAAKAAPELOINNILLA

Teemu Korpela

Opinnäytetyö
Maaliskuu 2011
Sähkötekniikka
Sähkövoimatekniikka
Tampereen ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Tampereen Ammattikorkeakoulu
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Sähkövoimatekniikka

TEEMU KORPELA: Selvitys 20kV verkon käyttövarmuuden parantamiseksi
maakaapeloinnilla

Opinnäytetyö 64s. liitteet 13.s

Maaliskuu 2011

Työssä tutkitaan 20 kV verkon käyttövarmuuden parantamista maakaapeloinnin avulla. Työn ensimmäisenä tavoitteena oli selvittää sähköverkon metsäosuuksien määrä. Työmenetelmänä oli luoda uusi suunnitelma verkkotietojärjestelmään ja tämän jälkeen käytettiin hyväksi ohjelman laskentaominaisuuksia, joista ilmeni mm. maasulkuvirtojen kasvu.

Toisessa osiossa tarkastellaan vuosien 2006-2010 vikaraportteja ja luotiin karttapohja vikapaikoista verkkotietojärjestelmään. Raporttien haku suoritettiin käytöntukijärjestelmän kautta.

Kolmannessa osiossa tutkittiin maasulkuvirtojenkompensoinnin tarpeellisuutta. Tarkasteltiin maakaapeloinnin aiheuttaman maasulkuvirtojen kasvua ja niiden kompensointia sähköasemittain.

Viimeisessä osiossa selvitettiin, mitkä sähköverkon osat tulisi kaapeloida ensin. Tällaisia osiota ovat mm. sähköasemien väliset avojohtolinjat.

Loppupäätelmänä on, että verkon luotettavuus on saatu hyvälle tasolle ja metsäosuuksien määrä on vähäinen. Tärkeimpinä toimenpiteinä ovat olleet hyvin onnistuneet verkon suunnittelu sekä vikaherkkien linjojen tuonti pois metsäosuuksilta teiden varsille.

Asiasanat: maakaapelointi, metsäosuudet, käyttövarmuus

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Electrical Engineering
Option of Electrical Power Technology

TEEMU KORPELA: Report to improve 20 kV power grid usage reliability by cabling.

Bachelor's thesis 64 pages, appendices 13 pages
March 2011

In this project I studied how to improve 20 kV power grid usage reliability by cabling.

In the first part I analyzed the power grid to find out which part of the power lines goes in forests. I did it by making a new plan to grid planning software and help of it's calculating parts.

In the second part I searched old malfunction reports from year 2006 to 2010. I got the reports from usage support software's report database.

In the third part I searched fault compensation and it's necessity because cabling increases the need of compensation.

Final conclusion was that the Sallila's grid reliability is in good level. They have done it by years of careful planning of the power grid.

Key words: cabling, reliability, power grid

1.3 Alkusanat

Tämä opinnäyte työ on tehty Sallila Sähkönsiirto Oy:lle. Tästä kiitos kuuluu suunnittelupäällikkö Esko Nummelle, joka toimi työnohjaajana Sallilassa, sekä verkkopäällikkö Olli Eskolalle, joka oli työntilaaajana Sallilasta ja myös apuna työn tekemisessä. Kiitokset myös muille henkilöille, jotka edesauttoivat työn valmistumisessa.

Teemu Korpela

25.3.2011

Sisältö

TIIVISTELMÄ	2
ABSTRACT.....	3
1.3 Alkusanat.....	4
1.4 Johdanto	7
2. YRITYS.....	8
2.1 Konsernitunnuslukuja	9
3. TEORIAA	10
3.1. Verkkotoiminnan valvonta.....	10
3.1.1 EMV vaatimukset sähkön laadusta	10
3.1.2 KAH.....	11
3.1.3 Laitteiden ja asennusten maadoittaminen	12
3.2 Maasulut	13
3.2.1 Maasta erotetun verkon yksivaiheinen maasulku	14
3.2.2 Sammutetun verkon yksivaiheinen maasulku	17
3.2.3 Kaksoismaasulku	18
3.3 Maasulun kompensointi	19
3.3.1 Keskitetty kompensointi	19
3.3.2 Maadoitusmuuntaja.....	19
3.3.3 Kompensointikuristin ja automaattisäätäjä.....	20
3.3.4 Kuristimen lisävastus.....	20
3.3.5 Hajautettu kompensointi	21
3.3.6 Kompensoinnin ongelmat	22
3.3.7 Maasulkusuojaus.....	22
3.4 Käyttövarmuutta parantavat rakenteet.....	23
3.4.1 Rakentaminen teiden varsiin	23
3.5 PAS-johto	24
3.6 Maakaapelointi	24
3.7 Verkkotietojärjestelmät ja käytöntukijärjestelmät.....	25
3.7.1 Open ++ Opera	25
3.7.2 Open ++ Integra	26
4. ILMAJOHTOJEN METSÄOSUUKSIEN SELVITTÄMINEN.....	26
4.1 Tyypillinen linja	28
4.2 Kaksoislinja metsässä.....	29
4.3 Metsämaan mahdollinen vikapaikka	30

4.4 Virtaankangas syöksyvirtaus	31
4.5 Ypäjä vika joulukuu 2010	32
5. ALASTARON KAAPELOINTI	33
6. VIKARAPORTTIEN TUTKIMINEN	35
6.1 Esimerkki vikaraportti	37
6.1 Ypäjä ”Murskanmäki” ongelmapaikka	39
6.2 Korven maakaapeloitu metsäosuus.....	40
7. MAASULUN KOMPENSOINTI TARVE	41
7.1 Maasulkuvirran laskentaa kaapeleilla.....	41
7.2 Hintatietoja kompensointilaitteista	43
7.3 Maasulkuvirtojen kasvu sähköasemittain.....	43
7.3.1 Maasulkuvirtojen kasvu metsäosuudet kaapeloitaessa	44
7.3.2 Kokonaismaasulkuvirrat koko verkko kaapeloitaessa	45
7.3.3. Maasulkukompensointilaitteistot sähköasemittain	45
7.4 Ensisijaisesti kaapeloivat osuudet.....	46
7.4.1 Metsämaan metsälinja.....	47
7.4.2 Jokisivun sähköaseman syöttö.....	47
8. JOHTOPÄÄTÖKSET	49
9. LÄHTEET	50
10. LIITTEET	51

1.4 Johdanto

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tehdä selvitys 20 kV verkon käyttövarmuuden parantamisesta maakaapeloinnin avulla. Työn sisältö oli alkujaan hahmoteltu neliosaiseksi. Työn osat olivat metsäosuuksien selvittäminen, ensisijaisesti kaapeloitavat osuudet, kaapeloinnin vaikutus maasulkuvirtoihin ja vikaraporttien tutkiminen ja sen osana karttadokumenttien tekeminen raporttien pohjalta.

1.5 Pohdinta

Työn ensimmäisenä tavoitteena oli selvittää sähköverkon metsäosuuksien määrä. Koska verkko on laaja, oli työmäärä myös tämän mukainen. Haasteena oli myös miten metsäosuuksien selvittäminen toteutettaisiin käytännössä verkonsuunnitteluohjelmistossa. Ensimmäisen osion tuloksena oli, että metsäosuuksia on 16,5% koko 20kV verkon pituudesta.

Toisessa osiossa haasteita toi vikaraporttien suuri määrä sekä niiden osittainen epätarkkuus. Kolmantena osiona tutkin maakaapeloinnin aiheuttaman maasulkuvirtojen kasvua ja niiden kompensointia sähköasemittain. Haasteena oli kompensoinnin suuri tarve ja se, että kompensoinnin tarkkaa tarvetta on mahdoton määrittellä, sillä se riippuu suuresti käytettävästä kaapeloinnista.

Viimeisessä osiossa selvitin, mitkä sähköverkon osat tulisi kaapeloida ensin. Tällaisia osia ovat mm. sähköasemien väliset avojohtolinjat. Linjoja ei kuitenkaan paljon löytynyt, sillä niitä on suunnittelussa selvästi yritetty vähentää.

Työn päätelminä ovat olleet mm. se, että Sallilan verkon luotettavuus on hyvällä tasolla. Tämä luotettavuus taso kannattaa myös säilyttää, sillä siitä muodostuu myös rahallista hyötyä verkkotoiminnan viranomaisvalvonnan kautta. Tätä kautta sitä voitaisiin pitää myös jonkinlaisena kilpailu etuna.

Vikaraporttien tarkkuuteen voisi kiinnittää vielä enemmän huomiota. Maakaapelointi tuo haasteita maasulkuvirtojen kasvun muodossa, mutta toisaalta kaapelointi myös vähentää vikojen määrää.

2. YRITYS

Sallila Energia

Sallila Energia -konserniin kuuluvat emoyhtiö Sallila Energia Oy sekä sen sataprosenttisesti omistamat tytäryhtiöt Sallila Sähkönsiirto Oy ja Sallila Sähköasennus Oy. Sallila Energian Oy:n pääkonttori sijaitsee Alastarolla. Sallila Sähkönsiirto Oy:n jakelualue sijaitsee Ypäjän, Loimaan, Huittisten ja Punkalaitumen alueella.

Sallila Energia Oy

Emoyhtiö Sallila Energia Oy vastaa sähkön hankinnasta ja myynnistä, asiakaspalvelusta, neuvontapalveluista ja markkinoinnista sekä konsernin talous- ja tietohallinnosta.

Sallila Sähkönsiirto Oy

Sallila Sähkönsiirto Oy:n tehtävänä on siirtää hyvälaatuista sähköä asiakkaille edullisesti kaikissa tilanteissa omalla verkkovastuualueellaan. Sähkönsiirron lisäksi palveluihin kuuluvat sähköliittymät, mittauspalvelut ja sähkötaseiden hallinta.

Sallila Sähköasennus Oy

Sallila Sähköasennus Oy tekee jakeluverkkoasennuksia, sähkösuunnitelmia ja -asennuksia sekä huoltoa ja kunnossapitoa erikoisosaamisensa mukaisesti kotitalouksille, maatiloille, yrittäjille, yrityksille ja yhteisöille.

(Sallila)

2.1 Konsernitunnuslukuja

Liikevaihto 26,9 M€

Materiaalit ja palvelut 18,9 M€

Henkilöstökulut 3,8 M€

Tulos 1,8 M€

Verkostoinvestoinnit 5,6 M€

Vakituinen henkilöstö 77

Asiakkaita 22 700

Suurjännitelinjaa 1 471 km

Pienjännitelinjaa 2 751km

Muuntamoita 1 376 kpl

(Sallila)

3. TEORIAA

3.1. Verkkotoiminnan valvonta

Verkkoliiketoiminta on säädeltyä ja valvottua liiketoimintaa. Suomessa toimintaa valvoo työ- ja elinkeinoministeriön (TEM) ohjauksessa toimiva Energiamarkkinavirasto (EMV). Valvontaan sisältyy taloudellista ja teknistä valvontaa. Taloudellinen valvonta keskittyy erityisesti verkkoliiketoiminnasta saatavan sijoitetun pääoman tuoton valvontaan. Jokaiselle verkkoyhtiölle on määritetty maksimivoittotaso, jonka ylittäminen johtaa palautuksiin asiakkaille. Tämä laskennallinen voittotaso riippuu mm. verkkoon sitoutuneen pääoman määrästä, johon puolestaan verkkoon tehtävillä investoinneilla on vaikutusta.

Valvontaan liittyy myös sähkön laadun valvonta, joka kohdistuu erityisesti käyttövarmuuden valvontaan. Valvontaviranomainen asettaa yhtiöille velvoitteita tehostaa toimintaansa taloudellisesti. Sähkön laatu on mukana verkkotoiminnan taloudellisessa valvonnassa yhtenä tekijänä. Myös esim. keskeytyskustannusten pienentyminen antaa yhtiöille mahdollisuuden lisätä investointeja tai voittoja.

Sähkön laatu on mukana ensimmäistä kertaa taloudellisessa valvonnassa valvontajaksolla 2008–2011, eli käynnissä olevalla valvontajaksolla. Laatu kuvataan juuri keskeytyksestä aiheutuvalla haitta-arvolla (KAH) ja sen kehittymisellä. (Lakervi & Partanen 2008)

3.1.1 EMV vaatimukset sähkön laadusta

Energiamarkkinavirasto katsoo, että sähkön jakeluverkonhaltijoiden sähköntoimitusten laatu tulee ottaa huomioon verkonhaltijoiden verkkotoiminnan tuoton kohtuullisuuden arvioinnissa. Sähkön laadun osalta valvonnassa otetaan huomioon sähköntoimituksissa

tapahtuneet suunnitellut ja odottamattomat keskeytykset sekä pika- ja aikajälleenkytkennät.

Sähkön laadun huomioonottamisen periaatteellinen lähtökohta on se, että verkonhaltijan tulisi toimia siten, että verkonhaltijan omien kustannusten sekä sähkötoimituksissa tapahtuneista keskeytyksistä asiakkaille aiheutuneiden kustannusten summa minimoituu. Valvontaa varten sähkötoimitusten keskeytykset tulee arvostaa rahamääräisiksi. (Energiamarkkinavirasto)

3.1.2 KAH

Keskeytyksestä aiheutunut haitta (KAH) on tapa arvioida rahamääräisenä sekä lyhyitä, että pitkiä sähkökatkoja. KAH- arvonn yksikkö on €/kWh tai €/kW ja ne on määritelty eri asiakasryhmille erilaisten tutkimusten perusteella. Arvot laaditaan jokaiselle asiakasryhmälle niin keskeytysten kuin kestonkin perusteella. (Kananen 2007)

Lyhyistä sähkökatkoksista aiheutunut haitta on riippuvainen niiden esiintymistiheydestä ja ajankohdasta sekä laitteiden käyttäytymisestä lyhyiden katkosten tapahtuessa. Haitta voi olla suoranaista, välillistä tai henkistä. (Kananen 2007)

Suoranaista haittaa ovat mm. asiakkaalla vikaantuneet laitteet tai tallentamattoman tiedon tai työpanoksen menetys. Välillisiä kustannuksia muodostuu mm. tuhlattuihin resursseihin tai palvelujen kustannuksista joita tarvitaan toimintojen palauttamiseen normaaliksi. Asiakkaalle aiheutuvaa henkistä haittaa, jotka johtuvat lyhyistä sähkökatkoksista, on hankalempi rahallisesti arvioida. Henkistä aiheutuu myös, kun asiakas tuntee saavansa huonolaatuista sähköä tai huonoa palvelua. (Kananen 2007)

KAH-parametri jakaa keskeytyksen piirissä olevat kuluttajat eri asiakasryhmiin, joille keskeytyksestä aiheutuneen haitan arvostus vaihtelee. Ryhmät ovat kotitalous, maatalous, teollisuus, julkinen ja palvelu. (Tella 2007)

KAH-parametrien avulla laskettujen keskeytyskustannusten minimointia voidaan käyttää yhtenä suunnittelun lähtökohtana. Tällöin kuitenkin KAH – parametrien valinnalla on hyvin suuri merkitys lopputulokseen. On syytä huomioida, että KAH-parametreilla lasketut keskeytyskustannukset ja niistä saatava säästö ole reaalista tuloa. (Tella 2007)

Keskeytyskustannussäästö riippuu paljon viranomaisen voimassa olevasta valvontamallista ja kuinka siinä otetaan huomioon sähkön laatu ja toimitusvarmuus.(Tella 2007)

Seuraavassa KAH-arvoja asiakasryhmittäin (taulukko 1)

TAULUKKO 1. KAH-arvot käyttäjäryhmittäin.

	Odottamaton		Suunniteltu		PJK	AJK
	[€/kW]	[€/kWh]	[€/kW]	[€/kWh]		
kotitalous	0,36	4,29	0,19	2,21	0,11	0,48
maatalous	0,45	9,38	0,23	4,8	0,2	0,62
teollisuus	3,52	24,45	1,38	11,47	2,19	2,87
julkinen	1,89	15,08	1,33	7,35	1,49	2,34
palvelu	2,65	29,89	0,22	22,82	1,31	2,44

(Tella 2007; Lakervi&Partanen 2008)

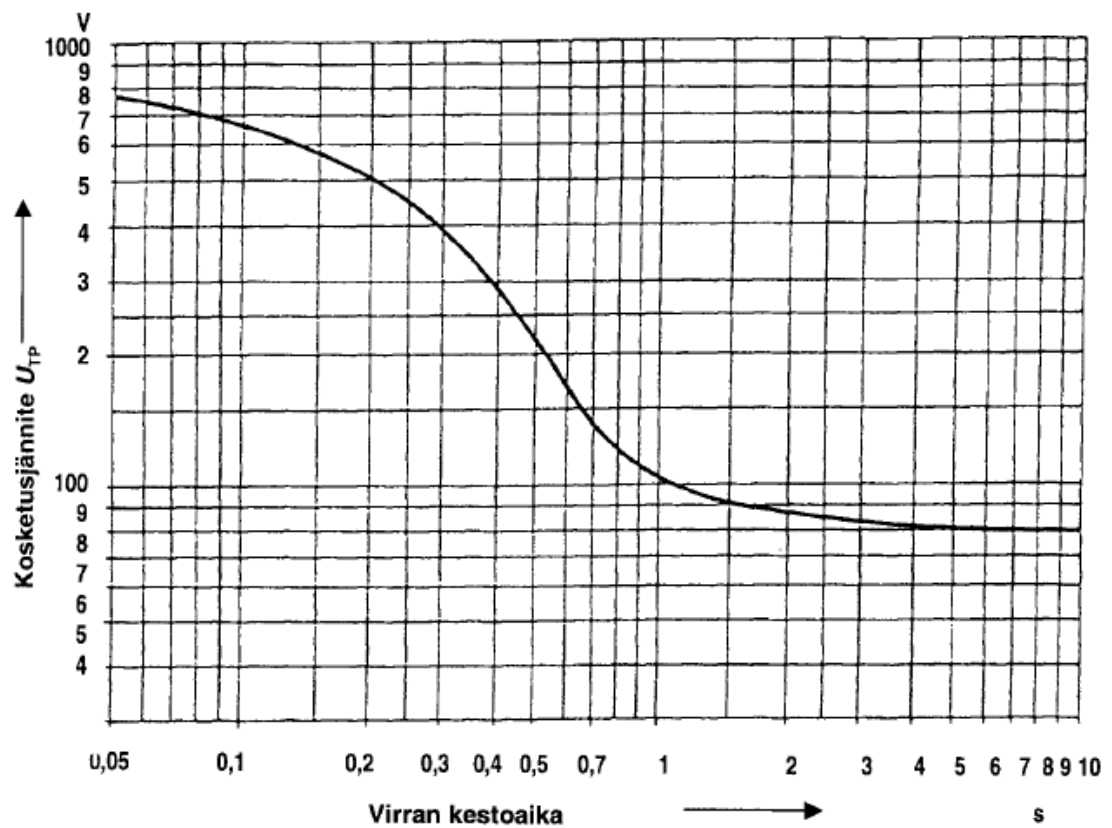
3.1.3 Laitteiden ja asennusten maadoittaminen

Kaikki sähköjärjestelmän jännitteelle alttiit osat on maadoitettava. Erikoistapauksissa on tehtävä eristettyjä vyöhykkeitä.

Jos pienjännitejärjestelmä on maadoitettu vain syöttöpisteestä, esim. muuntamalla, maadoitusjännite U_e saa olla enintään kuvion 1 mukaisen arvon U_{TP} suuruinen. Jos pienjännite johdin tai suojamaadoitusjohdin on maadoitettu useassa paikassa tähtipisteessä vaikuttavan jännitteen rajoittamiseksi, voi maadoitusjännite U_e olla kaksinkertainen verrattuna arvoon U_{TP} .

(SFS 6001)

Erityistapauksissa, teknisistä tai taloudellisista syistä kaksinkertaista arvoa ei voida saavuttaa, voidaan soveltaa erityistoimenpiteitä, joilla voidaan saavuttaa riittävä turvallisuus. (SFS 6001)



Kuvio 1. Sallitut kosketusjännitteet virran kestoajan funktiona

3.2 Maasulut

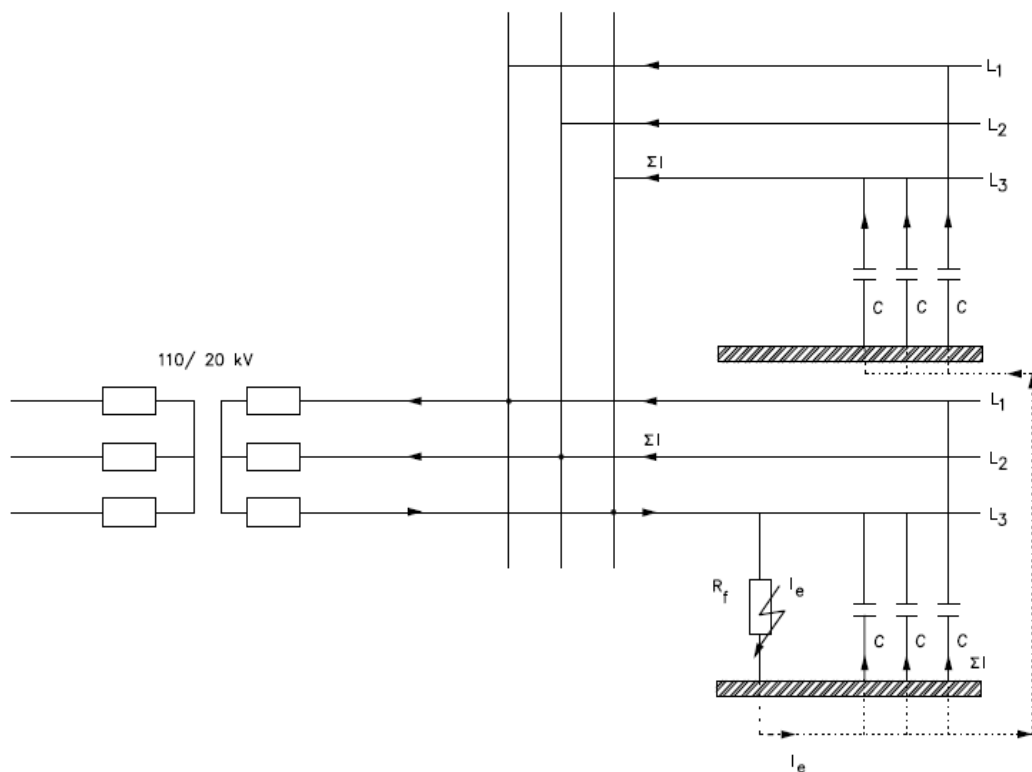
Maasulun yleisin syy 20 kV verkon avojohto verkoilla on puun tai puiden kaatuminen linjalle esimerkiksi myrskyn tai tuulen seurauksena.

3.2.1 Maasta erotetun verkon yksivaiheinen maasulku

Terveessä tilassa verkon vaihejännitteet maahan nähden ovat symmetrisiä ja niiden summa on nolla. Verkon maakapasitanssien kautta kulkevat virrat ovat symmetrisiä ja niidenkin summa on nolla.

Jonkin vaiheen joutuessa maakosketukseen vikaresistanssin kautta, pienentyy viallisen vaiheen jännite maahan nähden, ja terveiden vaiheiden jännite nousee.

Tapauksessa, jossa vikaresistanssin arvo on nolla, putoaa viallisen vaiheen jännite nolliin ja muiden vaiheiden jännite maahan nähden nousee järjestelmän pääjännitteen suuruiseksi. (Aura & Tonteri)



Kuvio 2 . Maasta erotetun verkon yksivaiheinen maasulku (Aura&Tonteri muokattu)

Maasulkuvirran I_C itseisarvo

$$I_C = \sqrt{3}\omega CU \quad (1)$$

Jossa U =verkon pääjännite

C = yhden vaiheen maakapasitanssi

$$\omega = 2\pi f$$

Käsikirjoissa on valmiita taulukoita, joissa on annettu kaapelilajeittain maasulkuvirran suuruus (esim. A/km). Tällöin maasulkuvirran laskemiseen tarvitaan vain kaapelilaji ja pituus. (Aura&Tonteri)

Avojohtoille voidaan maasulkuvirran likiarvo laskea tällöin yhtälöstä

$$I_e \approx \frac{U (kv) l (km)}{300} \quad (2)$$

jossa

U = verkon pääjännite

l = galvaanisesti yhteen kytketyin avojohtoverkon pituus

Vikapaikan resistanssin kasvaessa maasulkuvirta pienenee. Maasulkuvirran I_{ef} itseisarvo voidaan tällöin laskea yhtälöllä

$$I_{ef} = \frac{3\omega C}{\sqrt{1+(3\omega CR_f)^2}} U \quad (3)$$

jossa C =verkon vaiheen maakapasitanssi

R_f =maasulun vikaresistanssi

U =verkon pääjännite

Maasulku aiheuttaa jännite-epäsymmetrian, jonka seurauksena verkon nollapisteen ja maan välille syntyy jännite-ero, jota sanotaan nollajännitteeksi U_0 . Tämä jännite on sama kuin jännite, jonka maasulkuvirta aiheuttaa kulkiessaan verkon maakapasitanssien kautta. (Aura&Tonteri)

Tällöin nollajännite voidaan laskea yhtälöstä

$$U_0 = \frac{1}{3\omega C} I_e \quad (4)$$

Yhtälö voidaan esittää myös, sijoittamalla siihen yhtälö vikavirta, muodossa

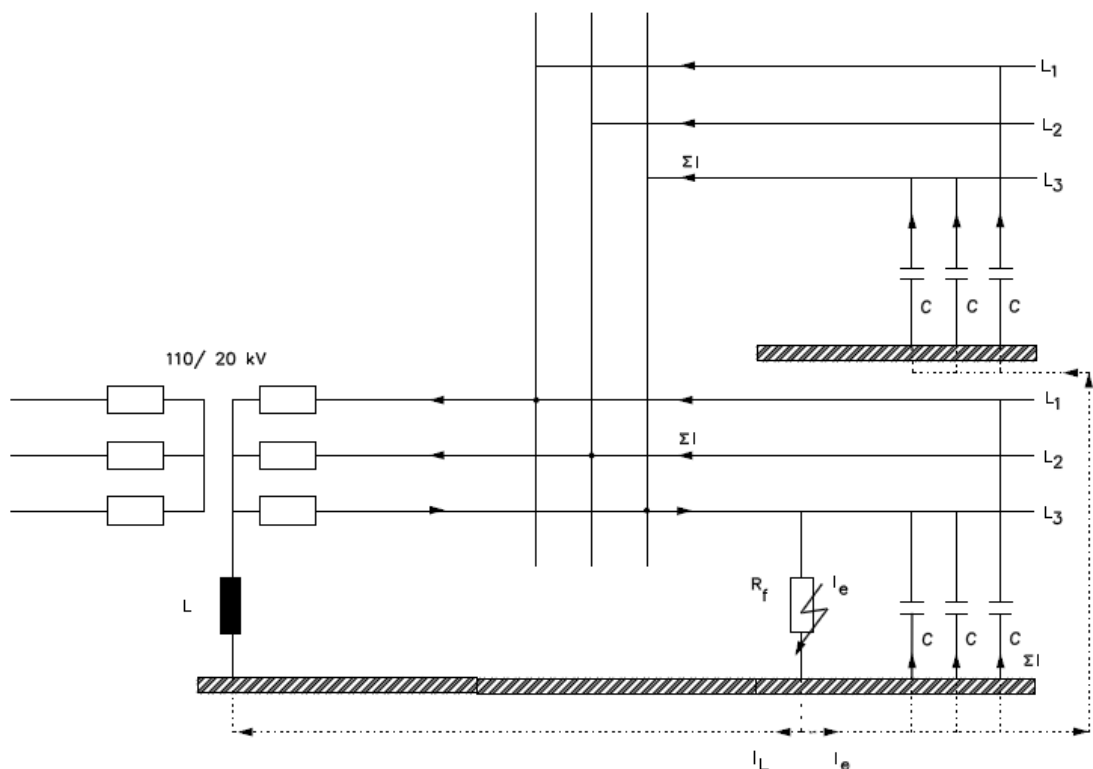
$$\frac{U_0}{U_v} = \frac{1}{\sqrt{1+(3\omega C R_f)^2}} \quad (5)$$

jossa U_v =verkon vaihejännite

3.2.2 Sammutetun verkon yksivaiheinen maasulku

Järjestelmää, jossa muuntajan nollapiste on yhdistetty maahan induktanssin välityksellä, sanotaan sammutetuksi järjestelmäksi. Nimitys johtuu siitä, että johtokapasitanssien kautta kulkevalle kapasitiiviselle vikavirralla kehitetään lähes 180 asteen vaihesiirrossa olevan muuntajan nollapistevirta, joka summautuu vikapaikassa johtokapasitanssien summavirtaan jolloin vikavirta jää hyvin pieneksi. Vikavirta siis tällä tavoin ”sammutetaan”.

(Aura & Tonteri)



Kuvio 3. Maasulku sammutetussa verkossa (Aura&Tonteri ,Muokattu)

Täysin sammutetussa tapauksessa voidaan kirjoittaa yhtälö.

$$\omega L = \frac{1}{3\omega C} \quad (6)$$

Jossa, L = on sammutuskelan induktanssi

C = verkon vaiheen kapasitanssi

Muuntajan tähtipisteen jännite eli nollajännite saa likimäärin arvon

$$U_0 = \omega L I_l = \omega L \frac{U_V}{\frac{1}{3\omega C}} = 3\omega^2 L C U_V \quad (7)$$

Jossa, U_V = verkon vaihejännite

U_0 = nollajännite

3.2.3 Kaksoismaasulku

Siinä kaksi vaihetta on maakosketuksessa. Maasulkupaikat voivat sijaita kaukanakin toisistaan. Kaksoismaasulku muistuttaa kaksoisoikosulkua, sillä vikavirta kulkee osan matkasta maan kautta. Vikavirta on yleensä suuri. Vikavirta on myös vaikeasti laskettavissa tarkasti. Vikavirta kulkee maassa hyvin johtavia osia pitkin, esim. vesijohtoputket yms. Jos maaperä johtaa huonosti, voivat vikavirrat aiheuttaa suuria vahinkoja kaapeleiden vaipoissa. (Lakervi & Partanen 2008)

Kaksoismaasulun laukaisu tapahtuu yleensä oikosulkusuojauksen toimesta, vikavirta on riittävä suojauksen toimintaan. Tyypillinen kaksoismaasulkuun johtava tilanne alkaa tavanomaisena yksivaiheisena maasulkuna. Maasulun aiheuttama jännitteen nousu terveissä vaiheissa voi johtaa viallisen ylijännitesuojan virheelliseen toimintaan ja seurauksena on kaksoismaasulku. (Lakervi & Partanen 2008)

Kaksoismaasulkujen haittoja voidaan vähentää varmistamalla maasulkusuojauksen nopealla luotettavalla toiminnalla. (Lakervi & Partanen 2008)

3.3 Maasulun kompensointi

Koska maakaapeleiden käyttäminen lisää maasulkuvirtoja, tuli seuraavana osana työtäni miettiä tarvittavien maasulkukompensointi laitteiden hankintaan. Ensimmäiseksi tuli huomioida suuruusluokat laitteistolle. Seuraavana tehtävänä oli myös miettiä hankintojen investointikustannukset.

Maasulun kompensointi toteutetaan keskitettynä tai hajautettuna. Keskitetyssä kompensoinnissa käytetään yhtä sähköasemalle sijoitettua kompensointi kuristinta. Hajautetussa kompensoinnissa sijoitetaan useampia pienitehoisempia kuristimia eri puolille sähköverkkoa. (Törmä 2006)

3.3.1 Keskitetty kompensointi

Keskitetyssä maasulunkompensoinnissa kompensointi laitteet asennetaan sähköasemille tai niiden välittömään läheisyyteen esim. koppimuuntamo mallisiin ratkaisuihin.

Siinä sammutuskuristin kytketään sähköasemalle päämuuntajan tähtipisteen ja maan väliin. Suomessa 110/20kV muuntajat kuuluvat yleisemmin Ynd- kytkentäryhmään, jolloin niiden alajännitepuolella ei ole tähtipistettä käytettävissä. Tällöin sammutuskuristinta varten muodostetaan keinotekoinen tähtipiste erillisen zn- kytkentäisen maadoitusmuuntajan avulla.(Törmä 2006)

3.3.2 Maadoitusmuuntaja

Edellisen kaltaisessa tapauksessa maadoitusmuuntaja mitoitetaan siten, että sen nimellisvirta on kolmasosa sammutuskuristimen nimellisvirrasta.

Muuntajaan voidaan lisätä myös omakäyttökäämi jolloin sähköasemalle ei tarvita erillistä omakäyttömuuntajaa. Tässä ratkaisussa muuntajan tähtipisteen ja sammutuskuristimen välille kannattaa sijoittaa erotin. Erotin asennetaan kuristimen huoltoa varten ilman, että omakäyttöjännitettä joudutaan tällöin katkaisemaan. Erottimen apukoskettimelta saadaan myös maasulun suuntareille ohjaussignaali, jolla releet vaihtavat mittamaan loisvirtaa, kun kuristin on kytketty irti. Näin releasetteluja ei tarvitse muuttaa käsin verkon vaihtuessa kompensoidusta kompensoimattomaan. (Törmä 2006)

3.3.3 Kompensointikuristin ja automaattisäätäjä

Nykyisin asennettavat sammutuskuristimet ovat yleensä jatkuvasäätöisiä. Automaattisäätäjä huolehtii, että kompensointiaste pysyy vakiona verkon kytkentätilanteen muuttuessa. Sen toiminta perustuu nollajännitteen mittaukseen: verkon terveen tilan nollajännite muuttuu kompensointiasteen muuttuessa, ollen korkeimmillaan resonanssipisteessä, eli pisteessä jossa kompensointiaste on tasan yksi. (Törmä 2006)

3.3.4 Kuristimen lisävastus

Resonanssipisteen lähellä maasulkuvirran loiskomponentti on pieni. Loiskomponentin suunta myös riippuu siitä, onko verkko yli- vai alikompensoitu. Verkon selektiivistä maasulkusuojausta ei siis voida tehdä mittaamalla loiskomponenttia vaan on mitattava pätökomponenttia. Tavallisesti pätökomponentin arvo on alle 10% verkon kompensoimattomasta maasulkuvirrasta, joten pätövirtaa joudutaan kasvattamaan. Tämä toteutetaan lisäämällä kuristimen toisiokäämiin lisävastus. (Törmä 2006)

Se on tavallisesti kytkettynä vain maasulkuutilanteessa. Vastus kasvattaa jäännösmaasulkuvirtaa, mikä huonontaa valokaaren sammumista. Toisaalta lisävastus kasvattaa resonanssipiirin vaimennusta ja pienentää palavaa jännitettä, mikä ehkäisee valokaaren uudelleen syttymistä. (Törmä 2006)

3.3.5 Hajautettu kompensointi

Hajautetussa kompensoinnissa maasulunkompensointi voidaan periaatteessa sijoittaa eripuolille verkkoa. Vikakohtassa kulkevan maasulun kannalta on sama, missä kohtaa verkkoa sammutuskuristin on. (Törmä 2006)

Kompensointiyksiköt ovat kiinteästi viritettyjä. Sääto hoituu automaattisesti johtolähdön katkaisijan toiminnan myötä, kun kompensointiyksikkö on mitoitettu vastaamaan kyseisen lähdön synnyttämää maasulkuvirtaa. Katkaisijan kytkiessä johtolähdön irti, poistuu myös kyseisen lähdön kompensointi.

Hajautetun kompensoinnin käyttö on edullista verkoissa, joissa maasulkuvirtaa halutaan kompensoida 10...35 A. Kompensoitavan maasulkuvirran ylittäessä 35 A , on yleensä syytä hankkia keskitetty kompensointilaitteisto. Suomessa maaperän ominaisresistanssi on yleensä suuri, joten riittävän pienten maadoitusimpedanssien saavuttaminen kohtuullisin kustannuksin voi olla joillakin alueilla vaikeaa. (Törmä 2006)

Sallilan alueella maaperä on yleensä saviperäistä jolloin riittävän maadoitusimpedanssin saavuttaminen on suhteellisen helppoa verrattuna esim. hiekkaisiin harjuihin, joissa maadoitusimpedanssien saavuttaminen on käytännössä mahdotonta. Tämän seikan huomasin itsekin tehdessäni maadoitusmittauksia kyseisen tyyppisillä alueilla vuonna 2010.

Kompensoidussa verkossa maasulkuvirrat ovat pienemmät kuin maasta erotetussa, jolloin verkon turvallisuus paranee. Sähköturvallisuusmääräysten edellyttämät maadoitusjännitteet voidaan siis saavuttaa pienemmillä maadoituskustannuksilla kuin maasta erotetussa verkossa. (Törmä 2006)

3.3.6 Kompensoinnin ongelmat

Kompensointiin liittyy myös ongelmia. Keskitetyssä kompensoinnissa hankintakustannukset ovat suurehkot. Vastaavasti hajautetussa kompensoinnissa hankintakustannukset ovat edullisemmat, mutta myös kompensoinnin tulos on huonompi, sillä verkko jää alikompensoiduksi. Siinä myös maasulkuvalokaaren sammuminen on epätodennäköisempää kuin vastaavasti keskitetyssä kompensoinnissa. Kompensointia toteuttaessa tulee ottaa huomioon myös erityisesti suojarleiden asettelu ja ohjelmointi. Releasettelussa tulee ottaa myös huomioon, jos kompensointi kytketään pois päältä. (Törmä 2006)

3.3.7 Maasulkusuojaus

KJ-verkon maasulkusuojaus voidaan tehdä joko laukaisevana tai hälyttävänä. Hälyttävässä suojauksessa vikaa ei heti eroteta verkosta, vaan siitä annetaan vain hälytys valvomoon. Tällöin maadoitusolosuhteiden on oltava hyvät tai verkon sammutettu, etteivät maadoitusjännitteet nouse liikaa. Laukaisevassa suojauksessa vika kytketään heti pois. Valokaarelle annetaan kuitenkin yleensä alle 1 sekuntia aikaa sammua itsekseen. (Törmä 2006)

Kompensoidussa verkossa selektiivisen maasulkusuojauksen toteuttaminen on vaikeampaa kuin maasta erotetussa verkossa. Maasulkuvika näkyy verkon nollajännitteen ja nollavirran muutoksina. Selektiivisyyden varmistamiseksi käytetään maasulun suuntareleitä, jotka mittaavat summavirtaa ja nollajännitettä, sekä niiden välistä kulmaa. Niiden avulla saadaan selvitettyä, kummalla puolella mittauskohtaa vika on. (Törmä 2006)

3.4 Käyttövarmuutta parantavat rakenteet

3.4.1 Rakentaminen teiden varsiin

Sähköistämisen alkuaikoina oli tapana valita sähkölinjoille kustannuksiltaan edullisin reitti. Tämä tarkoitti usein esim. metsän poikki rakennettuja sähkölinjoja. Tällä tavoin päästiin lyhyihin johtopituuksiin, mutta ratkaisu oli erittäin herkkä mm. myrskyille. Ratkaisua myös perusteltiin sillä, että johdot eivät pilanneet maisemaa metsän keskellä. Nykyaikana maakaapeloinnin lisääntymisen myötä myös peltoja halkovista johtolinjoista päästään pikkuhiljaa eroon ja näin ollen ne eivät enää pilaa maisemaa.

Nykyaikana sähkönkäytölle ja siirrolle ja suunnittelulle yhdeksi tärkeimmistä kriteeriksi on muodostunut käyttövarmuus, joten nykyaikana pyritään pääsemään eroon metsän keskelle rakentamisesta. Tavoitteena on siirtää linjat mm. teiden varsiin ja aukeille, kuten pelloille. Tämä helpottaa suuresti linjojen kunnossapitoa, kun vikapaikkoihin päästään kätevästi autolla ja välttyään hankalakulkuisilta metsäosuksilta.

Toimenpide vähentää myös esim. keskeytysten määrää. Pelloilla ei ole puita mitkä voisivat kaatua keskijännitelinjojen päälle. Kovan tuuleen aiheuttamista katkoksista ei tälläkään kuitenkaan päästä eroon. Keskeytysten määrä voi jopa puolittua näinkin yksinkertaisella toimenpiteellä.

Yksi hyöty on myös se, ettei johtokatua tarvitse erikseen raivata. Riittää, että tien varressa olevaa metsää hieman raivataan, jotta saadaan tilaa johdoille. Tärkeä varmuutta parantava tekijä on myös johtokatujen reunojen puiden raivaaminen sekä johtojen alla kasvavan vesakon pitäminen matalana.

(Lakervi & Partanen 2008)

3.5 PAS-johto

Keskijänniteverkoissa on viime vuosikymmeninä alettu käyttää jonkin verran päällystettyä avojohtoa eli nk. PAS-johtoa. Eristyksen tarkoituksena on estää mm. se, että johtimet hetkellisesti osuisivat toisiinsa ja tästä syntyisi normaalisti oikosulku. Haittana tästä on kuitenkin se, että puun nojaamista linjalle ei huomata välittömästi, vaan se voi hiljaa tuulella heiluessaan pikkuhiljaa hangata eristeen puhki ja näin aiheuttaa maasulun. Hyötynä PAS-johdossa on mm. kapeampi johtokatu, sillä johtimet voivat olla lähempänä toisiaan kuin avojohto ratkaisussa. Päällystetty avojohto on kuitenkin jonkin verran kalliimpaa. (Lakervi & Partanen 2008)

Lisäksi Sallilassa on todettu PAS-johdon korjaamisen olevan selvästi hankalampaa kuin perinteisen avojohdon.

3.6 Maakaapelointi

Yksi keino käyttövarmuuden parantamiseksi on taajamien syöttöjen vaihtaminen ilmajohdoista maakaapeleihin. Tämä johtuu useasta syystä, mm. siitä, että taajamissa sähkökatkojen vaikutus tuntuu paljon useammalla asiakkaalla kuin maaseudulla. Taajamissa sijaitsee myös tärkeitä teollisuutta, joiden tuotanto ei salli sähkökatkoja. Myös esim. sairaaloiden sähkönsyöttö tulee olla turvattu, vaikka niillä usein varavoimajärjestelmät ovatkin.

Kaapeloinnin käyttövarmuus korostuu erityisesti suurhäiriöiden, kuten laajojen myrskyjen aikana. Kaapelointiin vaihtaminen on ainoa tapa jolla voidaan päästä eroon suurista ja laajamittaisista keskeytyksistä avojohtoverkossa (Lakervi & Partanen 2008)

Kesän 2010 suurvahingoilta olisi mahdollisesti välttytty myös esim. Itä-Suomen sähköverkoissa, jos käytössä olisi ollut maakaapeliverkko. Koko

sähkönjakeluverkon muuttaminen avojohdoista maakaapeliksi on kuitenkin kallis ja aikaa vievä prosessi. Tämä prosessi tulee kestämään varmasti useita vuosia, jollei vuosikymmeniä.

Kaapelin käytössä on kuitenkin myös haittapuolensa. Maakaapeloinnin käyttö nostaa erityisesti maasulkuvirtoja, joka johtaa lisäinvestointeihin verkon suojauksessa esim. sähköasemilla maasulkuvirtojen kompensoinnin muodossa. Maakaapeliverkko on investointikustannuksiltaan nykyään noin kaksi kertaa kalliimpaa kuin vastaava ilmajohtoratkaisu. Kustannusta nostavat mm. kaivuun tai aurauksen hinta ja myös itse kaapeli on kalliimpaa kuin ilmajohto. Maakaapeloinnin käyttö kuitenkin pikkuhiljaa lisääntyy, joten mahdollisesti itse kaapeli tulee olemaan tulevaisuudessa edullisempaa. (Lakervi & Partanen 2008)

3.7 Verkkotietojärjestelmät ja käytöntukijärjestelmät

3.7.1 Open ++ Opera

On graafinen käytöntukijärjestelmä. Ohjelmisto laajentaa MicroSCADA – käytöntukijärjestelmän toimintoja tarjoamalla maantieteellisiin karttoihin pohjautuvan verkkonäkymän ja kehittyneitä käytöntukitoimintoja. Open ++ Opera voidaan käyttää yhdessä MicroSCADA tai muiden SCADA järjestelmien kanssa. (Välssi 2006)

Operaä käytin työni toisessa osiossa, jossa tutkin vanhoja vikaraportteja ja raportit oli saatavissa juuri Operan vikaraportointi osiosta.

3.7.2 Open ++ Integra

Integra on graafinen sähkönjakeluverkon verkkotietojärjestelmä, joka on tarkoitettu sähköyhtiöiden keski- ja pienjänniteverkkojen hallintaan, niiden tilan seurantaan ja verkostosuunnitteluun. Käyttöliittymä muodostuu taustakartoista ja verkkokuvista sekä kaavionäkymistä. Integran verkkotietojärjestelmä sisältää myös tiedot suunnittelussa käytettävistä johdinlajeista ja muuntajasarjoista.

Tietokanta voi myös sisältää erityisiä kohteita kuten maanvuokratietoja ja mittaus tietoja, sekä komponentteihin liittyvien dokumenttien hallinnan. (Välssi 2006)

Tällaisia ovat mm. verkonrakentamisvuodet, sekä liittymien kuormitustiedot yms. Ensimmäisessä osiossani tutkiessani käytin juuri hyväksi Integran verkostosuunnittelu ominaisuuksia, sekä myöhemmin maasulkuvirtojen laskentaa.

4. ILMAJOHTOJEN METSÄOSUUKSIEN SELVITTÄMINEN

Ensimmäisenä osana lopputyötäni oli ottaa selvää, kuinka paljon ilmajohtojen osuus oli verkosta. Asia selvitettiin verkkotietojärjestelmä Integran avulla. Verkon laajuus on 1500km keskijänniteverkkoa ja verkko oli käytävä läpi manuaalisesti, koska ohjelmassa ei ole tällaiseen selvittelyyn tarvittavaa ominaisuutta tällä hetkellä. Verkko oli siis käytävä lähtö lähdöltä läpi ja katsottava, missä kohtaa sähkölinja menee metsässä.

Toteutin tehtävän siten, että Integran laskentaominaisuuksia hyväksi käyttäen, muutin tarvittavat metsäosuudet maakaapeloinniksi. Tämä lisätty maakaapeloinnin osuus vähennettiin nykyisestä maakaapeloinnista, josta näin saatiin selville ilmajohtojen metsäosuudet.

Koko verkon silmämääräisesti tutkittuani sain selville laskentatuloksista, että metsässä olevien ilmajohtojen osuus on 16,5 % koko 20 kV verkosta. Verkon laajuuteen verrattuna metsäosuutta on vähän, mikä johtuu siitä, että verkkoa suunniteltaessa on jo 20–30 vuoden ajan pyritty johtoreitit suunnittelemaan juuri pois metsästä pelloille ja muille avonaisille alueille.

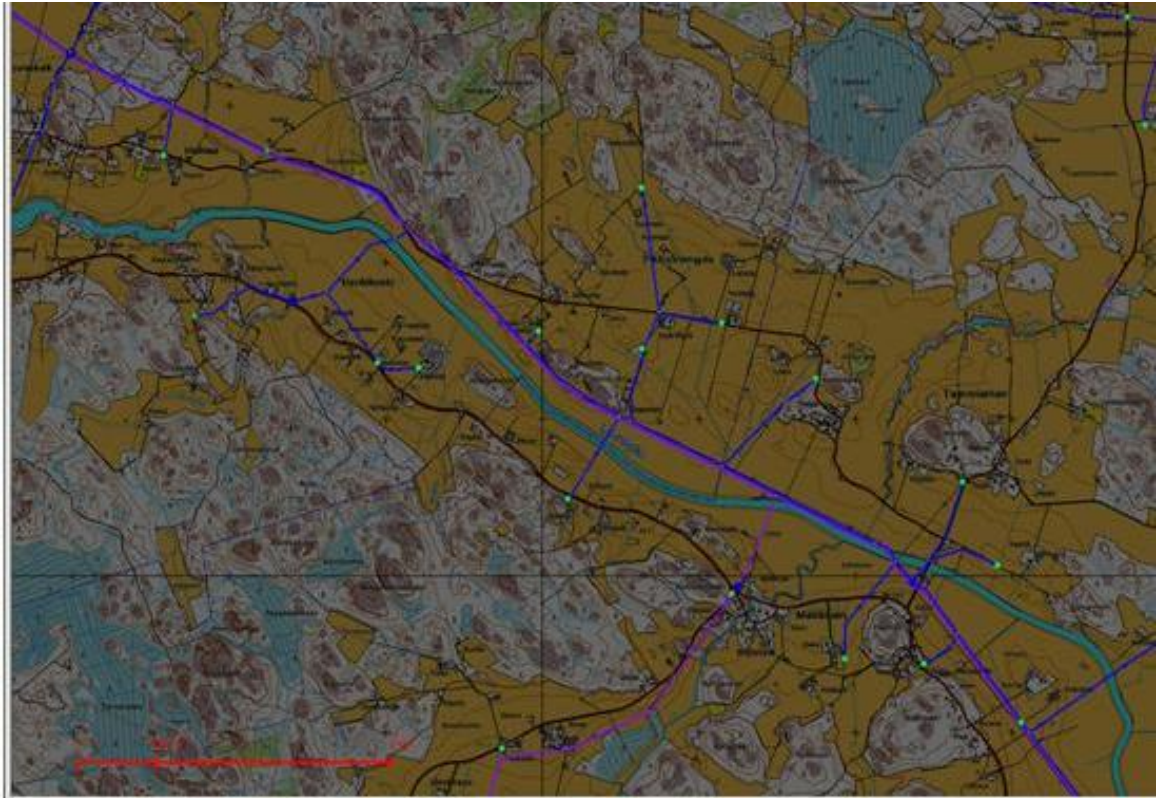
Tehtävässä pyrin keskittymään haja-asutusalueiden ilmajohtojen muuttamiseen maakaapeleiksi, joten taajamien ja kaupunkien mahdolliset metsäosuudet pääasiassa jätin tarkastelussa pois. Työni toisessa osassa löytyi vikapaikkoja myös kaupunkien keskustojen tuntumassa, paikoissa joissa ilmajohtoja vielä on. Tällaisia vikaherkkiä paikkoja olivat mm. ulkoilupaikkojen metsävaltaiset reitit.

Taajamia syöttäviin, metsässä oleviin avojohtoihin pitää kuitenkin kiinnittää erityistä huomiota, sillä yksikin puun kaatuminen tällaiselle linjalle voi aiheuttaa vian ja katkaista sähköt koko taajamalta. Tällaisessa tapauksessa useat asiakkaat joutuisivat kärsimään sähkökatkoista ja se toisi sähköyhtiölle suuria kustannuksia, jos vika pitkittyisi.

Laskennassa käytetyt uudet maakaapelit tyypit olivat seuraavanlaiset. Runkojohdoille verkkoyhtiön suosima kaapeli AXHW185. Haarajohdoille AXHW120 ja AXHW70. Ohuempaa kaapelipaksuutta ei ole kustannuksien takia järkevää asentaa. Sillä hinnan ero AXHW70 ja AXHW50 välillä on merkityksetön. Tällä tavoin myös verkon kuormituksen kasvu on näin ollen otettu pitkällä aikavälillä huomioon.

4.1 Tyypillinen linja

Seuraavassa kuvassa nähdään tyypillinen linja Sallilan alueella.



Kuvio 4. Tyypillinen linja

Tyypillinen tapaus Sallilan alueella, jossa 20kV linja on peltoaukealla. Peltoaukeata ympäröivät laajahkot metsät. Kuten kuvastakin huomataan, ilmajohtojen metsäosuus on erittäin vähäinen koko verkon pituudella. Linjojen kaapelointi ei ole lähiaikoina ajankohtaista, sillä linjat ovat suhteellisen tuoreita ja ne eivät syötä esim. taajamaa. Linjojen värit kuvassa ovat sininen ja violetti.

4.2 Kaksoislinja metsässä

Eräs mahdollinen kriittinen paikka, jossa kaksi 20kV ilmajohtoa on metsän keskellä. Linja sijaitsee lisäksi kahden sähköaseman välillä.



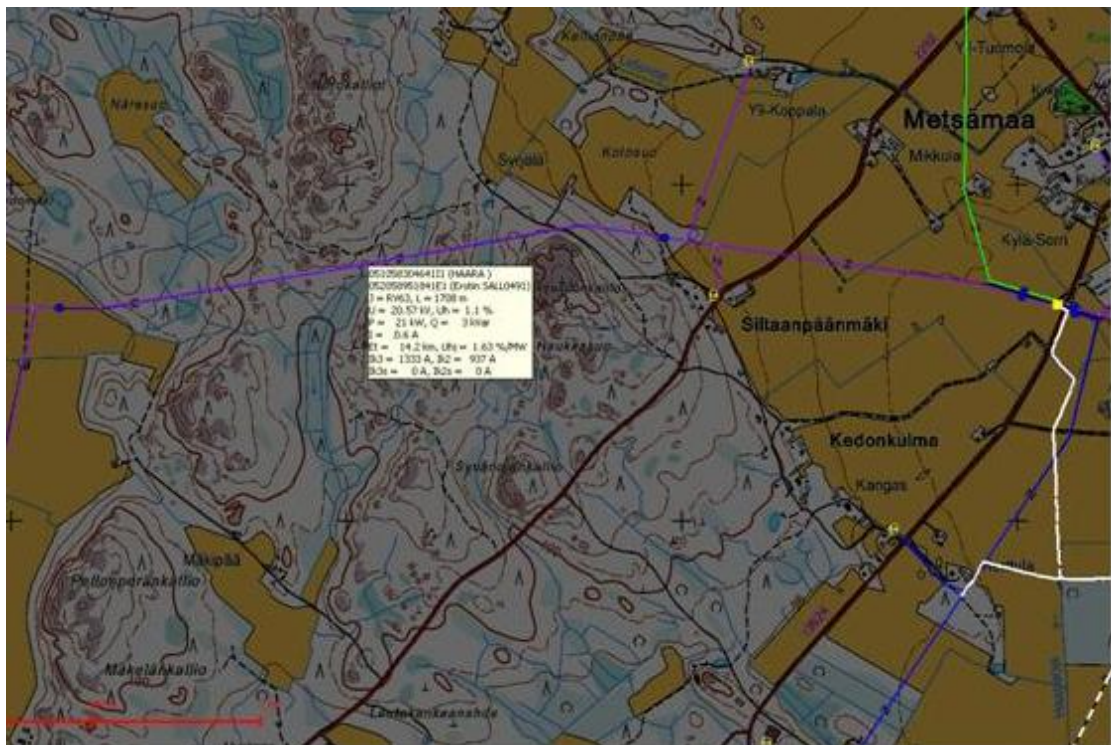
Kuvio 5. PAS-linja Huittisista

Vian todennäköisyyttä kasvattaa suuresti pitkä metsäosuus, joka tässä tapauksessa on lähes 5 km. Näin pitkä johtolinja metsässä on erittäin harvinainen näillä seuduilla.

Kyseessä on PAS120 linja. Kyseinen kaapeli voitaisiin toteuttaa esim. AXHW185 alumiinikaapelilla ja toisesta linjasta voitaisiin tällöin mahdollisesti myös luopua. Myöhemmistä vikaraporteista selvisi, että PAS-johdot olivat katkenneet vuonna 28.8 .2007 voimakkaan tuulen seurauksena.

4.3 Metsämaan mahdollinen vikapaikka

Toinen tunnettu vikapaikka, jonka vaihtamista harkitaan maakaapelointiin. Nykyinen linja on toteutettu Raven 63 johtimilla. Linja on rakennettu vuonna 1995, joten tästä syystä linjaa ei tarvitsisi vielä uusia, mutta tunnettuna vikapaikkana se mahdollisesti tulevaisuudessa voitaisiin tehdä.



Kuvio 6. Metsämaan metsäosuus

Raporteista selvisi, että linjalle on kaatunut useita puita vuosina 2006-2010. Yhteensä n 2km matkalla tällaisia tapauksia oli 3kpl. Kallioinen maanrakenne saattaa kuitenkin täysin estää maakaapelin käytön kyseisellä osuudella. Kyseeseen voisi tulla AXHW120 kaapeli, jos mahdollista.

4.4 Virtaankangas syöksyvirtaus

Eräs vikapaikka, jossa linja menee metsässä. Syöksyvirtauksen takia puita kaatui linjoille ja ilmajohtot katkesivat. Johto rakennettiin kuitenkin takaisin avojohtona. Osa lähdön haaroista on kuitenkin jo maakaapeloitu.

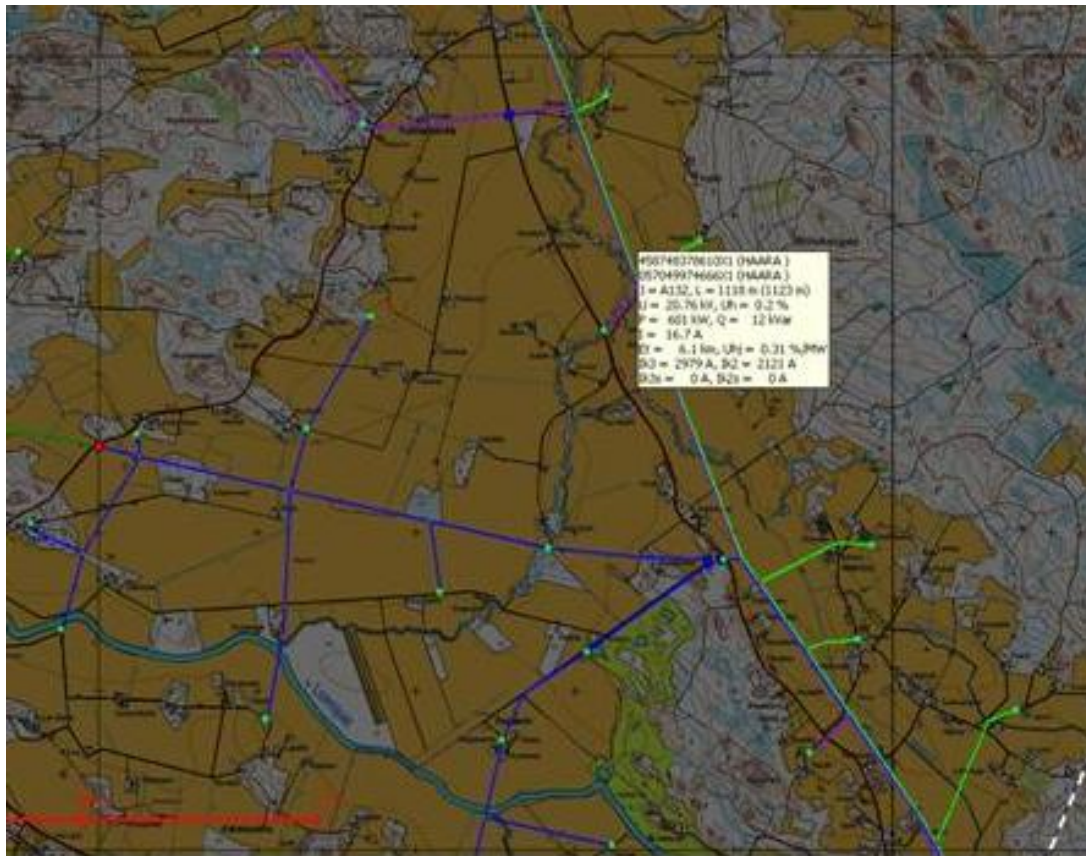
Maakaapeloinnin käyttöä helpottaa hiekkainen maa, johon kaapeli on helppo kaivaa.



Kuvio 7. Virtaankangas vikapaikka

4.5 Ypäjä vika joulukuu 2010

Aina edes ilmajohtojen vetäminen pois metsistä ei auta. Kyseisellä linjalla (vihreä/violetti) tapahtui 3 tunnin katkos, jonka lopulliseksi syyksi varmistui AI132 johdon katkeaminen.

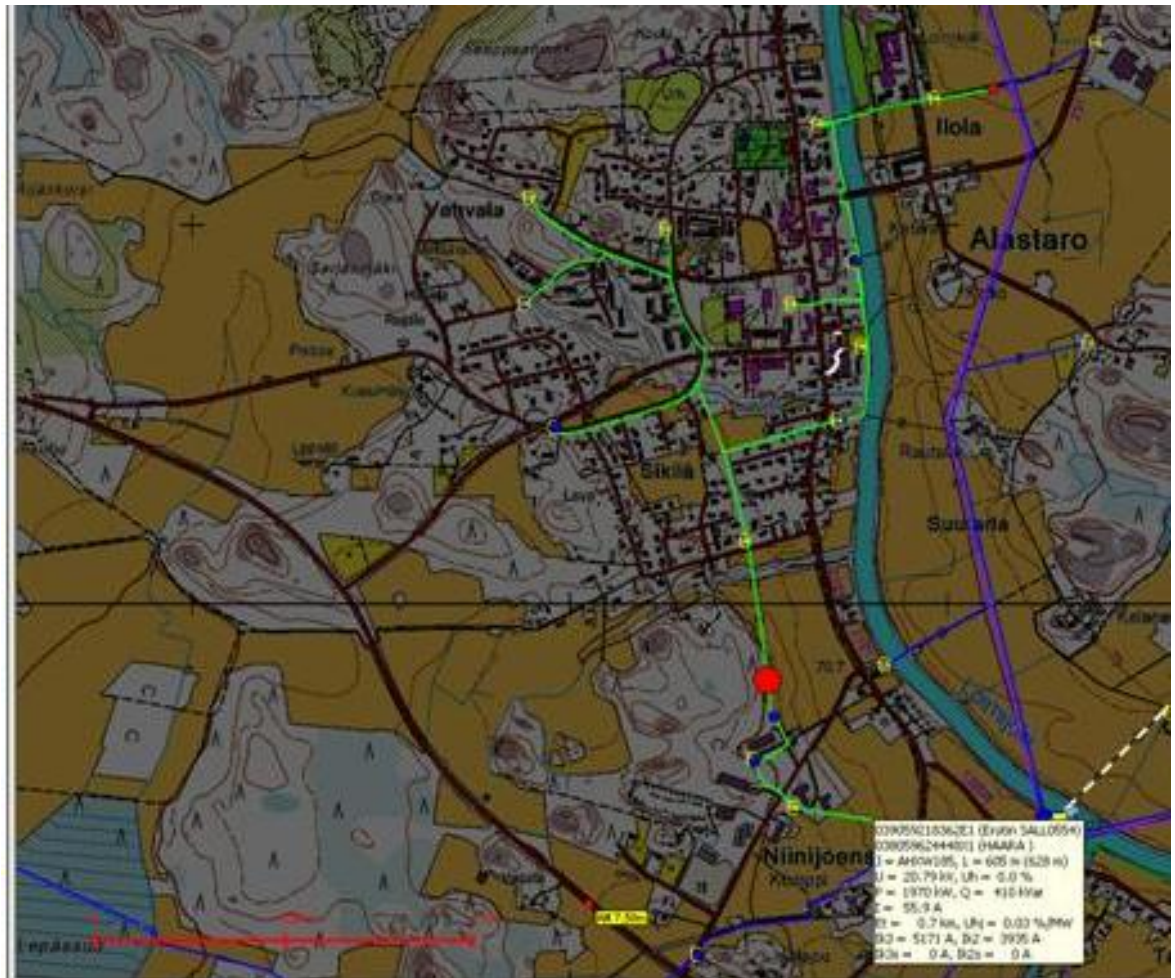


Kuvio 8. Ypäjän vikapaikka joulukuu 2010

Kyseinen linja on asennettu 1970-luvun suositusten pohjalta. Nykytiedon pohjalta suositukset eivät ole toimineet ja linjaa joudutaan korjaamaan. Esim. jännevälit ovat liian pitkiä. Kyseeseen voisi tulla kaksois- 20kV-linjan korvaaminen yksittäisellä maakaapelilla.

5. ALASTARON KAAPELOINTI

Kyseisessä lähdössä (vihreä) taajamaan syöttö tapahtuu vielä osittain avojohdolla Raven 63. Osittain johto on kuitenkin jo toteutettu maakaapeloinnilla.



Kuvio 9. Alastaron keskusta

Olemassa olevat ilmajohdot on rakennettu 1970-luvun lopulla eli niiden tekninen käyttöikä alkaa olla loppuillaan.

Tästä syystä koko taajamaan kaapelointi on jo myös kustannuksien kannalta järkevää. Osa linjasta on tehtyä PAS70-johdolla vuonna 1995. Näin ollen tämän linjan uusiminen ei muuten tulisi kyseeseen, ellei linja olisi taajamaa syöttävä johto.

Koska, esim. puun kaatuminen linjalle vaikuttaa koko lähdön toimintaan, tulisi ilmajohdoista päästä kokonaan eroon kyseisessä tapauksessa. Kuvasta nähdään myös, että asiakkaita kyseisellä syötöllä on kymmeniä. Mahdollinen vika verkossa hankaloittaisi useamman asiakkaan elämää.

Kyseistä taajamaa syötetään Niinijoensuun sähköasemalta. Taajama kuuluu Sallilan muuntopiiriin. Sähköaseman maasulkuvirta nykyään 44,2A 0 ohmiin ja 20,5 500 ohmiin. Muuntopiirissä johtojen kokonaispituus 5,5km ja maakaapeloinnin osuus 2,7 km.

Seuraavassa suunnitelmassa Kirkonkylän lähtö (vihreä) kaapeloitaisiin kokonaan. Alkupään osa erotinasemalta päin kaapeloitaisiin AXHW185 kaapelilla. Osa haaroista on jo kaapeloitu AXHW120 kaapelilla, joten loppuosatkin voitaisiin kaapeloida sillä.

Kaapeloinnin vaikutus maasulkuvirtoihin on seuraavanlainen, maasulkuvirta 0 ohmiin kasvoi lukemaan 51,5 A ja maasulkuvirta 500 ohmiin lukemaan 21,1A. Maasulkuvirrat eivät suuresti muuttuneet, vain 7,3 A eli kyseeseen tulisi hajautettu kompensointi.

Kaapeloinnin osuus kasvoi 2,7km:sta 5,5 km:iin, kun koko taajama kaapeloitaisiin. Sähkölinjan paikka ei välttämättä tulisi noudattamaan enää aivan ilmajohdon reittiä vaan maakaapelilla toteutus vaihtoehtoja olisi useampia.

On huomattava, että myös taajaman jälkeinen vika aiheuttaa keskeytyksen taajamaan, mikäli johtoreitti jatkuu taajaman läpi haja-asutusalueelle. Näin ollen taajaman jälkeiset johto-osuudetkin voivat olla kriittisiä taajaman sähkönjakelulle.

6. VIKARAPORTTIEN TUTKIMINEN

Seuraavassa osassa tutkin verkossa sattuneita vikapaikkoja. Vian sattuessa tulisi vikakohta lisätä raportteihin mahdollisimman tarkasti, jotta päästäisiin haluttuun tarkkuuteen. Tähän pitää kiinnittää erityistä huomiota, jotta vikaraporteista saadaan täysi hyöty verkon käyttövarmuuden arviointiin ja seurantaan. Vikaraportit pitää täyttää aina mahdollisimman täydellisesti. Kokemuseräisellä tiedolla vikapaikat voidaan kuitenkin edelleen määrittää ja verkon varmuutta näin ollen edelleen parantaa.

Seuraavassa osassa tarkoituksena oli tutkia aikaisempien vuosien vikaraportteja, joista voitaisiin päätellä mahdollisia verkon ongelmakohtia. Osa vikapaikoista oli jo suunnittelijoiden tiedossa, mutta kattavaa vikapaikkojen kohtia kartalla ei ole olemassa. Suunnitelmana oli siis tehdä Integraan suunnitelma, jossa paikat ilmenisivät.

Raporttien haku tapahtui käyttökäyttöjärjestelmä Operan raporttitietokannasta ACCESS 2000 tiedostomuodossa. Raporttien määrä oli myös suuri, sillä tarkasteltavana oli vuosien 2006-2010 raportit. Tarkasteltavana oli siis satoja raportteja. Vuosittain niiden määrä vaihteli paljon joistakin kymmenistä lähemmäksi sataa.

Raporteista karsin pois sellaiset viat joihin ei pysty vaikuttamaan etukäteen. Tällaisia ovat mm. rakenneviat tai ihmisten toiminnoista johtuvat viat: esim. kaivurilla oli osuttu maakaapelointiin. Myös ohjauksesta johtuvat viat karsin pois. Tärkeimmäksi vian aiheuttajaksi jäi näin ollen tuulen ja myrskyn aiheuttamat katkokset ilmajohtoille. Yleensä syynä tähän on puiden kaatuminen linjalle.

Vikoja rajattiin pois mm. ajan perusteella, jolloin PJK, sekä lyhyet joitakin minuutteja kestäneet ohjauksesta johtuneet viat jäivät pois tarkastelusta. Myös lyhyet ns. haamuviat jäivät pois. Näihin syytä saattaa olla mm. oksan tippuminen hetkellisesti linjalle, linnut tms. Tosin on huomattava, että jälleenkytkennät voidaan poistaa lähes kokonaan verkon maakaapeloinnilla, eikä maakaapeliverkossa olekaan syytä käyttää jälleenkytkentöjä.

Tällaisissa vioissa myös raportit olivat hyvin epämääräisiä eikä vikapaikkaa eikä syytä ollut tiedossa tai niitä ei ollut merkattu raporteihin. Vikaraporttien tarkkojen osoite- tai koordinaattitietojen puutteen vuoksi oli usein mahdotonta jälkikäteen selvittää aivan tarkkaa vikapaikkaa, mutta alue saatiin sentään rajattua erotin väleittäin. Pisimpään verkossa ollut vika tulkittiin vian aiheuttajaksi. Siis viimeinen erotinväli, joka oli jännitteetön, oli vikapaikka. Erotin väleillä päästiin tarkkuuteen 1-5km, mutta vikapaikoista puun kaatuminen voi tapahtua yleensä vain metsäkankailla. Tämä seikka tarkensi vikapaikan todennäköistä kohtaa jonkin verran.

6.1 Esimerkki vikaraportti

Tässä osiossa tutkin vanhoja vikaraportteja ja seuraavassa on esimerkki eräästä Sallilan vikaraportista.

Satapirkan Sähkö Oy DMS600 käytön tukijärjestelmä								
KESKEYTYS- JA VIKAILMOITUS								
Keskeytys- ja vikaraportointi (20 kV)								
Sähkoyhtiö:	Satapirkan Sähkö Oy							
Raportti N:o:	43							
Tapahtumapaiva:	13.2.2008 14:33:49							
Alue/Piiri:	SALL							
Syöttävä asema:	JOKISIVU							
Johtolähtö:	SJOKJ11Q0							
Käyttötilanne:	Normaali							
Keskeytyksen aiheuttaja:	V1: Oman 1..20 kV verkon odottamaton keskeyt							
Vian aiheuttaja:	L1: Tuuli ja myrsky							
Vian sijainti:	A2: Avojohtoverkko							
Vian laatu:	Maasulku							
Osoite:								
Eroonkytkenta:	Automaattinen							
Ilman kosteus:	Kuiva							
Tuuli:	Myrsky							
Lämpötila:								
Kasittelija:	spetki							
Vian etsintäaika M (h):	0.1							
Vian etsintäaika V (h):	0.6							
Vian korjausaika (h):								
Henkilötunnit (h):								
KorjauksenAloitusaika								
KAPELOINTIASTE								
Lisätietoja:	Puu linjalla, johto poikki. Pärssinen							
KESKEYTYKSEN LAAJUUS JA KESTO (osa-alueet / koko keskeytys):								
Alkoi	Paättyi	Kesto	MP	MPh	As	Ash	TJS/kWh	
SJOKJ11Q0#SPAJQ690								
14:33:49	14:34:34	00:00:45	9	0.1	56	0.7	1.3	
SALL0206#SALL0079								
14:33:49	15:33:34	00:59:45	8	8.0	66	65.7	185.6	
SPAJQ690#SPAJQ691#SALL0206								
14:33:49	16:35:19	02:01:30	3	6.1	24	48.6	48.8	
KOKO KESKEYTYS:								
14:33:49	16:35:19	02:01:30	20	14.2	146	115.0	235.8	

Kuvio 10. Tyypillinen vikaraportti

Kyseisestä raportista voidaan päätellä erotin numeroista vika-alueen laajuus ja paikka. Pisin katkos on välillä SPAJQ690#SPAJQ691#SALL0206, mistä voidaan päätellä vian olleen kyseisillä erotinväleillä.

Raporteissa oli nähtävissä suurten myrskyjen aiheuttama piikki vikatilastoissa ja määrissä. Tammikuussa 2007 tapahtunut myrsky aiheutti mm. 10 vikaa

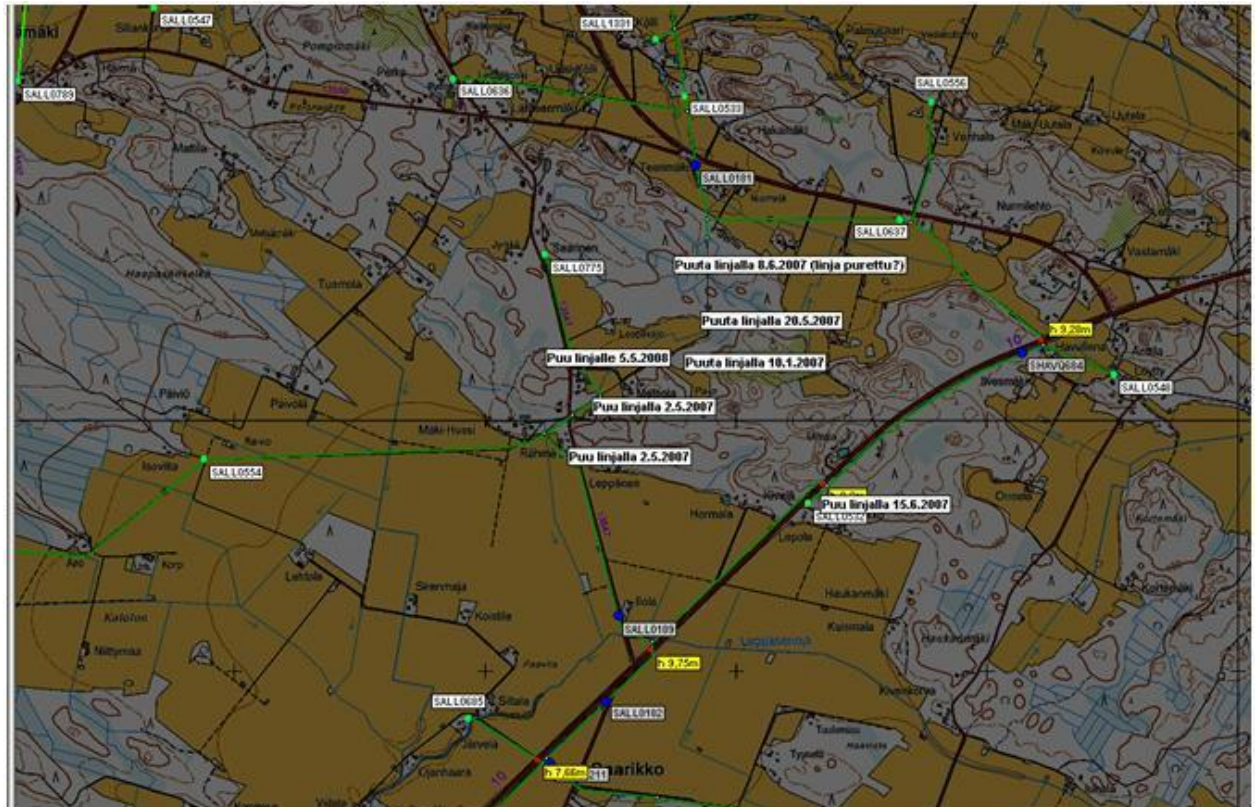
tunnissa. Viat johtuivat juuri pääosin puiden kaatumisesta linjoille kovan myrskyn takia. Muutenkin vuosi oli myrskyjen osalta hankalaa aikaa.

Vuosi 2008 oli jo huomattavasti helpompi ja myrskyjen aiheuttamia vikoja huomattavasti vähemmän. Osaltaan vuoden 2007 vikapaikkoja oli jo paranneltu ja linjoja otettu pois käytöstä vikaherkkimmistä paikoista. Osa hankalimmista linjoista myös maakaapeloitiin.

Vuosi 2009 oli vielä edellisvuotta 2008 parempi. Myrskyn aiheuttamia puiden kaatumisia linjoille oli vain yksittäisiä tapauksia. Vuosi 2010 oli myös edellisvuoden kaltainen. Joihinkin vikaherkkinä tunnettuihin verkon osiin on tehty toimenpiteitä. Vikatarkastelun tuloksena voidaan kuitenkin havaita erittäin vikaherkkiä paikkoja, joista esimerkkeinä seuraavia:

6.1 Ypäjä ”Murskanmäki” ongelmapaikka

Kuvasta nähdään, että vuonna 2007 vikoja osuudella oli 6kpl, joka on erittäin suuri määrä ottaen huomioon vikojen kokonaismäärän 99kpl kyseisenä vuonna.



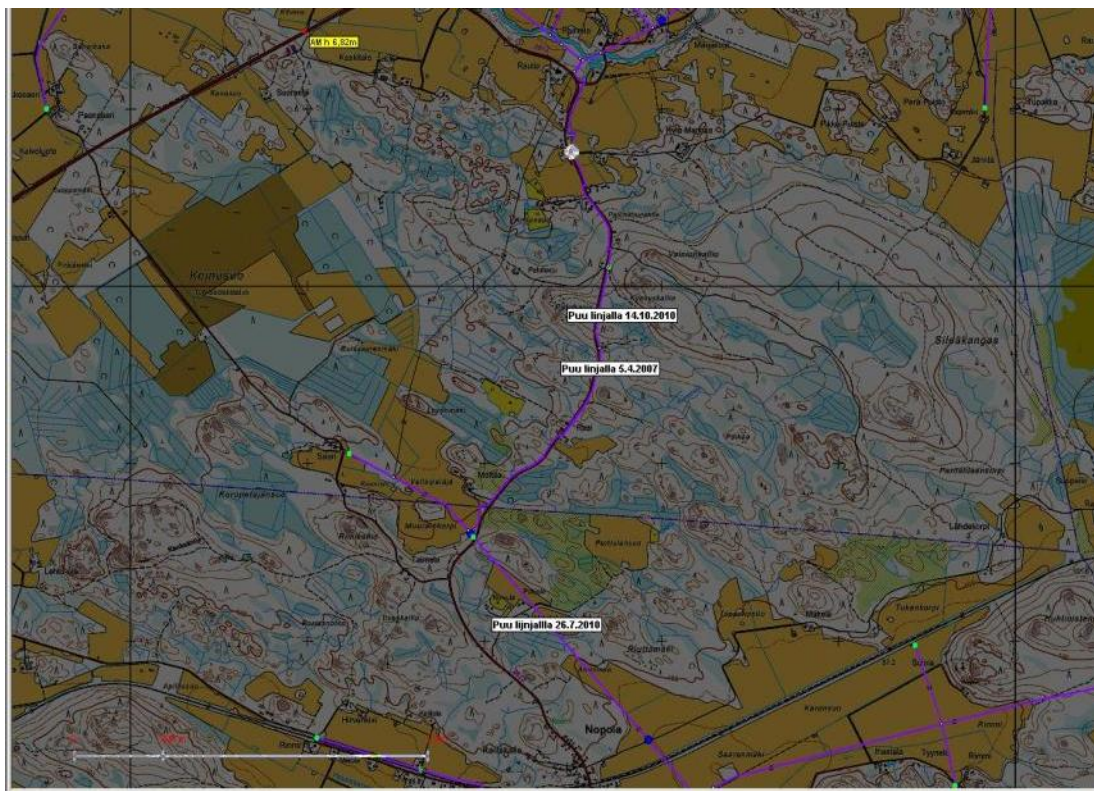
Kuvio11. Ypäjän vika-alue

Viat aiheutuivat suurten puiden kaatumisesta linjoille myrskyssä. Mäen sijainti pitkän pellonreunan päässä ja sopiva ilmansuunta altistavat myrskyvahingoille.

Vikojen suuresta määrästä johtuen linja otettiin pois käytöstä kahden erottimen väliltä ja linjoja parannettiin rakentamalla valtatie reunaan uusi PAS-linja.

6.2 Korven maakaapeloitu metsäosuus

Osittain verkkoon on tehty toimenpiteitä ja tämä noin 2km pituinen linja metsässä on jo maakaapeloitu. Aikaisempina vuosina linjalle on kaatunutkin useita puita. Kaapelina on käytössä AXHW120.



Kuvio 12. Korpi ja sen maakaapelointi

7. MAASULUN KOMPENSOINTI TARVE

Kolmannessa osassa tuli tutkia maasulun kompensoinnin tarvetta ja suuruusluokkaa. Maakaapeloinnin käyttö nostaa maasulkuvirtoja tyypillisesti 2.5A / km. Integran laskutuloksien mukaan maasulkuvirran kasvu on 1,9-2.6A /km. Kompensoinnin tarve riippuu suuresti siitä käytetystä kaapelista. Tästä johtuen asia tulee ottaa huomioon kompensointia mitoittaessa.

7.1 Maasulkuvirran laskentaa kaapeleilla.

Kaapelin tyypin ja koon merkitys on seuraavanlainen. Maasulkuvirta maakaapelilla voidaan laskea seuraavalla likiarvokaavalla (Nummi 2010)

$$I_e = 1,73 \cdot U \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot C_0 \quad (8)$$

jossa

C_0 = maakapasitanssi (verkostosuosituksista SA 5:94)

U = pääjännite (tässä 20,5kV)

Seuraavassa taulukossa on esitelty joidenkin työssä käytettyjen maakaapeleiden maasulkuvirtoja (taulukko 2).

TAULUKKO 2. Maakaapeleiden maasulkuvirrat (Nummi 2010)

Kaapeli	Poikki-pinta	Maa-sulkuvirta [A/km]	Maa-kapasitanssi Co [µF/km]	Pää-jännite U [kV]
AHXAMK-W	70	2,00	0,18	20,5
AHXAMK-W	120	2,56	0,23	20,5
AHXAMK-W	185	2,90	0,26	20,5
APYAKMM	70	3,23	0,29	20,5
APYAKMM	120	3,9	0,35	20,5
APYAKMM	185	4,57	0,41	20,5

Taulukosta nähdään mm. se, että jo kaapelin saneerauksella eli vaihdolla uudempaan voidaan pienentää maasulkuvirtoja.

Esimerkkinä seuraava:

AHXAMK-W 185 maasulkuvirta on 2,90 A/km ja APYAKMM 185 maasulkuvirta on 4,57 A/km.

Voidaan siis havaita, että vaihto vanhemman mallin kaapelista (APYAKMM) uudempaan (AHXAMK) pienentää maasulkuvirtoja jopa 1,67A /km.

Esimerkki lasku: AXHAMK-W 70 maasulkuvirran laskenta

AHXAMK-W 70

$$I_e = 1,73 \cdot U \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot C_0 = 1,73 \cdot 20,5kV \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,18\mu F \\ = 2,00A$$

Maakaapelointia ei kuitenkaan tällä hetkellä rakenneta Sallilassa kuin noin 20km/vuodessa, joten kompensointi laitteistoja ei kannata yli mitoittaakaan. 20km vuositahdilla kompensointi tarve kasvaisi siis n. 50A vuodessa.

Nykyisellä kaapelointitahdilla koko verkon muuttaminen avojohdoista kokonaan maakaapeliksi veisi noin 70 vuotta.

7.2 Hintatietoja kompensointilaitteista

Alla suuntaa antavia hintoja kompensointipaketeista.

Hinnat sisältävät:

- kuristin
- maadoitusmuuntaja omakäyttökäymillä
- suojarakennus betoniperustalla
- moottorihjattu tähtipiste-erotin
- suunnittelu
- asennus
- käyttöönotto ja koulutus

Hinnat eivät sisällä mahdollisia kojeistomuutoksia (kennojen lisäykset tai kalustamiset jne.) eikä kaukokäytön konfigurointityötä.

800kVAr, 6,7-67A, 85 000 €

2000kVAr, 16,9-169A, 100 000 €

3150kVAr, 26,6-266A, 115 000 €

5000kVAr, 42,2-422A, 125 000 €

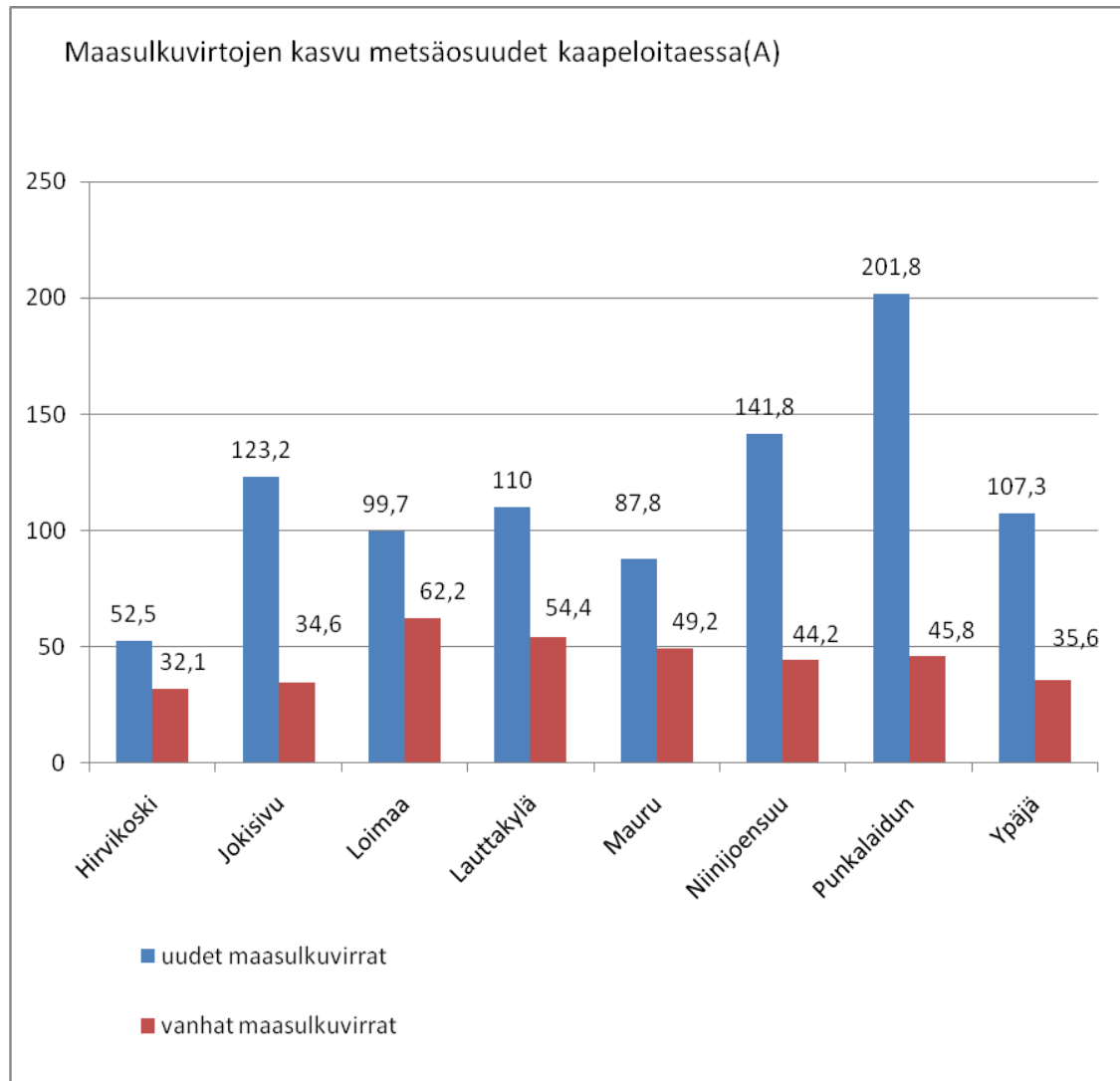
(Nummi 2010)

7.3 Maasulkuvirtojen kasvu sähköasemittain

Jos työni ykkösosassa olevat metsäosuudet vaihdettaisiin kokonaan maakaapelointiin, olisi maasulkuvirtojen kasvu seuraavanlainen. Seuraavassa kuvaajassa on esitetty maasulkuvirtojen kasvu sähköasemittain.

7.3.1 Maasulkuvirtojen kasvu metsäosuudet kaapeloitaessa

Kuvaajasta nähtävissä, että maasulkuvirtojen kasvu riippuu suuresti sähköasemista.

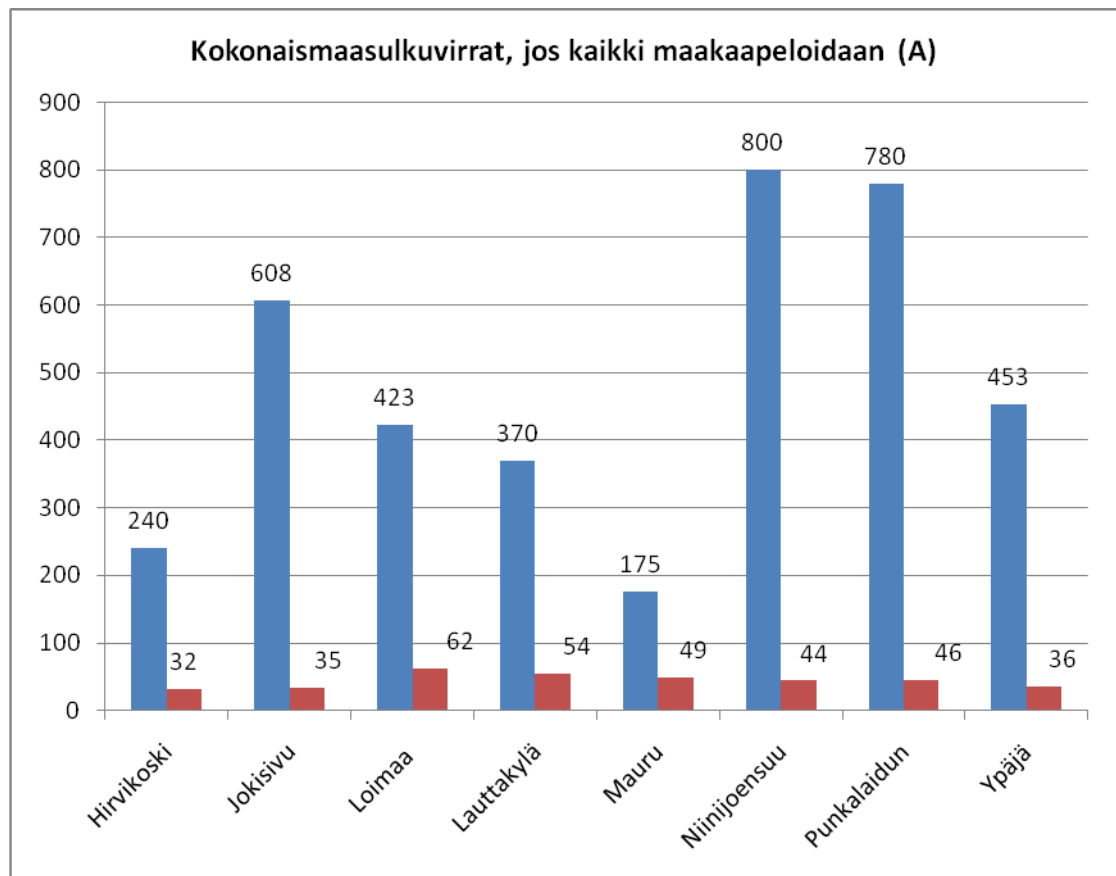


Kuvio 13. Maasulkuvirtojen kasvu metsäosuudet kaapeloitaessa

Maasulkuvirtojen kasvu riippuu tässä tapauksessa siitä, että kuinka paljon kyseisen sähköaseman alueella on metsäosuuksia. Punkalaitumella metsäosuuksia on paljon, kun taas Hirvikoskella hyvin vähän ja maasto on peltovaltaista.

7.3.2 Kokonaismaasulkuvirrat koko verkko kaapeloitaessa

Laskuissa on käytetty maasulkuvirran suuruutena 2,5 A / km. Kuviosta nähdään, että maasulkuvirtojen kasvu riippuu suuresti sähköasemasta. Uudet maasulkuvirrat ovat kuviossa sinisellä värillä ja vanhat punaisella.



Kuvio 14. Maasulkuvirrat eli kompensoinnin tarve muutettaessa koko verkko maakaapeloiduksi.

Tämä taas johtuu siitä, että Niinijoensuun ja Punkalaitumen sähköasemien verkon pituudet ovat pisimmät ja niillä näin ollen myös maasulkuvirrat kasvaisivat eniten, jos siirryttäisiin kokonaan maakaapelointiin.

7.3.3. Maasulkukompensointilaitteistot sähköasemittain

Riippuen siitä miten paljon tulevaisuudessa tullaan kaapeloimaan, päädytään suuruusluokaltaan sähköasemille erilaisiin kompensointilaitteistoihin. Jossakin

vaiheessa tultaneen siirtymään kokonaan maakaapeleiden käyttöön ja tämä tarvinnee ottaa huomioon maasulunkompensointia mitoittaessa.

Seuraavassa on ehdotuksia sähköasemien kompensointilaitteistojen suuruusluokista. Koska kompensointilaitteistoista oli esimerkkejä vain 5000 kVar asti, suuremman suuruusluokan laitteiston suuruus on arvio. Ongelmaksi muodostuu myös kompensointilaitteistojen alarajan säädettävyys, joka ei riitä nykyisille maasulkuvirroille. Laskuissa on käytetty maasulkuvirran suuruutena 2,5 A / km (taulukko 3)

TAULUKKO 3. Maasulkuvirran kompensoinnin tarve

sähköasema	Kaapelointiaste				Kompensoinnin tarve	
	25			100	A	(arvio) kVAr
	%	50 %	75 %	%		
	maasulkuvirrat kaapeloitaessa					
Hirvikoski	60	120	180	240	32-240	3150
Jokisivu	152	304	456	608	35-608	8000
Loimaa	106	212	317	423	62-423	6000
Lauttakylä	93	185	278	370	54-370	5000
Mauru	44	88	132	175	49-175	3150
Niinijoensuu	200	400	600	800	44-800	10000
Punkalaidun	195	390	585	780	46-780	10000
Ypäjä	113	226	340	453	36-453	6000

Kompensointi tarpeen alarajan suuruus on nykyiset maasulkuvirrat, jotka ovat nähtävissä Kuviosta 13 & Kuviosta 14.

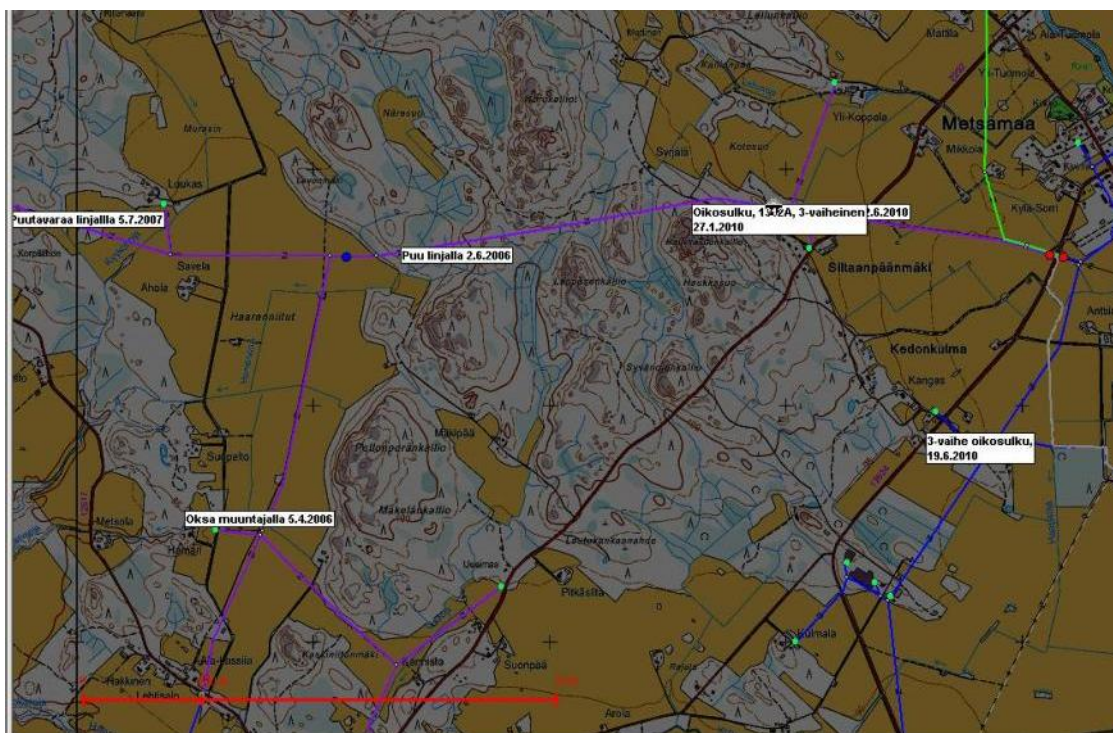
7.4 Ensisijaisesti kaapeloivat osuudet

Viimeisessä osiossa tuli tarkastella taajamia syöttäviä avojohtolinjoja, jotka ovat metsässä tai siellä osan matkaa. Tällaisten avojohtolinjojen muuttaminen maakaapeloinniksi on ensisijaisen tärkeää käyttövarmuuden parantamiseksi ja keskeytysten vähentämiseksi. Myös sähköasemien väliset avojohtolinjat tulisi

muuttaa mahdollisimman pian avojohdoista maakaapeliksi. Seuraavassa on esitelty joitakin edellä mainitun kaltaisia paikkoja.

7.4.1 Metsämaan metsälinja

Linjan tärkeyttä korostaa, että se on yksi taajamaa syöttävistä linjoista Metsämaan taajamaan.

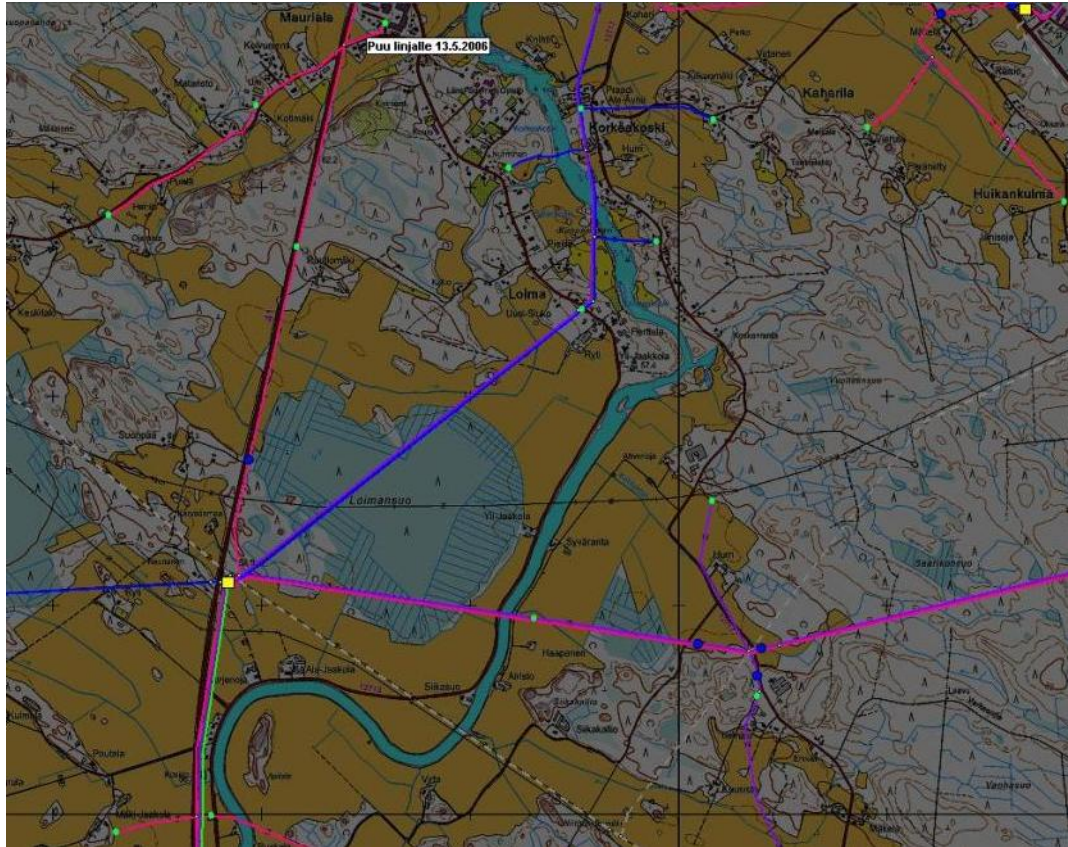


Kuvio 15. Metsämaan vikapaikka

Siksi se tulisi mahdollisesti vaihtaa maakaapelointiin. Alueelle on kuitenkin jo tulossa uusi kevytsähköasema, joka osaltaan korjannee kyseisen ongelman.

7.4.2 Jokisivun sähköaseman syöttö

Kuvasta nähdään, että sähköasemalta (keltainen neliö) lähtevät linjat, pohjoiseen ja itään, ovat molemmat pitkän matkan metsässä (värit ovat violetti ja punainen).



Kuvio 16. Jokisivun sähköasema

Pohjoiseen menevä linja on lisäksi kahden sähköaseman välillä oleva johto. Tämä osuus tulisi kaapeloida ensin. Linja on rakennettu kuitenkin vuonna 1982 ja kyseessä PAS120 ilmajohto. Käyttöikä ei siis vielä olisi täynnä.

PAS-ilmajohdon käyttö omalta osaltaan kyllä vähentää pienten sähkökatkosten todennäköisyyttä. Sen käyttö ei kuitenkaan poista puun kaatumisen vaaraa linjalta. Myös itään lähtevä johto on PAS-tyypistä ja se on toisesta loppupäästään kerran katkenutkin vuonna 2007. Myös pohjoiseen päin lähtevälle linjalle on kaatunut puu vuonna 2006.

8. JOHTOPÄÄTÖKSET

Metsäosuusien vikapaikkoihin on jo vuosien saatossa puututtu ja sama vikapaikka enää harvoin toistuu. Pitkät linjat metsän keskeltä on poistettu ja rakennettu ne teiden varsille. Ainoastaan suuret myrskyt aiheuttavat piikkejä keskeytys ja vikatilastoihin. Vikaraporteissa tulee keskittyä nykyistä vielä tarkemmin vikapaikan ilmoittamiseen, jotta tarvittaviin verkon kohtiin voidaan puuttua nykyistä paremmin.

Maakaapelointiin siirtyminen tulee olemaan tulevaisuudessa entistä kannattavampaa ja siirtyminen siihen on jo käynnissä. Tulevaisuuden verkot rakennettaneen lähes kokonaan maan alle ja näin käyttövarmuus saataneen aivan uudelle tasolle, eikä myrskyillä ole enää vaikutusta sähköverkon toimintaan. Tämä lisää maasulun kompensoinnin tarvetta, mutta käytön lisääntyessä myös laitteistojen hinnat varmaankin laskevat.

Nykpäivän haasteena on mielestäni jokaisella verkkoyhtiöllä pitää verkon luotettavuus saavutetulla tasolla. Toimenpiteitä, jotka edesauttavat verkon luotettavuuden parantamista lyhyellä tähtäimellä on verkon rakenteiden tarkastaminen ja mittaaminen. Näiden kautta ilmi tulleisiin puutteiden korjaamisen tulisi myös välittömästi ryhtyä eikä siirtää niitä tulevaisuuteen.

9. LÄHTEET

Aura L& Tonteri J. 1993. WSOY. Sähkölaitostekniikka. Oppikirja

EMV. Energiamarkkinaviraston päätökset. Liite 1. Menetelmät sähkön jakeluverkkotoiminnan tuoton määrittämiseksi 1.1.2008 alkavalla ja 31.12.2011 päättyvällä valvontajaksolla. [www-dokumentti]

Kananen R.2007. Kannattavuusselvitys eri vaihtoehtoista vähentää lyhyitä sähkökatkoksia Kainuun Energian sähköverkkotoiminnassa. Teknillinen korkeakoulu. Diplomi työ.

Lakervi E & Partanen J. 2009.Otatieto. Sähkönjakelutekniikka. Oppikirja.

Nummi E. 2010. Suunnittelupäällikkö. Sallila Sähkönsiirto. [sähköposti]

Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. SFS 6001 Suurjänniteasennukset,. [www-dokumentti]

Tella M. 2007. Sähköverkkoyhtiön keskijänniteverkon kehittämissuunnitelma. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Diplomityö

Törmä A.2006. Lyhyistä keskeytyksistä aiheutuvan haitan arviointi ja maasulun kompensoinnin kannattavuus Sallila Energia Oy:n jakeluverkossa. Tampereen teknillinen yliopisto .Diplomi työ.

Välssi V.2006.Sähköasemien varasyöttökytkennät. Tampereen ammattikorkeakoulu .Opinnäytetyö

Yritysesittely Sallilasta. <http://www.sallila.fi/yritysesittely> [www-dokumentti]

10. LIITTEET

-erityissanasto

-isot kuvat verkosta

-kaapelivalmistajan esite

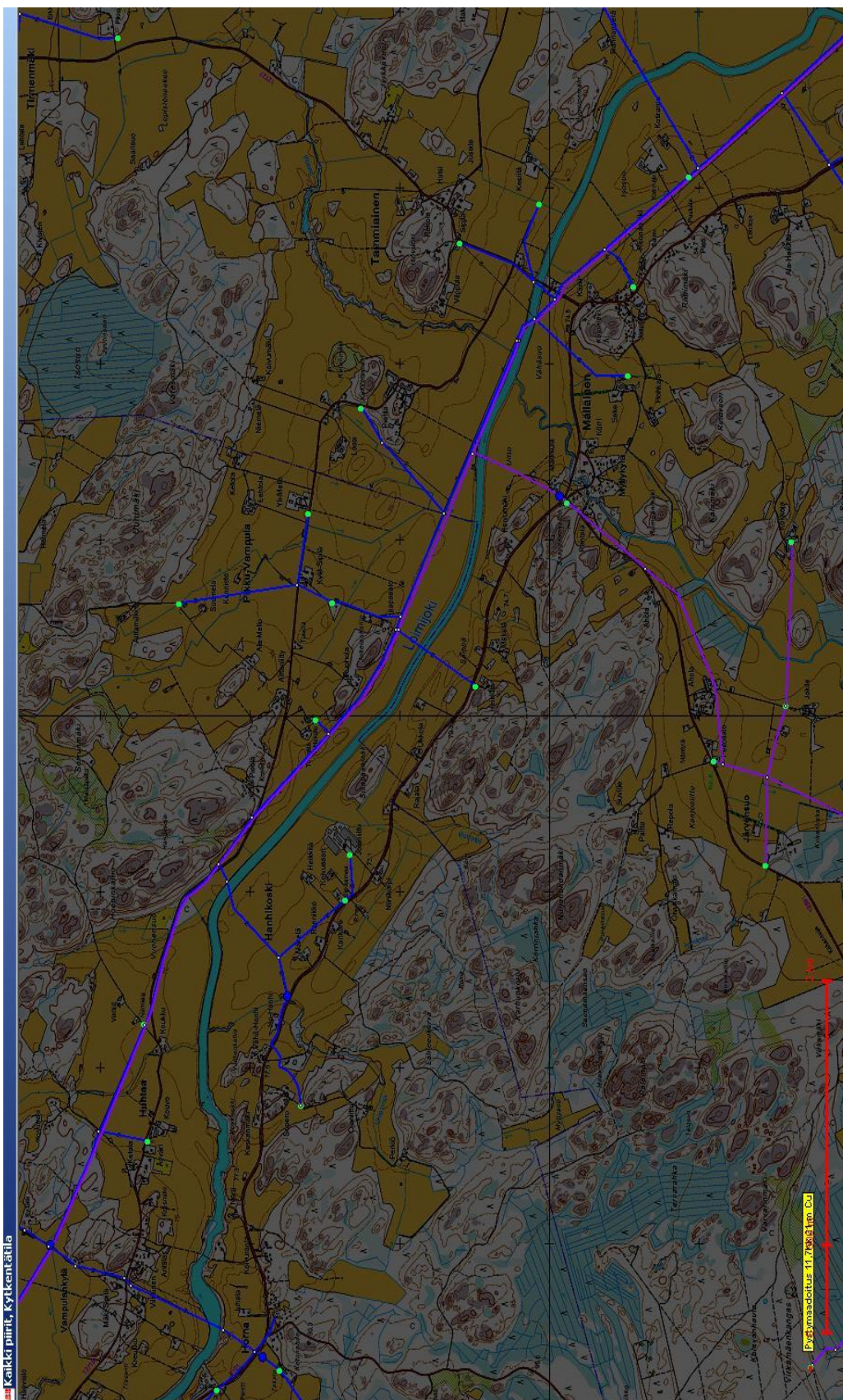
ERITYISSANASTO

LIITE 1

EMV	energiamarkkinavirasto
AJK	aikajälleenkytkentä
PJK	pikajälleenkytkentä
PAS	päälystetty avojohto
AHXAMK-W	PEX-eristeinen alumiinijohtiminen maakaapeli
APYAKMM	paperieristeinen alumiinijohtiminen maakaapeli
KJ-verkko	keskijänniteverkko
MP	muuntopiiri
MPh	keskeytysten vaikutusalueella olleiden muuntopiirien yhteenlaskettu keskeytysaika
As	asiakkaita
Ash	asiakas haitta
TJS/kWH	toimittamatta jäänyt sähkö kilowatteina

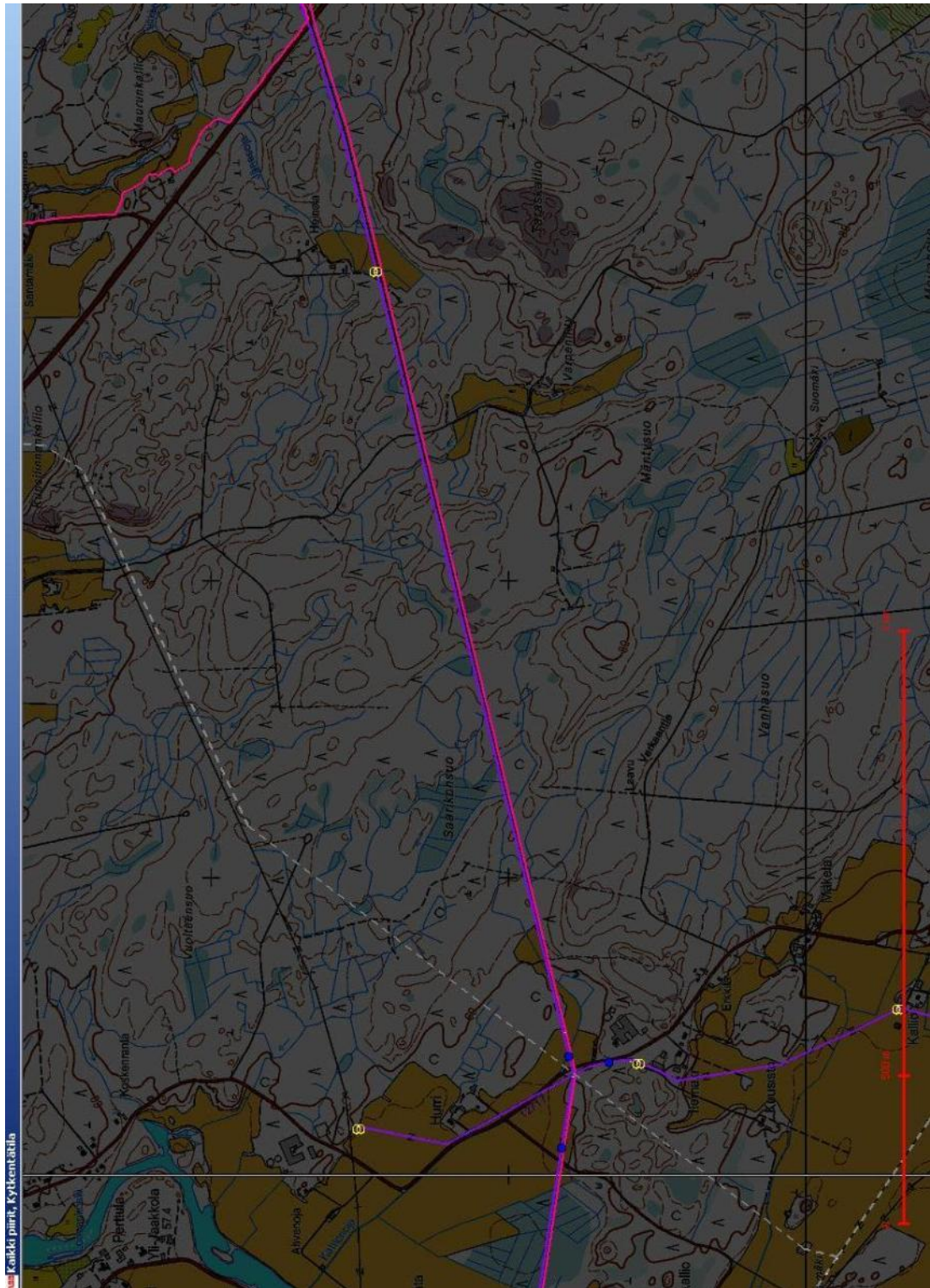
KUVIO 4 SUUREMPANA

LIITE 2



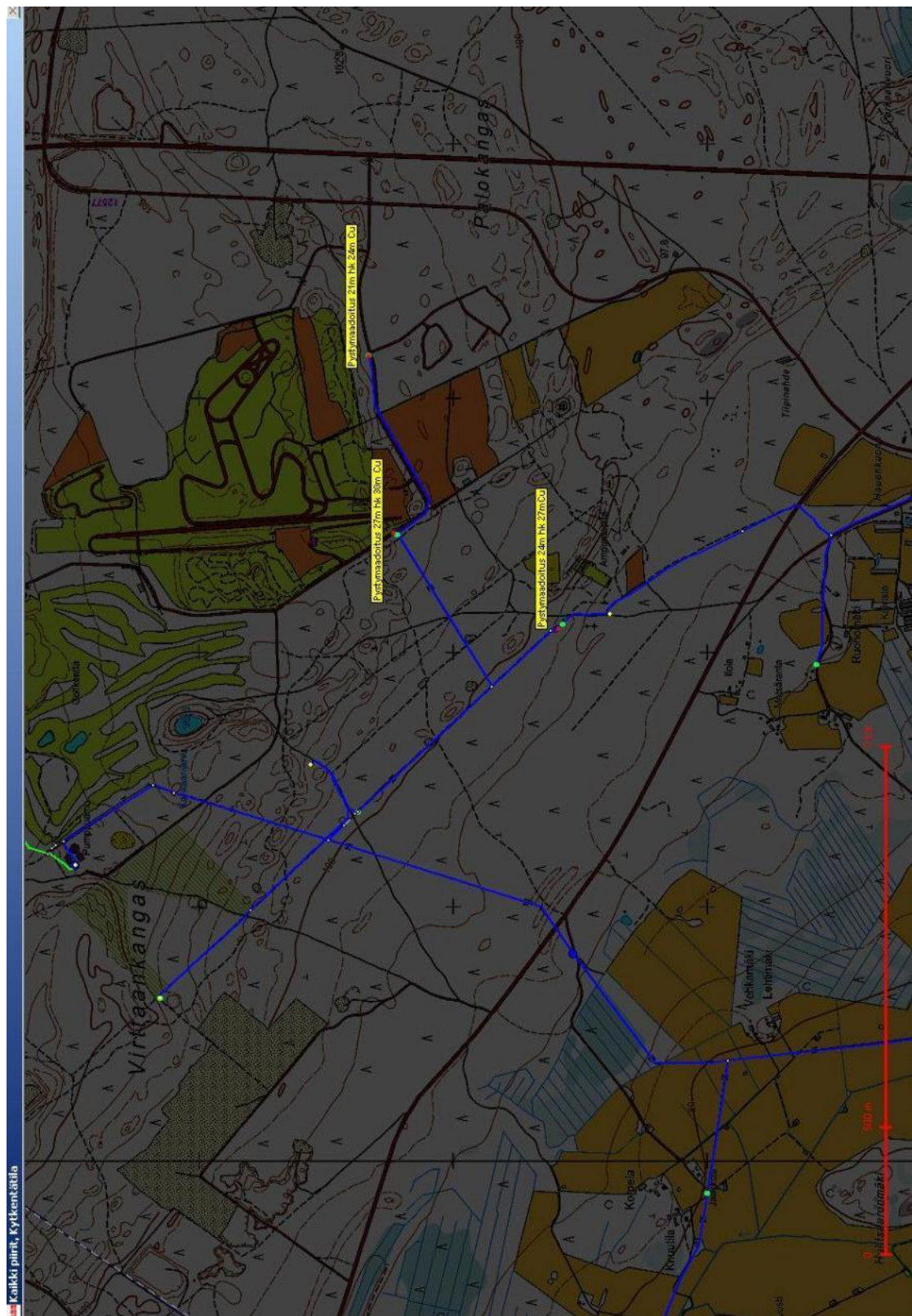
KUVIO 5 SUUREMPANA

LIITE 3



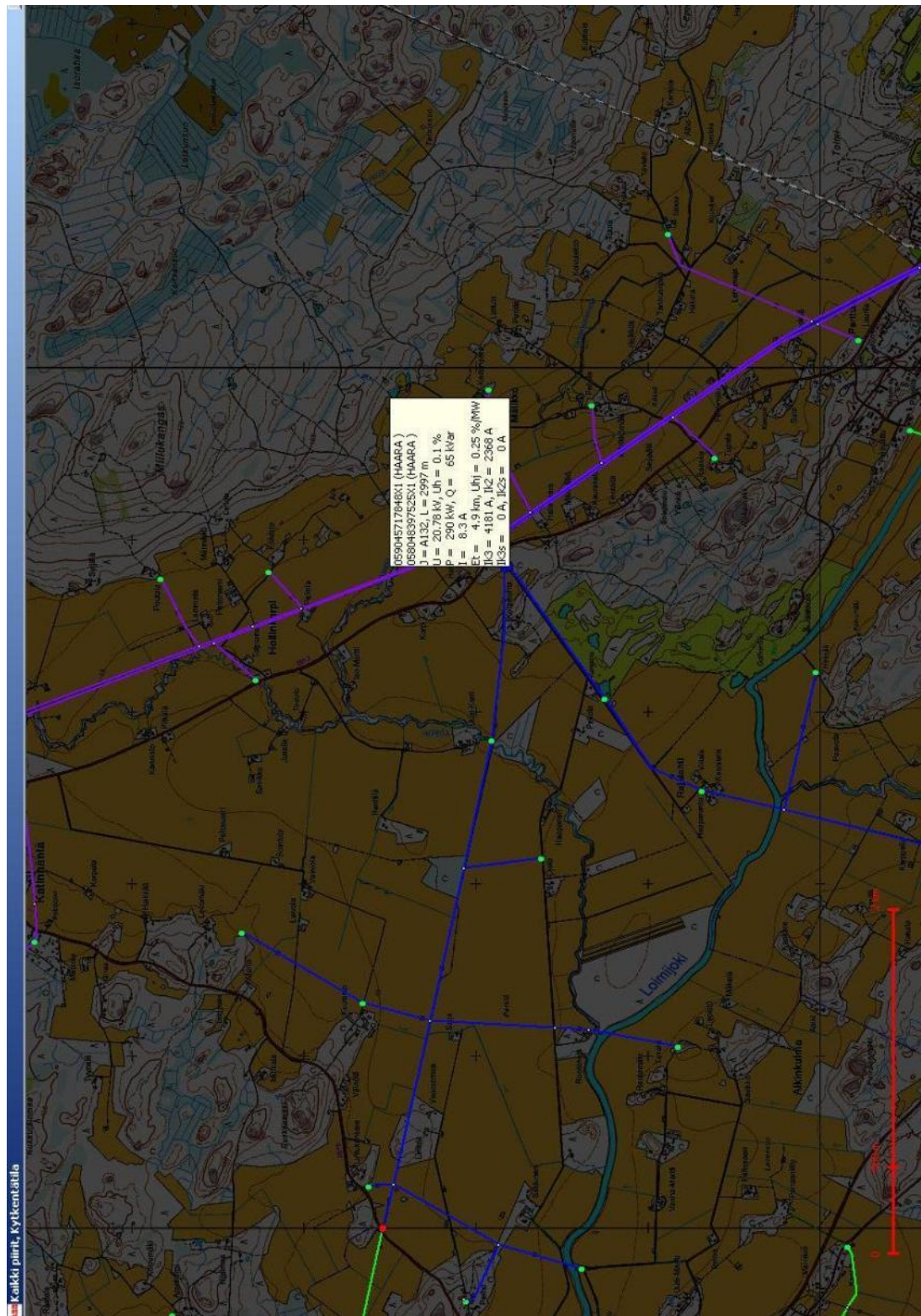
KUVIO 7 SUUREMPANA

LIITE 4



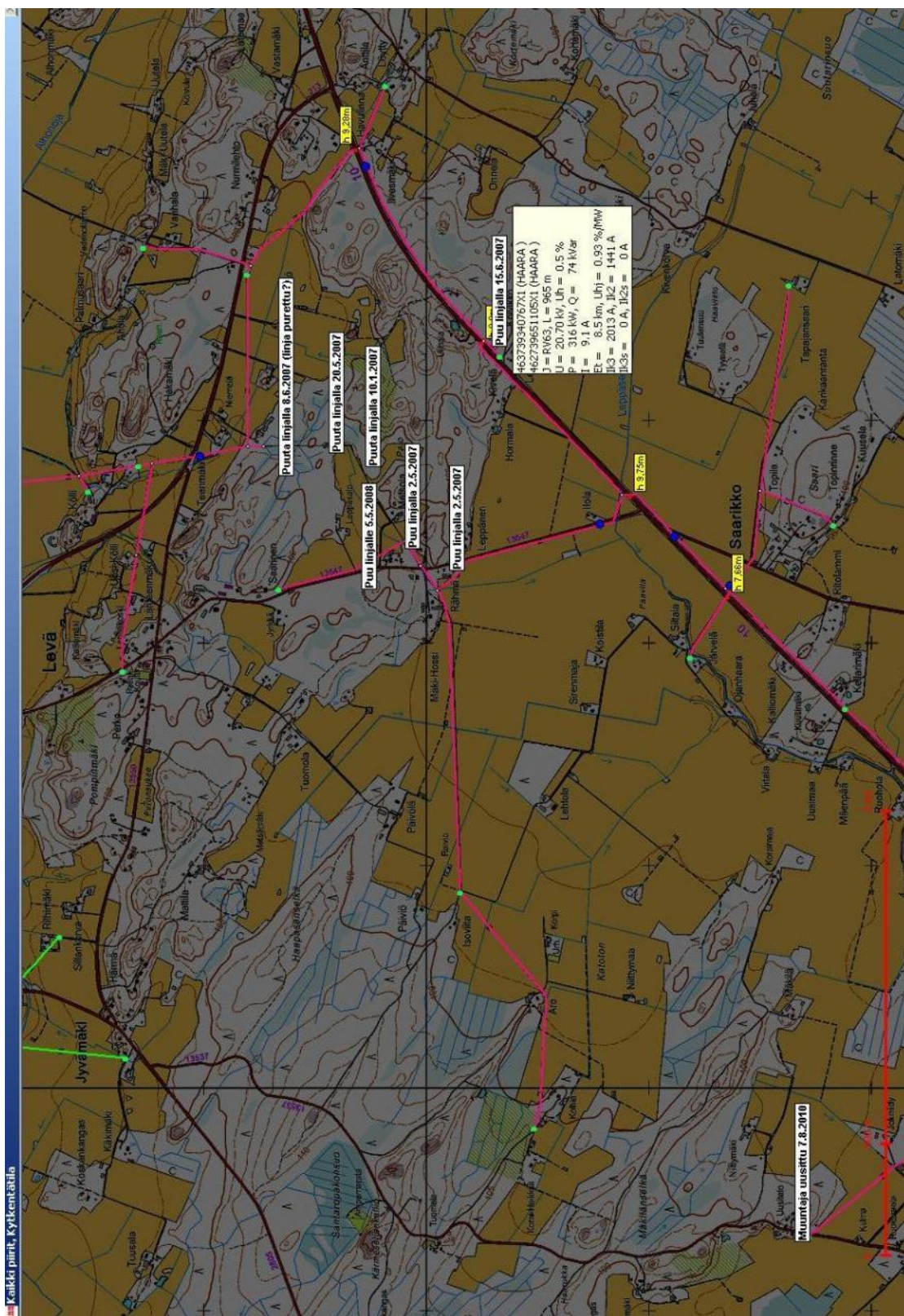
KUVIO 8 SUUREMPANA

LIITE 5



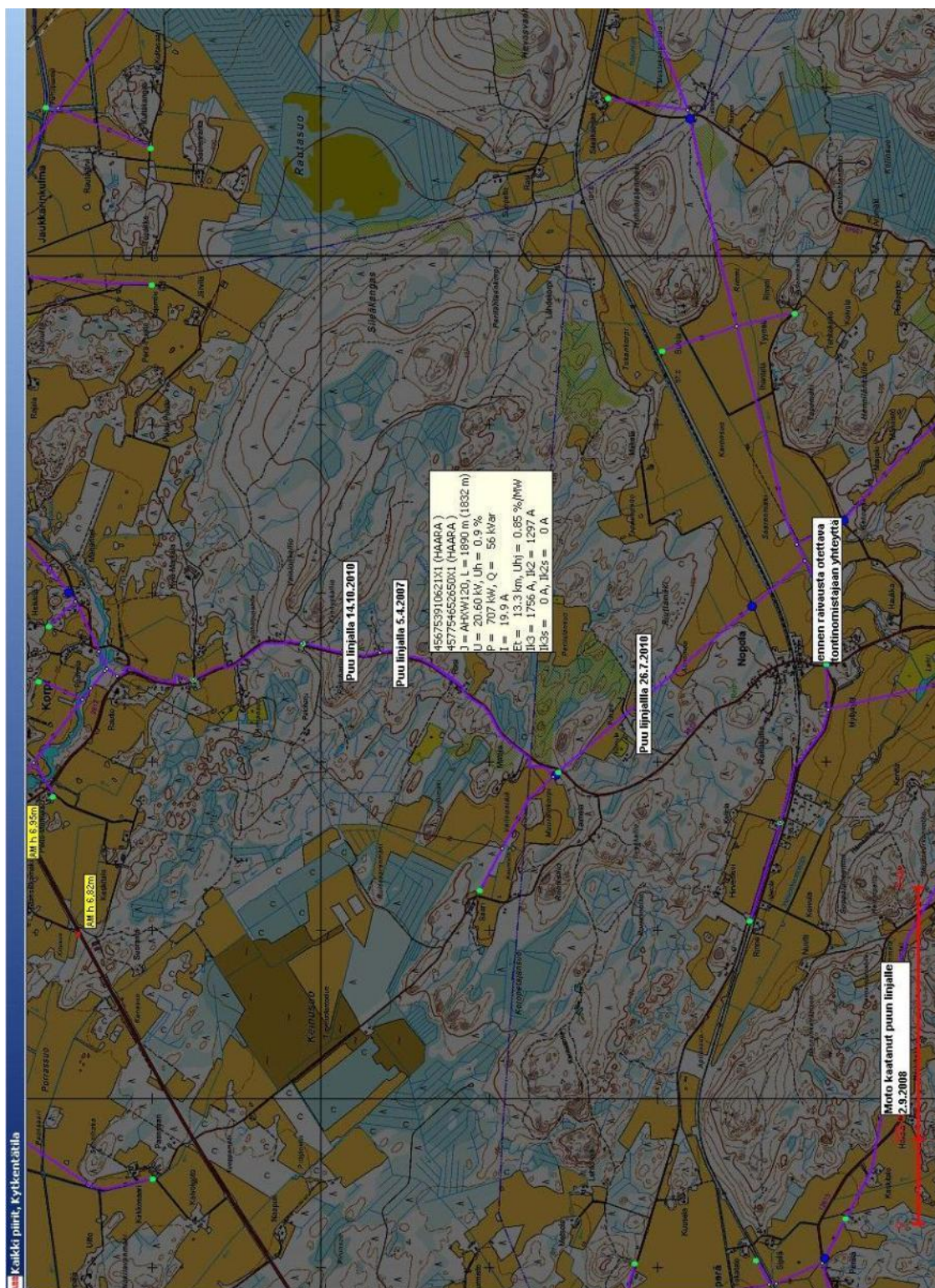
KUVIO 11 SUUREMPANA

LIITE 7



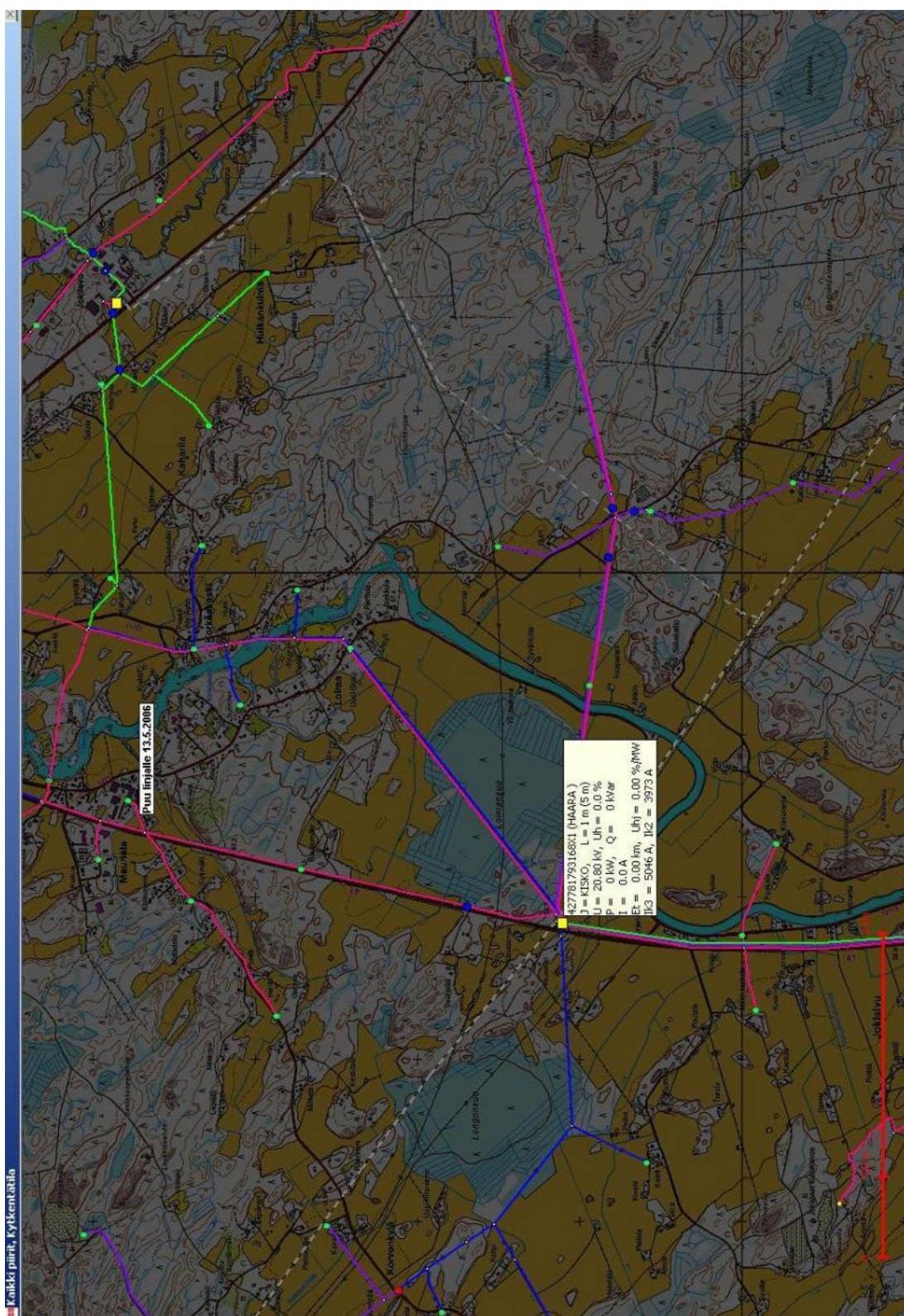
KUVIO 12 SUUREMPANA

LIITE 8



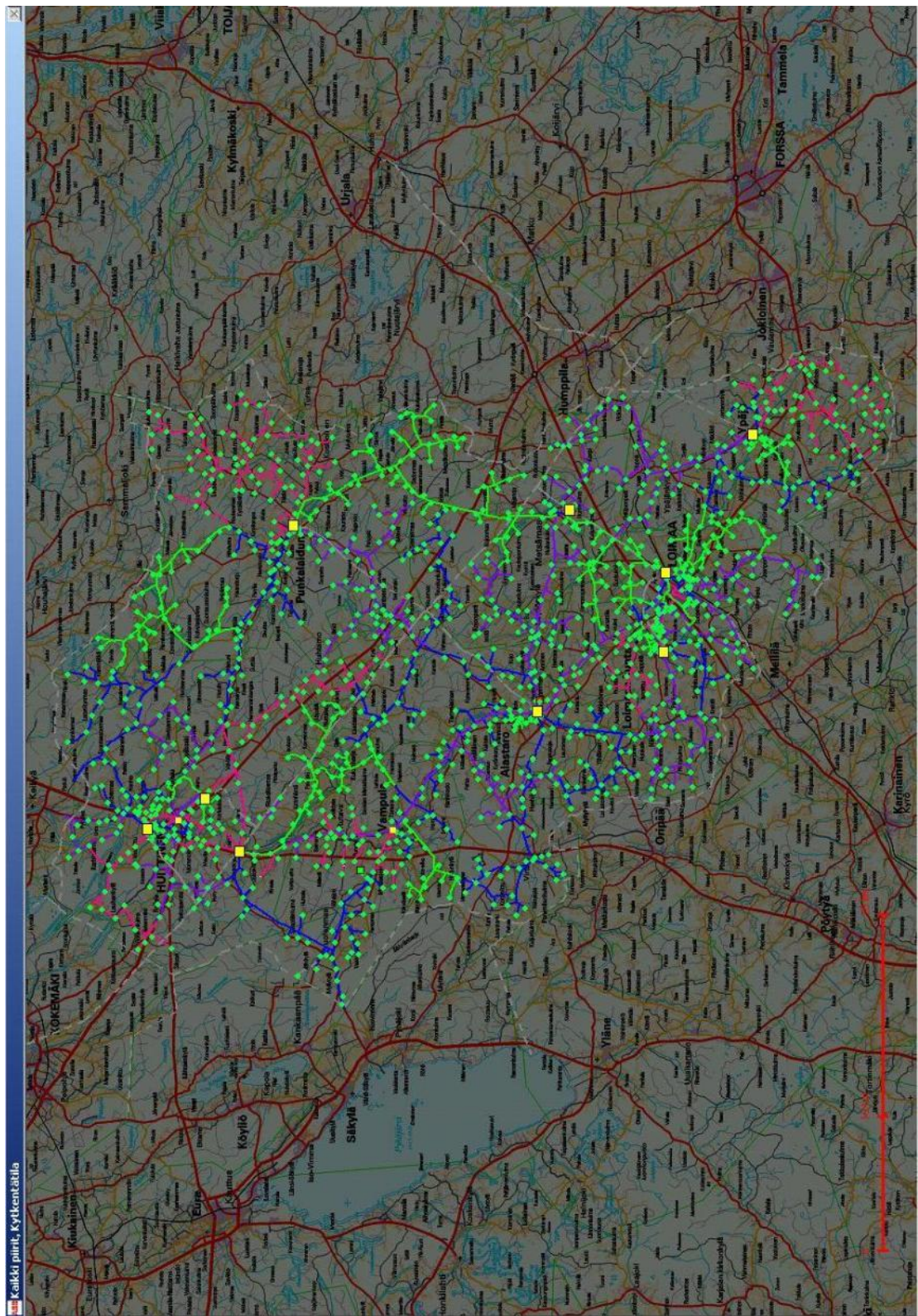
KUVIO 16 SUUREMPANA

LIITE 10



KUVIO SALLILAN JAKELUALUEESTA

LIITE 11





Keskijännitekaapelit

3-johtiminen 20 kV maakaapeli
AHXAMK-W 12/20 kV
**KÄYTTÖ**

Maa-asennukseen sekä kiinteään hylly- ja kanava-asennukseen ulkona ja palosuojattuna sisällä.

OMINAISUUDET

NIMELLISJÄNNITE
 Uo/U = 12/20 kV
 Johtimen suurin sallittu lämpötila
 - jatkuvassa käytössä +90°C
 - oikosulussa (enintään 5 s) +250°C
 Ailin suositeltu käsitelylämpötila -20°C
 Pienin suositeltu taivutusääde vaihe
 - asennusvedossa 15xD
 - lopullisessa asennuksessa kertataivutuksena 10xD
 kaapeli
 - asennusvedossa 12xD
 - lopullisessa asennuksessa kertataivutuksena 8xD
 Suurin sallittu asennusvetovoima¹⁾

¹⁾ Katso taulukot

RAKENNE

Johdin Vestitiivis pyöreä tiivistetty alumiinjohdin
 Johdinsuoja Puolijohtava muovi
 Eristys PEX-muovi
 Hohtosuoja Puolijohtava muovi
 Täyte Palstava puolijohtava nauhoitus
 Kosketussuoja Alumiini/muovilaminaatti
 Valppa Sääkestävä musta PE-muovi
 Keskusköysi Tiivistetty kuparijohdin
 Kertaus Valheet kerattu keskusköyden ympärille

STANDARDIT

SFS 5636
 HD 620-SF
 IEC 60502-2



Nimi	SSTL-no	Halkaisija		Paino kg/km	Vakiopituus m	Pakkaus
		Vaihe mm	Kaapeli mm			
AHXAMK-W 3x70+35 12/20kV	0623507	29	65	2700	500	K24
AHXAMK-W 3x95+35 12/20kV	0623509	32	70	3100	500	K24
AHXAMK-W 3x120+35 12/20kV	0623512	33	72	3600	500	K26
AHXAMK-W 3x150+35 12/20kV	0623515	34	75	3800	500	K26
AHXAMK-W 3x185+35 12/20kV	0623518	36	80	4200	500	K26
AHXAMK-W 3x240+70 12/20kV	0623527	39	88	5300	500	K28

© Draka NK Cables Oy, 2004.

Tässä asiakirjassa esitetty tieto ei saa ilman Draka NK Cables Oy:n etukäteen antamaa kirjallista lupaa kopioida tai millään muualla muotoon jäljentää, ei osittain eikä kokonaan. Ilmoitettujen tietojen tarkkuus olevan oikean esittämisen painotuksella. Draka NK Cables Oy varaa itselleen oikeuden muuttaa teknisiä tietoja ilman erillistä etukäteseloa. Nämä tiedot eivät ole sitovia, paitsi milloin tapauskohtaisesti Draka NK Cables Oy niin erikseen ilmoittaa.

Draka NK Cables Oy
 PL 419
 00101 Helsinki
 Puh. 010 5661
 www.draka.fi

D1436 / JT
 20.02.2008
 Korvaa:
 D1096 / JT
 1(2)

2(2)



Keskijännitekaapelit

3-johtiminen 20 kV maakaapeli
AHXAMK-W 12/20 kV

OMINAISUUDET

Johdinten lukumäärä ja poikkipinta n x mm ²	Pienin suositeltu talvutusväle				Suurin sallittu asennusvetovoima vetopäässä johtimista vedettäessä kN
	asennusvedossa		lopullisessa asennuksessa		
	väle m	kaapeli m	väle m	kaapeli m	
AHXAMK-W 3x70+35 12/20kV	0,44	0,78	0,29	0,52	6,3
AHXAMK-W 3x95+35 12/20kV	0,48	0,84	0,32	0,56	8,5
AHXAMK-W 3x120+35 12/20kV	0,50	0,87	0,33	0,58	10,8
AHXAMK-W 3x150+35 12/20kV	0,51	0,90	0,34	0,60	13,5
AHXAMK-W 3x185+35 12/20kV	0,54	0,96	0,36	0,64	16,6
AHXAMK-W 3x240+70 12/20kV	0,59	1,06	0,39	0,71	20,0

Johdinten lukumäärä ja poikkipinta n x mm ²	Johdinten maks. resistanssi			Induktanssi mH/km	Käyttökapasitanssi µF/km
	Väle (sisäjohtimet) 20°C, DC ohm/km	90°C, AC ohm/km ¹⁾	Keskusköysi 20°C, DC ohm/km		
AHXAMK-W 3x70+35 12/20kV	0,443	0,57	0,524	0,42	0,18
AHXAMK-W 3x95+35 12/20kV	0,320	0,41	0,524	0,40	0,21
AHXAMK-W 3x120+35 12/20kV	0,253	0,33	0,524	0,39	0,22
AHXAMK-W 3x150+35 12/20kV	0,206	0,24	0,524	0,37	0,24
AHXAMK-W 3x185+35 12/20kV	0,164	0,22	0,524	0,36	0,26
AHXAMK-W 3x240+70 12/20kV	0,125	0,17	0,268	0,35	0,29

Johdinten lukumäärä ja poikkipinta n x mm ²	Kuormitettavuus			Suurin sallittu terminen 1 s oikosuukivirta	
	Maassa johdin 65°C A	Ilmassa johdin 65°C A		johdin 90°C kA	Keskusköysi kA
AHXAMK-W 3x70+35 12/20kV	200	190	235	6,3	4,9
AHXAMK-W 3x95+35 12/20kV	235	230	280	8,5	4,9
AHXAMK-W 3x120+35 12/20kV	265	265	325	10,8	4,9
AHXAMK-W 3x150+35 12/20kV	300	300	370	13,5	4,9
AHXAMK-W 3x185+35 12/20kV	330	345	425	16,6	4,9
AHXAMK-W 3x240+70 12/20kV	385	400	510	21,6	9,8

HUOMAUTUS:

1) Väleiden kosketusvälejä yhdistetty toisiinsa yhteyden molemmissa päissä.

© Draka NK Cables Oy, 2004.

Tässä asiakirjassa esitettyä tietoa ei saa ilman Draka NK Cables Oy:n suostumusta antaa kolmelle
 luopua kopioida tai muuten julkistaa, ei osittain eikä kokonaan. Ilmoitusten tietojen
 laatuun olevan oltava erittäin huolellista. Draka NK Cables Oy vastaa kaikkien oikeuden
 muuttavien teknisten tietojen erittäin huolellisesta. Nämä tiedot eivät ole sitovia, päteviä milloin
 tapauskohtaisesti Draka NK Cables Oy:n erikseen ilmoittaa.

Draka NK Cables Oy
 PL 419
 00101 Helsinki
 Puh. 010 5651
 www.draka.fi

D1436 / JT
 20.02.2008
 Korvaa:
 D1098 / JT
 2(2)