

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Sähkövoimatekniikka

Tutkintotyö

Ville Lundgren

VIRTTAAN 20 kV RUNKOJOHTOVAIHTOEHDOT

Työn ohjaaja
Työn teettäjä
Tampere 2008

Yliopettaja Väinö Bergman
Sallila Sähkönsiirto Oy, valvojana suunnittelupäällikkö Esko Nummi

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Sähkötekniikan koulutusohjelma

Sähkövoimatekniikka

Lundgren, Ville

Virttaan 20 kV runkojohtovaihtoehdot

Tutkintotyö

51 sivua + 14 liitesivua

Työn ohjaaja

Yliopettaja Väinö Bergman

Työn teettäjä

Sallila Sähkösiirto Oy, valvojana suunnittelupäällikkö Esko Nummi

Toukokuu 2008

Hakusanat

Keskijännite, runkojohto

TIIVISTELMÄ

Tämän työn tarkoituksena oli tutkia erilaisia vaihtoehtoja Virttaan alueen uudelle 20 kV runkojohtolle. Nykyisin Virttaan alueen sähkönsyöttö tapahtuu Niinijoensuun 110/20 kV -sähköaseman johtolähdöstä SNJOJ03 Virttaa, mutta tehontarpeen kasvun vuoksi runkojohtotarkastelu kohdistuu tähän lähtöön.

Työssä on vertailtu erilaisia suunnitelmavaihtoehtoja Virttaan alueen sähkönsyötön parantamiseksi ja varmistamiseksi. Vertailussa otettiin huomioon eri vaihtoehtojen jännitteen alenema, maasulkuvirran kasvu, investointikustannukset ja keskeytyksistä aiheutuva haitta. Vertailu suoritettiin erilaisten toteutusvaihtoehtojen kesken.

Tuloksista voidaan havaita investointi-, keskeytys- ja häviökustannusten kohoavan merkittävään osaan investointipäätöstä tehtäessä. Vaihtoehto 1, jossa kondensaattoria käytetään jännitteen aleneman pienentämiseen, on investointikustannuksiltaan halvin, mutta sen keskeytyskustannukset ovat kalleimmat. Kokonaiskustannuksiltaan halvin on vaihtoehto 2, jossa avojohto rakennetaan tien 213 varteen. Kallein kokonaiskustannus on vaihtoehdossa 6, jossa rakennetaan uusi sähköasema Vampulan.

TAMPERE POLYTECHNIC
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Electrical Engineering

Electrical Power Engineering

Lundgren, Ville Virttaa 20 kV main power line

Engineering thesis 51 pages, 14 appendices

Thesis supervisor Väinö Bergman

Commissioning company Sallila Sähkösiirto Oy,
Supervisor: Esko Nummi, Manager, Network Planning

May 2008

Keywords Medium voltage, main power line

ABSTRACT

The aim of this study was to compare different solutions for the new 20 kV main power line for Virttaa area. The power supply of Virttaa area is performed from Niinjoensuu 110/20 kV substation by means of the feeder SNJOJ03 Virttaa. Because of the growth of the power it is needed to compare different solutions for Virttaa main power line.

In this study different plan alternatives have been compared to improve Virttaa area power supply and to improve the reliability of the electric distribution. In the comparison it has been taken into consideration the voltage reduction, earth fault current, investment and interruption costs in different alternatives. The comparison has been performed between different implementation alternatives.

It can be seen from the results that the investment costs and interruption costs have an important role when making an investment decision. The use of the capacitor battery to reduce the voltage reduction is an alternative with the cheapest investment costs but its interruption costs are the highest. The use of the medium voltage overhead line has the lowest total costs. The lowest interruption costs are when underground cable is used. The highest investment cost is in the new 110/20kV substation which would be built in Vampula.

TIIVISTELMÄ.....	2
ABSTRACT	3
1 JOHDANTO.....	6
2 SALLILA YHTIÖT.....	6
3 KESKIJÄNNITEVERKON SUUNNITTELU	8
3.1 Keskipäätönsuunnittelun määrittely ja määrittelykriteerit	8
3.1.1 Jännitteen alenema ja jännitetaso keskipäätönsuunnittelussa	9
3.1.2 Keskipäätönsuunnittelun kuormitettavuus ja kuormitushäviöteho	11
3.1.3 Keskeytyksistä aiheutuva haitta	11
3.1.4 Vikataajuus keskipäätönsuunnittelussa.....	13
3.1.5 Keskipäätönsuunnittelun huolto- ja kunnossapito	14
3.1.6 Keskipäätönsuunnittelun johtojen oikosulkukestoisuus ja -suojaus	14
3.1.7 Keskipäätönsuunnittelun ja rakennuttamisen kustannukset.....	16
3.2 Maasulku	17
3.2.1 Maasulku sammutetussa verkossa.....	17
3.2.2 Maasulku maasta erotetussa verkossa	19
3.2.3 Maasulkuvirta	20
3.2.4 Maasulkusuojaus	20
3.2.5 Maadoitusjännite	21
3.3 Sähköverkon suunnitteluohjelmistot	23
3.3.1 Open++ Opera v.4.2	23
3.3.2 Open++ Integra v.4.2.....	23
4 SUUNNITTELUKOHTTEEN KUVAUS.....	24
4.1 Kohteena oleva sähköverkko.....	24
4.2 Suunnitellut keskipäätönsuunnitteluliittymät.....	25
5 SUUNNITELMAVAIHTOEHDOT	25
5.1 Suunnitelmavaihtoehto 1	26
5.1.1 Jännitteen alenema ja oikosulkuvirta liittymässä.....	27
5.1.2 Maasulkuvirta	27
5.1.3 Investointi- ja häviökustannukset.....	28
5.1.4 Keskeytyksistä aiheutuvan haitan arviointi	28
5.2 Suunnitelmavaihtoehto 2	30
5.2.1 Jännitteen alenema ja oikosulkuvirta liittymässä.....	31

5.2.2 Maasulkuvirta	31
5.2.3 Investointi- ja häviökustannukset	32
5.2.4 Keskeytyksistä aiheutuvan haitan arviointi	32
5.3 Suunnitelmavaihtoehto 3	34
5.3.1 Jännitteen alenema ja oikosulkuvirta liittymissä	34
5.3.2 Maasulkuvirta	34
5.3.3 Investointi- ja häviökustannukset	35
5.3.4 Keskeytyksistä aiheutuvan haitan arviointi	35
5.4 Suunnitelmavaihtoehto 4	36
5.4.1 Jännitteen alenema ja oikosulkuvirta liittymissä	37
5.4.2 Maasulkuvirta	38
5.4.3 Maakaapelin tuottama loisteho	38
5.4.4 Investointi- ja häviökustannukset	39
5.4.5 Keskeytyksistä aiheutuvan haitan arviointi	39
5.5 Suunnitelmavaihtoehto 5	41
5.5.1 Jännitteen alenema ja oikosulkuvirta liittymissä	41
5.5.2 Maasulkuvirta	41
5.5.3 Maakaapelin tuottama loisteho	42
5.5.4 Investointi- ja häviökustannukset	42
5.5.5 Keskeytyksistä aiheutuvan haitan arviointi	42
5.6 Suunnitelmavaihtoehto 6	44
5.6.1 Jännitteen alenema ja oikosulkuvirta liittymissä	45
5.6.2 Investointi- ja häviökustannukset	45
5.6.3 Keskeytyksistä aiheutuvan haitan arviointi	46
5.7 Suunnitelmavaihtoehtojen kokonaiskustannukset	47
6 JOHTOPÄÄTÖKSET	48
LÄHTEET	50
LIITTEET	51

1 JOHDANTO

Sähkön kulutuksen merkittävä kasvu johtaa verkon uudelleen arviointiin ja laskentaan. Sähkön kulutuksen kasvua ei aina voida arvioida riittävällä tarkkuudella. Tällöin alueella tehtävät investoinnit muuttavat verkon kuormitustasoa, jonka nousu synnyttää tarpeen tehdä kytkentäjärjestelyjä tai parantaa verkon tehonsiirtokykyä vastaamaan tarvetta.

Virtaankankaalle tehtävä tehontarpeeltaan noin 1,8 MW:n tekopohjavesilaitos aiheuttaa runkojohtotarkastelun. Tehontarpeen lisääntyessä nykyinen Kiikankujan kautta kiertävä runkojohto ei riitä vastaamaan tehontarpeen kasvua.

Sähkön laatua koskevat vaatimukset tiukentuvat jatkuvasti, joten on tärkeää ottaa huomioon sähkön laadun vaatimukset. Energiamarkkinavirasto valvoo sähköverkkotoimintaa ja kerää tietoa esimerkiksi jakeluverkossa tapahtuneista keskeytyksistä. Jakeluverkon keskeytykset otetaan huomioon sähköverkon valvonnassa tuloslaskelman oikaisuna. Energiamarkkinavirasto on laatinut keskeytyksistä asiakkaalle aiheuttaman haitan laskentaan hinnaston, jonka avulla voidaan rahallisesti arvioida keskeytyksistä aiheutunutta haittaa.

Työssä on vertailtu runkojohtovaihtoehtoja eri kustannuslajien perusteella. Tärkeimmät kustannuslajit tässä työssä ovat investointi-, keskeytys- ja häviökustannukset. Työssä muodostuneita investointikustannuksia on arvioitu Energiamarkkinaviraston ylläpitämän suuntaa antavan hinnaston perusteella. Lopullista investointikustannusta on arvioitava tarjousmenettelyn avulla.

2 SALLILA YHTIÖT

Sallila Energia -konserniin (Sallila Yhtiöt) kuuluvat emoyhtiö Sallila Energia Oy sekä sen sataprosenttisesti omistamat tytäryhtiöt Sallila Sähkönsiirto Oy ja Sallila Sähköasennus Oy. Sallila Energia Oy:n päätoimipaikka sijaitsee Alastarolla. Konsernissa on töissä yhteensä 74 henkeä.

Sallila Sähkösiirto Oy on keskisuuri verkkoyhtiö, jonka jakelualueeseen kuuluvat Huittinen, Loimaa, Punkalaidun, Alastaro, Vampula ja Ypäjä. Jakelualue on esitetty kuvassa 1. Tässä esityksessä Sallila Sähkösiirto Oy:stä käytetään nimitystä "Sallila".

Sallila kuuluu SPS-ryhmään (Satapirkkan Sähkö Oy) sekä valtakunnalliseen Voimantoriketjuun. /1/



Kuva 1 Sallila Sähkösiirto Oy:n jakelualue

Sallilalla oli vuonna 2006 pienjänniteverkkoa (0.4 kV) yhteensä 2 668 km, josta maakaapeloitua 40 %. Samana vuonna keskijänniteverkkoa (20 kV) oli 1 438 km, josta maakaapeloitua 3,3 %.

3 KESKIJÄNNITEVERKON SUUNNITTELU

3.1 Keskijänniteverkon suunnittelun mitoituskeho ja mitoituskriteerit

Johdon mitoitus perustuu kuluttajaryhmien huipputehoon ja sen arvioituun kasvuun. Mitoituksessa on otettava huomioon myös johdon oikosulkukestoisuus, koska johto on mitoittettava oikosulunkestäväksi. Mitoitusta tehtäessä voidaan apuna käyttää mitattuja kulutustietoja tai ennustettua sähköenergian tarvetta. Nykyisin on käytettävissä mitattua tuntienergiatietoa varsinkin suurten sähkökäyttäjien osalta. Velanderin kaavan 1 avulla voidaan kuluttajaryhmittäin muuttaa energiatiedot tehoennusteiksi kokemukseräisesti tai käyttämällä mitattuja kertoimia ja summaamalla kuluttajatiedot yhtälön 2 mukaisesti. Verkon suunnittelussa voidaan käyttää myös erilaisiin kuormituskäyriin perustuvaa laskentamenetelmää. /2/

$$P_i = k_{1i} \cdot W_i + k_{2i} \cdot \sqrt{W_i} \quad (1) /2/$$

$$P = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot P_i, \quad (2) /2/$$

missä

i = indeksi, joka viittaa kuluttajaryhmiin

P = huipputeho

P_i = ryhmän i huipputeho

W_i = ryhmän i vuosienergia

k_{1i} = Velanderin kerroin

k_{2i} = Velanderin kerroin

α_i = osallistumiskerroin, joka ilmaisee, kuinka suuri osa kuluttajaryhmän suurimmasta tehosta on käytössä tarkasteltavana hetkenä.

Keskijänniteverkon suunnittelun ja mitoituksen perustana voidaan mm. pitää seuraavia mitoituskriteerejä: /2/

- jännitteen alenema
- kuormitettavuus
- käyttövarmuus
- oikosulkukestoisuus
- sähköturvallisuusmääräykset
- taloudellisuus
- standardit, lait ja suositukset.

3.1.1 Jännitteen alenema ja jännitetason nosto keskijänniteverkossa

Johdon sallittu jännitteen alenema U_h riippuu käyttötilanteesta, jännitteensäätömahdollisuudesta sekä johtopituudesta. Haja-asutusalueella ja pitkillä johdoilla voi jännitteen alenema muodostua merkittäväksi mitoituksen vaikuttavaksi tekijäksi.

Keskijänniteverkossa sallittu jännitteen alenema johdon loppupäässä on noin 3 - 7 %, mutta suunniteltaessa keskijänniteverkkoa on useimmiten pidettävä pienempiä jännitteen vaihtelurajoja.

Keskijännitejohdon jännitteen alenema voidaan laskea yhtälöllä 3.

$$U_h = 100 \% \cdot P \cdot l \cdot \frac{r + x \cdot \tan \varphi}{U^2}, \quad (3) /2/$$

missä

U_h = jännitteen alenemaprocentti

P = johdon kautta siirrettävä teho

l = johdon pituus

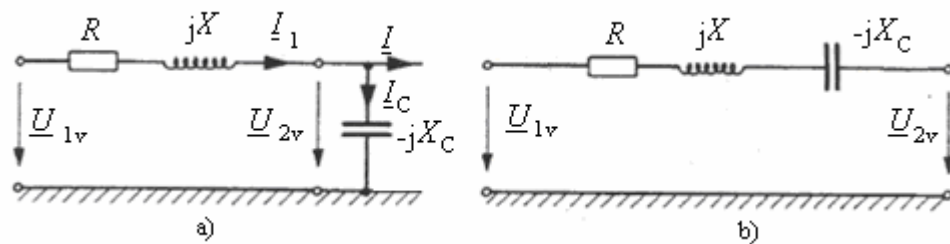
r = johtimen resistanssi pituusyksikköä kohti

x = johtimen reaktanssi pituusyksikköä kohti

U = pääjännite

φ = vaihesiirtokulma.

Keskijänniteverkossa jännitetasoa voidaan nostaa käyttämällä kompensointiin joko sarja- tai rinnakkaiskondensaattoreita. Sarjakondensaattoreita käytetään pitkillä siirtoyhteyksillä johdon reaktanssista syntyvän jännitteen aleneman kompensointiin. Rinnakkaiskondensaattori kompensoi sekä kuorman että johdon aiheuttaman loistehon, jolloin johdon siirtokyky paranee ja loisvirta sekä jännitteen alenema pienenevät. Yhtälöissä 4 ja 5 on esitetty kondensaattorin aiheuttama muutos kuormituskohdan jännitteessä. Kuvassa 2 on esitetty vastinpiiri johdon rinnakkais- ja sarjakompensoinnille. /2/



Kuva 2 Johdon a) rinnakkais- ja b) sarjakompensointi /2/

Vaihejännitteen muutos rinnakkaiskondensaattorilla

$$\Delta U_v \approx I_c X = \frac{Q_c \cdot X}{U_N} \cdot \frac{U_{1v}}{U_N} \quad (4) /2/$$

Vaihejännitteen muutos sarjakondensaattorilla

$$\Delta U_v \approx I_q X_c = \frac{I_q}{\omega \cdot C}, \quad (5) /2/$$

missä

ΔU_v = vaihejännitteen muutos

I_c = rinnakkaiskondensaattorin loisvirta

X = taustaverkon reaktanssi

Q_c = kondensaattorin kolmivaiheinen nimellinäennäisteho

U_{1v} = verkon vaihejännite

U_N = vaiheen ja maan välille kytkettävän kondensaattoriyksikön nimellispääjännite

I_q = johdon loisvirta

X_c = sarjakondensaattorin reaktanssi

C = kondensaattorin kapasitanssi

ω = kulmataajuus = $2\pi f$.

Sähkönkulutuksen kasvun ollessa hidasta voidaan kondensaattorin käytön avulla siirtää keskijänniteverkon vahvistamisen tarvetta. Kondensaattoriparistoa käytettäessä tai sen käyttöä suunniteltaessa on huomioitava sen verkossa mahdollisesti aiheuttamat kytkentäilmiöt. Kondensaattoria käytetään erityisesti verkon poikkeuskytkentöjen aikaisessa jännitteensäädössä.

3.1.2 Keskijänniteverkon kuormitettavuus ja kuormitushäviöteho

Suunniteltaessa keskijänniteverkkoa on johdon valinnassa otettava huomioon sen kuormitettavuus. Johto on mitoittettava niin, että sen poikkipinta-ala vastaa kuormitusta myös tulevaisuudessa. Erilaisille ilmajohdoille on määritelty niiden suurimmat sallitut kuormitettavuudet, jotka on annettu johdon teknisissä tiedoissa.

Kaapeleiden kuormitettavuus perustuu niiden suurimpaan sallittuun lämpenemään. Kaapeleiden suurimmat sallitut kuormitusvirrat ja lämpenemät on esitetty kaapeleiden teknisissä tiedoissa. Lämpenemään vaikuttavat johdon kuormitusvirta, kuormituksen vaihtelu sekä kaapelin asennustapa. Kaapelin suurin kuormitusvirta määritetään käytetyn reitin ja asennustapojen avulla. Näiden tietojen avulla valitaan kaapelin kannalta epädullisin jäähtymisolosuhte. /2/

3.1.3 Keskeytyksistä aiheutuva haitta

Keskeytyksistä aiheutuvaa haittaa (KAH) voidaan arvioida rahallisesti, jolloin otetaan huomioon asiakkaan kokemat sähkön jakelun keskeytykset ja vuosienergia. Keskeytyksiä aiheuttavat esimerkiksi rakenneviat ja luonnonilmiöt.

Keskeytykset voidaan jaotella seuraavasti:

- vikakeskeytykset
- suunniteltu keskeytykset
- pikajälleenkytkentä (PJK)
- aikajälleenkytkentä (AJK).

Eri kuluttajaryhmät kokevat keskeytykset eri tavalla. Esimerkiksi kotitaloudet eivät koe pikajälleenkytkentöjä kovinkaan haitalliseksi, kun taas teollisuudessa ne voivat aiheuttaa pahimmillaan tehtaan tuotannon pysähtymisen.

Asiakkaat voidaan jaotella kuluttajaryhmiin seuraavasti: /3/

- kotitalous
- maatalous
- teollisuus
- julkinen
- palvelu.

Taulukossa 1 on esitetty Energiamarkkinaviraston laatimat sähköntoimituksessa tapahtuneiden keskeytysten aiheuttaman haitan laskennassa käytetyt hinnat.

Taulukko 1 Sähkön jakelun keskeytyksistä aiheutuvan haitan laskennassa käytettävät hinnat /3/

Pitkä keskeytys				Lyhyt keskeytys	
Vikakeskeytys		Suunniteltu keskeytys		PJK	AJK
k_1	k_2	k_1	k_2	k_{pjk}	k_{ajk}
€/kW	€/kWh	€/kW	€/kWh	€/kW	€/kW
1,1	11	0,5	6,8	0,55	1,1

Yhtälön 6 avulla voidaan laskea kuluttajaryhmälle pitkistä keskeytyksistä aiheutuneet keskeytyskustannukset.

$$K_k = n \cdot P_{av} \cdot k_1 + t \cdot P_{av} \cdot k_2, \quad (6) /4/$$

missä

K_k = keskeytyskustannus

n = keskeytysten lukumäärä

P_{av} = kuluttajaryhmän keskiteho

k_1 = keskeytystehoa kuvaava KAH-tekijä

t = keskeytysaika

k_2 = keskeytysenergiaa kuvaava KAH-tekijä.

Jälleenkytkennöistä eli lyhyistä keskeytyksistä kuluttajaryhmälle aiheutuneet keskeytyskustannukset voidaan laskea yhtälöllä 7.

$$K_{jk} = n_{pjk} \cdot P_{av} \cdot k_{pjk} + n_{ajk} \cdot P_{av} \cdot k_{ajk} \quad (7) /4/$$

missä

K_{jk} = jälleenkytkennöistä aiheutuva keskeytyskustannus

n_{pjk} = kuluttajaryhmän kokemien pikajälleenkytkentöjen lukumäärä

P_{av} = kuluttajaryhmän keskiteho

k_{pjk} = pikajälleenkytkentää kuvaava KAH-tekijä

n_{ajk} = kuluttajaryhmän kokemien aikajälleenkytkentöjen lukumäärä

k_{ajk} = aikajälleenkytkentää kuvaava KAH-tekijä.

Laskennassa on käytetty palvelu kuluttajaryhmässä huipunkäyttöajan arvona 5000 tuntia ja muissa kuluttajaryhmissä 1680 tuntia. Käytetyt keskeytysparametrit ovat arvioitu kokemusperäisesti.

3.1.4 Vikataajuus keskijänniteverkossa

Energiateollisuus ry kerää tietoa jakeluverkkoyhtiöiden keskeytyksistä. Vuoden 2006 keskeytystilastoon on kerätty 75 jakeluverkonhaltijan keskeytystiedot. Tilasto kattaa 82 % Suomen jakeluverkkotoiminnasta. Taulukossa 2 on esitetty vikataajuu-
det eri johtolajeille.

Taulukko 2 Keskijänniteverkon vikataajuuudet (kpl / 100 km) /5/

	Avojohto	PAS	Maakaapeli
	kpl / 100 km	kpl / 100 km	kpl / 100 km
Vikakeskeytykset	6,29	0,31	0,60
Suunnitellut keskeytykset	2,38	0,42	0,43

Taulukon 2 perusteella 100 km:n matkalla avojohtoverkossa on 6,29 vikakeskeytystä vuodessa, PAS-johtoverkossa 0,31 ja maakaapeliverkossa 0,60. Lisäksi 100 km matkalla avojohtoverkossa on 2,38 suunniteltua keskeytystä vuodessa, PAS-johtoverkossa 0,42 ja maakaapeliverkossa 0,43. Työssä käytetyt vikataajuudet eri johtolähdöille on laskettu jokaisen johtolähtöön kiinnitettyjen johtotyyppien ja niiden pituuksien mukaan, jolloin on saatu lähdön keskimääräinen vikataajuus kilometriä kohti.

3.1.5 Keskijänniteverkon huolto- ja kunnossapito

Verkon ja sen eri komponenttien kuntoa voidaan valvoa erilaisin tarkastuksin, joiden perusteella ryhdytään tarvittaviin huolto- ja kunnossapitotoimiin. Tarkastusten perusteella verkolle tehdään tarvittavat huolto- ja kunnossapitotoimenpiteet. Verkostotarkastus suoritetaan kuuden vuoden välein, ja siinä tutkitaan pylväiden lahoaste sekä orsirakenteiden ja johtimien kunto.

3.1.6 Keskijänniteverkon johtojen oikosulkukestoisuus ja -suojaus

Johtimen oikosulkukestoisuuteen vaikuttavat /2/

- johdinaine ja johtimen poikkipinta-ala
- eristemateriaali
- oikosulkuvirran suuruus ja kestoaika.

Maakaapeliasennuksissa edellisten lisäksi oikosulkukestoisuuteen vaikuttavat /2/

- johtimen eristyksen lämmönkestävyys
- johtimelle sallittava lämpeneminen
- liitoksen lämmönkestävyys
- sähködynaamiset voimat.

Alkuoikosulkuvirran sekä jatkuvan tilan oikosulkuvirran voidaan olettaa olevan yhtä suuria ($I_k'' = I_k$), kun oikosulkuja tarkastellaan kaukana generaattoreista. Yhtälön 8 avulla voidaan kolmivaiheinen oikosulkuvirta laskea halutussa kohdassa keskijänniteverkkoa.

$$I_k = \frac{c \cdot U}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(R_k + R_M + l \cdot r_j)^2 + (X_k + X_M + l \cdot x_j)^2}}, \quad (8) /2/$$

missä

I_k = kolmivaiheinen oikosulkuvirta

U = pääjännite

c = jännitekerroin

R_k = syöttävän 110 kV:n verkon oikosulkuresistanssi 20 kV tai 10 kV:n portaassa

X_k = syöttävän 110 kV:n verkon oikosulkureaktanssi 20 kV tai 10 kV:n portaassa

R_M = päämuuntajan resistanssi

X_M = päämuuntajan reaktanssi

l = keskijännitejohdon pituus sähköasemalta oikosulkukohtaan

r_j = keskijännitejohdon resistanssi pituusyksikköä kohti

x_j = keskijännitejohdon reaktanssi pituusyksikköä kohti.

Oikosulkusuojauksen tarkoituksena on ehkäistä oikosulkuvirran aiheuttamat johtojen ja laitteiden lämpenemisvauriot sekä estää vikatilanteessa henkeen, terveyteen ja omaisuuteen liittyvät uhat.

Oikosulkusuojauksessa käytetään kahta erilaista reletyyppiä eli vakio- ja käänteis-aikaylivirtareleitä. Suomessa yleisesti käytetty reletyyppi on vakioaikaylivirtarele. Oikosulkusuojaukselta suunniteltaessa on otettava huomioon johtolähdössä olevien johtojen ja kaapeleiden ominaisuudet sekä asennustavat. Oikosulkusuojaus mitoitetaan kriittisimmän johto-osuuden mukaan. /6/

Avojohtoon oikosulkukestoisuus on parempi kuin maakaapelin, koska se luovuttaa lämpöä ympäristöönsä paremmin. Avojohtoon jäähtymisaikavakio τ on huomattavasti pienempi kuin maakaapelin. Jäähtymisaikavakio on aika, jonka kuluessa johdin on jäähtynyt 63 % saavuttamastaan loppulämpötilasta. Taulukossa 3 on esitetty eräiden kaapeleiden ja johtimien jäähtymisaikavakioita. Jäähtymisaikavakioon vaikuttavat kaapelin vaipan pinta-ala sekä eristysmateriaali.

Taulukko 3 Eräiden kaapeleiden ja avojohtimien jäähtymisaikavakioita /2/

Johdinlaji	τ / min
A1132	10
Raven	6
Sparrow	4
PAS 120	15
PAS 150	18
AHXAMK-W 3x185	53

3.1.7 Keskijänniteverkon suunnittelun ja rakennuttamisen kustannukset

Keskijänniteverkkoa suunniteltaessa otetaan taloudelliset kustannukset ja näkökohdat huomioon. Kustannukset voidaan jakaa seuraaviin kustannuslajeihin: /6/

- o investointikustannukset
- o kuormitushäviökustannukset
- o tyhjäkäyntihäviökustannukset
- o keskeytyskustannukset
- o ylläpitokustannukset.

Työssä esiin tulleet kustannukset on esitetty suunnitelmavaihtoehtojen yhteydessä.

Eri kustannuslajeja voidaan tarkastella laskemalla vuotuiset kustannukset yhtälön 9 mukaisesti. Näin huomioidaan verkon eri osien erilaiset elinkaaret. Sallilassa käytetään pitkäaikaisten investointien laskennassa 5 %:n korkokantaa ja 30 vuoden pitoaika.

$$a = \frac{\frac{p}{100}}{1 - \frac{1}{\left(1 + \frac{p}{100}\right)^T}}, \quad (9) /6/$$

missä

a = annuiteettikerroin

p = korkokanta

T = investoinnin taloudellinen pitoaika vuosissa.

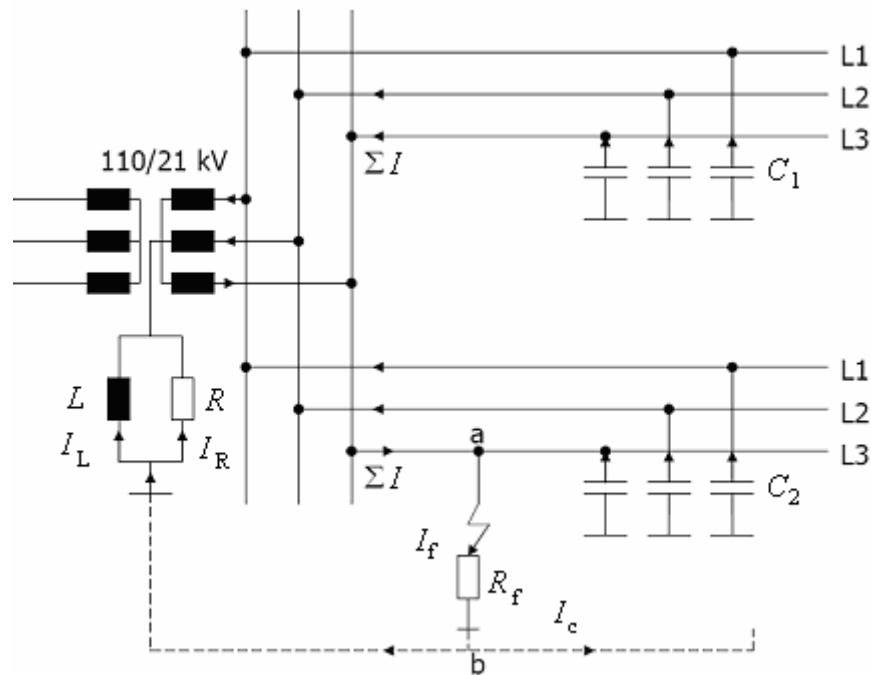
3.2 Maasulku

Maasulku aiheutuu vaihejohtimen ja maan välisestä yhteydestä. Avojohtoilla useimmiten maasulku tapahtuu puun kaatuessa johtimen päälle, jolloin vaihejohtimen ja maan välille syntyy yhteys. Maakaapeliverkossa maasulku voi tapahtua kivien rikkoessa kaapelin eristeen tai johtimen eristys vaurioituu kaivettaessa maan läheltä.

3.2.1 Maasulku sammutetussa verkossa

Sammutetussa verkossa päämuuntajan tähtipisteen ja maan väliin on asennettu kuristin, jolla voidaan kompensoida maasulkuvirtaa.

Tavanomainen maasulkuvirran keskitetty kompensointi toteutetaan 110/20 kV:n sähköasemalle sijoitetulla automaattisella portaattomalla säädöllä varustetulla kompensointikuristimella. Kompensointi voidaan mitoittaa ja virittää tarkasti, jolloin maasulku sammuu tehokkaasti kaikissa tilanteissa. Kompensoinnin vaikutus ulottuu kaikkiin verkon osiin normaalista poikkeavissakin kytkentätilanteissa. Järjestelmä on käytettävyydeltään hajautettua kompensointia tarkempi /2/. Kuvassa 3 on esitetty maasulkuvirran muodostuminen sammutetussa verkossa.



Kuva 3 Maasulkuvirran muodostuminen täysin kompensoidussa verkossa, kun vikaresistanssi on nolla /7/

Sammutetun verkon maasulkuvirran jäännösarvo voidaan laskea yhtälöllä 10.

$$I_{es} = \frac{\sqrt{1 + R_0^2 \cdot \left(3\omega C_0 - \frac{1}{\omega L}\right)^2}}{\sqrt{(R_f + R_0)^2 + R_f^2 \cdot R_0^2 \cdot \left(3\omega C_0 - \frac{1}{\omega L}\right)^2}} \cdot \frac{U}{\sqrt{3}}, \quad (10) /2/$$

missä

I_{es} = maasulkuvirran jäännösarvo

U = pääjännite

R_f = vikaresistanssi

R_0 = kompensointikuristimen ja tähtipisteen redusoitu verkon häviöresistanssi

C_0 = koko galvaanisesti yhteen kytketyn verkon maakapasitanssi / vaihe

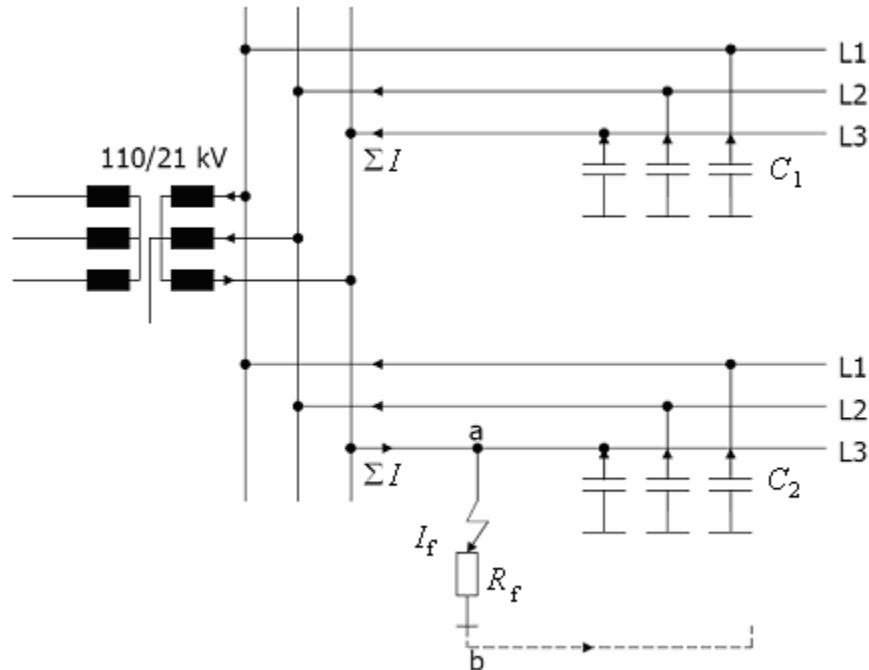
L = kompensointikuristimen induktanssi

ω = kulmataajuus = $2\pi f$

f = sähkön taajuus.

3.2.2 Maasulku maasta erotetussa verkossa

Sallilan verkot ovat tyypiltään maasta erotettuja. Maasta erotetussa verkossa päämuuntajan tähtipiste on eristetty maasta. Kuvassa 4 on esitetty maasulkuvirran muodostuminen maasta erotetussa verkossa.



Kuva 4 Maasulkuvirran muodostuminen maasta erotetussa verkossa, kun vikaresistanssi on nolla /7/

Maasukuvirran itseisarvon suuruus suorassa maasulussa voidaan laskea yhtälöstä 11, kun vikaresistanssi R_f on nolla:

$$I_e = \sqrt{3} \cdot \omega \cdot C_0 \cdot U, \quad (11) /2/$$

missä

I_e = maasulkuvirta

U = pääjännite

C_0 = yhden vaiheen maakapasitanssi

ω = kulmataajuus = $2\pi f$

f = sähkön taajuus.

3.2.3 Maasulkuvirta

Maasulkuvirta on riippuvainen 110/20 kV:n päämuuntajan jälkeen verkossa olevien johtimien maakapasitansseista, jotka perustuvat johtimien pituuteen. Maakaapelin käyttö keskijänniteverkossa kasvattaa sähköaseman maasulkuvirtaa noin 2,1–3,5 A/km. Kasvu on riippuvainen johtimen poikkipinta-alasta. Avojohto kasvattaa sähköaseman maasulkuvirtaa noin 0,07 A/km. /8/ /9/

3.2.4 Maasulkusuojaus

Maasulkusuojauksen avulla voidaan välttää henkeen, terveyteen ja omaisuuteen liittyviä vahinkoja tai tapaturmia.

Maasulku voidaan havaita seuraavin indikaattorein: /6/

- perustaajuisen tähtipistejännitteen suuruus
- perustaajuisen vaihejännitteen muutos
- perustaajuinen summavirta
- virran ja jännitteen yliaallot
- suurtaajuiset muutosvirrat.

Avojohto- ja maakaapeliverkoissa käytetään yleisesti laukaisevaa maasulkusuojautta, joka toteutetaan käytännössä sähköasemalla sijaitsevilla maasulun suuntareleillä. Suojaus perustuu maasulun aiheuttamaan vaihevirtojen epäsymmetriaan ja tähtipistejännitteen kohoamiseen. Laukaisevassa maasulkusuojauksessa vika kytetään välittömästi pois, mutta syntyvälle valokaarelle annetaan pieni aika sammua itse.

3.2.5 Maadoitusjännite

Vikapaikassa kulkeva maasulkuvirta I_e aiheuttaa omaisuuden ja tapaturman vaaran. Maasulkuvirran kulkiessa maadoitetun osan kautta, syntyy maadoitusjännite. Maadoitusjännitteen arvo voidaan laskea yhtälöllä 12.

$$U_m = R_m \cdot I_e, \quad (12) /2/$$

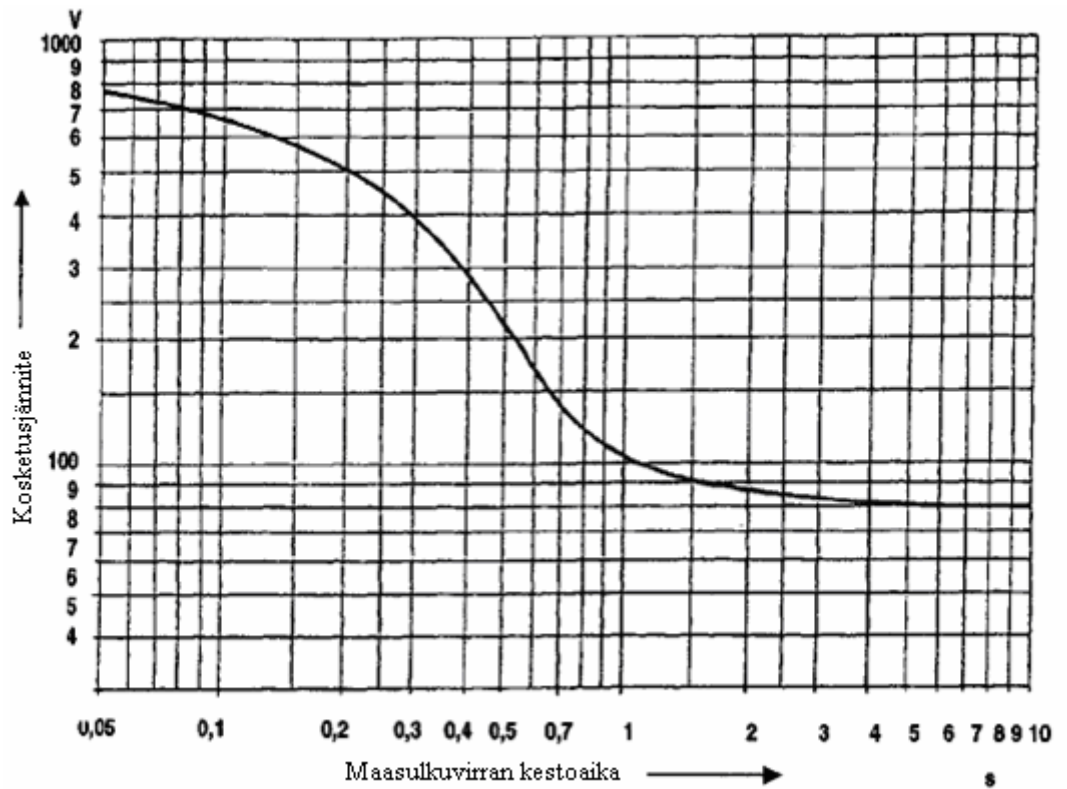
missä

U_m = maadoitusjännite

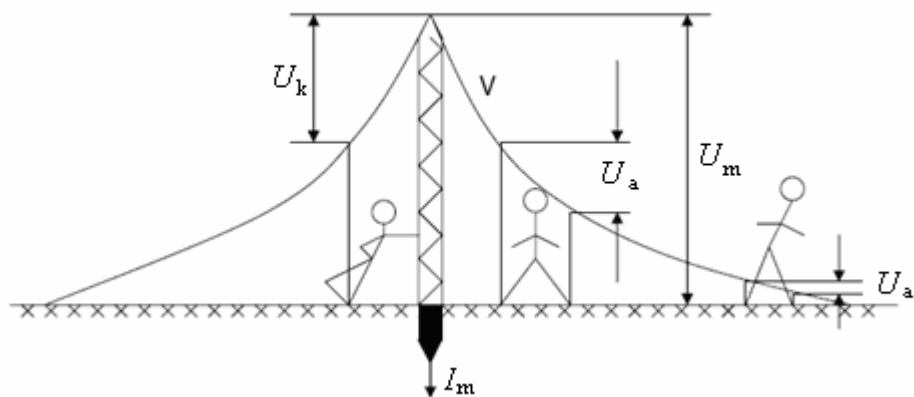
R_m = maadoitusresistanssi

I_e = maasulkuvirta.

Maasulkuvirta I_e muodostaa maadoitusjännitteen U_m kulkiessaan maadoitusresistanssin R_m läpi. Maadoitusjännitteelle altistuessaan ihminen ei koe sitä kokonaisuudessaan, vaan havaitsee terveydelle vaarallisen kosketusjännitteen U_k . Kuvassa 5 on esitetty SFS 6001 -standardin mukainen sallittu kosketusjännite maasulkuvirran kestoajan funktiona. Maadoitusjännitettä on mahdollista alentaa pienentämällä maadoitusresistanssia tai maasulkuvirtaa. Lisäksi kuvassa 6 on havainnollistettu kosketus-, maadoitus- ja askeljännitettä.



Kuva 5 Sallittu kosketusjännite U_k maasulkuvirran I_e kestoajan funktiona /10/



Kuva 6 Kosketusjännite U_k , maadoitusjännite U_m ja askeljännite U_a /7/

3.3 Sähköverkon suunnitteluohjelmistot

Keskijänniteverkkoa suunniteltaessa voidaan apuna käyttää erilaisia suunnitteluohjelmia. Sallilassa käytetään ABB:n Open++ Opera 4.2 -käyttötukijärjestelmää ja Open++ Integra 4.2 -verkkotietojärjestelmää. Verkkotietojärjestelmän avulla voidaan suunnitella verkkoa ja laskea esim. maa- ja oikosulkuvirtoja, jännitteen alenemia verkon eri pisteissä ja tehdä kytkentämuutoksia verkossa.

3.3.1 Open++ Opera v.4.2

Open++ Opera on graafinen sähköjakeluverkkojen käyttötukijärjestelmä. Ohjelmisto laajentaa MicroSCADA-käytönvalvontajärjestelmän toimintoja tarjoamalla maantieteellisiin karttoihin pohjautuvan verkkonäkymän ja pitkälle kehitettyjä käyttötukitoimintoja. Open++ Operaa voidaan käyttää yhdessä MicroSCADAn tai muiden SCADA-järjestelmien kanssa. Ohjelmisto on tarkoitettu avustamaan verkko-yhtiön tai teollisuuden sähköverkoista vastaavan käyttöhenkilöstön suorittamaa verkon hallintaa ja käyttötoimenpiteitä. /11/

3.3.2 Open++ Integra v.4.2

Open++ Integra (Integra) on graafinen sähköjakeluverkon verkkotietojärjestelmä, jota voidaan käyttää verkkoeditorina Opera Network Editorin (OperaNE) sijasta Open++ Opera -käyttötukijärjestelmän yhteydessä.

Open++ Integra on verkkotietojärjestelmä, joka on tarkoitettu sähköyhtiöiden keski- ja pienjänniteverkkojen hallintaan, verkkojen sähköisen tilan seurantaan ja verkoston suunnitteluun. Järjestelmä voidaan integroida yhtiön muihin tietojärjestelmiin mm. Open++ Opera -käyttötukijärjestelmään tai Open++ Profila -ilmajohtojen suunnittelujärjestelmään. Verkkokuvan taustalla voidaan käyttää sekä rasteri- että vektoripohjaista karttamateriaalia. Maantieteellisen esitystavan lisäksi on mahdollista käyttää kaaviomuotoista verkon esitystapaa. /12/

4 SUUNNITTELUKOHTIEN KUVAUS

4.1 Kohteena oleva sähköverkko

Virttaan seudun sähköjakelu toimii Niinijoensuun 110/20 kV:n sähköaseman lähdöstä SNJOJ03 Virttaa. Lähden syöttämä teho on noin 1 MW. Sähköasema on liitetty kantaverkon 110 kV johtoon Kolsi - Forssa 110 kV Seikunmaa - Niinijoensuunjohdon kautta. Sähköasemalla on yksi 110/20 kV:n päämuuntaja, jonka teho on 20 MVA. Sähköaseman syöttämä kokonaisteho on noin 10 MW, joka jakaantuu 9 lähdölle, taulukko 4.

Taulukko 4 Niinijoensuun 110/20 kV:n sähköaseman johtolähdöt

Lähdön tunnus	Lähtö
SNJOJ01	Vampula
SNJOJ03	Virttaa
SNJOJ05	Kirkonkylä
SNJOJ07	Lappijoki
SNJOJ09	Hirvikoski
SNJOJ13	Loimaa
SNJOJ15	Vuolle
SNJOJ17	Metsämaa
SNJOJ19	Kanteenmaa

Taulukossa 5 on esitetty Virttaan syötön johdinlajit johtoväleittäin.

Taulukko 5 Virttaan syötön johdinlajit johtoväleittäin

Väli	Johdinlaji
Sähköasema - Virttaan haara	PAS120
Virttaan haara - Virttaa KT 41 erotin	Raven
Virttaa KT 41 erotin - Sahan haara	PAS70
Sahan haara - Lehmisuontien haara	Raven
Lehmisuontien haara	Sparrow/PAS120

Niinijoensuun sähköaseman maasulkuvirta on 32,2 A, ja se kasvaa tulevaisuudessa, koska maakaapelia käytetään yhä enemmän keskijänniteverkon rakentamisessa. Maasulkuvirran kasvaessa on harkittava maasulkuvirran kompensointia.

4.2 Suunnitellut keskijänniteliittymät

Turun Seudun Vesi Oy on rakentamassa Virttaankankaalle tekopohjavesilaitosta. Tässä esityksessä Turun Seudun Vesi Oy:stä käytetään nimitystä "TSV". Laitokselle on suunniteltu neljä uutta keskijänniteliittymää, joiden arvioitu yhteisteho on noin 1,8 MW. Tässä esityksessä keskijänniteliittymästä käytetään nimitystä "liittymä". TSV hankkii ja rakennuttaa itse tarvittavat muuntamot, ja Sallilan tehtäväksi jää sähkön toimittaminen liittymiin. Liittymien suunnitellut tehot ja niihin liitettävät muuntajat on esitetty taulukossa 6.

Taulukko 6 Suunnitellut keskijänniteliittymien tehot ja muuntajakoot /13/

Liittymä	Liittymän teho	Muuntajan teho
nro	kW	kVA
1	570	1000
2	660	1000
5	180	315
6	375	630

5 SUUNNITELMAVAIHTOEHDOT

Työssä on vertailtu kuutta erilaista suunnitelmavaihtoehtoa, joissa jokaisessa on tarkoitus toteuttaa liittymien syöttöjohdot ja rengasverkko maakaapelilla. Suunnitelmavaihtoehdot voidaan jaotella seuraavasti:

- suunnitelmavaihtoehto 1: liittymän 1 yhteyteen lisätään jännitteen nostoon tarvittava rinnakkaiskondensaattoriparisto
- suunnitelmavaihtoehto 2: Virttaankankaan sähkönsyöttö toteutetaan rakentamalla avojohto tien 213 varteen liittymälle 2 asti
- suunnitelmavaihtoehto 3: rakennetaan avojohto tien 213 varteen, mutta liitetään olemassa olevaan verkkoon lähellä Hosihaudan haaraa
- suunnitelmavaihtoehto 4: toteutetaan Virttaan sähkönsyöttö maakaapelilla, joka asennetaan samaan ojaan siirtoviemärin kanssa, verkkoon liitetään Isoniityntien muuntajalla
- suunnitelmavaihtoehto 5: Isoniityntien muuntajalta jatketaan maakaapelointia liittymälle 2 asti

- o suunnitelmavaihtoehto 6: rakennetaan Vampulaan uusi 110/20kV sähkösema ja lisätään Virttaankankaalle tarvittavat liittymien syöttöjohdot.

5.1 Suunnitelmavaihtoehto 1

Ensimmäisessä suunnitelmavaihtoehdossa lähdön SNJOJ03 Virttaa perään lisätään TSV:n arvioimat kuormat. Tällöin jo olemassa olevalle verkolle ei tehdä muutoksia, vaan Virttaankankaalle rakennetaan liittymien tarvitsemat syöttöjohdot ja tarvittava johto-osuus rengasverkon toteutumiseksi AHXAMK-W 3x185Al+35Cu - maakaapelilla. Liitteessä 7 on esitetty kaapelin tekniset tiedot. Rengasverkon hyötyinä ovat pienet tehohäviöt ja varmistettu sähkönsyöttö. Liittymiä 1, 5 ja 6 syöttävien kaapeleiden yhteispituudeksi tulee noin kilometri. Lisäksi rakennetaan maakaapeliyhteys Lehmisuontien haarasta liittymälle 2, josta jatketaan olemassa olevalle Kankaanjärven muuntajalle, jolloin liittymät 2 ja 6 liitetään osaksi rengasverkkoa. Rakennettavan kaapelin pituus on noin 1,2 km. Taulukossa 7 on esitetty lähdön SNJOJ03 Virttaa johtotyypit ja -pituudet lisäyksien jälkeen. Kyseisiä arvoja käytetään luotettavuuslaskennassa. Liitteessä 1 on esitetty suunnitelmavaihtoehdon suunnitelmakuva. Lisättävät 20 kV:n johto-osuudet on esitetty punaisella värillä.

Taulukko 7 Lähdön SNJOJ03 Virttaa johtotyypit ja -pituudet lisäyksien jälkeen

	Pituus
Johtotyyppi	km
Avojohto	38,1
PAS	18,2
Maakaapeli	3,0

5.1.1 Jännitteen alenema ja oikosulkuvirta liittymissä

Tarkastelun kohteena olevan suunnitelmavaihtoehdon suurin ongelma on liittymissä syntyvä jännitteen alenema. Lisättäessä lähtöön SNJOJ03 Virttaa suunnitellut kuormat kasvaa jännitteen alenema liittymässä 1 8,3 %:iin. Jännitteen alenemaa voidaan pienentää asentamalla verkkoon 2,0 MVar -kondensaattori-paristo, jolloin jännitteen alenema liittymässä 1 tulee 4,9 %. Kondensaattoriparistolle on varaus liittymän 1 yhteydessä. Taulukossa 8 on esitetty jännitteen aleneman arvot eri liittymissä ilman kondensaattoriparistoa ja kondensaattoripariston ollessa kytkettynä verkkoon. Jännitteen alenemaa ja sen pienentämistä on tutkittu verkkotietojärjestelmästä saatujen tietojen perusteella. Liitteessä 9 on esitetty liittymän 1 jännitteen aleneman laskeminen.

Taulukko 8 Suunnitelmavaihtoehdon 1 jännitteen alenema ja kolmivaiheinen oikosulkuvirta liittymissä, kun kondensaattori liittymän 1 yhteydessä

Kondensaattori	Ei kytketty		Kytketty	
Liittymä	U_h	I_{k3}	U_h	I_{k3}
nro	%	kA	%	kA
1	8,3	0,68	4,9	0,72
2	7,7	0,78	4,9	0,82
5	8,1	0,72	5,0	0,75
6	8,0	0,72	5,0	0,76

5.1.2 Maasulkuvirta

Liittymien sähkönsyötöissä ja rengasverkon toteuttamisessa käytettävät maakaapelit kasvattavat Niinijoensuun sähköaseman maasulkuvirran arvoon 37,3 A. Tämä arvo on saatu verkkotietojärjestelmästä. Maakaapelin tuottaman maasulkuvirran suuruutta on tutkittu tarkemmin suunnitelmavaihtoehdossa 3.

5.1.3 Investointi- ja häviökustannukset

Energiamarkkinaviraston ylläpitämän hinnaston avulla voidaan arvioida rakentamisesta aiheutuvia investointikustannuksia. Liitteessä 10 on esitetty käytettyjen komponenttien yksikköhinnat. Yhtälössä 13 on havainnollistettu keskijännitemaakaapelin aiheuttaman investointikustannuksen muodostuminen. Taulukossa 9 on esitetty suunnitelmavaihtoehdon investointikustannusten muodostuminen.

$$IVK = YKH \cdot l = 40\,260 \frac{\text{€}}{\text{km}} \cdot 2,2 \text{ km} = 88\,572 \text{ €}, \quad (13)$$

missä

IVK = investointikustannus

YKH = yksikköhinta pituusyksikköä kohti

l = johtopituus.

Taulukko 9 Investointikustannukset ja niiden muodostuminen

		Kustannus
		€
AHXAMK-W 3x185Al+35Cu	2,2 km	88 572
Kaivu (haja-asutusalue)	2,2 km	21 494
Kondensaattori 2,0 Mvar	1 kpl	n. 36 700
	Yht:	146 766

Johtolähdössä tapahtuvaa häviökustannusta on arvioitu verkkotietojärjestelmän avulla. Tässä suunnitelmavaihtoehdossa lähdön SNJOJ03 Virttaa häviökustannukset ovat 561 000 € / 30 a. Tämä arvo on saatu verkkotietojärjestelmästä.

5.1.4 Keskeytyksistä aiheutuvan haitan arviointi

Lähdön SNJOJ03 Virttaa kokonaisteho on noin 3,16 MW. Taulukossa 10 on esitetty kuluttajaryhmien käyttämät prosenttiosuudet lähdön energiamäärästä. Taulukossa 11 on esitetty laskennassa käytetyt keskeytysparametrit. KAH-kustannuksen laskennassa on käytetty 5 %:n korkokantaa ja 30 vuoden pitoaikaa. /13/

Taulukko 10 Lähdön SNJOJ03 Virttaa kuluttajaryhmien käyttämän energian prosenttiosuus ja huipunkäyttöaika /13/

	Kuluttajaryhmän käyttämä energia	Kuluttajaryhmän huipunkäyttöaika
Kuluttajaryhmä	$W_{i\%}$	t_i
Kotitalous	16 %	1680 h
Maatalous	14 %	1680 h
Teollisuus	0,5 %	1680 h
Julkinen	0,5 %	1680 h
Palvelu	69 %	5000 h

Taulukko 11 KAH-kustannuksen laskennassa käytetyt keskeytysparametrit /13/

	k_n	
Vikakeskeytyk	2,51	kpl
Vikakeskeytyk	0,86	h
Suunniteltu keskeytyk	1	kpl
Suunniteltu keskeytyk	0,66	h
PJK	1,1	kpl
AJK	1,05	kpl

Kuluttajaryhmän keskiteho voidaan laskea yhtälöllä 14 seuraavasti:

$$P_{iav} = \frac{W_{i\%} \cdot P \cdot t_i}{8760 \text{ h}} = \frac{16 \% \cdot 3160 \text{ kW} \cdot 1680 \text{ h}}{8760 \text{ h}} = 96,96 \text{ kW} , \quad (14)$$

missä

P_{iav} = kuluttajaryhmän i keskiteho

$W_{i\%}$ = kuluttajaryhmän i käyttämä energia

P = lähdön kokonaisteho

t_i = kuluttajaryhmän i huipunkäyttöaika.

Pitkistä keskeytyksistä aiheutuvan haitan laskennassa on käytetty taulukon 1 arvoja.

Vikakeskeytyksistä aiheutuva haitta kotitalouksille voidaan laskea yhtälön 15 mukaisesti.

$$K_k = n \cdot P_{av} \cdot k_1 + t \cdot P_{av} \cdot k_2$$

$$= 2,51 \text{ kpl} \cdot 96,96 \text{ kW} \cdot 1,1 \frac{\text{€}}{\text{kW}} + 0,86 \text{ h} \cdot 96,96 \text{ kW} \cdot 11 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \approx 1200 \text{ €} \quad (15) /4/$$

Taulukko 12 KAH-kustannus kuluttajaryhmittäin

	Vikakeskeyty	Suunniteltu keskeyty	PJK	AJK
Kuluttajaryhmä	€	€	€	€
Kotitalous	1200	490	59	113
Maatalous	1024	417	51	97
Teollisuus	33	13	2	3
Julkinen	57	23	3	5
Palvelu	15 174	6188	751	1433

Taulukossa 12 on esitetty eri kuluttajaryhmien keskeytyksistä aiheutuvan haitan kustannukset. Taulukossa 13 on esitetty suunnitelmavaihtoehdon KAH-kustannus vuodessa ja 30 vuoden pitoajalla.

Taulukko 13 Suunnitelmavaihtoehdon 1 KAH-kustannus vuodessa ja 30 vuoden pitoajalla

27 136 €	a
417 148 €	30 a

5.2 Suunnitelmavaihtoehto 2

Toisena suunnitelmavaihtoehtona on rakentaa A1132 avojohto tien 213, Säskylä-Loimaa, varteen. Liitteessä 8 on esitetty käytetyn johdon tekniset tiedot. Johto kulkee Niinijoensuu sähköasemalta koko matkan tien vieressä ja poikkeaa liittymälle 2 vanhaa tienpohjaa pitkin, jolloin sen johdinlaji muuttuu AHXAMK-W 3x185Al+35Cu -maakaapeliksi. Liittymältä 2 jatketaan maakaapelilla jo olemassa olevalle muuntajalle ja liitytään siinä olevaan johtoon. Lisäksi liittymille 1, 5 ja 6 pitää rakentaa liittymiset maakaapelilla. Näiden kaapeleiden yhteispituus on noin kaksi kilometriä. Taulukossa 14 on esitetty lähdön SNJOJ15 Vuolle johtotyypit ja -pituudet lisäyksien jälkeen. Lähtöä SNJOJ15 Vuolle on käytetty tässä työssä uuden syötön väliaikaisena lähtönä. Liitteessä 2 on esitetty suunnitelmavaihtoehdon suunnitelmakuva. Lisättävät 20 kV:n johto-osuudet on esitetty punaisella värillä.

Taulukko 14 Lähdön SNJOJ15 Vuolle johtotyypit ja -pituudet lisäyksien jälkeen

	Pituus
Johtotyyppi	km
Avojohto	21,2
PAS	0,8
Maakaapeli	2,1

Suunnitelmaa tehtäessä on huomioitava myös tarvittavat luvat ja maankäyttökorvaukset. Lupien hankkiminen on usein vaikeaa, koska tien varrella on monta eri maanomistajaa. Lisäksi Tiehallinnolta on hankittava lupa johdon rakentamiseksi tien viereen.

Huomioon otettava on johdon kulkureitti kantatie 41, Aura - Huittinen - Nokia, ylitse. Kyseinen tie on ylikorkeiden erikoiskuljetusten tieverkkoon kuuluva tie, jolloin edellytetään 7,0 m vapaata alikulkukorkeutta. Johdon etäisyys tienpinnasta on oltava 8,0 m, jolloin saavutetaan riittävä alikulkukorkeus. /14/

5.2.1 Jännitteen alenema ja oikosulkuvirta liittymissä

Taulukossa 15 on esitetty liittymien jännitteen aleneman sekä kolmivaiheisen oikosulkuvirran arvot.

Taulukko 15 Suunnitelmavaihtoehdon 2 jännitteen ja kolmivaiheinen oikosulkuvirta liittymissä

Liittymä	U_h	I_{k3}
nro	%	kA
1	2,2	1,32
2	1,8	1,62
5	2,2	1,42
6	2,1	1,44

5.2.2 Maasulkuvirta

Maasulkuvirtaa kasvattaa liittymien syötön ja rengasverkon toteuttamiseen käytettävä maakaapelointiosuus. Maasulkuvirta kasvaa arvoon 39,9 A. Tämä arvo on saatu verkkotietojärjestelmästä.

5.2.3 Investointi- ja häviökustannukset

Taulukossa 16 on esitetty suunnitelmavaihtoehdon investointikustannusten muodostuminen.

Taulukko 16 Investointikustannukset ja niiden muodostuminen

		Kustannus
		€
A1132	13,4 km	373 994
AHXAMK-W 3x185Al+35Cu	2 km	80 520
Kaivu (haja-asutusalue)	2 km	19 540
Yht:		474 054

Johtolähdössä tapahtuvaa häviökustannusta on arvioitu verkkotietojärjestelmän avulla. Tässä suunnitelmavaihtoehdossa lähdön SNJOJ15 Vuolle häviökustannukset ovat 117 000 € / 30 a. Tämä arvo on saatu verkkotietojärjestelmästä.

5.2.4 Keskeytyksistä aiheutuvan haitan arviointi

Lähdön SNJOJ15 Vuolle kokonaisteho on noin 1,9 MW. Taulukossa 17 on esitetty kuluttajaryhmien käyttämät prosenttiosuudet lähdön kokonaisenergiamäärästä. Taulukossa 18 on esitetty laskennassa käytetyt keskeytysparametrit. /13/

Taulukko 17 Lähdön J15 Vuolle kuluttajaryhmien käyttämän energian prosenttiosuus ja huipunkäyttöaika /13/

	Kuluttajaryhmän käyttämä energia	Kuluttajaryhmän huipunkäyttöaika
Kuluttajaryhmä	$W_{i\%}$	t_i
Kotitalous	5 %	1680 h
Maatalous	2 %	1680 h
Teollisuus	2 %	1680 h
Julkinen	2 %	1680 h
Palvelu	87 %	5000 h

Taulukko 18 KAH-kustannuksen laskennassa käytetyt keskeytysparametrit /13/

	k_n	
Vikakeskeytyt	1,34	kpl
Vikakeskeytyt	0,75	h
Suunniteltu keskeytyt	0,52	kpl
Suunniteltu keskeytyt	0,5	h
PJK	0,7	kpl
AJK	0,6	kpl

Taulukko 19 KAH-kustannus kuluttajaryhmittäin

	Vikakeskeytyt	Suunniteltu keskeytyt	PJK	AJK
Kuluttajaryhmä	€	€	€	€
Kotitalous	9	3	1	1
Maatalous	30	6	3	3
Teollisuus	49	11	7	8
Julkinen	52	13	5	7
Palvelu	10 092	3749	1242	1177

Taulukossa 19 on esitetty eri kuluttajaryhmien keskeytyksistä aiheutuvan haitan kustannukset. Taulukossa 20 on esitetty suunnitelmavaihtoehdon KAH-kustannus vuodessa ja 30 vuoden pitoajalla.

Taulukko 20 Suunnitelmavaihtoehdon 2 KAH-kustannus vuodessa ja 30 vuoden pitoajalla

16 466 €	a
253 129 €	30 a

5.3 Suunnitelmavaihtoehto 3

Kolmantena suunnitelmavaihtoehtona on rakentaa Al132 avojohto tien 213, Säskylä-Loimaa, varteen Hosihaudan haaralle asti. Johto kulkee samaa reittiä kuin suunnitelmavaihtoehdossa 2. Taulukossa 21 on esitetty suunnitelmavaihtoehdon lähdön SNJOJ15 Vuolle johtotyypit ja -pituudet lisäyksien jälkeen. Liitteessä 3 on esitetty suunnitelmavaihtoehdon suunnitelma kuva. Lisättävät 20 kV:n johto-osuudet on esitetty punaisella värillä.

Taulukko 21 Lähdön SNJOJ15 Vuolle johtotyypit ja -pituudet lisäyksien jälkeen

	Pituus
Johtotyyppi	km
Avojohto	34,8
PAS	2,9
Maakaapeli	2,9

5.3.1 Jännitteen alenema ja oikosulkuvirta liittymissä

Taulukossa 22 on esitetty liittymien jännitteen aleneman sekä kolmivaiheisen oikosulkuvirran arvot.

Taulukko 22 Suunnitelmavaihtoehdon 3 jännitteen alenema ja kolmivaiheinen oikosulkuvirta

Liittymä	U_h	I_{k3}
nro	%	kA
1	4,1	0,91
2	3,7	1,08
5	4,1	0,97
6	4,0	0,98

5.3.2 Maasulkuvirta

Maasulkuvirtaa kasvattaa liittymien syötön ja rengasverkon toteuttamiseen käytettävä maakaapelointiosuus. Maasulkuvirta kasvaa arvoon 39,9 A. Tämä arvo on saatu verkkotietojärjestelmästä

5.3.3 Investointi- ja häviökustannukset

Taulukossa 23 on esitetty suunnitelmavaihtoehdon investointikustannusten muodostuminen.

Taulukko 23 Investointikustannukset ja niiden muodostuminen

		Kustannus
		€
A1132	9,6 km	267 963
AHXAMK-W 3x185Al+35Cu	2,2 km	88 572
Kaivu (haja-asutusalue)	2,2 km	21 494
Yht:		378 029

Johtolähdössä tapahtuvaa häviökustannusta on arvioitu verkkotietojärjestelmän avulla. Tässä suunnitelmavaihtoehdossa lähdön SNJOJ15 Vuolle häviökustannukset ovat 311 000 € / 30 a. Tämä arvo on saatu verkkotietojärjestelmästä.

5.3.4 Keskeytyksistä aiheutuvan haitan arviointi

Lähdön SNJOJ15 Vuolle kokonaisteho on noin 2,4 MW. Taulukossa 24 on esitetty kuluttajaryhmien käyttämät prosenttiosuudet lähdön kokonaisenergiamäärästä. Taulukossa 25 on esitetty laskennassa käytetyt keskeytysparametrit. /13/

Taulukko 24 Lähdön SNJOJ15 Vuolle kuluttajaryhmien käyttämän energian prosenttiosuus ja huipunkäyttöaika /13/

	Kuluttajaryhmän käyttämä energia	Kuluttajaryhmän huipunkäyttöaika
Kuluttajaryhmä	$W_{i\%}$	t_i
Kotitalous	16 %	1680 h
Maatalous	8 %	1680 h
Teollisuus	0,5 %	1680 h
Julkinen	1 %	1680 h
Palvelu	74,5 %	5000 h

Taulukko 25 KAH-kustannuksen laskennassa käytetyt keskeytysparametrit /13/

	k_n	
Vikakeskeytyt	2,22	kpl
Vikakeskeytyt	0,86	h
Suunniteltu keskeytyt	0,85	kpl
Suunniteltu keskeytyt	0,7	h
PJK	1	kpl
AJK	1	kpl

Taulukko 26 KAH-kustannus kuluttajaryhmittäin

	Vikakeskeytyt	Suunniteltu keskeytyt	PJK	AJK
Kuluttajaryhmä	€	€	€	€
Kotitalous	49	17	5	6
Maatalous	200	47	20	26
Teollisuus	21	7	5	6
Julkinen	17	5	2	3
Palvelu	11 134	5745	1907	2108

Taulukossa 26 on esitetty eri kuluttajaryhmien keskeytyksistä aiheutuvan haitan kustannukset. Taulukossa 27 on esitetty suunnitelmavaihtoehdon KAH-kustannus vuodessa ja 30 vuoden pitoajalla.

Taulukko 27 Suunnitelmavaihtoehdon 3 KAH-kustannus vuodessa ja 30 vuoden pitoajalla

21 330 €	a
327 895 €	30 a

5.4 Suunnitelmavaihtoehto 4

Alastaron kunta on rakennuttamassa siirtoviemärijoaa Virttaalta Alastarolle. Yhtenä mahdollisuutena on asentaa kaapeli samaan ojaan viemäriputken kanssa, jolloin säästettäisiin maankaiivukustannuksissa. Tässä tapauksessa ei tarvitse hankkia lukumääräisesti niin monta lupaa kuin esimerkiksi avojohdon rakentamisessa. Myös maankäyttökorvaukset poistuvat, koska tässä suunnitelmavaihtoehdossa ei käytetä maan yläpuolisia rakenteita.

Kaapelointi aloitetaan AHXAMK-W 3x185Al+35Cu -maakaapelilla Niinijoensuun sähköasemalta ja jatketaan tien 213 viertä pitkin Vakkatien risteykseen, josta se lähtee metsän poikki kohti viemäriinlinjaa. Kohdattuaan viemäriinlinjan maakaapeli seuraa sitä lähelle Isoniityntien muuntajaa ja liittyy tässä kohtaa olemassa olevaan verkkoon, jolloin maakaapelia tarvitaan noin 10,6 km. Virttaankankaalla olevalle verkkolle tehdään samat muutokset kuin aiemmassa suunnitelmavaihtoehdossa eli kaapeloidaan tarvittavien liittymien syötöt sekä tehdään muutokset, joiden avulla liittymät 2 ja 6 liitetään osaksi rengasverkkoa. Liittymien maakaapelointiin ja rengasverkon toteuttamiseen tarvitaan maakaapelia noin 2,2 km. Yhteensä maakaapelia tässä suunnitelmavaihtoehdossa tarvitaan noin 12,8 km.

Taulukossa 28 on esitetty lähdön SNJOJ15 Vuolle johtotyypit ja -pituudet lisäyksien jälkeen ja liitteessä 4 on esitetty suunnitelmavaihtoehdon suunnitelmakuva. Liittävät 20 kV:n johto-osuudet on esitetty punaisella värillä.

Taulukko 28 Lähdon SNJOJ15 Vuolle johtotyypit ja -pituudet lisäyksien jälkeen

	Pituus
Johtotyyppi	km
Avojohto	23
PAS	2,9
Maakaapeli	13,4

5.4.1 Jännitteen alenema ja oikosulkuvirta liittymissä

Taulukossa 29 on esitetty liittymien jännitteen aleneman sekä kolmivaiheisen oikosulkuvirran arvot.

Taulukko 29 Suunnitelmavaihtoehdon 4 jännitteen alenema ja kolmivaiheinen oikosulkuvirta liittymissä

Liittymä	U_h	I_{k3}
nro	%	kA
1	3,6	1,13
2	3,2	1,41
5	3,5	1,23
6	3,5	1,24

5.4.2 Maasulkuvirta

Maasulkuvirta kasvaa noin 40,6 A. Tällöin Niinijoensuun sähköaseman kokonaismaasulkuvirta on noin 70,4 A. Tämä arvo on saatu verkkotietojärjestelmästä. Maasulkuvirtaa voidaan pienentää hankkimalla maasulkuvirran kompensointijärjestelmä keskitettynä sähköasemalle tai hajautettuna verkkoon.

Hajautetun kompensoinnin ongelmana on laitteiston huono saatavuus, koska maaseudulla tapahtuva keskijänniteverkon maakaapelointi on vielä vähäistä. ABB on kehittämässä laitteistoa ongelman ratkaisuun, jonka hyötynä on mahdollisuus kompensoida loisteho sen syntypaikassa. /15/

Maasulkuvirran kompensointilaitteisto sähköasemalle maksaa noin 120 000 €. /16/

5.4.3 Maakaapelin tuottama loisteho

Ongelmana suunnitelmavaihtoehdossa on maakaapelin tuottama kapasitiivinen loisteho, joka on kompensoitava tai kulutettava. Myös verkon jännitetaso nousee ja verkko muuttuu riippuvaiseksi kuormitustilanteista. Maakaapelin kapasitiivista loistehoa voidaan arvioida yhtälön 16 avulla. Työssä käytetyn maakaapelin maakaapasitanssin arvo on esitetty liitteessä 7, jossa on kaapelin tekniset tiedot.

$$\begin{aligned} Q &= \omega \cdot C \cdot U^2 = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C \cdot U^2 \\ &= 2 \cdot \pi \cdot 50 \text{ Hz} \cdot 0,26 \frac{\mu\text{F}}{\text{km}} \cdot (20 \text{ kV})^2 = 32,6 \frac{\text{kVAr}}{\text{km}} \end{aligned} \quad (16) /17/$$

missä

Q = kolmivaihejohdon tuottama loisteho

U = pääjännite

ω = kulmataajuus = $2\pi f$

C = maakaapasitanssi pituusyksikköä kohti.

Käytettävän maakaapelin tuottamaksi loistehoksi kilometriä kohden saadaan 32,6 kVAr / km ja kokonaisloistehoksi 420 kVAr johtopituuden ollessa 12,8 km. Lisäksi loistehoa tuottavat liittymiä syöttävät maakaapelit. Näiden johtojen yhteispituus on noin 2,2 km ja niiden tuottama loisteho on 72 kVAr eli suunnitelmavaihtoehdossa käytettävien kaapeleiden tuottama kokonaisloisteho on 490 kVAr.

5.4.4 Investointi- ja häviökustannukset

Taulukossa 30 on esitetty suunnitelmavaihtoehdon investointikustannusten muodostuminen.

Taulukko 30 Investointikustannukset ja niiden muodostuminen

		Kustannus
		€
AHXAMK-W 3x185Al+35Cu	12,8 km	515 328
Kaivu (haja-asutusalue)	12,8 km	125 056
Maasulun sammutuslaitteisto 100 A	1 kpl	120 510
	Yht:	760 894

Johtolähdössä tapahtuvaa häviökustannusta on arvioitu verkkotietojärjestelmän avulla. Tässä suunnitelmavaihtoehdossa lähdön SNJOJ15 Vuolle häviökustannukset ovat 266 000 € / 30 a. Tämä arvo on saatu verkkotietojärjestelmästä.

5.4.5 Keskeytyksistä aiheutuvan haitan arviointi

Lähdön SNJOJ15 Vuolle kokonaisteho on noin 2,3 MW. Taulukossa 31 on esitetty kuluttajaryhmien käyttämät prosenttiosuudet lähdön kokonaisenergiamäärästä. Taulukossa 32 on esitetty laskennassa käytetyt keskeytysparametrit. /13/

Taulukko 31 Lähdön SNJOJ15 Vuolle kuluttajaryhmien käyttämän energian prosenttiosuus ja huipunkäyttöaika /13/

	Kuluttajaryhmän käyttämä energia	Kuluttajaryhmän huipunkäyttöaika
Kuluttajaryhmä	$W_{i\%}$	t_i
Kotitalous	16 %	1680 h
Maatalous	8 %	1680 h
Teollisuus	0,5 %	1680 h
Julkinen	1 %	1680 h
Palvelu	74,5 %	5000 h

Taulukko 32 KAH-kustannuksen laskennassa käytetyt keskeytysparametrit /13/

	k_n	
Vikakeskeytyks	1,51	kpl
Vikakeskeytyks	0,7	h
Suunniteltu keskeytyks	0,62	kpl
Suunniteltu keskeytyks	0,6	h
PJK	0,7	kpl
AJK	0,6	kpl

Taulukko 33 KAH-kustannus kuluttajaryhmittäin

	Vikakeskeytyks	Suunniteltu keskeytyks	PJK	AJK
Kuluttajaryhmä	€	€	€	€
Kotitalous	38	14	3	4
Maatalous	154	39	14	15
Teollisuus	17	6	3	4
Julkinen	13	4	1	2
Palvelu	8909	4750	1312	1243

Taulukossa 33 on esitetty eri kuluttajaryhmien keskeytyksistä aiheutuvan haitan kustannukset. Taulukossa 34 on esitetty suunnitelmavaihtoehdon KAH-kustannus vuodessa ja 30 vuoden pitoajalla.

Taulukko 34 Suunnitelmavaihtoehdon 4 KAH-kustannus vuodessa ja 30 vuoden pitoajalla

16 545 €	a
254 336 €	30 a

5.5 Suunnitelmavaihtoehto 5

Viidennessä suunnitelmavaihtoehdossa Isoniityntien muuntajalla ei liitytä olemassa olevaan verkkoon vaan jatketaan AHXAMK-W 3x185Al+35Cu -maakaapelilla tien 213 vartta liittymälle 2. Liittymien kaapeloinnit tehdään edellisten suunnitelmavaihtoehtojen kaltaisesti. Maakaapelia tässä suunnitelmavaihtoehdossa kuluu noin 16,5 km. Taulukossa 35 on esitetty lähdön SNJOJ15 Vuolle johtotyypit ja -pituudet lisäyksien jälkeen. Liitteessä 5 on esitetty suunnitelmavaihtoehdon suunnitelmakuva. Lisättävät 20 kV:n johto-osuudet on esitetty punaisella värillä.

Taulukko 35 Lähdön SNJOJ15 Vuolle johtotyypit ja -pituudet lisäyksien jälkeen

	Pituus
Johtotyyppi	km
Avojohto	7,8
PAS	0,8
Maakaapeli	16,6

5.5.1 Jännitteen alenema ja oikosulkuvirta liittymissä

Taulukossa 36 on esitetty liittymien jännitteen aleneman ja kolmivaiheisen oikosulkuvirran arvot.

Taulukko 36 Suunnitelmavaihtoehdon 5 jännitteen alenema ja kolmivaiheinen oikosulkuvirta liittymissä

Liittymä	U_h	I_{k3}
nro	%	kA
1	1,7	1,82
2	1,2	2,56
5	1,6	2,06
6	1,5	2,09

5.5.2 Maasulkuvirta

Maasulkuvirta Niinijoensuun sähköasemalla on verkon laajenemisen jälkeen 81,5 A. Tämä arvo on saatu verkkotietojärjestelmästä.

5.5.3 Maakaapelin tuottama loisteho

Suunnitelmavaihtoehdossa käytettävä maakaapeli tuottaa loistehoa yhteensä noin 540 kVAr.

5.5.4 Investointi- ja häviökustannukset

Taulukossa 37 on esitetty suunnitelmavaihtoehdon investointikustannusten muodostuminen.

Taulukko 37 Investointikustannukset ja niiden muodostuminen

		Kustannus
		€
AHXAMK-W 3x185Al+35Cu	16,5 km	664 290
Kaivu (haja-asutusalue)	16,5 km	161 205
Maasulun sammutuslaitteisto 100 A	1 kpl	120 510
Yht:		946 005

Johtolähdössä tapahtuvaa häviökustannusta on arvioitu verkkotietojärjestelmän avulla. Tässä suunnitelmavaihtoehdossa lähdön SNJOJ15 Vuolle häviökustannukset ovat 95 000 € / 30 a. Tämä arvo on saatu verkkotietojärjestelmästä.

5.5.5 Keskeytyksistä aiheutuvan haitan arviointi

Lähdön SNJOJ15 Vuolle kokonaisteho on noin 1,9 MW. Taulukossa 38 on esitetty kuluttajaryhmien käyttämät prosenttiosuudet lähdön kokonaisenergiamäärästä. Taulukossa 39 on esitetty laskennassa käytetyt keskeytysparametrit. /13/

Taulukko 38 Lähdön SNJOJ15 Vuolle kuluttajaryhmien käyttämän energian prosenttiosuus ja huipunkäyttöaika /13/

	Kuluttajaryhmän käyttämä energia	Kuluttajaryhmän huipunkäyttöaika
Kuluttajaryhmä	$W_{i\%}$	t_i
Kotitalous	6 %	1680 h
Maatalous	2 %	1680 h
Teollisuus	1 %	1680 h
Julkinen	1 %	1680 h
Palvelu	91 %	5000 h

Taulukko 39 KAH-kustannuksen laskennassa käytetyt keskeytysparametrit /13/

	k_n	
Vikakeskeytyt	0,55	kpl
Vikakeskeytyt	0,6	h
Suunniteltu keskeytyt	0,26	kpl
Suunniteltu keskeytyt	0,4	h
PJK	0,5	kpl
AJK	0,5	kpl

Taulukko 40 KAH-kustannus kuluttajaryhmittäin

	Vikakeskeytyt	Suunniteltu keskeytyt	PJK	AJK
Kuluttajaryhmä	€	€	€	€
Kotitalous	9	3	1	1
Maatalous	21	4	2	2
Teollisuus	0	0	0	0
Julkinen	12	3	1	2
Palvelu	7318	2959	910	1006

Taulukossa 40 on esitetty eri kuluttajaryhmien keskeytyksistä aiheutuvan haitan kustannukset. Taulukossa 41 on esitetty suunnitelmavaihtoehdon KAH-kustannus vuodessa ja 30 vuoden pitoajalla.

Taulukko 41 Suunnitelmavaihtoehdon 5 KAH-kustannus vuodessa ja 30 vuoden pitoajalla

12 253 €	a
188 364 €	30 a

5.6 Suunnitelmavaihtoehto 6

Vampulaan on suunnitteilla uusi 110/20 kV:n sähköasema, joka korvaa nykyisen Tamareen erotinaseman. Investointipäätöstä ei ole vielä tehty, mutta tässä suunnitelmassa mahdollinen uuden sähköaseman rakentaminen otetaan huomioon.

Virttaankankaalle on mahdollista syöttää sähköä nykyiseltä Tamareen erotinasemalta, jolloin uutta verkkoa on rakennettava tuleville liittymille noin 1,5 km sekä rengasverkon toteuttamiseksi noin 1 km. Verkon laajennus tapahtuu maakaapelina kuten muissakin suunnitelmavaihtoehtoissa. Syötön lähtönä käytetään SVAMJ11 Virttaa, jonka johtotyypit ja -pituudet lisäyksien jälkeen on esitetty taulukossa 42 ja liitteessä 6 on esitetty suunnitelmavaihtoehdon suunnitelma kuva. Lisättävät 20 kV:n johto-osuudet on esitetty punaisella värillä ja lisättävä 110 kV:n johto-osuus sinisellä värillä.

Taulukko 42 Lähden SVAMJ11 Virttaa johtotyypit ja -pituudet lisäyksien jälkeen

	Pituus
Johtotyyppi	km
Avojohto	22,1
PAS	1,9
Maakaapeli	1,4

Uudeksi sähköasemaksi voidaan valita kevytsähköasema, koska se riittää maaseudulla. Aseman perustaminen edellyttää lisäksi 110 kV:n johdon rakentamista. Rakennettavan avojohdon pituus on noin 9,5 km.

5.6.1 Jännitteen alenema ja oikosulkuvirta liittymissä

Taulukossa 43 on esitetty liittymien jännitteen aleneman sekä kolmivaiheisen oikosulkuvirran arvot.

Taulukko 43 Suunnitelmavaihtoehdon 6 jännitteen alenema ja kolmivaiheinen oikosulkuvirta liittymissä

Liittymä	U_h	I_{k3}
nro	%	kA
1	2,1	1,67
2	2,5	1,29
5	2,3	1,47
6	2,3	1,48

5.6.2 Investointi- ja häviökustannukset

Taulukossa 44 on esitetty suunnitelmavaihtoehdon investointikustannusten muodostuminen.

Taulukko 44 Investointikustannukset ja niiden muodostuminen

		Kustannus
		€
Kevyt sähköasema	1 kpl	387 170
Päämuuntaja 10 MVA	1 kpl	290 380
Duck 305/39 Al/Fe	9,5 km	1 060 960
Johtaluekorvaus 110 kV	9,5 km	205 105
AHXAMK-W 3x185Al+35Cu	2,2 km	88 572
Kaivu (haja-asutusalue)	2,2 km	21 494
	Yht:	2 053 681

Johtolähdössä tapahtuvaa häviökustannusta on arvioitu verkkotietojärjestelmän avulla. Tässä suunnitelmavaihtoehdossa lähdön SVAMJ11 Virtaa häviökustannukset ovat 152 000 € / 30 a. Tämä arvo on saatu verkkotietojärjestelmästä.

5.6.3 Keskeytyksistä aiheutuvan haitan arviointi

Lähdön SVAMJ11 Virttaa kokonaisteho on noin 2,0 MW. Taulukossa 45 on esitetty kuluttajaryhmien käyttämät prosenttiosuudet lähdön kokonaisenergiamäärästä. Taulukossa 46 on esitetty laskennassa käytetyt keskeytysparametrit. /13/

Taulukko 45 Lähdön SVAMJ11 Virttaa kuluttajaryhmien käyttämän energian prosenttiosuus ja huipunkäyttöaika /13/

Kuluttajaryhmä	Kuluttajaryhmän käyttämä energia	Kuluttajaryhmän huipunkäyttöaika
	$W_i\%$	t_i
Kotitalous	7 %	1680 h
Maatalous	12 %	1680 h
Teollisuus	1 %	1680 h
Julkinen	4 %	1680 h
Palvelu	76 %	5000 h

Taulukko 46 KAH-kustannuksen laskennassa käytetyt keskeytysparametrit /13/

	k_n	
Vikakeskeytyt	1,41	kpl
Vikakeskeytyt	0,84	h
Suunniteltu keskeytyt	0,54	kpl
Suunniteltu keskeytyt	0,79	h
PJK	1	kpl
AJK	1	kpl

Taulukko 47 KAH-kustannus kuluttajaryhmittäin

Kuluttajaryhmä	Vikakeskeytyt	Suunniteltu keskeytyt	PJK	AJK
	€	€	€	€
Kotitalous	16	7	2	4
Maatalous	241	67	27	35
Teollisuus	1	0	0	0
Julkinen	57	20	7	11
Palvelu	10 644	5469	1698	1877

Taulukossa 47 on esitetty eri kuluttajaryhmien keskeytyksistä aiheutuvan haitan kustannukset. Taulukossa 48 on esitetty suunnitelmavaihtoehdon KAH-kustannus vuodessa ja 30 vuoden pitoajalla.

Taulukko 48 Suunnitelmavaihtoehdon 6 KAH-kustannus vuodessa ja 30 vuoden pi-
toajalla

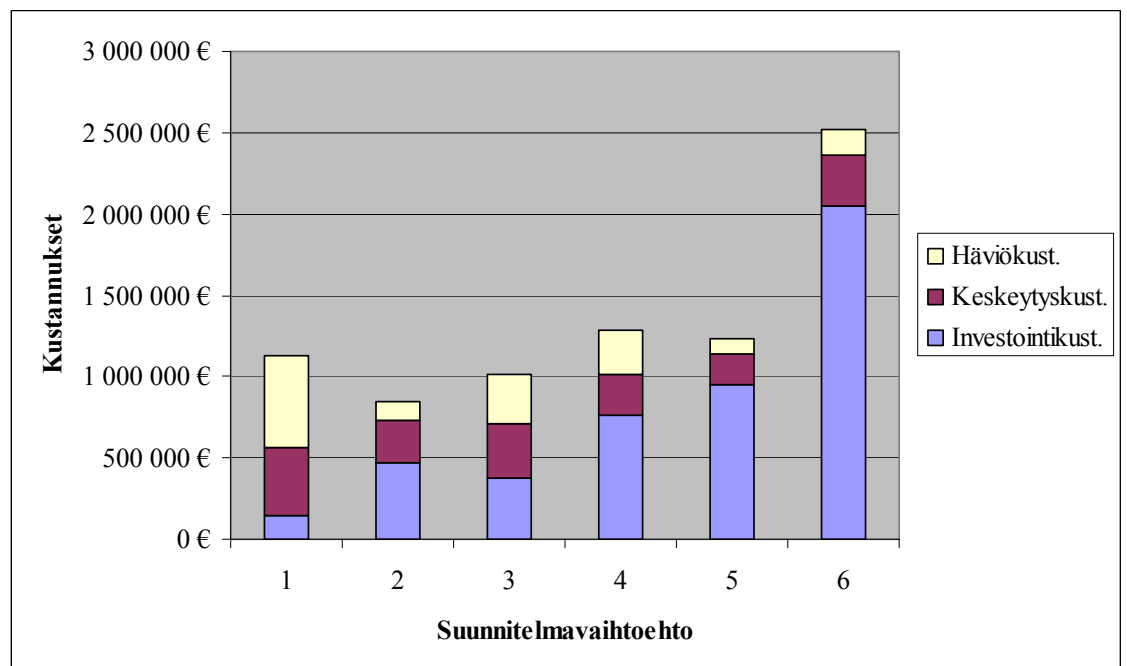
20 184 €	a
310 275 €	30 a

5.7 Suunnitelmavaihtoehtojen kokonaiskustannukset

Suunnitelmavaihtoehtojen investointi-, keskeytys- ja häviökustannukset on esitetty
taulukossa 49. Kuvassa 7 on esitetty graafisesti eri suunnitelmavaihtoehtojen inves-
tointi- ja keskeytys- ja häviökustannukset.

Taulukko 49 Suunnitelmavaihtoehtojen investointi-, keskeytys-, ja häviökustannuk-
set

Suunnitelma- vaihtoehto	Investointi- kustannukset	Keskeytys- kustannukset	Häviö- kustannukset
1	146 766 €	417 148 €	561 434 €
2	474 054 €	253 129 €	116 825 €
3	378 029 €	327 895 €	311 381 €
4	760 894 €	254 336 €	265 608 €
5	946 005 €	188 364 €	95 075 €
6	2 053 681 €	310 275 €	151 503 €



Kuva 7 Suunnitelmavaihtoehtojen investointi- ja keskeytys- ja häviökustannukset

Kustannuksia lisäävät tarkastus-, huolto- ja kunnossapitokustannukset. Tarkastuskustannukset ovat maakaapeliverkossa pienemmät kuin ilmajohtoverkossa, koska lahotarkastusta ja verkon ns. läpikävelyä ei tarvitse tehdä. Raivauskustannuksia maakaapeliverkossa synnyttävät ainoastaan muuntamoiden ja jakokaappien edustat, jotka raivataan tarvittaessa.

Maisemalliset asiat on myös hyvä huomioida investointipäätöstä tehtäessä, koska ilmajohtojen näkyvät rakenteet koetaan usein maisemallisena haittana. Maakaapelia käytettäessä maisemallinen haitta on lyhytaikainen, koska luonto korjaa nopeasti kaivutyön jäljet.

Tarkastus-, huolto- ja kunnossapitokustannuksia ei tässä työssä ole huomioitu, koska niillä ei ole vaikutusta eri suunnitelmavaihtoehtojen keskinäiseen järjestykseen kustannuksia verrattaessa.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Suunnitelmavaihtoehtojen kustannuksissa suurin ero syntyy investointi-, keskeytys- ja häviökustannuksissa. Kustannuslajien avulla voidaan vertailla eri suunnitelmavaihtoehtoja toisiinsa.

Suunnitelmavaihtoehto 1, jossa liittymän 1 yhteyteen lisätään jännitteen nostoon tarvittava rinnakkaiskondensaattori, on investointikustannuksiltaan halvin. Suunnitelmavaihtoehtojen 1 keskeytys- ja häviökustannukset ovat kalleimmat. Suunnitelmavaihtoehto 2, jossa Virttaankankaan sähkönsyöttö toteutetaan rakentamalla avojohto tien 213 varteen liittymälle 2 asti, on kokonaiskustannuksiltaan halvin. Suunnitelmavaihtoehto 3, jossa rakennetaan avojohto tien 213 varteen ja liiyytään olemassa olevaan verkkoon lähellä Hosihaudan haaraa, on investointikustannuksiltaan toiseksi halvin. Kokonaiskustannuksiltaan suunnitelmavaihtoehto 4 on viidenneksi kallein. Suunnitelmavaihtoehto 4, jossa Virttaan sähkönsyöttö toteutetaan siirtoviemäriojaan asennetulla maakaapelilla, joka liittyy olemassa olevaan verkkoon Isoniityntien muuntajalla, on kokonaiskustannuksiltaan toiseksi kallein. Suunnitelmavaihtoehto 5, jossa Isoniityntien muuntajalta jatketaan maakaapelointia liiyy-

mälle 2 asti, on keskeytys- ja häviökustannuksiltaan halvin. Investointikustannukset tässä suunnitelmavaihtoehdossa ovat toiseksi kalleimmat. Suunnitelmavaihtoehto 6, jossa Vampulaan rakennetaan uusi sähköasema ja lisätään Virttaankaalle tarvittavat liittymien syöttöjohdot, on kokonaiskustannuksiltaan kallein.

Tuloksista voidaan havaita maakaapeloinnin olevan investointikustannuksiltaan kalliista, mutta keskeytyskustannusten alentavan kokonaiskustannuksia. Ilmajohtoa käytettäessä investointikustannukset ovat noin puolet maakaapelivaihtoehdon investointikustannuksista. Keskeytyskustannukset ilmajohtovaihtoehdoissa ovat kalliimmat kuin maakaapelivaihtoehdossa, koska ilmajohtoverkko vikaantuu helposti.

Lopputuloksena voidaan havaita suunnitelmavaihtoehdon 2 olevan kokonaiskustannuksiltaan halvin ja suunnitelmavaihtoehdon 6 kallein. Suunnitelmavaihtoehto 1 on investointikustannuksiltaan halvin, mutta sen keskeytyskustannukset ovat kalleimmat.

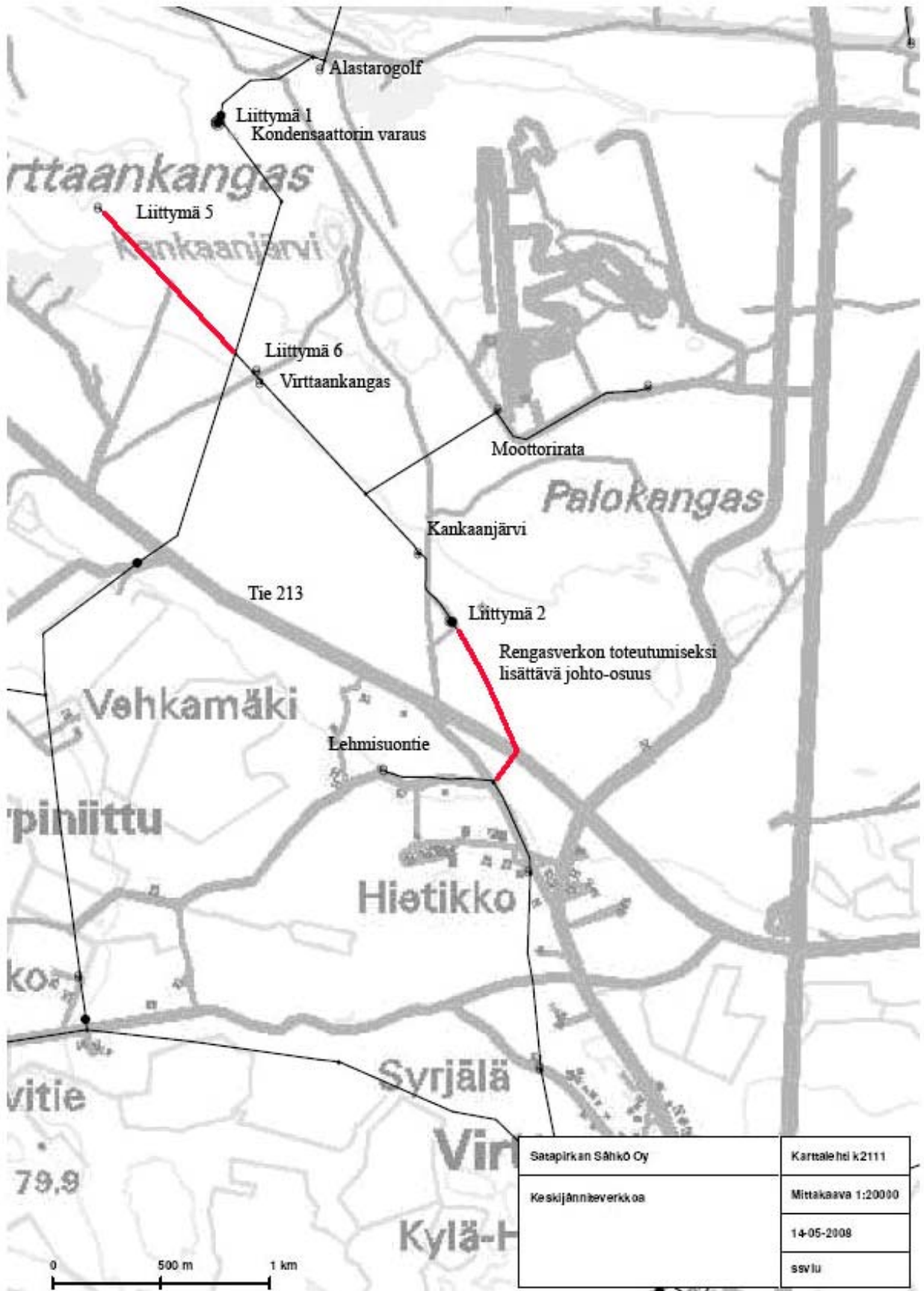
LÄHTEET

- 1 Sallila Energia Oy Vuosikertomus 2006
- 2 Verkostosuositus SA 5:94 Keski-jänniteverkon sähköinen mitoittaminen. Sähköenergialiitto ry.
- 3 Keskeytystunnuslukujen referenssiarvojen määrittäminen. Lappeenrannan Teknillinen Yliopisto ja Tampereen Teknillinen Yliopisto. 2007. [viitattu 6.5.2008] Saatavissa:
www.energiamarkkinavirasto.fi/files/LTY_KAH-arvojen_referenssitaset_20070518.pdf
- 4 Törmä, Anna, Lyhyistä keskeytyksistä aiheutuvan haitan arviointi ja maasulun kompensoinnin kannattavuus Sallila Energia Oy:n jakeluverkossa. Diplomityö. Tampereen Teknillinen Yliopisto. 2006.
- 5 Keskeytystilasto 2006. Energiateollisuus ry. [viitattu 21.4.2008] Saatavissa:
http://www.energia.fi/fi/tilastot/keskeytystilastot/keskeytystilasto2006_v1_2007-06-29.pdf
- 6 Lakervi Erkki, Partanen Jarmo. Sähkönjakelutekniikka. Otatieto 2008.
- 7 Partanen, Jarmo, Sähköverkkotekniikan peruskurssi. [viitattu 2.5.2008] Saatavissa:
http://www.ee.lut.fi/stats/estat_logger.php?ID=146
- 8 Prysmian. [viitattu 18.3.2008] Saatavissa:
http://www.fi.prysmian.com/fi_FI/cables_systems/energy/product_families/pdf/ahx_ankw20_fi_n.pdf
- 9 Prysmian. [viitattu 18.3.2008] Saatavissa:
http://www.fi.prysmian.com/fi_FI/cables_systems/energy/product_families/pdf/aac_fi_n.pdf
- 10 SFS 6001 Suurjänniteasennukset. Suomen standardisoimisliitto SFS 2001.
- 11 Open++ Opera v.3.3, Käyttöohje, Version D/23.3.2003. ABB Oy.
- 12 Open++ Integra v.3.3, Käyttöohje, Version D/23.3.2003. ABB Oy.
- 13 Sallila Energia Oy:n oma julkaisematon materiaali
- 14 A4 1993 Vahvavirtailmajohtomääräykset. Sähkötarkastuskeskus 2006.

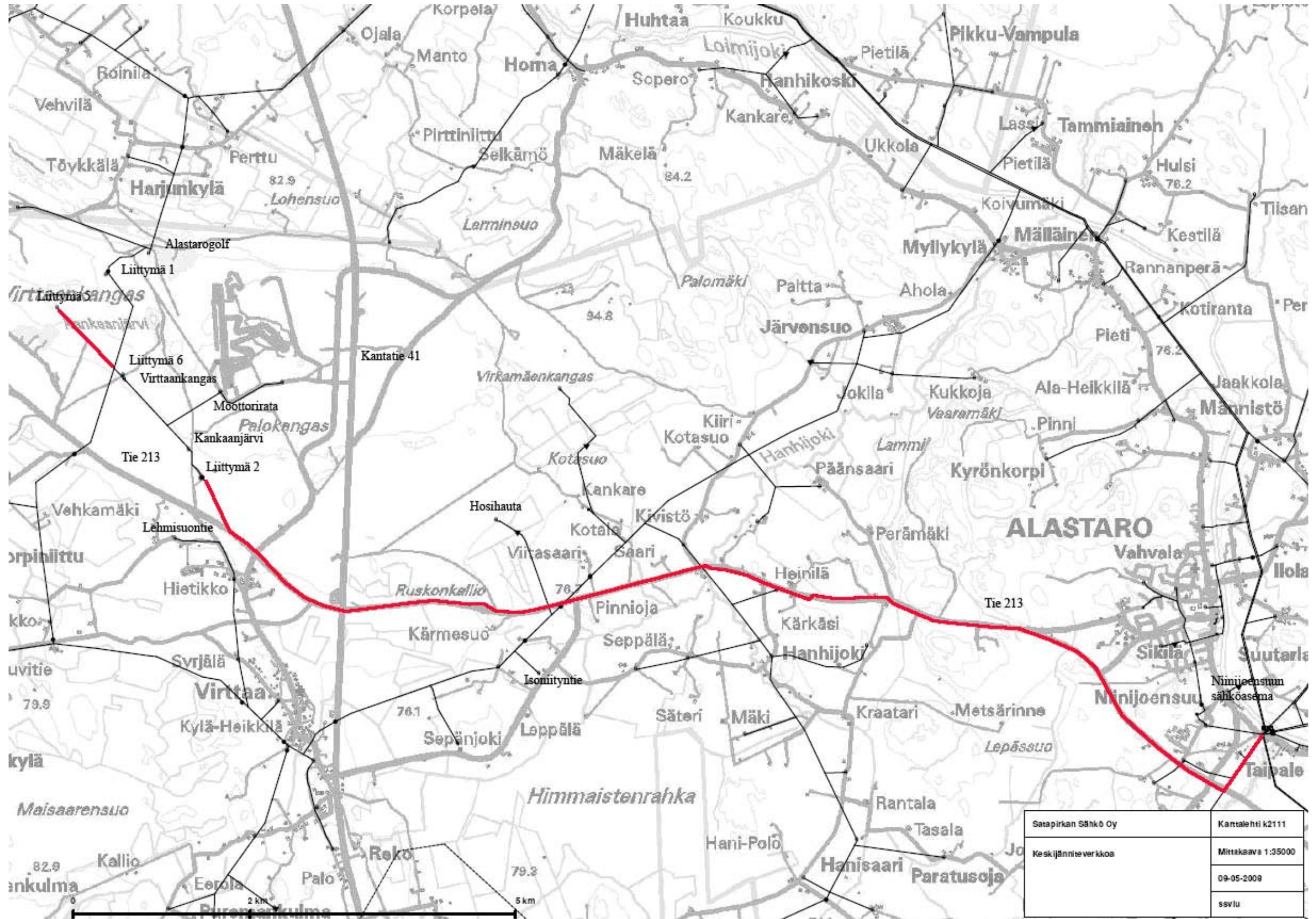
- 15 Loistehot kuriin, ABB Oy. [viitattu 14.4.2008] Saatavissa:
<http://www.abb.fi/cawp/seitp202/7ee464e2d5f6cf16c12573d100478c38.aspx>
- 16 Sähkönjakeluverkon komponenttien yksikköhinnat vuodelle 2008. Energiamarkkinavirasto. [viitattu 17.3.2008] Saatavissa:
<http://www.energiamarkkinavirasto.fi/data.asp?articleid=1455&pgid=195>
- 17 Paloposki Juho. Taajamasähköverkon jakeluhäviöiden vähentäminen. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu. Sähkö- ja tietoliikennetekniikan osasto. Vantaa 1999.

LIITTEET

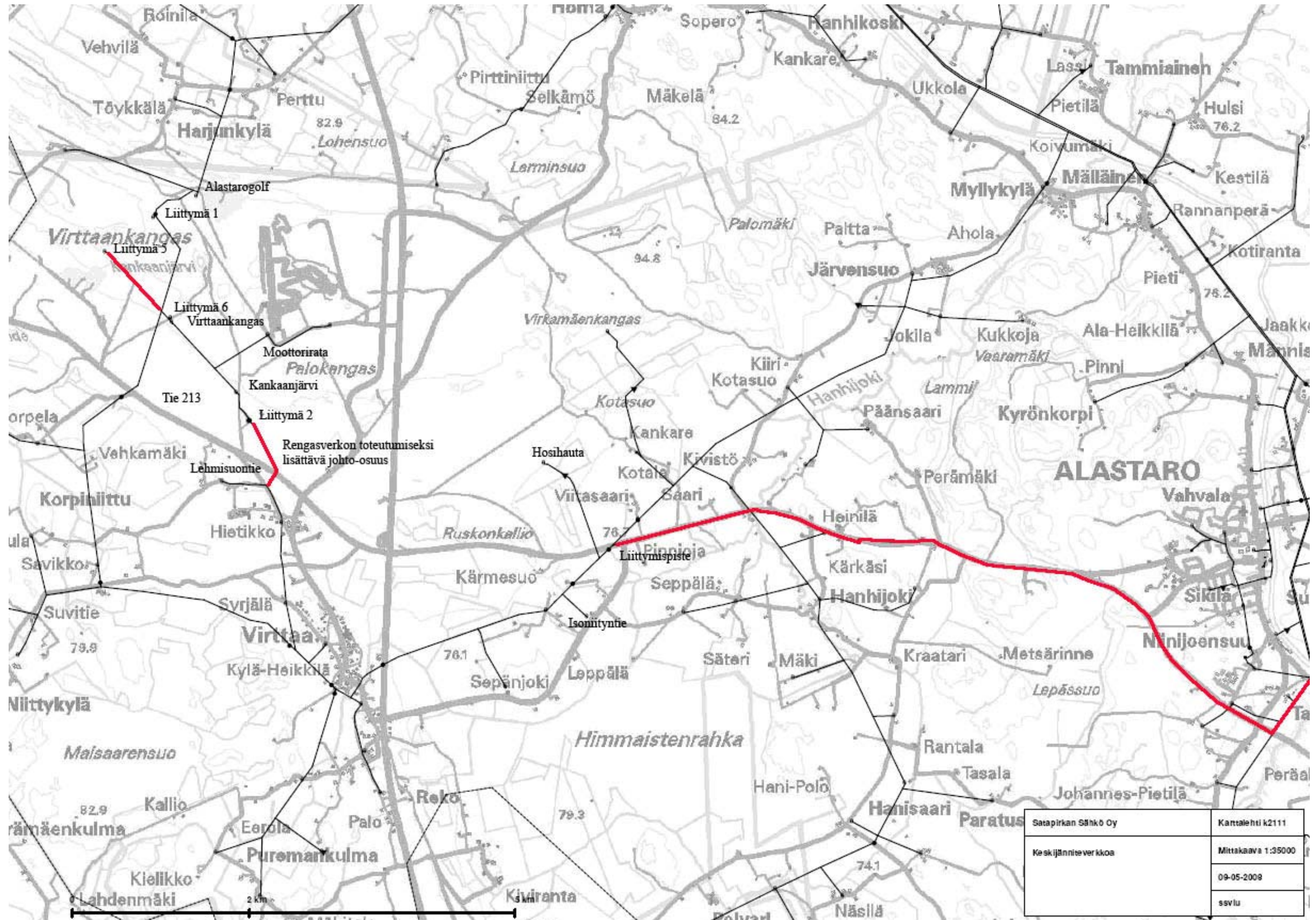
- LIITE 1. Suunnitelmavaihtoehto 1
- LIITE 2. Suunnitelmavaihtoehto 2
- LIITE 3. Suunnitelmavaihtoehto 3
- LIITE 4. Suunnitelmavaihtoehto 4
- LIITE 5. Suunnitelmavaihtoehto 5
- LIITE 6. Suunnitelmavaihtoehto 6
- LIITE 7. Maakaapelin tekniset tiedot
- LIITE 8. Alumiinijohtimen tekniset tiedot
- LIITE 9. Jännitteen aleneman esimerkkilasku
- LIITE 10. Verkkokomponentit ja indeksikorjatut yksikköhinnat vuodelle 2008



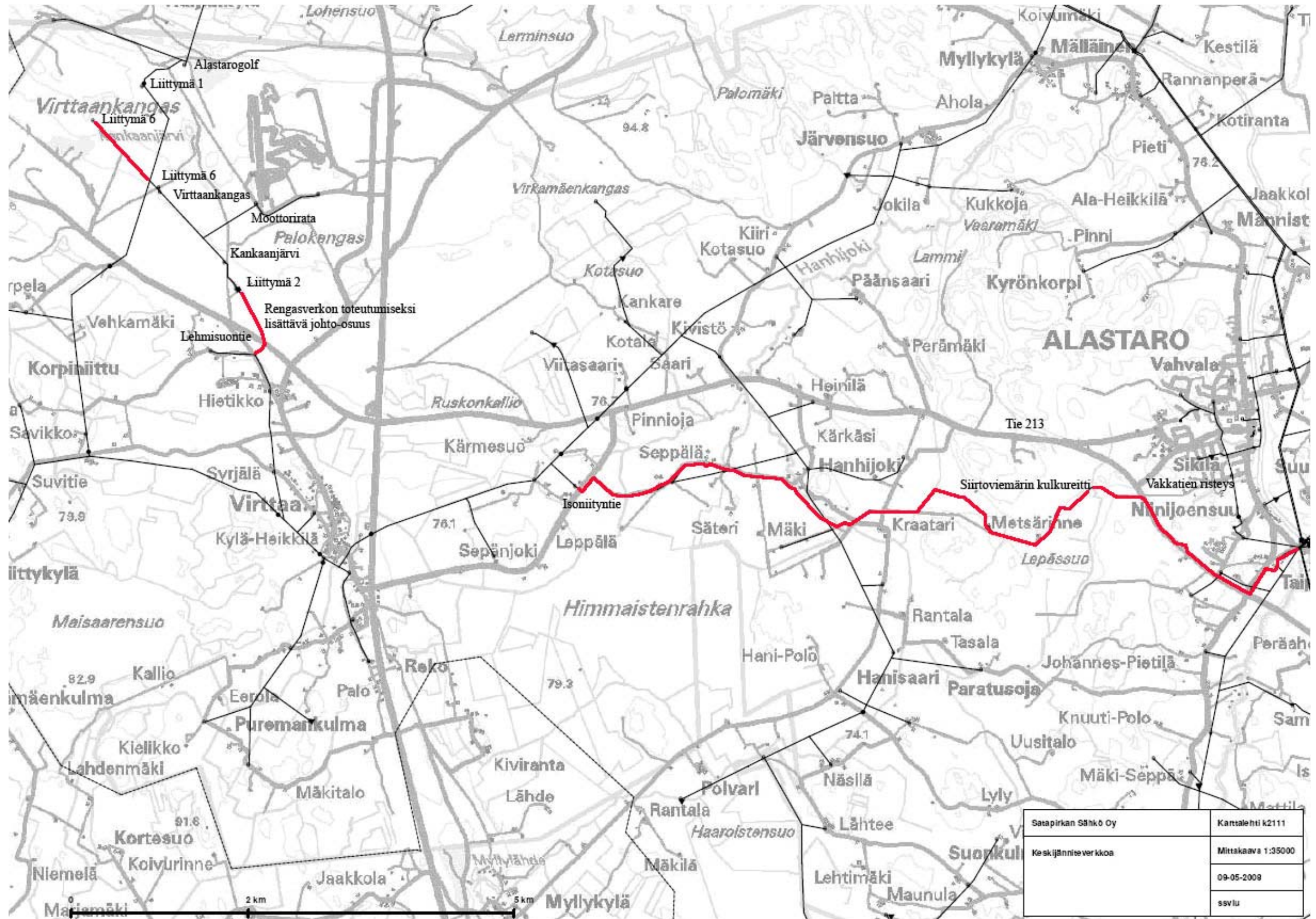
Seapirkkan Sähkö Oy	Karttalehti k2111
Keskijänniteverkko	Mittakaava 1:20000
	14-05-2008
	ssvu

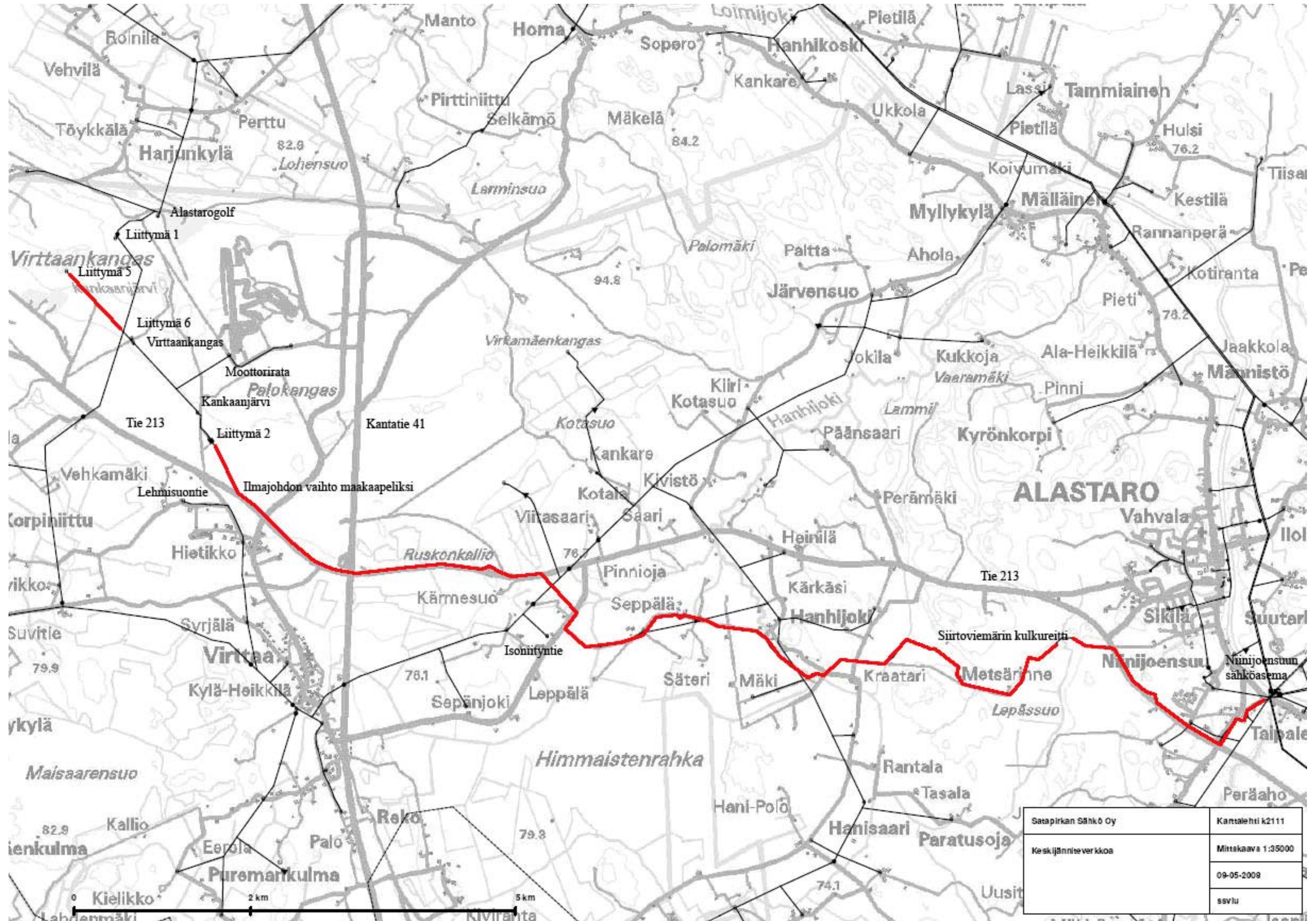


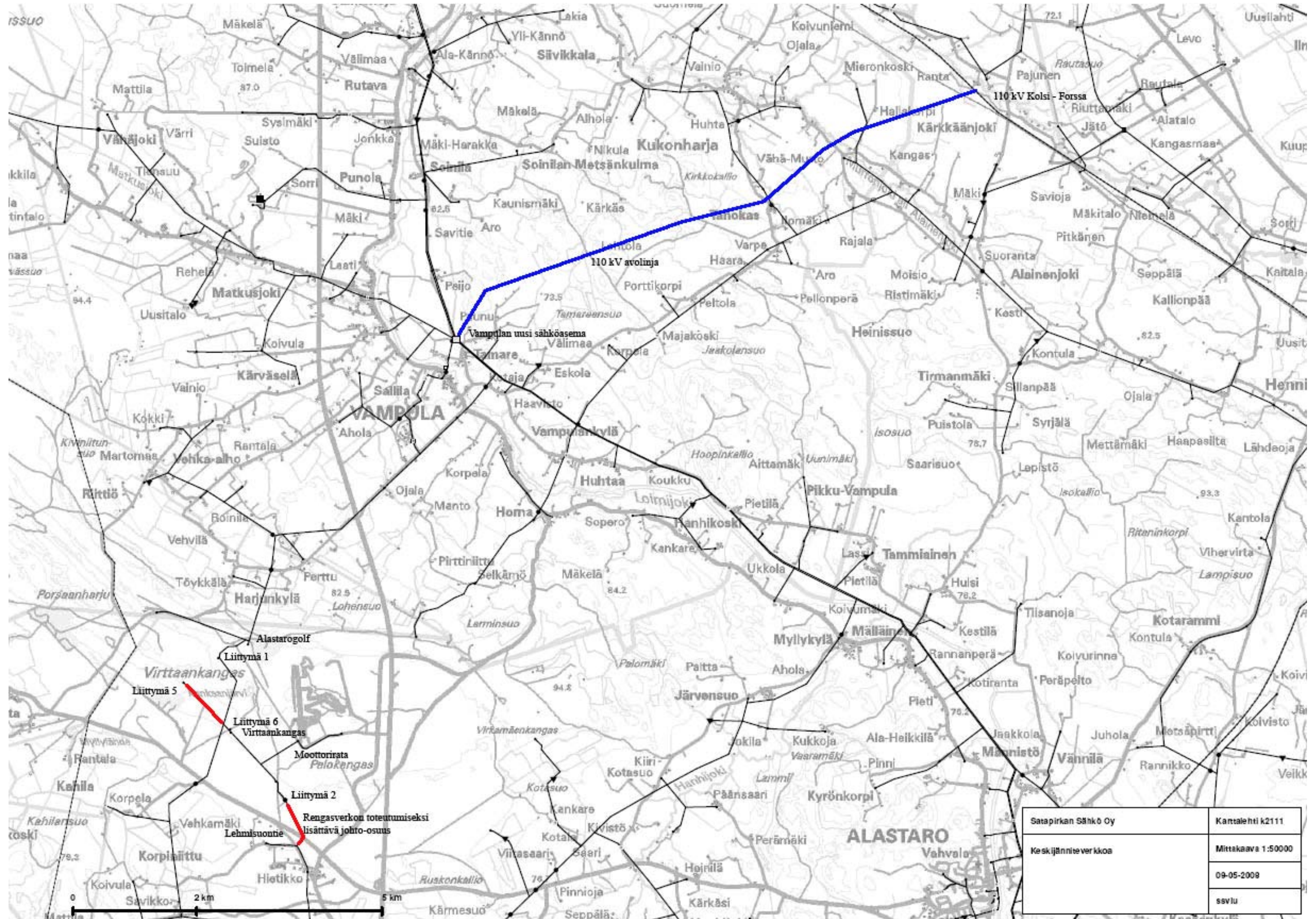
Satapirkkan Sähkö Oy	Karttalehti k2111
Keskijänniteverkkoa	Mittakaava 1:35000
	09-05-2009
	ssv/lu



Rengasverkon toteutumiseksi
lisättävä johto-osuus







Alumiinijohtiminen 20 kV vesitiivis Wiski™ maakaapeli

KÄYTTÖ

Maa-asennukset

Kiinteät hylly- ja kanava-asennukset sisällä ja ulkona

Johtimen suurin sallittu lämpötila:

- jatkuvassa käytössä: 90 °C
- vikatilanteessa (kesto enintään 5 s): 250 °C

Alin suositeltu käsittelylämpötila: -20 °C

RAKENNE

Johdin	Vesitiivis pyöreä tiivistetty alumiinijohdin
Johdinsuoja	Puolijohtava muovi
Eristys	PEX-muovi
Hohtosuoja	Puolijohtava muovi
Vesitiivistys	Veden vaikutuksesta paisuva puolijohtava nauha
Kosketussuoja	Alumiini-muovilaminaatti, joka toimii samalla poikittaissuuntaisena vesitiivistyksenä
Vaihevaippa	Säädävä musta PE-muovi
Keskusköysi	Pyöreä tiivistetty kuparijohdin
Kertaus	Kolme vaipattua vaihetta kerrattu keskusköyden ympärille

MERKINTÄ

Prysmian, tuotteen nimi, valmistusaika, ulkovaipan materiaalimerkintä, metrimerkintä

STANDARDIT

SFS 5636
IEC 60502-2
HD 620-5F

SERTIFIKAATIT /HYVÄKSYNNÄT

FI (FIMKO)

NIMELLISJÄNNITE

Uo/U = 12/20 kV, Um = 24 kV





AHXAMK-W 3-johtiminen

FIN

Tuotteen nimi		AHXAMK-W 3x7 0AI+35 Cu 20 kV	AHXAMK-W 3x9 5AI+35 Cu 20 kV	AHXAMK-W 3x12 0AI+35 Cu 20 kV	AHXAMK-W 3x15 0AI+35 Cu 20 kV	AHXAMK-W 3x18 5AI+35 Cu 20 kV	AHXAMK-W 3x22 0AI+70Cu 20 kV	AHXAMK-W 3x30 0AI+35 Cu 20 kV	
EAN-numero	(SSTL-numero) 64 100+	06 242 51-1	06 242 52-8	06 242 53-5	06 242 54-2	06 242 55-9	06 242 56-6	06 242 59-7	
Tullikoodi		85 44 60 90							
RAKENNETIETOJA									
Johtimen halkaisija (1)	mm	9,6	11,3	12,7	14,1	15,7	18,1	20,3	
Vaihevalpan halkaisija (1)	mm	30	33	34	35	37	40	43	
Kaapelin ulkohalkaisija (ympäri pilrrelyn ympyrän halkaisija) (1)	mm	66	71	74	76	80	89	91	
Massa (1)	alumiini	kg/km	690	910	1100	1350	1650	2200	2700
	kupari	kg/km	305	305	305	305	305	600	305
	kaapeli	kg/km	2650	3100	3450	3800	4300	5500	5950
TOIMITUSTIETOJA									
Vakiotoimituspituus	m	500	500	500	500	500	500	500	
Toimituskela		K24	K26	K26	K26	K26	K28	K28	
Massa (1)	kaapeli+kela	kg	1800	2450	2630	2800	3050	3930	4155
MEKAANISIA ARVOJA (2)									
Pienin sallittu talvutussäde asennusvedossa	valhe	m	0,45	0,50	0,51	0,53	0,56	0,60	0,65
	kaapeli	m	0,54	0,57	0,60	0,61	0,64	0,71	0,73
Pienin sallittu talvutussäde lopullisessa asennuksessa (3)	valhe	m	0,32	0,35	0,36	0,37	0,39	0,42	0,46
	kaapeli	m	0,38	0,40	0,42	0,43	0,45	0,50	0,51
Suurin sallittu asennusvetovoima vetosukalla	kN	3,2	4,3	5,4	6,8	8,3	8,5	8,5	
Suurin sallittu asennusvetovoima vetopäällä	kN	10,5	14,3	18,0	20,0	20,0	20,0	20,0	
SÄHKÖISIÄ ARVOJA (2)									
Vaihejohtimen maks. tasavirtaresistanssi	johdin 20°C	Ω/km	0,443	0,320	0,253	0,206	0,164	0,125	0,100
Vaihejohtimen vaihtovirtaresistanssi (1) (4)	johdin 65°C	Ω/km	0,53	0,38	0,30	0,25	0,20	0,15	0,12
	johdin 90°C	Ω/km	0,57	0,41	0,33	0,27	0,21	0,16	0,13
Keskusköyden maks. tasavirtaresistanssi	johdin 20°C	Ω/km	0,524	0,524	0,524	0,524	0,524	0,268	0,524
Induktanssi vaihetta kohti (1)		mH/km	0,42	0,40	0,39	0,37	0,36	0,35	0,34
Käyttökapasitanssi (1)		µF/km	0,19	0,21	0,23	0,24	0,26	0,30	0,32
Varausvirta (1)		A/km	0,7	0,8	0,8	0,9	0,9	1,1	1,2
Maasulkuvirta (1)		A/km	2,1	2,3	2,5	2,6	2,8	3,3	3,5
KUORMITETTAVUUS (2)									
Maassa (4)	johdin 65°C	A	200	235	265	300	330	385	435
Ilmassa (4)	johdin 65°C	A	190	230	265	300	345	400	460
	johdin 90°C	A	235	280	325	370	425	510	565
TERMINEN OIKOSULKUKESTOISUUS (2)									
Suurin sallittu 1 sekunnin oikosulkuvirta	valhejohdin (5)	kA	6,6	8,9	11,3	14,1	17,4	22,6	28,3
	kosketussuoja (6)	kA	2,3	2,5	2,6	2,8	2,9	4,3	4,5
	keskusköyysi (7)	kA	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	9,7	5,0

(1) Likiarvo

(2) Katso taulukkoarvojen lähtöolettamukset kappaleesta Yleistä tuotetietoa.

(3) Talvutus on tehtävä varovaisena ja tasaisena kertatalvutuksena.

(4) Kosketussuojapilri suljettu

(5) Johtimen lämpötila on ennen oikosulkua 90°C ja oikosulun päättyessä 250°C.

(6) Kosketussuojan lämpötila on ennen oikosulkua 85°C ja oikosulun päättyessä 250°C.

(7) Keskusköyden lämpötila ennen oikosulkua 55 °C ja oikosulun päättyessä 200 °C.

Alumiinijohdin

KÄYTTÖ

Avojohtimena sähköenergiansiirtolinjoissa.

Johtimen suurin sallittu lämpötila:

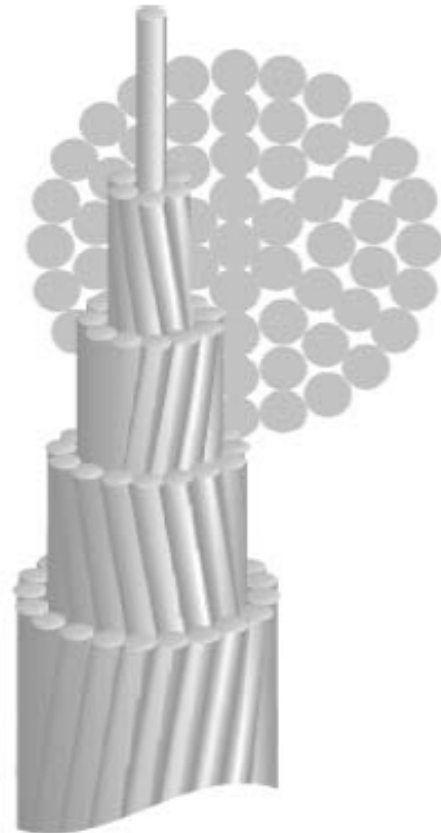
- jatkuvassa käytössä: 80 °C
- vikatilanteessa 160 °C
(kesto enintään 5 s)

RAKENNE

Kerrattu alumiinijohdin

STANDARDIT

SFS 5701
IEC 61089
EN 50182



<i>Tuotteen nimi</i>	AAC 107	AAC 132	AAC 201	AAC 346	AAC 638	AAC 1095
<i>Tuotteen IEC:n mukainen nimitys</i>	107-A1-7	132-A1-19	201-A1-19	346-A1-37	638-A1-61	1095-A1-61
<i>Tuotteen EN:n mukainen nimitys</i>	107-AL1	132-AL1	201-AL1	346-AL1	638-AL1	1095-AL1
EAN-numero (SSTL-numero) 64 100+	01 202 50-3	01 202 52-7	01 202 55-8	01 202 58-9	01 202 61-9	01 202 64-0
Tullikoodi	76 05 19 00					
RAKENNETIETOJA						
Lankalukumäärä	7	19	19	37	61	61
Lankahalkaisija mm	4,42	2,97	3,67	3,45	3,65	4,78
Johtimen halkaisija mm	13,3	14,9	18,4	24,2	32,9	43,0
Polkkipinta mm ²	107	132	201	346	638	1095
Johtimen massa (4) kg/km	294	362	553	954	1763	3024
TOIMITUSTIETOJA						
Vakiotoimituspituus m	2100	2100	1800	1250	1400	800
Toimituskela	13G	15G	15G	K18	K22	K22
Massa (1) kaapeli+kela kg	725	910	1150	1420	2880	2830
MEKAANISIA ARVOJA						
Johtimen nimellinen murtolujuus kN	17,2	22,4	32,2	57,1	102	175
Johtimen alkukimmomoduli N/mm ²	41 000	36 000	36 000	31 000	28 000	28 000
Johtimen loppukimmomoduli N/mm ²	60 000	59 000	59 000	58 000	57 000	57 000
Johtimen lämpöpiteneäkerroin 1/K	23,0 x 10 ⁻⁶	23,0 x 10 ⁻⁶	23,0 x 10 ⁻⁶	23,0 x 10 ⁻⁶	23,0 x 10 ⁻⁶	23,0 x 10 ⁻⁶
SÄHKÖISIÄ ARVOJA (2)						
Johtimen tasavirtaresistanssi (4) johdin 20°C Ω/km	0,267	0,219	0,143	0,0833	0,0453	0,0264
KUORMITETTAVUUS (2)						
Ilmassa johdin 60°C A	435	495	645	920	1340	1830
TERMINEN OIKOSULKUKESTOISUUS (2)						
Suurin sallittu 1 sekunnin oikosulkuvirta (3) kA	9,6	11,8	18,0	30,9	57,0	97,8

(1) Likiarvo

(2) Katso taulukkoarvojen lähtöoletukset kappaleesta Yleistä tuotetietoa.

(3) Johtimen lämpötila on ennen oikosulkua 40°C ja oikosulun päättyessä 160°C.

(4) Standardin mukaan laskettu nimellisarvo

Tässä esimerkissä on laskettu jännitteen alenema suunnitelmavaihtoehtoon 1 liittymässä 1. Tarvittava johtopituus ja johdossa siirrettävä teho on kerätty verkkotietojärjestelmästä. Taulukossa 1 on esitetty käytettyjen johtimien vaiheresistanssi ja -reaktanssi. Taulukossa 2 on esitetty sähköaseman ja liittymän 1 välisten johto-osuuksien johdinlajit, johtopituudet ja siirrettävä teho, sekä johdoissa tapahtuva jännitteen alenema.

Taulukko 1 Käytettyjen johdinlajien vaiheresistanssi ja -reaktanssi /2/

Johdinlaji	Vaiheresistanssi	Vaihereaktanssi
	$r (+40\text{ °C})$	x
	Ω/km	Ω/km
PAS120	0,311	0,284
PAS70	0,533	0,302
Raven	0,578	0,368
Sparrow	0,915	0,383
Loviisa	0,411	0,357
AHXAMK-W 3x185Al+35Cu	0,183	0,119

Jännitteen alenema voidaan laskea yhtälöllä 1 seuraavasti:

$$U_h = 100 \% \cdot P \cdot l \cdot \frac{r + x \cdot \tan \varphi}{U^2}$$

$$= 100 \% \cdot 3,14 \text{ MW} \cdot 2,61 \text{ km} \cdot \frac{0,311 \frac{\Omega}{\text{km}} + 0,284 \frac{\Omega}{\text{km}} \cdot 0,2}{(20,8 \text{ kV})^2} = 0,70 \% \quad (1) /2/$$

Jännitteen alenema ensimmäisessä johto-osuudessa on 0,70 %. Kaikki sähköaseman ja liittymän 1 välillä olevat johto-osuudet lasketaan vastaavasti ja saadut jännitteen alenemat lasketaan yhteen. Jännitteen alenemaksi liittymässä 1 saadaan 8,27 %, jolloin pääjännitteen arvo liittymässä 1 on 19,1 kV.

Jännitteen nostoon käytettävän 2,0 kVAR:in rinnakkaiskondensaattorin vaikutus voidaan laskea yhtälöllä 2, kun taustaverkon reaktanssin on 8,07 Ω /13/, pääjännite on 20,8 kV ja $\tan \varphi=0,2$.

$$\Delta U_v \approx \frac{Q_c \cdot X}{U_N} \cdot \frac{U_{1v}}{U_N} \approx \frac{2000 \text{ kVAr} \cdot 8,07 \Omega}{20,8 \text{ kV}} \cdot \frac{20,8 \text{ kV}}{20,8 \text{ kV}} \cdot \frac{\sqrt{3}}{20,8 \text{ kV}} \approx 448 \text{ V} \quad (2) /2/$$

Rinnakkaiskondensaattorin vaikutus pääjännitteeseen voidaan laskea yhtälön 3 mukaisesti.

$$\Delta U \approx \sqrt{3} \cdot \Delta U_v = \sqrt{3} \cdot 448 \text{ V} = 776 \text{ V} \quad (3)$$

Rinnakkaiskondensaattori nostaa pääjännitettä 776 V, jolloin liittymän 1 pääjännitteen arvo on 19,86 kV. Jännitteen alenema liittymässä 1 on tällöin 4,8 %.

Taulukko 2 Lähdön SNJOJ03 Virttaa, välin sähköasema - liittymä 1, johdinlaji, johtopituudet, siirrettävä teho ja jännitteen alenema johto-osuuksittain

	Johtopituus	Siirrettävä teho	Jännitteen alenema
Johdinlaji	km	MW	%
PAS120 (sähköasema)	2,61	3,14	0,7
PAS120	0,87	3,12	0,23
PAS120	2,72	3,1	0,72
PAS120	0,38	3,1	0,1
PAS120	0,71	3,09	0,19
Raven	0,7	3,08	0,32
Raven	1,93	3	0,87
Raven	0,28	2,95	0,12
Raven	1,7	2,91	0,74
Raven	1,43	2,81	0,6
Raven	0,31	2,78	0,13
Raven	0,55	2,75	0,23
Raven	0,46	2,72	0,19
Raven	0,16	2,72	0,07
Raven	0,57	2,69	0,23
Raven	0,27	2,65	0,11
Raven	0,8	2,63	0,32
Raven	1,13	2,61	0,45
PAS120	0,53	2,61	0,21
Raven	0,19	2,31	0,07
Raven	0,07	2,26	0,02
Raven	0,43	2,25	0,15
Raven	0,15	2,18	0,05
Sparrow	0,53	2,15	0,26
Sparrow	0,91	2,13	0,44
PAS70	0,46	2,08	0,13
AHXAMK-W 3x185Al+35Cu	0,84	2,07	0,08
AHXAMK-W 3x185Al+35Cu	0,39	1,46	0,03
Sparrow	0,37	1,43	0,12
Sparrow	0,71	1,35	0,22
Sparrow	0,05	1,29	0,02
Sparrow	0,12	0,87	0,02
Raven	0,73	0,66	0,11
Loviisa (liittymä 1)	0,47	0,66	0,03
		Yht.	8,27

20 kV ilmajohtot	Yksikkö	Yksikköhinta euroa
Sparrow tai pienempi	km	17 190
Raven	km	21 090
Pigeon	km	24 100
Al 132 tai suurempi	km	27 910
SAXKA 70 tai pienempi	km	48 560
SAXKA 120 tai suurempi	km	57 580
PAS 35 – 70	km	28 070
PAS 95 tai suurempi	km	31 290
Muut	km	17 190

20 kV maakaapelit (asennus)	Yksikkö	Yksikköhinta euroa
enintään 70 maakaapeli	km	24 230
95 – 120 maakaapeli	km	33 170
150 – 185 maakaapeli	km	40 260
240 – 300 maakaapeli	km	45 710
enintään 70 vesistökaapeli	km	55 830
Kojeistopääte	kpl	1 210
Pylväspääte	kpl	2 540
Jatko	kpl	2 390

0,4 ja 20 kV maakaapelit (kaivu)	Yksikkö	Yksikköhinta euroa
Haja-asutusalue	km	9 770
Taajama-alue	km	20 800
Kaupunkialue	km	64 330

45 kV, 110 kV ja 400 kV johdot sekä erotinasemat	Yksikkö	Yksikköhinta euroa
45 kV puupylväsjohto	km	49 990
110 kV puupylväsjohto, yksi virtapiiri	km	111 680
110 kV teräsristikopylväsjohto, yksi virtapiiri	km	234 010
110 kV teräsristikopylväsjohto, kaksi virtapiiriä	km	297 830
110 kV maakaapeli	km	420 150
400 kV harustettu teräspylväsjohto	km	196 780
400 kV vapaasti seisova teräspylväsjohto	km	361 650
45 kV erotinasema (1 erotin)	kpl	15 950
110 kV johtoerotin	kpl	22 340
110 kV kaukokäyttöinen johtoerotin	kpl	34 040
110 kV johtoaluekorvaus	km	21 590
400 kV johtoaluekorvaus	km	29 680

Sähköasemat 110 kV muuntajat [MVA]	Yksikkö	Yksikköhinta euroa
6	kpl	257 410
10	kpl	290 380
16	kpl	343 560
20	kpl	387 170
25	kpl	427 590
31,5	kpl	493 540
40	kpl	553 110
50	kpl	629 690
63	kpl	738 180
80	kpl	846 680
100	kpl	955 170
220/110 kV muuntaja	kpl	1 148 760

Sähköasemat 110 kV kevyt sähköasema	Yksikkö	Yksikköhinta euroa
110 kV kevyt sähköasema	kpl	387 170

Sähköasemat 20 kV kojeistot	Yksikkö	Yksikköhinta euroa
Ilmaeristeisen 1-kiskokojeiston perushinta	kpl	21 060
+ 1-kisko lisäkentän hinta	kpl	13 190
Ilmaeristeisen 2-kiskokojeiston perushinta	kpl	30 210
+ 2-kisko lisäkentän hinta	kpl	20 850
Kaasueristeinen 2-kiskokojeiston perushinta	kpl	47 650
+ 2-kisko lisäkentän hinta	kpl	28 510
Suojaus- ja automaatio asemakohtainen perushinta	kpl	18 080
+ lisäkenttä	kpl	5 320
Kondensaattori 2,4 Mvar	kpl	36 700
Maasulun sammutuslaitteisto	kpl	120 510
Kuristin < 50 MVA	kpl	68 710
Kuristin > 50 MVA	kpl	44 990