

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Sähkövoimatekniikka

Tutkintotyö

Petri Ilves

KESKIJÄNNITEVERKON KAAPELOINTI MAASEUTUALUEELLA

Työn ohjaaja
Työn teettäjä
Tampere 2007

diplomi-insinööri Jarkko Lehtonen
Vattenfall Verkko Oy, valvojana suunnittelupäällikkö Kari Kautto

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Sähkötekniikan koulutusohjelma

Sähkövoimatekniikka

Petri Ilves

Keskijänniteverkon kaapelointi maaseutualueella

Tutkintotyö

62 sivua + 20 liitesivua

Työn ohjaaja

diplomi-insinööri Jarkko Lehtonen

Työn teettäjä

Vattenfall Verkkö Oy, valvojana suunnittelupäällikkö Kari Kautto

Huhtikuu 2007

Hakusanat

auraus, kaapelointi, keskijänniteverkko, luotettavuus

TIIVISTELMÄ

Tämän työn tarkoituksena oli laajentaa nykyisessä sähköverkon suunnittelussa käytettyjä arvostusnäkökulmia. Nykyisin suunnitelmavaihtoehtojen välinen ratkaisu tehdään lähes yksinomaan investointikustannusten perusteella. Näkökulmia pyrittiin laajentamaan nykyaikaisten verkkotietojärjestelmien tuomia luotettavuuden analysointiominaisuuksia hyväksi käyttäen.

Työssä esiteltiin haja-asutusalueelle soveltuvia keskijännitteisen kaapeliverkon komponentteja ja kaapeliverkon rakentamistapaa auraustekniikalla. Tätä tekniikkaa on aiemmin käytetty pienjänniteverkon rakentamisessa, mutta nyt se on tarkoitus ottaa myös keskijänniteverkon rakennustavaksi. Rakentamistavan muuttamisen ja materiaalikehityksen edesauttamana kaapeliverkon rakentamiskustannukset pyrittiin saamaan tasolle, jolla myös haja-asutusalueen jakeluverkon kaapelointi on kannattavaa ja ilmajohtoverkon rakentamisesta voitaisiin luopua kokonaan.

Työn lopussa etsittiin käsiteltävälle olemassa olevalle keskijänniteverkon osalle teknistaloudellisesti järkevä saneeraussuunnitelma uusia komponentteja ja rakentamistapaa käyttäen. Vaihtoehtoja vertailtiin investointi-, käyttö- ja huoltokustannusten lisäksi luotettavuuden ja KAH-arvoihin perustuvien luotettavuuskustannusten välillä. Investointikustannuksiltaan suurin ja vaikutusalueeltaan laajin vaihtoehto osoittautui luotettavuuden kannalta parhaimmaksi.

Tulevaisuudessa sähköverkon suunnittelussa tulisi kiinnittää entistä enemmän huomiota kaikkien olosuhteiden kestäviin ratkaisuihin, koska sähkönjakelun häiriintymisestä aiheutuvaa haittaa pidetään yhä merkittävämpänä tekijänä sähkön laatua mitattaessa.

TAMPERE POLYTECHNIC
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Electrical Power Engineering

Petri Ilves Medium voltage network's cabling in rural area

Engineering thesis 62 pages and 20 appendixes

Thesis supervisor Jarkko Lehtonen (M.Sc.)

Commissioning company Vattenfall Verkkö Oy,
Supervisor: Kari Kautto, Manager, Network Planning

April 2007

Keywords cabling, medium voltage network, ploughing, reliability

ABSTRACT

The aim of this study was to expand currently affecting basis and aspects when planning a medium voltage network in rural area. Currently the decision between network planning versions is mainly based on investment expenses. Aspects were trying to expand with help of developing network analysis tool packs in modern network data systems.

In this study, there are examined medium voltage network components, which are suitable in rural areas and medium voltage cable network building by ploughing. Ploughing has usually been a building method in low voltage networks, but now it is going to be also a building method in medium voltage networks. With new materials and building methods, the expenses of medium voltage network cabling are trying to get in a level, when cabling in rural areas can be reasonable.

A part of this study is to find a reasonable network plan to reconstruction by using new materials and methods. Comparing investment expenses, life cycle expenses, reliability and reliability expenses makes comparison between those network plans. The most expensive version turns out as the most reliability version.

When planning a network in the future, the main focus should be solutions, which sustains every weather conditions. Consequences of malfunction in electric distribution will be placed continually higher factor when measuring the quality of electricity.

ALKUSANAT

Tämä insinöörityö sai osaltani alkunsa 10. marraskuuta vuonna 2006. Kesätyörupeaman päätteeksi verkostosuunnittelija Reino Tilvis, suunnittelupäällikkö Kari Kautto ja suunnitteluesimies Merja Leppänero esittelivät minulle Uudenmaan maakunnan Karkkilassa toteutettavaksi tulevaa verkoston saneerausta. Saneeraus liittyi Vattenfall Verkko Oy:n vuonna 2006 aloittamaan sähkön toimitusvarmuuden parantamishankkeeseen. Saneeraus tultaisiin tekemään käyttäen uutta verkkoteknologiaa, josta ei ollut aiempaa kokemusta yhtä työkohdetta lukuun ottamatta. Tehtävänäni oli suunnitella uuden verkkoteknologian komponentteja käyttäen kolme vaihtoehtoista suunnitelmaa, joista yksi valittaisiin toteutettavaksi.

Työn varsinaiset verkostosuunnitelmat olivat valmiina esitettäviksi aikataulun mukaisesti heti vuodenvaihteen jälkeen. Tästä ajankohdasta alkoi intensiivinen raportin kirjoittaminen suunnitteluvaiheessa tehtyjen muistiinpanojen, havaintojen ja tulosten pohjalta. Lopputuloksena syntyi tämä 62 sivuinen raportti, joka valmistui 4. huhtikuuta 2007.

Hyvistä neuvoista ja opastuksesta haluan kiittää tutkintotyöni ohjaajan diplomi-insinööri Jarkko Lehtosen lisäksi Vattenfall Verkko Oy:n Reino Tilvistä ja muuta henkilökuntaa, jotka ovat auttaneet työn etenemisessä.

Nyt kun kokopäiväinen opiskelu on tältä erää loppunut ja työelämän haasteet odottavat, haluan osoittaa erityiskiitokset minua kannustaneelle ja tukeneelle avovaimolleni Elinalle myötäelämisestä ja vanhemmilleni, jotka ovat tukeneet minua monissa tilanteissa tähänastisten opiskeluitteni varrella.

Petri Ilves

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ.....	2
ABSTRACT	3
ALKUSANAT.....	4
1 JOHDANTO.....	7
1.1 Työn taustat	7
1.2 Vattenfall Verkko Oy:n toimet toimitusvarmuuden parantamiseksi.....	7
2 HAJA-ASUTUSALUEEN KAAPELIVERKKO	8
2.1 Haja-asutusalueen kaapeliverkon tarkoitus ja tarve	8
2.2 Keski-jänniteverkon rakentaminen aurasuunnitelmalla	9
2.2.1 Aurasuunnitelma	11
2.2.2 Kaapelien aurasuunnitelmat Suomessa	12
2.2.3 Erot PJ- ja KJ-kaapelien aurasuunnitelmissa	12
2.3 Haja-asutusalueelle sopivat keski-jännitekaapelit.....	13
2.4 Haja-asutusalueen kevyet muuntamot.....	15
2.5 Haja-asutusalueen erotinkojeistot	16
2.6 Aiemmat kokemukset.....	18
3 KESKI-JÄNNITEMAAKAAPELIVERKON MITOITTAMINEN	18
3.1 Taloudellinen mitoittaminen	18
3.1.1 Johdon taloudellinen kuormitusalue	21
3.1.2 Luotettavuuskustannukset.....	23
3.2 Sähköinen mitoittaminen.....	23
3.2.1 Mitoitustehon määräytyminen [SA 5:94]	23
3.2.2 Kuormitettavuus.....	24
3.2.3 Jännitteenalenema ja tehohäviöt	25
3.2.4 Oikosulkusuojaus.....	26
3.2.5 Maasulku- ja kosketusjännitesuojaus.....	28
4 SÄHKÖVERKON SUUNNITTELU VERKKOTIETOKANNASSA	30
4.1 Käytettävä suunnitteluohjelmisto.....	30
4.2 Verkon sähköisen tilan laskenta.....	31
4.3 Luotettavuuspohjainen verkostanalyysi	31
4.4 Verkko-omaisuuden hallinta	34
5 TYÖN KOHTEENA OLEVA VERKKO	35
5.1 Suunnittelussa huomioitavat lähtötiedot	35
5.2 Verkkotopologia.....	36
5.2.1 Tuorila.....	37
5.2.2 Huhti	39
5.2.3 Vattola.....	40
5.3 Verkon sähköiset arvot.....	40
5.4 Rakenteiden ikä	41
5.5 Luotettavuus ja käyttökustannukset	41
6 SUUNNITELMAVAIHTOEHDOT	42
6.1 Kaava-alueen muutokset	42
6.2 Tuorilan lähdön suunnitelmavaihtoehto A.....	45
6.2.1 Saavajoki.....	46

6.2.2 Tuorilan mylly	46
6.2.3 Siikalankoski.....	47
6.2.4 Alestalo	49
6.2.5 Siikalan kytkinasema	50
6.3 Tuorilan lähdön suunnitelmavaihtoehto B	51
6.4 Tuorilan lähdön suunnitelmavaihtoehto C	53
7 YHTEENVETO JA JATKOTOIMENPITEET	55
7.1 Suunnitelmavaihtoehtojen vertailu.....	55
7.1.1 Kustannukset.....	55
7.1.2 Luotettavuus.....	56
7.1.3 Yhteenveto	58
7.2 Ehdotukset tulevaisuuden verkostotöiksi.....	60
LÄHDELUETTELO	61
LIITTEET	62

1 JOHDANTO

1.1 Työn taustat

Vuoden 2001 Pyn ja Janikan päivien myrskyjen myötä käyttövarmuuden arvos- tus on noussut sähköverkkoyhtiöissä entistä suurempaan arvoon. Tuolloin etenkin jälkimmäisen myrskyn tuhojen jäljiltä jakeluverkkoyhtiöillä oli yhteensä yli 800.000 sähkötöntä asiakasta. Yli 200.000 kotitaloutta oli ilman sähköjä yli vuoro- kauden ja näistä 1.600 talouden sähkönsaannin keskeytyminen kesti yli viisi vuo- rokautta.

Kauppa- ja teollisuusministeriö asetti vuonna 2001 VTT:n ylijohtaja Jarl Forsténin selvitysmieheksi, jonka tehtäväksi annettiin selvittää jakeluverkonhaltijoiden va- rautumisjärjestelmien riittävyyttä sekä sähköjärjestelmien toimivuutta poikkeuksel- lisissa olosuhteissa. Selvitysmies esittää raportissaan, että sähköverkon suunnitte- lussa, rakentamisessa, käytössä ja kunnossapidossa on tavoiteltava tasoa, jolla pi- simmät keskeytykset sähköjakelussa ovat enintään kuusi tuntia hyvinkin poikke- uksellisissa olosuhteissa. Verkonhaltija valitsee keinot, joilla tähän päästään. *[FOR01]*

Selvitysmies Forsténin innoittamana verkkoyhtiöissä on keskitytty käyttövarmuu- deltaan parempien rakenneratkaisujen kehittämiseen ja testaukseen, vaikka niiden investointikustannukset ovatkin perinteisiä ratkaisuja korkeammat.

1.2 Vattenfall Verkkö Oy:n toimet toimitusvarmuuden parantamiseksi

Vuoden 2001 myrskyjen jälkeen jakeluverkkoyhtiö Vattenfall Verkkö Oy:n (myö- hemmin VFV) sähköverkon ohjaus ja valvontajärjestelmät uusittiin ja keskitettiin Tampereelle sijaitsevaan ympäri vuorokauden toimivaan käyttökeskukseen, joka valvoo ja ohjaa sähköverkkoa koko vastuualueella. Aiemmin sähköverkon ohjaus ja valvonta tapahtui maakunnissa sijaitsevilla valvomoissa, joissa automaation määrä vaihteli suuresti.

Vuonna 2006 alkaneeseen toimitusvarmuuden parantamishankkeeseen on varattu yli 80 miljoonaa euroa. Toimitusvarmuutta parannetaan muun muassa lisäämällä

kauko-ohjattavia erotinasemia, kasvattamalla sähköasematiheyttä ja kehittämällä ja testaamalla uutta Suomen sääoloihin sopivaa verkkoteknologiaa, johon myös tämä tutkintotyö liittyy. Suomen sääoloihin sopivan haja-asutusalueen sähköverkon kehittämiseen on varattu toimitusvarmuuden parantamishankkeen budjetista noin 13 miljoonaa euroa vuosille 2006...2008. Sähköverkon kehittämisen tavoitteena on kehittää uusi verkostonrakentamistyyli lähivuosina alkavaa laajamittaista ikääntyneen maaseutuverkon saneerausta varten. Uudella verkkoteknologialla pyritään myös rajoittamaan yksittäisen keskeytyksen maksimipituus enintään kuuteen tuntiin kaikissa sääolosuhteissa ja vähentämään nopeasti ohimenevien vikojen aiheuttamia pikajälleenkytkentöjä.

Tutkintotyönä suunnitellaan kolme vaihtoehtoista verkostosuunnitelmaa 20 kV:n runkojohdolle Uudenmaan maakunnan Karkkilaan Suomen sääoloihin soveltuvia komponentteja käyttäen. Runkojohto alkaa taajama-alueella sijaitsevasta Karkkilan sähköasemasta ja päättyy noin viiden kilometrin päähän maaseutualueella sijaitsevalle Siikalan kytkinasemalle. Runkojohto on koko matkan avojohtoverkkoa sähköaseman ja kytkinaseman päätteitä lukuun ottamatta.

Suunnitelmavaihtoehtoja vertaillaan investointikustannusten, käyttökustannusten, luotettavuuden ja luotettavuuteen liittyvien kustannusten välillä. Luotettavuuden ja käyttökustannusten vertailupohjaksi otetaan nykyisen verkon arvot. Verkostosuunnitelmat tehdään Tekla Xpower -verkkotietojärjestelmällä, jolla voidaan suorittaa myös luotettavuus- ja kustannuslaskelmat.

2 HAJA-ASUTUSALUEEN KAAPELIVERKKO

2.1 Haja-asutusalueen kaapeliverkon tarkoitus ja tarve

Suomen sääoloihin sopiva verkkoteknologia tarkoittaa käytännössä keskijännite- ja pienjänniteverkon rakentamista kaapeloimalla. Nykyisillä kustannuksilla ja komponenteilla keskijänniteverkon kaapelointi ja puistomuuntamoiden rakentaminen harvaan asutuilla maaseutualueilla ei kannata. Keskijänniteverkkoa on kaapeloitu tähän asti vain paikoissa, joissa on tiheä asutus tai paikoissa, joissa luonnon biodiversiteetti ei saa muuttua, eli ilmajohtoon vaatimaa johtokatua ei voida raivata. Tau-

lukossa 2.1 on esitetty Energiamarkkinaviraston 2007 hintoihin perustuvat keskijänniteverkon rakentamiskustannukset nykyisiä rakennusmenetelmiä käyttäen.

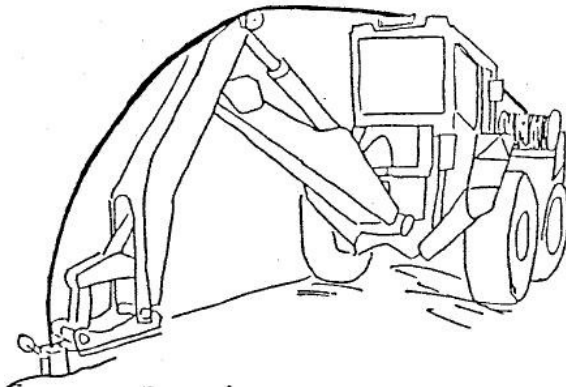
Taulukko 2.1 20 kV:n verkon rakentamiskustannukset. [EMV07]

Johdon rakentaminen	
Päällystämätön johto	18.540...24.770 €/km
Päällystetty PAS-johto	26.520...31.770 €/km
Maakaapeli	36.160...46.310 €/km
Kaivu, haja-asutusalue	11.660 €/km
Yhteensä	47.820...57.970 €/km
Muuntamon rakentaminen	
Pylväsmuuntamo	3.800...9.340 €
Puistomuuntamo	30.430...36.460 €

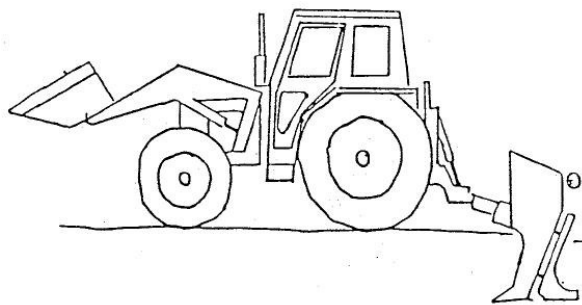
Nykyisin yleisesti rakennettavan PAS-johtoverkon ja maakaapeliverkon kustannuksia vertailemalla huomataan, että nykyisillä komponenteilla ja rakentamistyyllillä maakaapeliverkon rakentaminen on kustannuksiltaan noin kaksi kertaa kalliimpaa kuin PAS-johtoverkon rakentaminen. Muuntamon rakentamisessa on vastavasti yli kolminkertainen ero. Tämä johtaa väistämättä siihen, että nykyisillä kaapelointikustannuksilla maakaapelia ei kannata rakentaa harvaanasutulle alueelle, sillä yhtä kuluttajaa kohden laskettu investointikustannus olisi liian suuri. Maakaapeliratkaisu on kuitenkin ainut ratkaisu, jolla myös maaseutualueelle saadaan toimitusvarmuudeltaan hyvä sähköverkko. Investointikustannukset on kuitenkin saatava PAS-johtoverkon tasolle ennen kuin kaapelointi on kannattavaa. Maakaapeliverkon rakentamiskustannuksien pienentämisen edellytyksinä ovat rakentamistyylin muuttaminen nykyisestä kaapeliojan kaivamisesta jo PJ-kaapeloinnissa tapahtuvaan kaapelin auraustekniikkaan ja uusien käyttötarkoitukseen sopivimpien materiaalien kehittäminen.

2.2 Keskijänniteverkon rakentaminen auraustekniikalla

Maakaapelin rakentaminen auraustekniikalla tarkoittaa pääpiirteittäin kaapelin laskemista maahan kaivinkoneeseen kytketyn auran tai erillisen aurauskoneen avulla. Aura tekee maahan kapean viillon, jonka jälkeen auran putkessa kulkeva kaapeli ohjautuu viiltoon. Aurauskoneita havainnollistavat kuvat 2.1 ja 2.2.



Kuva 2.1 Kaivinkoneeseen kiinnitetty aura, jossa kaapeli tulee suoraan koneen keulalla olevasta rullasta. [TK 2:87]



Kuva 2.2 Aura on kiinnitetty traktorin nostolaitteisiin. [TK 2:87]

Aura voi olla myös vintturivetoinen, jolloin sillä päästään ahtaisiin paikkoihin tai paikkoihin, joissa maaperä ei kannata konetta. Sähköenergiailiiton verkostosuosituksen TK 2:87 mukaan voidaan sanoa, että auraus soveltuu käytettäväksi kaikissa kaapelointikohteissa, joissa perinteinen kaivutyö voidaan suorittaa ilman räjäytystä. Rajoituksia aiheuttavat mm. kalliot, lohkarainen maaperä, asfaltoitu tie ja jo olemassa oleva johtoverkko. [TK 2:87]

Epätasainen maasto asettaa aurastekniikalle haasteita. Jyrkät pinnankorkeuden muutokset aiheuttavat kaapelin nousemisen pinnempaan auruskoneen aiheuttaman vetovoiman vuoksi, kun taas mutkaisella reitillä kaapeli painautuu tiukasti mutkan sisempään sivuun, eikä näin ollen laskeudu vapaasti viiltoon samoin kuin suorilla ja tasaisilla osuuksilla.

Keskijännitekaapeli kannattaa aurata siten, että reitille suoritetaan ensin esiauraus, joka tehdään samansuuntaisesti kuin varsinainenkin auraus, mutta ilman kaapelia. Näin voidaan varmistua siitä, ettei varsinainen auraus keskeydy maassa olevien esteiden vuoksi. Tästä huolimatta ei kuitenkaan pystytä varmistumaan siitä, ettei kaa-

pelin lähelle jää teräviä lohkareita tai muita teräviä osia, jotka voivat ajansaatossa liikkua kaapeliin kiinni ja vaurioittaa sitä.

Auraustekniikkaa käyttämällä ympäristöön kohdistuvat rasiukset ovat kaivamista huomattavasti pienemmät. Maalajien sekoittuminen ja maiseman muuttuminen on väistämätöntä kun kaapeli lasketaan kaivamalla tehtyyn kaapeliojaan. Lisäksi oja on aina peitettävä. Auran tekemää viiltoa ei tarvitse välttämättä peittää. Auruksen jälkeen voidaan kuitenkin ajaa työkoneella viiltoa pitkin siten että koneen pyörät tai tela painaa viillon kiinni.

2.2.1 Auraslaite

Kaapeliaurat voidaan jakaa toimintansa mukaan kahteen ryhmään; staattisiin ja täryttäviin. Sähköenergialiiton verkostosuosituksen TK 2:87 mukaan täryttävän auran värinäliike voi olla joko pystysuora tai ympyrän muotoinen. Liikkeen taajuus on noin $1100...2300 \text{ min}^{-1}$ ja amplitudi $3,5...20 \text{ mm}$. [TK 2:87]

Täryttävän auran vaatima työkoneen teho on pienempi kuin staattisen auran. Tämä johtuu osittain värinäliikkeen avulla tapahtuvasta leikkaantumisesta, jolloin maaines ei painaudu auran pintaan niin tiukasti kuin staattisessa aurassa ja osittain värinän aiheuttamasta maan irtonaisten osasten, kuten auran reitille osuvien kivien siirtymisestä. Värinä parantaa myös hienojakoisen maa-aineksen valumista kaapelin ympärille, jolloin useampaa kaapelia samanaikaisesti aurattaessa kaapelit jäävät sopivan etäisyyden päähän toisistaan. Maanrakennusyritys Veljekset Hemming Oy:n mukaan täryttävän auran käyttö edellyttää työkoneelta noin $50...60 \text{ l/min}$ hydraulikkaöljyn virtauksen tuoton. He käyttävät täryytystä vain silloin, kun kohdataan kiviä. Heidän käyttämänsä tärylaite on staattiseen auraan kiinnitetty lisälaitte. [HEM07]

Värinä auttaa myös kaapelin liikkumista auran putkessa pienentäen kitkaa ja samalla kaapeliin kohdistuvaa vetorasitusta. Purettaessa kaapelia kelalta suoraan auran putkeen on kaapeliin kohdistuva vetorasitus suurempi, kuin jos kaapeli on valmiiksi vedetty reitin viereen. Kelalta purettavan kaapelin vetorasitus johtuu oleellisesti kelan akselin laakeroinnista ja kelan massasta.



Kuva 2.3 Hemmingin aura-tärylaite-yhdistelmä. Kuvassa ympyröidyn auran päälle on asennettu erillinen hydraulinen täryläite. [HEM07]

2.2.2 Kaapelin aurasokemukset Suomessa

Keskijänniteverkkoa ei pieniä kokeiluja lukuun ottamatta ole rakennettu auraamalla, koska tekniikka on ollut Suomessa vielä uutta eikä siihen sopivia kaapeleita ole ollut. Pienjänniterakentamisessa austaustekniikka on kuitenkin jo vakiintunut käytäntö. Uusien kaapelityyppien ja austaustekniikan kehittymisen myötä myös keskijänniteverkon rakentaminen austaustekniikalla tulee mahdolliseksi. Maanrakennusyritys Veljekset Hemming Oy aloitti kaapelin aurauksen tietoverkkokaapeleilla vuonna 1972. Silloin kaapeli aurattiin traktorin perään asennetulla auralla. [HEM07]

2.2.3 Erot PJ- ja KJ-kaapelin aurauksessa

Hemmingin mukaan varsinaista eroa ei ole, kun aurataan PJ- tai KJ-kaapelia. Rajoittavana tekijänä on vain kaapelin paino. Näin ollen pienjännitekaapeli on yleensä helpompi aurata, koska se on myös kevyempää. Kaapelin taivutussäde ei niinkään ole aurauksessa esteenä. [HEM07]

PJ- ja KJ-kaapelin aurauksessa voidaan käyttää samaa auraa. Kuvassa 2.4 olevaa auran perässä tulevaa ohjausputkea voidaan vaihtaa aina aurattavan kaapelin mukaan. Eri kaapelityypeille ja kaapelimäärille on olemassa erilaisia aurasputkia.

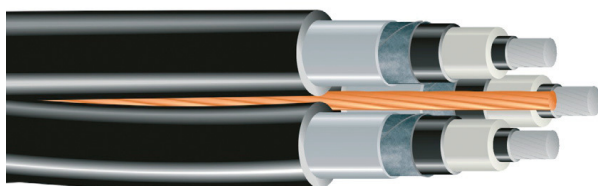


Kuva 2.4 Kuvassa oikealla olevan auran perään asennettavaa kaapeliputkea voidaan vaihtaa kaapelityypin ja kaapeleiden määrän mukaan. [HEM07]

Vertailukelpoisia hintoja auraustekniikalla rakennetusta KJ-verkosta ei ole, mutta poikkipinnaltaan yli 70 mm² PJ-kaapelia asennettaessa Sähköenergiailiiton yksikköhintojen mukaan haja-asutusalueella tehtävän kaapeliojan kaivu on aurausta noin 2.700 €/km kalliimpaa. Tämän lisäksi, kun kehitetään maaseutuverkkoon sopivampia ja tätä kautta myös edullisempia kaapelointimateriaaleja, päästään kustannuksissa tasolle, että myös harvaanasutut maaseutualueet voidaan sähköistää kaapelioimalla.

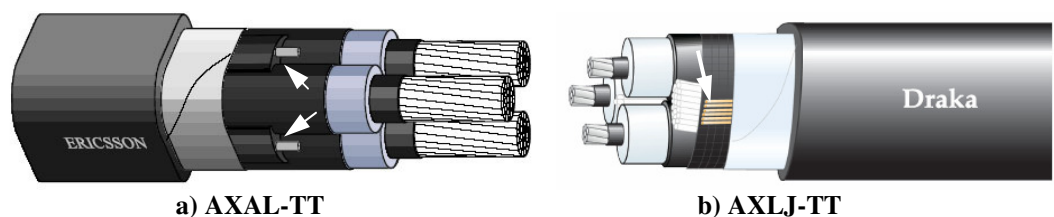
2.3 Haja-asutusalueelle sopivat keskijännitökaapelit

Auraamalla asennettavia keskijännitökaapeleita ei tähän asti ole juurikaan ollut. Yleisesti käytetyn AHXAMK-W-tyyppisen keskijännitökaapelin käyttö aurauksessa ei ole onnistunut, koska kaapelin pintamateriaali on liian pehmeä. Lisäksi joidenkin mielestä kaapelin kolmiosainen rakenne hankaloittaa työtä. Kuvassa 2.5 on esitetty AHXAMK-W-tyyppisen kaapelin rakenne.



Kuva 2.5 Perinteinen AHXAMK-W-keskijännitemaakaapeli. [DRAKa]

Kaapelivalmistajilta on tullut lähiaikoina uusia KJ-kaapeleita, jotka ovat pintamateriaaliltaan kestävämpiä, mutta kuitenkin kustannuksiltaan vain noin 70 % vastaavan poikkipinnan AHXAMK-W-tyyppin kaapelista. Näitä kaapelityyppejä on esimerkiksi Ericsson Network Technologies AB:n AXAL-TT PRO, Draka Cabel Sverige AB:n AXLJ-TT ja AXLJ-RMF-tyyppin kaapelit. AXLJ-RMF on näistä edullisin. Valmistajien mukaan kaapelit soveltuvat asennettavaksi maahan, veteen ja putkeen. VFV ei kuitenkaan käytä Draka Cabel:n valmistamaa AXLJ-RMF-kaapelia muissa kuin kuivissa olosuhteissa, koska siinä ei ole pintakuoren lisäksi mitään muuta varsinaista vesisuojausta.



Kuva 2.6 Auraukseen soveltuvia keskijännitekaapeleita. [ERIC], [DRAKb]

Kuvassa 2.6 johtimien eristeiden vieressä olevia nuolen osoittamia johteita voidaan käyttää maadoitusverkon yhdistämiseen muuntamoiden välillä. Kaapeleiden ominaisuudet ovat veden eristävyttä lukuun ottamatta hyvin samanlaisia.

Kaikissa edellä mainituissa kaapeleissa on PEX-eristeiset alumiinijohtimet ja johtimien päällä yhtenäinen PE-komposiittipäällyste. Vain TT-tyyppin kaapeleissa on PE-komposiitti päällysteen alla erillinen vedenpitävä alumiinifolio, joka on liimattu PE-komposiitti päällysteeseen.

Taulukko 2.2 Eräiden keskijännitekaapeleiden arvoja 95 mm^2 poikkipinnoilta.

Tyyppi / koko	Halkaisija [mm]	Paino [kg/km]	Minimi taivutus säde [mm]	Kapasitanssi [$\mu\text{F}/\text{km}$]	Kuormitettavuus maassa (65°C) [A]	Alle 1 s. maks. kuormitettavuus (90°C) [kA]
AHXAMK-W						
3x95+35	69	3050	400	0,21	235*	9,8
AXAL-TT PRO						
3x95+25	55	2500	636	0,19	205	9,0
AXLJ-TT						
3x95+16	60,1	2695	481	0,20	205	9,0
AXLJ-RMF						
3x95+16	61,4	2552	491	0,20	205	9,0

*) Perustuu ABB:n TTT-käsikirjan taulukkoon 19.1j.

Kaikkien kaapeleiden maksimi käyttölämpötilaksi on ilmoitettu 90°C. Kaapeleiden tarkemmat tekniset tiedot on esitetty liitteessä 1.

2.4 Haja-asutusalueen kevyet muuntamot

Perinteiset puistomuuntamot ovat huomattavasti kalliimpia kuin pylväsmuuntamot. Puistomuuntamon ominaisuuksina pylväsmuuntamoista poiketen on sisäänrakennettu keskijännitekojeisto ja helppo laajennettavuus etenkin pienjännitekojeiston puolella. Muuntamo on yleensä varustettu muuntajaerottimella keskijänniteverkkoon liitettäväksi, jotta huolto ja muuntajan vaihto onnistuisi runkojohdon ollessa jännitteinen. Nämä ominaisuudet ovat yleensä tarpeettomia harvaanasutulla alueella, jossa yhden muuntamon vaikutusalueella on yleensä vain muutama kuluttaja.

Pienjännitelähtöjä on yksipylväsmuuntamolla yhdestä neljään ja kaksipylväsmuuntamolla niitä voi olla kahdeksan, kun puistomuuntamoiden PJ-kojeisto on laajennettavissa liki 20 lähtöön saakka.

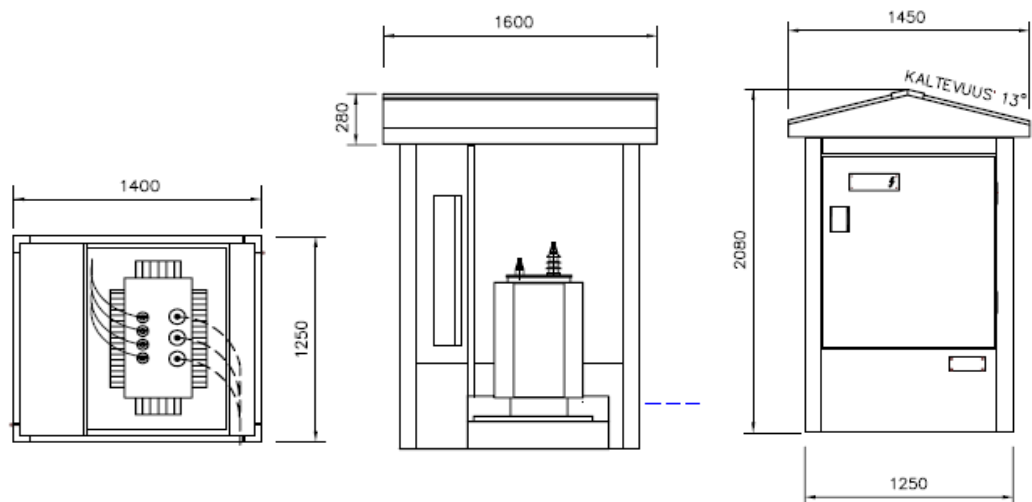
Edellä mainituista syistä voidaan perinteistä puistomuuntamoa pitää ominaisuuksiltaan ylimitoitettuna maaseutualueelle.

VFV on muuntamovalmistajien kanssa kehittänyt käyttötarkoitukseen sopivampia niin sanottuja maaseutumuntamoita, joissa ei ole lainkaan keskijännitekojeistoa. Näissä tuleva ja lähtevä keskijännitekaapeli kytketään suoraan muuntajan napoihin. Muuntamon vaurioituessa erotus tehdään kaapelit irrottamalla. Muuntamo vaihdetaan kokonaisuudessaan uuteen esimerkiksi muuntajan rikkouduttua ja se voidaan korjata myöhemmin muualla. Muuntamo voidaan varustaa 50...200 kVA:n jakelumuuntajalla. Pienjännitekojeistona näissä maaseutumuntamoissa on viisi 00-koon 160 A:n jonovarokeytkintä. PJ-kojeisto on laajennettavissa aina kahdeksaan jonovarokeytkimeen asti. 160 A:n jonovarokeytkimen kautta voidaan käytännössä syöttää yli 80 kW:n teho, kun 160 A:n sulaketta käytetään 80 % nimellisvirralla. Teho voidaan laskea yhtälön (2.1) mukaisesti

$$P_{MAX00} = \sqrt{3} \cdot I \cdot U \cdot \cos \varphi \cdot k, \quad (2.1)$$

missä P_{MAX00} = 00-koon varokealustan kautta syötetty maksimiteho
 I = sulakkeen nimellisvirta
 U = pääjännite
 $\cos \varphi$ = tehokerroin 0,95
 k = sulakkeen käyttöaste 0,8.

Kuvassa 2.7 on esitetty vuonna 2006 aloitetussa Kurun pilottikohteessa käytetty muuntamoratkaisu. Muuntamot ovat kaikki samanvärisiä ja ne toimitetaan tehtaalta muuntajineen. Muuntajat toimitetaan muuntamovalmistajalle etukäteen, jolloin niiden asentaminen rakenteilla olevaan muuntamoon onnistuu edullisemmin kuin maastossa jälkeinpäin. Muuntajatilaan on mahdollista asentaa myös ylijännitesuoja.



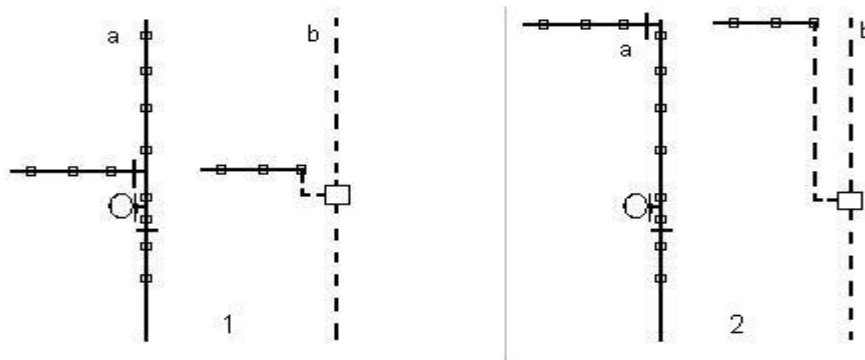
Kuva 2.7 Finnkumu Oy:n valmistama kevytrakenteinen maaseutumuuntamo. [VFV]

2.5 Haja-asutusalueen erotinkojeistot

Keskijännitteisen maaseutuverkon rakenne on keskeisin osin yleensä rengasmäinen, mutta sitä käytetään säteittäisenä. Rengasmäisestä verkon osasta lähtee myös haaroja, jotka päättyvät asumattomien alueiden reunoille. Haaroja ei ole rakennettu rengastettaviksi, koska rakentamisesta saavutettu hyöty jää harvaan asutuilla alueilla liian pieneksi. Jakorajoina maaseutuverkossa käytetään yleensä käsin ohjattavia pylväserottimia. Erottimet sijoitetaan yleensä rengastettavasta verkosta lähtevän haaran alkupäähän ja rengasmäiseen verkkoon siten, että kytkentätilannetta muuttamalla mahdollinen vikapaikka voidaan rajata mahdollisimman pienelle alueelle.

Harvaan asutulla maaseutualueella keskijänniteverkossa oleva haara sattuu harvoin muuntamon kohdalle. Tietyn avojohtoverkon osan korvaaminen maakaapelilla ja keskijännitekojeistollisella puistomuuntamolla on tästä syystä hankalaa. Haaran sähköistäminen vaatisi tässä tapauksessa kaapeleiden rinnakkain rakentamisen lähimmältä puistomuuntamolta haarakohdan pylväälle, mikäli reittiä tai muuntamon paikkaa ei voida muuttaa siten, että rinnakkaista kaapelointia ei synny. Tilannetta

havainnollistaa kuva 2.8. Kuvassa on esitetty tilanne 1, jossa perinteisen puistomuuntamon käyttö on järkevää, koska maakaapeloitavasta ilmajohtoverkosta lähtevä haara on muuntamon kohdalta. Tilanne 2 kuvaa taas epäedullisempaa tilannetta, jolloin kaapeloitavasta ilmajohtoverkon osasta lähtevä haara on etäällä muuntamosta. Näin ollen joudutaan rinnakkaiseen kaapelointiin, jotta haara saadaan sähköistettyä puistomuuntamon erottimen kautta. Verkon malli a) kuvaa nykyistä tilannetta ja malli b) kuvaa kaapeloitua tilannetta.



Kuva 2.8 Puistomuuntamon edullinen 1) ja epäedullinen 2) käyttökohde, kun vain osa avojohtoverkkoa kaapeloidaan.

Tilanteeseen sopivana ratkaisuna voidaan pitää jo tunnettua KJ-jakokaappiin asennettuja erottimia, mutta ne ovat haja-asutusalueen sähköverkkoon yleensä ylimitoitettuja. VFV on myös tehnyt linjauksen, jossa pyritään välttämään ympäristölle vaarallisia SF6-suojakaasutäytteisiä kojeistoja.

VFV on yhdessä kojeistovalmistajien kanssa kehittänyt nykyistä keskijännitejako-kaappia maaseudulle sopivampaan muotoon. Noin 80 % haja-asutusalueella tarvittavista erotinasemista on yhden erottimen asemia, joihin on saatava myös kaukokäyttömahdollisuus. Tämäntyyppiselle ilmajohtoverkon erotinaseman hinnalla rakennettavalle kaapeliverkon erotinasemalle on tulevaisuudessa tarve, kun haja-asutusalueen ilmajohtoverkkoa saneerataan kaapeliverkoksi. Useamman erottimen asemana on käytetty puistomuuntamosta muunneltua rakennetta, jossa muuntajatila ja PJ-kojeistotila on jätetty pois.

2.6 Aiemmat kokemukset

Vuonna 2006 Pirkanmaan maakunnan Kurussa Itä-Aureen pilottikohteena rakennetussa maaseutuverkossa muutettiin keskijänniteilmajohtoa maakaapeliksi yhteensä 9,7 kilometrin matkalta.

Kohteeseen tuli myös yksi kolmikäämimuuntajalla varustettu muuntamo, jonka jänniteportaat olivat 20/1/0,4 kV. Tällä korvattiin vanha 20 kV:n haara 1750 metrin matkalta. 1 kV:n haara rakennettiin pääosin AMKA-riippukierrehdollalla. Syynä verkon saneeraukseen oli sen vanhuus ja vika-alttius.

Taulukossa 2.3 on esitetty Kurun pilottikohteen kustannuksia perinteiseen kaapeliverkon rakentamiseen ja PAS-johtorakentamiseen verrattuna. Lisäsarake sisältää ennakoimattomat, kallion louhimisesta aiheutuneet lisäkustannukset.

Taulukko 2.3 Kurun pilottikohteen kustannusvertailu auraustekniikan, perinteisen ja PAS-rakenteen välillä. [VFV]

	<u>AXAL-TT</u>	<u>AHXAMK-W</u>	<u>PAS 35-70</u>
Työ	29 %	34 %	28 %
Materiaali + maankäyttökörv.	32 %	48 %	28 %
Lisä	18 %	18 %	0 %
Yhteensä	80 %	100 %	56 %

Kustannuksien muodostumisesta huomataan, että ilman kallion louhintaa, auramalla tehty verkostotyö olisi tullut seitsemän prosenttiyksikön päähän ilmajohtoratkaisua. Vastaisuudessa kiinnitetäänkin entistä enemmän huomiota maaperän tutkimiseen uusien kaapelointikohteiden maastosuunnittelussa.

3 KESKIJÄNNITEMAAKAPELIVERKON MITOITTAMINEN

3.1 Taloudellinen mitoittaminen

Maakaapelia mitoitettaessa on muistettava, että ilmajohtoon verrattuna kaapelin vaihtokustannukset ovat suuret. Lähtökohtaisesti rakennettava kaapeli tulisi olla vahvuudeltaan sellainen, että se kestää arvioitun tehonnousun koko sen elinkaaren ajan, ettei vielä käyttökuntoista kaapelia tarvitsisi vahvistaa toisella kaapelilla.

Lakervin mukaan merkityksellisimmät rakennettavan johdon aiheuttamat kustannukset ovat rakentamiskustannukset ja näiden kanssa laskennallisesti vertailukelpoisiksi tehdyt häviökustannukset [LAK96]. Elinkaarikustannuksien täydelliseen laskentaan on otettava myös ylläpidosta ja keskeytyksistä aiheutuvat kustannukset. Verkkoyhtiölle koituihin kustannuksiin voidaan laskea TJSA-kustannukset (toimitamatta jääneen sähkön arvo) ja pitkistä keskeytyksistä asiakkaille maksetuista korvauksista aiheutuneet vakiokorvauskustannukset. Seuraavassa on esitetty edellä mainittujen elinkaarikustannusten aiheuttajat alakohtineen.

- Rakentaminen
- Maankäyttö
- Kunnossapito, johon sisältyy
 - tarkastus
 - huolto
 - korjaus.
- Häviöt, johon sisältyy
 - johtohäviöt
 - muuntajahäviöt.
- Verkkoyhtiö (yhteensä), johon sisältyy
 - TJSA
 - vakiokorvausmaksut.

Edellä mainitut kustannukset aiheutuvat eri aikoihin, joten niistä on tehtävä laskennallisesti vertailukelpoisia, jotta investoinnille saadaan koko käyttöajan kattavat elinkaarikustannukset. Kustannukset voidaan yhdistää annuiteettimenetelmää käyttäen muuntamalla rakentamis- ja maankäyttökustannukset muiden kustannusten tapaan vuosikustannuksiksi tai nykyarvomenetelmää käyttäen diskonttaamalla tarkasteluajan vuotuiset kustannukset rakentamisajankohdan arvoon. Nykyarvomenetelmää kuvaa yhtälö

$$K = K_i + k_h \cdot K_{0h} + k_m \cdot K_{0m}, \quad (3.1)$$

missä K = elinkaarikustannukset
 K_i = investointikustannukset
 K_{0h} = ensimmäisen vuoden kuormitushäviökustannukset
 k_h = häviökustannusten diskonttauskerroin
 K_{0m} = ensimmäisen vuoden muut vuotuiset kustannukset
 k_m = muiden vuotuisten kustannusten diskonttauskerroin.

Yhtälössä (3.1) investointikustannukset K_i sisältävät rakentamiskustannukset ja maankäytöstä maksettavista korvauksista tulevat kustannukset. Ensimmäisen vuo-

den kuormitushäviökustannuksiin K_{0h} lasketaan johdon ja muuntajan kuormitushäviökustannukset. Ensimmäisen vuoden muihin vuotuisiin kustannuksiin K_{0m} lasketaan kunnossapitokustannukset, verkkoyhtiön kustannukset ja kuormituksesta riippumattomat tyhjäkäyntitehohäviökustannukset.

Diskonttauskerroimet voidaan määrittää talousmatematiikan keinoin. Kuormitushäviökustannusten diskonttauskerroin k_h voidaan määrittää yhtälöllä (3.2). Yhtälössä huomioidaan tehonnousun katkeaminen tietyssä hetkenä. Siirtoteho kasvaa aluksi r % vuodessa vuoteen t' ja on sen jälkeen vakio tarkastelujakson T loppuun saakka.

$$k_h = \varepsilon \cdot \frac{\varepsilon^{t'} - 1}{\varepsilon - 1} + \frac{\beta^{2t'}}{\alpha^{t'+1}} \cdot \frac{\varepsilon_2^{T-t'} - 1}{\varepsilon_2 - 1}, \quad (3.2)$$

missä T = koko tarkastelujakso vuosina
 t' = tarkastelujakso jolloin tehon nousua tapahtuu
 r = tehon nousuprosentti
 p = rahan korkokanta

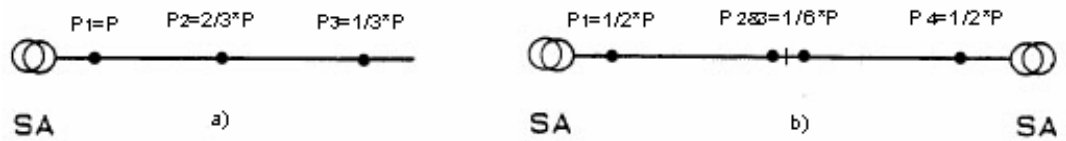
$$\varepsilon = \frac{\beta^2}{\alpha} = \frac{(1 + r/100)^2}{1 + p/100}$$

$$\varepsilon_2 = \frac{1}{\alpha} = \frac{1}{1 + p/100} \quad [LAK96].$$

Kasvun päättyminen voi johtua useasta syystä. Yleensä syynä on rinnalle rakennettava johto tai syötettävän alueen luonteen muuttuminen. Myös alueelle rakennettava sähköasema vaikuttaa oleellisesti johdon kuormitukseen.

Seuraavassa on esimerkki edellä mainitusta tilanteesta.

Oletetaan, että erään sähköaseman keskijännitelähtöä kuormitetaan tasaisesti alueittain siten, että alkuosan kuormitusta kuvaa teho P_1 , keskiosan kuormitusta P_2 ja loppuosan kuormitusta P_3 . Ennen uutta sähköasemaa johdon kuormitus on kuvan 3.1 tilanteen a) mukainen. Johdon loppupäähän rakennetaan uusi sähköasema, jolloin verkon kuormitus on tilanteen b) mukainen. Kuvan 3.1 teho P kuvaa koko verkon yhteenlaskettua kuormitusta.



Kuva 3.1 Johdon kuormituksen muutos uuden sähköaseman vaikutuksesta.

Ensimmäisen vuoden johdolla aiheutuva kuormitushäviökustannus K_{0h} lasketaan yhtälöllä

$$K_{0h} = (h_p + h_E \cdot t_h) \cdot \left(\frac{P_0}{U \cdot \cos \varphi} \right)^2 \cdot r_j \cdot l, \quad (3.3)$$

missä h_p = tehohäviön yksikköhinta [€/kW]
 h_E = energiahäviön yksikköhinta [€/kWh]
 t_h = häviöiden huipunkäyttöaika [h]
 P_0 = johdossa siirretty teho ensimmäisen vuoden alussa [kW]
 U = pääjännite [V]
 $\cos \varphi$ = tehokerroin
 r_j = johtimen resistanssi pituusyksikköä kohti [Ω /km]
 l = johdon pituus [km]

Yhtälön (3.1) muiden vuotuisten kustannusten laskennassa kannattaa nykyisin arvostaa kunnossapito- ja tyhjäkäyntihäviökustannusten lisäksi myös keskeytyksistä aiheutuneet verkkoyhtiölle koituvat kustannukset. Muiden vuotuisten kustannusten diskonttauskerroin voidaan johtaa yhtälöstä (3.2). Tehoriippumattomien kustannusten diskonttauskerroin k_m on siten

$$k_m = \varepsilon \frac{\varepsilon^T - 1}{\varepsilon - 1} \quad (3.4)$$

$$\varepsilon = \frac{1}{\alpha} = \frac{1}{1 + p/100}.$$

3.1.1 Johdon taloudellinen kuormitusalue

Lakervin mukaan ”Uutta johtoa suunniteltaessa tehtävänasettelu on sopivimman poikkipinnan valinta käytettävissä olevien johdin poikkipintojen joukosta” [LAK96].

Mitoitusohjeeksi voidaan tehdä kahden eri poikkipinnan kaapelin siirtotehoa esittävä rajakäyrästä, jossa käyrä asettuu siirrettävän rajatehon kohdalle, jolloin vertail-

tavien kaapelipoikkipintojen elinkaarikustannukset ovat samat. Käyrästä etsitään siis kaavan (3.5) mukaista tilannetta

$$K_{i1} + K_{h1} > K_{i2} + K_{h2}, \quad (3.5)$$

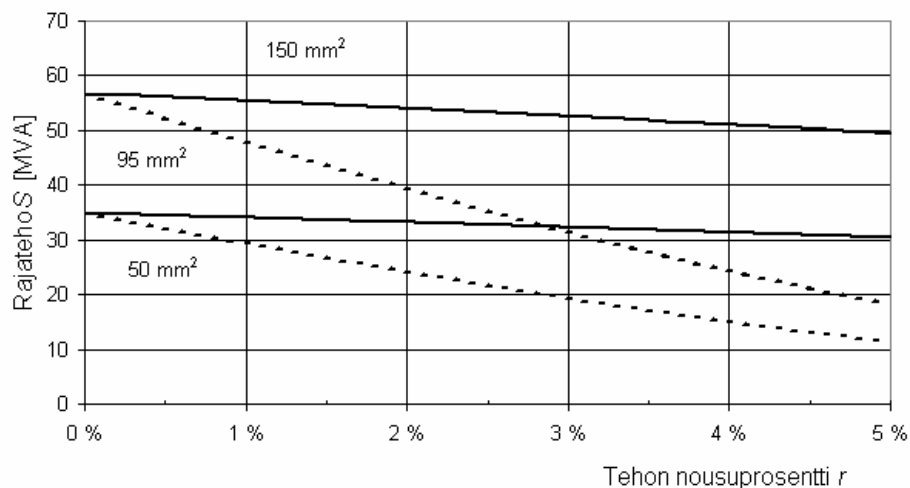
missä K_{i1} = ensimmäisen johdon investointikustannukset
 K_{i2} = toisen johdon investointikustannukset.

Käyrästä on piirretty odotetun suhteellisen tehonnousun funktiona. Käyrästä yksittäiselle tiettyjen kaapeleiden siirrettävälle rajateholle S voidaan esittää yhtälöistä (3.1)...(3.3) johtamalla yhtälö

$$S > \sqrt{\frac{(K_{i1} - K_{i2}) \cdot U^2 \cdot (\cos \varphi)^2}{k_h \cdot (h_p + t_h h_e) \cdot (R_{j1} - R_{j2})}}, \quad (3.6)$$

missä U = pääjännite
 $\cos \varphi$ = tehokerroin
 R_{j1} = johdon 1 resistanssi
 R_{j2} = johdon 2 resistanssi.

Kaapelin taloudelliset käyttöalueet



Kuva 3.2 AXAL-TT-kaapelin eri poikkipintojen taloudelliset rajakäyrät.

Rajakäyrästä piirtämisessä käytetyt lähtötiedot on esitetty taulukossa 3.1. Kuvan 3.2 yhtenäisellä viivalla piirretty rajakäyrä osoittaa tilannetta, jossa tehonnousun odotetaan loppuvan 10 vuoden kuluttua, kun tarkastelujakso on 45 vuotta. Katkoviivalla piirretty rajakäyrä osoittaa tilannetta, jossa tehonnousu on jatkuvaa koko tarkastelujakson ajan.

Taulukko 3.1 Rajakäyrästä laskennassa käytetyt lähtötiedot. [VFV]

h_p [€/kW]	h_e [€/kWh]	t_h [h]	t [a]	T [a]	U [V]	$\cos\phi$	p [%]
94	0,04	2350	10	45	20600	0,95	5

3.1.2 Luotettavuuskustannukset

Nykyisin myös toimitusvarmuuteen liittyvät luotettavuuskustannukset ovat nousseet arvostetuiksi eri suunnitelmavaihtoehtoja vertailtaessa. Näitä KAH-arvoja (keskeytyksestä aiheutuva haitta) ei kuitenkaan voida laskea käyttökustannuksiksi. Tampereen teknillisen yliopiston Luotettavuuspohjainen verkostanalyysi -projektin loppuraportin mukaan näitä rahassa mitattavia kustannuksia käsitellään asiakkaan kokemana rahan menetyksenä, ja ne ovat näin ollen fiktiivisiä arvoja [LUO05]. Jälleenkytkennöistä ja jännitekuopista aiheutuvat kustannukset voivat kuluttajaryhmäkohtaisesti nousta hyvinkin suuriksi. Jännitekuopista voi aiheutua jopa suoranaisia laitevaurioita, etenkin prosessiteollisuudessa. Luotettavuuskustannukset koostuvat

- vikakeskeytysten kustannuksista
- työkeskeytyskustannuksista
- jälleenkytkentäkustannuksista
- jännitekuoppakustannuksista.

Luotettavuuskustannuksien muodostumista ja eri häiriötyyppejä on käsitelty tarkemmin kappaleessa 4.3 *Luotettavuuspohjainen verkostanalyysi*.

3.2 Sähköinen mitoittaminen

3.2.1 Mitoitustehon määräytyminen [SA 5:94]

Johdon mitoitus perustuu sitä kautta siirrettävään huipputehoon ja sen kehitykseen. Yleensä käytettävissä on mitattu kulutustieto tai alueen ennustettu energian tarve. Energiatiedot voidaan muuttaa tehoennusteiksi Velanderin yhtälöä (3.7) käyttäen ja summaamalla saadut kuluttajaryhmätehot yhtälön (3.8) mukaisesti. Laskenta voidaan tehdä myös kuormituskäyriin perustuvalla laskentamenetelmällä.

$$P_i = k_{1i} \cdot W_i + k_{2i} \cdot \sqrt{W_i} \quad (3.7)$$

$$P = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot P_i \quad (3.8)$$

missä

- i = kuluttajaryhmäindeksi
- P = huipputeho [MW]
- P_i = ryhmän i huipputeho [MW]
- W = vuosienergia [GWh]
- k_1 = kerroin
- k_2 = kerroin
- α = osallistumiskerroin.

Osallistumiskertoimen α määrittämiseksi tulisi mitata eri kuluttajaryhmien kulkuskäyrät. Liitteessä 2 on esitetty SLY:n kuormitustutkimuksesta saatuja osallistumiskertoimia talven huippukuormituskaudelle sekä Velanderin kertoimet k_1 ja k_2 .

3.2.2 Kuormitettavuus

Kaapelin sallittu kuormitettavuus perustuu suurimpaan sallittuun käyttölämpötilaan, jonka kaapelin valmistaja on määrittänyt. Kaapelin lämpenemisen aiheuttavat kuormitusvirran ja kuormituksen vaihtelun lisäksi myös asennusolosuhteet. Kaapelin sallittu kuormitusvirta on määritettävä aina jäähdytysolosuhteiden kannalta huonoimman mahdollisen osuuden mukaan.

Keskijännitemaakaapelia mitoitettaessa on otettava huomioon kaapelia ympäröivän maa-aineksen laji. Maalajin vaikutuksesta kaapelin lämpötila voi nousta jo pienelläkin kuormituksella korkeaksi. Suurjännitesähköasennuksia käsittelevän standardin SFS 6001 mukaan sähköisenä perusvaatimuksena on muun muassa se, että ”Järjestelmä on suunniteltava ja rakennettava siten, että virrat normaaleissa käyttöolosuhteissa eivät ylitä laitteiden mitoitusvirtoja tai komponenttien sallittuja virtoja, jos mitoitusvirtoja ei ole määritetty” [SFS01].

Maanvastaisten alapohjarakenteiden kosteusteknistä toimivuutta tutkineiden Virpi Leivon ja Jukka Rantalan mukaan maalajin lämmönjohtavuus perustuu maa-aineksen sisältämään ilmamäärään [MAA02]. Ilma on veteen ja etenkin mineraalipitoisiin aineisiin verrattuna lämmöneriste, joten korkea maa-aineksen ilmamäärä tilavuuteen nähden pienentää merkittävästi maan lämmönjohtavuutta. Maan läm-

mönjohtavuuteen vaikuttavat myös kiinteän ainesosan rakeiden koko, muoto ja jakautuminen maamassassa.

Maalajin vaihtelu aiheuttaa siis myös maakaapelin lämpötilaan vaihtelua. Ilmajohdoverkkoa suunniteltaessa tätä ongelmaa ei ole, koska johdon pintalämpö kulkeutuu ympäröivän ilman mukana pois johtimesta. Ilman lämpötilalla on tietenkin merkitystä johdon kuormituksen kannalta, mutta verraten maakaapelia ympäröivän maan aineksen lämpötilaan, ilman lämpötilan merkitys on vähäinen.

Maahan asennettavien kaapeleiden suurimmat sallitut kuormitusvirrat on esitetty liitteessä 1.

3.2.3 Jännitteenalenema ja tehohäviöt

Siirto- ja jakeluverkon jännitteenaleneman suuruuteen vaikuttavat sen hetkinen kuormitus ja johdon pituus. Jännitteensäätömahdollisuuksia jakeluverkossa on yleensä sähköasemien päämuuntajilla.

Sähkön laatua käsittelevässä standardissa SFS-EN 50160 määritellään sallittu jakelujännitteen laatu. Standardissa määritellään, että ”Normaaleissa käyttöolosuhteissa, poislukien keskeytykset, jokaisen viikon aikana 95 % jakelujännitteen tehollisarvojen 10 minuutin keskiarvosta tulee olla välillä $U_C \pm 10\%$.” [SFS00]

Standardijännitteitä käsittelevän SFS 2664 standardin mukaan sähkön toimittajan ja sähkön käyttäjän verkkojen liittämiskohdassa, kun $U_C = 230/400\text{ V}$, sallitaan jännitteen vaihtelualueeksi $+6/-10\%$. [SFS88]

Suunnittelussa valitaan yleensä standardia tiukemmat rajat, jotta tulevaisuuden kuormitusmuutoksien vuoksi johdon jännitteenalenema ei heti ylittyisi. VFV käyttää normaalikäyttötilanteessa 3...5 % jännitteenaleneman rajaa ja korvauskytkentätilanteessa sallitaan enintään 8...10 % jännitteenalenema liittämiskohdassa.

Suhteellinen jännitteenalenema u_h voidaan määrittää yhtälöllä

$$u_h = 100 \cdot P \cdot l \cdot \frac{r + x \cdot \tan \varphi}{U^2}, \quad (3.9)$$

missä P = siirretty teho [W]
 l = johdon pituus [km]
 r = johtimen resistanssi [Ω /km]
 x = johtimen reaktanssi [Ω /km]
 U = pääjännite [V]
 φ = vaihekulma. [SA 5:94]

Jakeluverkon johdossa syntyvä pätötehohäviö P_h lasketaan yhtälöllä

$$P_h = \left(\frac{P}{U \cdot (\cos \varphi)} \right)^2 \cdot r_j \cdot l, \quad (3.10)$$

missä P = johdossa siirretty pätöteho [W]
 U = pääjännite [V]
 φ = vaihekulma
 r_j = johdon resistanssi pituusyksikköä kohti [Ω /km]
 l = johdon pituus [km]. [SA 5:94]

Loistehohäviöt pyritään yleensä kompensoimaan verkkoon asennettavien kompensointiyksiköiden avulla. Johdolla syntyvää loistehohäviötä ei yleensä oteta huomioon, koska riittävään tarkkuuteen päästään laskemalla vain pätötehohäviöt. Loistehohäviöt Q_h lasketaan yhtälön (3.10) mukaisesti korvaamalla johdon resistanssi sen reaktanssilla x_j .

3.2.4 Oikosulkusuojaus

Verkostosuosituksen SA 5:94 mukaan suurinta sallittua oikosulkuvirtaa rajoittavat johtimen eristyksen lämmönkestävyys, johtimelle sallittava lämpeneminen, liitosten lämmönkestävyys ja sähködynaamiset voimat [SA 5:94].

Suurjännitesähköasennuksia käsittelevän standardin SFS 6001 [SFS01] mukaan ”Asennukset on suunniteltava, rakennettava ja koottava kestävästi turvallisesti oikosulkuvirtojen mekaaniset ja termiset rasitukset.”

Etenkin lähdön alkupään oikosulkutarkastelu on tarpeen, koska lähellä 110/20 kV:n päämuuntajaa oikosulkuvirrat voivat olla hyvinkin suuria. Lähellä muuntajaa run-

kojohdosta lähtevien ohuempien haarajohtojen oikosulkuvirrat saattavat näin ollen ylittää johdon sallitun oikosulkuvirran. Toisaalta pitkien matkojen päässä oikosulkuvirrat voivat olla liian alhaisia, mutta tämä tarkastelu tulee yleensä vastaan PJ-portaassa, kun tarkastellaan kosketusjännitesuojausta. Kosketusjännitesuojaus toteutetaan PJ-asennuksissa yleensä syötön automaattisen poiskytkennän avulla, jonka laukaisuajat on määritetty Standardissa SFS 6000-4-41. Ohjeellisena oikosulkuvirran minimiarvona voidaan standardin mukaan pitää 250 A, joka riittää yleisimmissä käyttötilanteissa suojaustason ylläpitämiseen. C-tyyppin johdonsuojakatkaisijan magneettiseen laukaisuun (nopea laukaisu) vaadittu laukaisuvirta $I_K > 5 \cdot I_n$, missä I_n on sulakkeen nimellisvirta. VFV käyttää uusien liittymien suunnittelussa 250 A:n yksivaiheisen oikosulkuvirran rajaa.

Kolmivaiheinen oikosulkuvirta I_k määritetään yhtälöllä

$$I_k = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(R_k + R_M + l \cdot r_j)^2 + (X_k + X_M + l \cdot x_j)^2}}, \quad (3.11)$$

missä I_k = kolmivaiheinen oikosulkuvirta [kA]
 U = pääjännite [kV]
 R_k = syöttävän verkon oikosulkuresistanssi 20 kV:n portaassa [Ω]
 X_k = syöttävän verkon oikosulkureaktanssi 20 kV:n portaassa [Ω]
 R_M = syöttömuuntajan resistanssi [Ω]
 X_M = syöttömuuntajan reaktanssi [Ω]
 l = johdon pituus syöttömuuntajalta oikosulkupaikalle [km]
 r_j = johdon resistanssi [Ω /km]
 x_j = johdon reaktanssi [Ω /km]. [SA 5:94]

Yhtälön (3.11) mukainen oikosulkuvirta kuvaa tilannetta, jossa oikosulkupaikka on kaukana generaattoreista eli generaattorin alkuoikosulkuvirta ja jatkuvan tilan oikosulkuvirta voidaan olettaa samoiksi. Kaksivaiheisen oikosulun arvo saadaan kertomalla kolmivaiheinen oikosulkuvirta suhdeluvulla $\sqrt{3}/2$.

Suurinta sallittua oikosulkuvirtaa määriteltäessä voidaan huomioida myös jälleenykyntöjen ja virtareleiden hidastusaikojen aiheuttama ajallinen vaikutus oikosulkuvirtakestoisuuteen.

Oikosulun ekvivalenttista kestoaikaa t kuvaa yhtälö

$$t = t_1 \cdot e^{\frac{-t_0}{\tau}} + t_2, \quad (3.12)$$

missä $t_1 =$ PJK:ta edeltävän ja jälkeisen oikosulun kestoajojen summa [s]
 $t_0 =$ AJK:ta edeltävä jännitteetön aika [min]
 $\tau =$ johdon jäähtymisaikavakio
 $t_2 =$ AJK:n jälkeisen oikosulun kesto aika [s]. [SA 5:94]

Nyt ekvivalenttisen ajan t kestävä suurin sallittu oikosulkuvirta saadaan yhtälöllä

$$I_{sall} = \frac{I_{k1}}{\sqrt{t}}, \quad (3.13)$$

missä $I_{sall} =$ suurin johdolle sallittu ajan t kestävä oikosulkuvirta
 $I_{k1} =$ suurin johdolle sallittu 1 sekunnin kestävä oikosulkuvirta
 $t =$ oikosulun ekvivalenttinen vaikutusaika [s]. [SA 5:94]

3.2.5 Maasulku- ja kosketusjännitesuojaus

Päävirtapiiristä vikapaikan kautta maadoitettuun osaan kulkeva maasulkuvirta voi aiheuttaa omaisuudelle tai terveydelle vaarallisen tilanteen. Maasulkuvirta on pysyttävä katkaisemaan määrättyssä ajassa. Maasulkuvirrat ovat kuitenkin pieniä verrattuna kuormitusvirtaan, joten maasulkutilanteessa on tarkkailtava tähtipistejännitteen nousua ja virtaepäsymmetriaa.

Etenkin avojohtoverkossa maasulku tapahtuu usein vastuksellisen osan välityksellä, esimerkiksi puun oksan tai eläimen kautta. Maasulkutilanne aiheuttaa virta- ja jännite-epäsymmetrian, joka voidaan havaita. Maasulkusuojauksessa voidaan käyttää useampiportaista suojausta, jossa ensimmäinen porrassuojaus laukaisee kosketusjännitteen kannalta vaaralliset maasulut. Toinen porrassuojaus voidaan asettaa pidemmälle laukaisuajalle tai vain hälyttämään suuriresistanssisista vioista, joiden vikaresistanssi voi olla esimerkiksi 5...10 k Ω .

Maasta erotetun verkon, jossa on useampia galvaanisesti yhteen kytkettyjä lähtöjä, maasulkuvirta I_e lasketaan yhtälöllä

$$I_e = \frac{\sqrt{3} \cdot \omega \cdot C \cdot U}{\sqrt{1 + (3 \cdot \omega \cdot C \cdot R_f)^2}}. \quad [LAK96] \quad (3.14)$$

Muuntajan tähtipiste- eli nollijännite U_0 voidaan laskea yhtälöllä

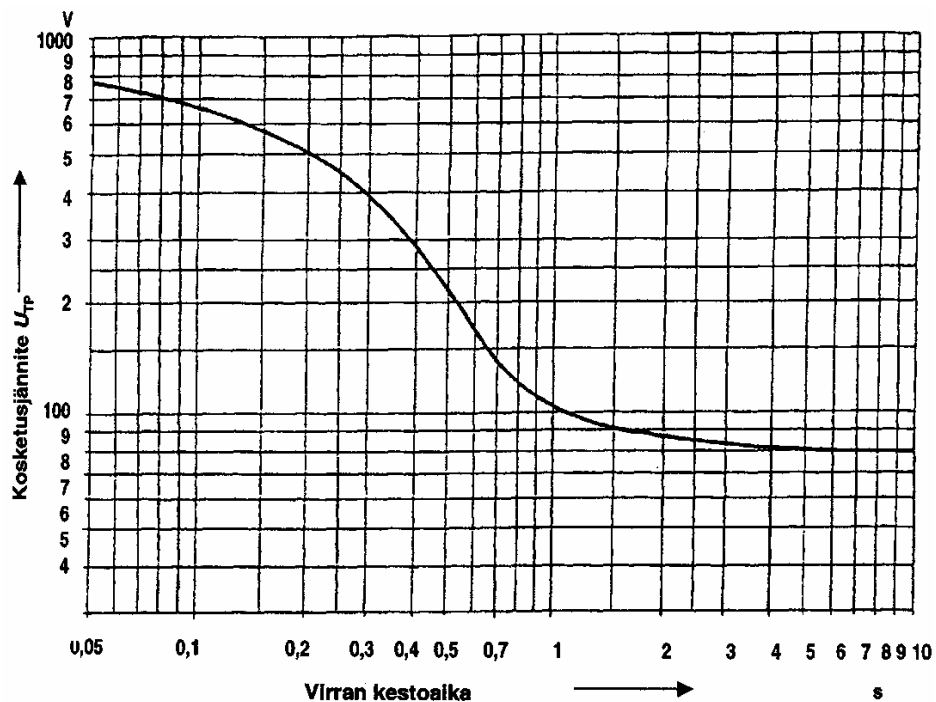
$$U_0 = \frac{U_v}{\sqrt{1+(3 \cdot \omega \cdot C \cdot R_f)^2}} \cdot [LAK96] \quad (3.15)$$

Viallisen lähdön valvontareleen tuntema maasulkuvirta I_r lasketaan yhtälöllä

$$I_r = \frac{C - C_j}{C} \cdot I_e, \quad (3.16)$$

missä C = galvaanisesti yhteen kytketyn verkon maakapasitanssi
 C_j = vioittuneen lähdön maakapasitanssi. [LAK96]

Maasulkuvirta I_e synnyttää maadoitusimpedanssien R_m kautta maadoitusjännitteen U_m , joka on maasulkuvirran tavoin vaarallinen, mikäli se pääsee syntymään liian suureksi. Maadoitusjännitteelle altistuva henkilö ei kuitenkaan koe koko maadoitusjännitettä vaan osan siitä. Tätä jännitettä kutsutaan kosketusjännitteeksi U_{TP} . Standardin SFS 6001 määrittämää suurinta kosketusjännitteen U_{TP} arvoa maasulkuvirran I_e kestoajan funktiona esittää kuva 3.3. Standardi määrittelee myös suurimman sallitun maadoitusjännitteen U_m arvon, joka on normaalitilanteessa $2 \cdot U_{TP}$.



Kuva 3.3 Sallittu kosketusjännite U_{TP} maasulkuvirran I_e kestoajan funktiona. [SFS01]

Suurimpana kosketusjännitteen U_{TP} arvona voidaan käyttää 75 V silloin, kun maasulun kesto aika on huomattavasti pidempi kuin kuvassa 3.3 on esitetty.

Maadoitusjännite U_m lasketaan yhtälöllä

$$U_m = I_e \cdot R_m, \quad (3.17)$$

missä I_e = maasulkuvirta
 R_m = maadoitusvastus. [SA 5:94]

Maasulkuvirtaa ja tätä kautta myös maadoitusjännitettä voidaan rajoittaa sähköasemalle asennettavan sammutuskuristimen avulla. Kaapeloidut KJ-lähdöt rakennetaankin yleensä sammutetuiksi verkoiksi. Tämä on kannattavaa etenkin, kun kaapelointi suoritetaan taajama-alueen ulkopuolella, jossa maadoitusverkot eivät ole yhtä laajoja kuin taajama-alueilla. Sammutetun verkon maasulkuvirran pienenemisen takia voidaan laukaisuaikaa pidentää, jolloin useampi ohimenevä vika ennättää korjaantua ennen laukaisua.

4 SÄHKÖVERKON SUUNNITTELU VERKKOTIETOKANNASSA

4.1 Käytettävä suunnitteluohjelmisto

Tutkintotyöhön liittyvä verkostosuunnittelu tehdään tietokoneavusteisesti Tekla Xpower -verkkotietojärjestelmällä. Xpower kuuluu Tekla Oy:n X-tuoteperheeseen, johon kuuluu muun muassa tiesuunnittelun Xroad, yhdyskuntasuunnittelun Xcity ja teräsrakenteiden suunnittelun Xsteel-ohjelmistot. Xpower-ohjelmiston kehitys alkoi vuonna 1987 kolmen energiayhtiön; Espoon Sähkön, Hämeen Sähkön ja Vantaan Sähkölaitoksen; kanssa. Tarkoituksena oli luoda graafinen verkkotietojärjestelmä.

Nykyisin Xpower-verkkotietojärjestelmään liitettyjä työkaluja voidaan käyttää verkon sähköisen tilan ja luotettavuuden laskentaan, reaaliaikaiseen kytkentätilanteiden hallintaan, teknis-taloudelliseen investointisuunnitteluun, verkon suunnitteluun ja toteutukseen sekä verkon kunnossapidon hallintaan.

Uusimmat työkalut ovat verkon luotettavuus- ja kustannuslaskenta joilla voidaan laskea verkon vikaherkkyys sekä vioista ja käytöstä aiheutuvat kustannuksen, joko vuositasolla tai koko verkon elinkaaren aikana.

4.2 Verkon sähköisen tilan laskenta

Xpower-verkkotietojärjestelmällä voidaan suorittaa nykyisen ja suunnitellun verkon sähköisten arvojen laskenta KJ- ja PJ-portaissa. KJ-portaassa voidaan suorittaa tehonjako-, oikosulku- ja maasulkulaskenta. PJ-portaassa voidaan suorittaa tehonjako- ja oikosulkulaskenta.

Tehonjakolaskennassa voidaan tarkastella kuormituksen tasaisuutta muuntajittain tai lähdöittäin. PJ-oikosulkulaskennalla voidaan määrittää asiakkaan liittymiskaa- pelissa tapahtuvan oikosulun oikosulkuvirran arvo. KJ-oikosulkulaskennalla voidaan määrittää johto-osien tarkkuudella kolmivaiheisen ja kaksivaiheisen oikosulun arvot. Maasulkulaskennalla voidaan määrittää keskijänniteverkossa tapahtuvan maasulun aiheuttamat maasulkuvirrat vikaantuneessa lähdössä tai kun vika on muualla. Myös muut maasulkutapahtumaan liittyvät suureet voidaan laskea tällä toiminnolla.

Laskentaominaisuuksiin liittyvät käyttäjän muutettavissa olevat parametrit on esitetty liitteessä 3.

4.3 Luotettavuuspohjainen verkostanalyysi

Vuonna 2006 VFV:ssä käyttöön otettu Xpower-verkkotietojärjestelmän RNA (Reliability based Network Analysis) -laskentatoiminto on tarkoitettu keski- ja pienjänniteverkon luotettavuuden laskentaan. Laskentatyökalun taustalla on Tampereen teknillisen yliopiston, sähköverkkoyhtiöiden, tietojärjestelmätoimittajien ja tutkijain yhteistyönä valmistuneessa LuoVa-projektissa määritetyt parametrit, joita on tarkennettu VFV:n tilastojen perusteella. Parametreilla määritetään mallinnettujen komponenttien vika-, jälleenkytkentä- ja jännitekuoppamäärät komponentteittäin sekä luodaan verkkotopologian avulla eri kohdissa tapahtuneiden vikojen vaikutukset asiakkaiden kokemiin keskeytyksiin ja keskeytysaikoihin. RNA-työkalulla voidaan laskea toimitusvarmuutta kuvaavat indeksit, asiakaskerrat jäl-

leenkytkennöistä, keskeytyksistä ja jännitekuopista sekä keskeytyksiin ja jälleenkytkentöihin liittyvät KAH-arvoihin perustuvat kustannukset.

Keskeisimpiä RNA-laskentatyökalulla laskettavia arvoja on esitetty alla. [VFV]

Vikoja [kpl/a] Verkon osan vikataajuus kerrotaan yhteenlasketulla pituudella tai määrällä.

Sähköttömiä ajanjaksojen summa [min/a] Vikataajuus kerrotaan korjaukseen vaadittavalla ajalla.

Asiakkaiden vikakeskeytystunnit [h/a] Vian kesto kerrotaan vian kokeneiden asiakkaiden määrällä.

Työkeskeytyksiä [kpl/a] Verkon osan työkeskeytystaajuus kerrotaan yhteenlasketulla pituudella tai määrällä.

Pikajälleenkytkentöjä [kpl/a], Aikajälleenkytkentöjä [kpl/a] Verkon osan jälleenkytkentätaajuus kerrotaan yhteenlasketulla pituudella tai määrällä.

Jännitekuoppia [kpl/a] Verkon osan jännitekuoppataajuus kerrotaan yhteenlasketulla pituudella tai määrällä.

Vika-asiakaskerrat [kpl/a] Verkon osan vikojen määrä kerrotaan verkon osan asiakkaiden määrällä.

Jälleenkytkentä-asiakaskerrat [kpl/a] Verkon osan jälleenkytkentöjen määrä kerrotaan verkon osan asiakkaiden määrällä.

Vikakeskeytysten kustannukset [€] Vikakeskeytysten kustannukset saadaan laskemalla yhteen asiakas luokittain kunkin keskeytystä koskevan asiakkaan KAH-arvot. Yhden luokan vikakeskeytyskustannus H_v lasketaan kaavalla

$$H_v = \frac{W}{8760} \cdot (h_E \cdot t_v + h_P \cdot n_v), \quad (4.1)$$

missä W = asiakkaan vuosienenergia
 t_v = asiakkaan vikakeskeytyksen pituus vuodessa
 n_v = asiakkaan vikakeskeytysten määrä vuodessa
 h_E = asiakasryhmän energiariippuvainen KAH-arvo
 h_P = asiakasryhmän tehoriippuvainen KAH-arvo vikakeskeytyksille.

Jälleenkytkentäkustannukset [€] Jälleenkytkentäkustannukset sisältävät AJK-kustannukset ja PJK-kustannukset.

AJK-kustannukset saadaan laskemalla yhteen kunkin asiakkaan KAH-arvo, jota aikajälleenkytkentä koskee.

$$H_{AJK} = \frac{W}{8760} \cdot (h_E \cdot t_{AJK} + h_{ajkP} \cdot n_{AJK}), \quad (4.2)$$

missä t_{AJK} = asiakkaan AJK-keskeytyksen pituus vuodessa
 n_{AJK} = asiakkaan AJK-keskeytysten määrä vuodessa
 h_{ajkP} = asiakasryhmän teho riippuvainen KAH-arvo AJK:lle

PJK-kustannukset saadaan laskemalla yhteen kunkin asiakkaan KAH-arvo, jota pikajälleenkytkentä koskee.

$$H_{PJK} = \frac{W}{8760} \cdot h_{pjkp} \cdot n_{PJK}, \quad (4.3)$$

missä h_{pjkp} = asiakasryhmän teho riippuvainen KAH-arvo PJK:lle
 n_{PJK} = asiakkaan PJK-keskeytysten määrä vuodessa.

Edellä luetelluista arvoista voidaan laskea myös verkon sähkötoimitusvarmuutta kuvaavia IEEE 1366-2001 standardin mukaisia tunnuslukuja SAIFI, SAIDI, CAIDI ja MAIFI [IEE01].

SAIFI, System Average Interruption Frequency Index, yli 3 minuuttia kestävien keskeytysten keskimääräinen lukumäärä (kpl/asiakas) tietyllä aikavälillä.

$$SAIFI = \frac{\sum_j n_j}{N_s}, \quad (4.4)$$

missä n_j = asiakkaan j kokemien keskeytysten määrä
 N_s = kaikkien asiakkaiden lukumäärä.

SAIDI, System Average Interruption Duration Index, keskeytysten keskimääräinen yhteenlaskettu kesto aika (h/asiakas) tietyllä aikavälillä.

$$SAIDI = \frac{\sum_i \sum_j t_{ij}}{N_s}, \quad (4.5)$$

missä t_{ij} = asiakkaalle j keskeytyksestä i aiheutunut sähkötön aika
 i = keskeytysten lukumäärä tietyllä aikavälillä
 j = keskeytyksen vaikutusalueella olleiden asiakkaiden määrä.

CAIDI, Customer Average Interruption Duration Index, keskeytysten keskipituus (h/keskeytys).

$$CAIDI = \frac{SAIDI}{SAIFI} = \frac{\sum_i \sum_j t_{ij}}{\sum_j n_j} \quad (4.6)$$

MAIFI, Momentary Average Interruption Frequency Index, jälleenkytkentöjen (alle 3 minuuttia kestävä keskeytys) keskimääräinen lukumäärä (kpl/asiakas) tietyllä aikavälillä.

$$MAIFI = \frac{\sum n_m}{N_s}, \quad (4.7)$$

missä n_m = asiakkaan m kokemien jälleenkytkentöjen määrä
 m = jälleenkytkentöjen vaikutusalueella olevien asiakkaiden määrä.

SAIFI:n ja MAIFI:n välinen luokittelu yli ja alle kolmen minuutin keskeytyksiin perustuu yleisen jakeluverkon jännitteen ominaisuuksia käsittelevän standardin SFS-EN 50160 [SFS00] määrittämiseen. Standardissa häiriökeskeytykset on jaoteltu kahteen osaan, pitkä keskeytys (yli kolme minuuttia), jonka aiheuttaa pysyvä vika, ja lyhyt keskeytys (enintään kolme minuuttia), jonka aiheuttaa ohimenevä vika. Standardin SFS-EN 50160 mukaan keskeytykseksi lasketaan tilanne, jossa jännite on liittämiskohdassa alle 1 % U_C .

4.4 Verko-omaisuuden hallinta

Xpower-verkkotietojärjestelmään liitettyllä AM- (Asset Management) laskentatoiminnolla voidaan määrittää verkon elinkaarikustannukset. Kustannuksien laskennassa voidaan ottaa huomioon kappaleessa 3.1 esille tulleet taloudelliseen mitoittamiseen liittyvät seikat, kuten arvioitu tehon nousu ja rahan korkokanta. AM - laskentatoiminnolla voidaan laskea verkkoyhtiölle koituvia kustannuksia ja asiakkaan näkökulmasta katsottuja KAH-arvoihin perustuvia luotettavuuskustannuksia.

Verkkoyhtiö

- Investointikustannukset
- Kunnossapitokustannukset
- Häviökustannukset
- Vian aiheuttamat välilliset kustannukset

Asiakas

- Vikakeskeytyskustannukset
- Työkeskeytyskustannukset
- Jälleenkytkentäkustannukset
- Jännitekuoppakustannukset

Verkkoyhtiön investointikustannuksiin kuuluu tarkasteltavan verkon rakentamisesta ja maankäytöstä maanomistajille maksettavat kertaluonteiset kustannukset.

Verkkoyhtiön kunnossapitokustannuksiin kuuluu tarkasteltavan verkon tarkastus-, huolto- ja korjauskustannukset. Kustannuksien yksikköhinnat on määritetty jokaiselle komponenttilajille erikseen.

Verkkoyhtiön häviökustannuksiin lasketaan johdoissa tapahtuvat johtohäviöt ja muuntajissa tapahtuvat muuntajahäviöt. Häviötarkastelu tehdään PJ- sekä KJ-portaisissa komponenteissa. Mukaan lasketaan kuormituksesta riippuvat sekä kiinteät häviökustannukset.

Verkkoyhtiön vian aiheuttamat välilliset kustannuksiin kuuluu vian aikana toimitamatta jääneen sähkön arvo, eli TJSA-arvo sekä vian pituudesta riippuva asiakkaalle maksettava vakiokorvaus. Vian pituus saadaan RNA-laskennan kautta.

Asiakkaan kustannukset perustuvat oletettuihin asiakkaan kokemiin haitta-arvoihin. Näistä kustannuksista ei synny verkkoyhtiölle rahallista menetystä, vaan asiaa tarkastellaan asiakkaan kokemana rahallisena menetyksenä, jonka aiheuttajana on sähkönjakelussa tapahtuva häiriö. Seurauksena sähkönjakelun keskeytyksenä voi olla sähköstä riippuvan tuotannon keskeytyminen tai vikatilanne, joka vaatii korjaustoimenpiteitä.

5 TYÖN KOHTEENA OLEVA VERKKO

5.1 Suunnittelussa huomioitavat lähtötiedot

Työn esittelyvaiheessa toivottiin, että Karkkilan sähköaseman Tuorilan lähtö muutettaisiin sähköaseman ja Siikalan kytkinaseman väliltä nykyistä selkeämmäksi sekä yhtenäisemmäksi, ja että kytkinasema ”siirtyisi” osaksi sähköasemaa. Syynä tä-

hän toiveeseen on kyseisen välin kriittisyys koko lähdön toimitusvarmuuden kannalta. Runkojohdon toimintahäiriöstä seuraa välittömästi 1538 asiakkaan sähköjohdon keskeytyminen tai häiriintyminen.

Runkojohdon selkeyttämiseksi on ehdotettu, että sähköaseman ja kytkinaseman välille jätettäisiin mahdollisimman vähän muuntopiirejä, ja että lähtö syöttäisi pääsääntöisesti taajama-alueen ulkopuolista maaseutualuetta.

Lähellä kytkinasemaa runkojohdosta lähtevän haaran kytkentä esitettiin muutettavaksi siten, että haara voitaisiin kytkeä tilapäisesti rungosta pois, tai siten, ettei rungossa olisi ollenkaan kyseistä haaraa.

Esittelyssä painotettiin keskittymään kustannustehokkaisiin reitteihin ja kokonaisuuksiin sekä toimitusvarmuuden parantamiseen. Materiaaleiksi määrättiin käytettäväksi haja-asutusalueelle suunniteltuja uusia sähköverkon materiaaleja, lukuun ottamatta tilanteita, jolloin niiden tekniset ominaisuudet eivät riitä halutun lopputuloksen saavuttamiseksi.

5.2 Verkkotopologia

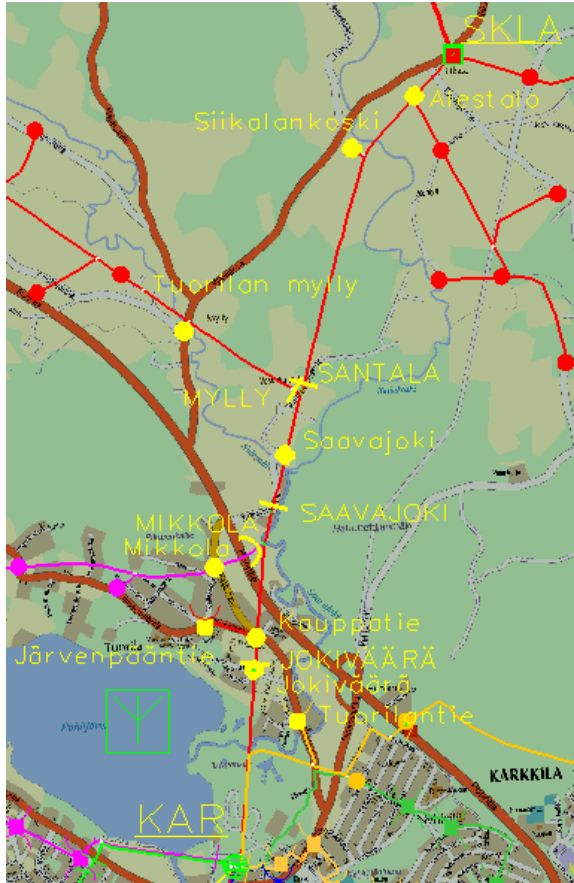
Nykyinen verkosto Karkkilan sähköasemalta pohjoiseen on rakennettu pääosin avojohtoverkkona lukuun ottamatta Tuorilan kaava-aluetta, jossa on avojohtoa sekä hiljattain rakennettua kaapeliverkkoa. Sähköasemalta katsottuna Karkkilan itäinen, kaakkoinen ja eteläinen taajama-alue on lähes kokonaan kaapeloitu. Karkkilan ydinkeskusta sijaitsee juuri tällä alueella. Kokonaiskuva Karkkilan sähköaseman ja siihen liittyvien Leppäniemen ja Tammelan sähköasemien lähdöistä on esitetty kuvassa 5.1.



Kuva 5.1 Nykyinen verkkotopologia Karkkilan sähköasemalta pohjoiseen Leppäniemen sähköasemalle.

5.2.1 Tuorila

Keskeisimmän muutoksen kohteena oleva kuvassa 5.1 punaisena näkyvä 1538 asiakkaan Tuorilan lähtö kulkee sähköasemalta lähtien noin 2 kilometriä 110 kV:n johtoaukon laidalla, josta se erkanee Tuorilan kaava-alueen jälkeen kohti Siikalan kytkinasemaa. Kuvassa 5.2 näkyvä sähköaseman ja kytkinaseman välinen avojohdotusosuus on kokonaispituudeltaan 4785 metriä. Reitillä on yhteensä viisi pylväsmuuntamaa ja kuusi erotinta. Alkuosa heti sähköaseman jälkeen kulkee rauhoitusalueen ja luonnonsuojelun poikki.



Kuva 5.2 Tuorilan lähtö Karkkilan sähköaseman ja Siikalan kytkinaseman väliltä.

Tuorilan kaava-alueella sijaitsevat Jokiväärän ja Kauppatien pylväsmuuntamot syöttävät osittain vielä rakentamatonta omakotitalo ja rivitalo aluetta. Tuorilan lähdön ensimmäinen erotuskohta on Jokiväärän muuntamon jälkeen pylväserottimella JOKIVÄÄRÄ. Kaava-alue ulottuu etelä-pohjoissuunnassa heti luonnonsuojelualueesta Porintielle saakka. Kaava-alueen pinta-ala on noin 6,8 ha ja kytkettyjä kuluttajia tällä hetkellä alueella on yhteensä 33 kpl.

Kauppatien pylväsmuuntamon jälkeen on rakennettu maakaapelihaara Järvenpääntien puistomuuntamolle. Järvenpääntien puistomuuntamo on rakennettu vuonna 2002 ja se syöttää Tuorilan kaava-alueen luoteista aluetta, mikä on jo lähes kokonaan rakennettu.

Asemakaava-alueen jälkeen on Tuorilan lähdestä kytkentäyhteys Vattolan lähtöön kohti Mikkolan muuntamo. Erotinkojeena tässä on käsiohjattu kuormanerotin MIKKOLA, joka pidetään auki normaalikäyttötilanteessa. Siikalan suuntaan jatkavassa Tuorilan lähdessä on myös erotin SAAVAJOKI ennen seuraavaa muuntamo.

Maaseutualueen ensimmäinen muuntopiiri on Saavajoki. Kytettyjä kuluttajia muuntopiirissä on 11 kpl. Saavajoen muuntopiirin jälkeen johtoreitiltä lähtee haara länteen, kohti Tuorilan myllyn muuntopiiriä. Asiakkaita pääsääntöisesti pientalokuluttajista muodostuvassa Tuorilan myllyn muuntopiirissä on yhteensä 27 kpl. Tuorilan myllyä ja edelleen maaseutua kiertävää haaraa ei kuitenkaan syötetä suoraan sähköaseman ja kytkinaseman välisestä rungosta, vaan sitä syöttää Siikalan kytkinaseman Vuotinaisen lähtö. Kytkennän muutos Saavajoen muuntopiirin jälkeen tehdään käsiohjatulla erottimilla MYLLY ja SANTALA. Tuorilan myllyn suuntaan lähtevä MYLLY:n erottimella erotettu haara pidetään auki normaalikäyttötilanteessa. Tällä kytkennällä saadaan Siikalan kytkinasema ohitettua vikatilanteessa.

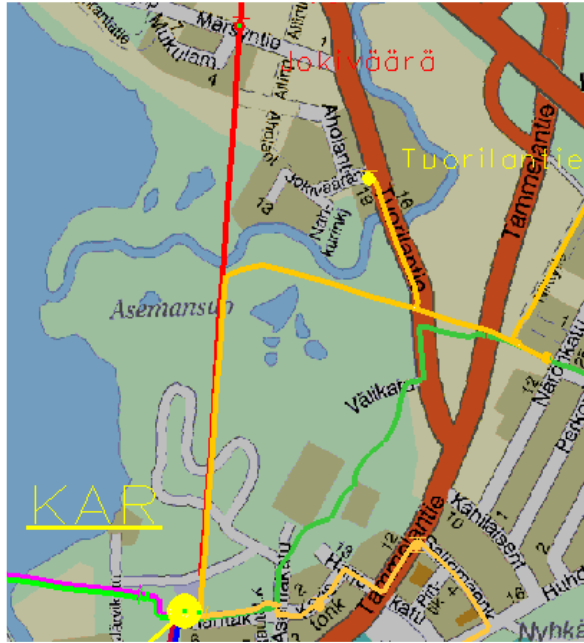
Seuraava muuntopiiri liikuttaessa pohjoiseen, kohti Siikalan kytkinasemaa, on Siikalankoski. Kytettyjä kuluttajia muuntopiirissä on yhteensä 12 kpl. Siikalankosken muuntopiiri on pylväsmuuntamolta lähtien täysin kaapeloitu. Kaapelointi on tehty vuonna 2000.

Siikalankoskesta seuraavassa Alestalon muuntopiirissä on vain kaksi kuluttajaa. Muuntamon ja Siikalan kytkinaseman välinen etäisyys on noin 320 metriä.

Viimeisenä tarkasteltavalla alueella on Siikalan kytkinasema. Kytkinasema on peltirakenteinen neljä kytkinkojeistoa ja kiinteistömuuntamon varokelähtöineen sisältävä asema, jossa Karkkilan sähköasemalta tuleva avojohtolinja haarautuu kolmeen alilähtöön, jotka ovat Vaskijärvi, Pilpala ja Vuotinainen. Vuotinainen on rakennettu muista avojohtolähdöistä poiketen osittain SAMKA-tyyppisellä keskijännite riippukierrekaapelilla, joka vastaa rakenteeltaan tuttua AMKA-tyyppistä pienjännite ilmajohtoa. Kiinteistömuuntajaan on omakäytön lisäksi kytketty kolme kytkinaseman pohjoispuolella sijaitsevaa omakotitaloliittymää ja yksi maatalousliittymä.

5.2.2 Huhti

Karkkilan sähköaseman 919 asiakkaan Huhdin lähtö syöttää Karkkilan ydinkeskustan ulkopuolista itäistä aluetta. Tämän työn tarkasteluun otetaan Huhdin lähdön Tuorilantien muuntopiiri. Tuorilantien puistomuuntamo syötetään avojohtoverkkoon tehdyllä maakaapelihaaralla. Tuorilantien muuntopiiri on suunniteltu syöttämään Tuorilan kaava-alueen eteläisintä osaa. Muuntamo on rakennettu vuonna 2005 ja aluetta sähköistetään edelleen pientalorakentamisen edetessä.



Kuva 5.3 Huhdin lähdön Tuorilan kaava-alueen eteläreunalla sijaitseva Tuorilantien muuntamo.

5.2.3 Vattola

Karkkilan sähköaseman 481 asiakkaan Vattolan lähtö syöttää Karkkilan ydinkeskustan ulkopuolista läntistä aluetta. Tämän työn tarkasteluun otetaan Vattolan lähdön Mikkolan muuntopiiri. Mikkolan pylväsmuuntamo on viimeinen muuntamo kierrettäessä johtoreittiä sähköasemalta lähtien. Mikkolan muuntamon jälkeen lähtevä varayhteys Tuorilan lähtöön tulee tämän työn myötä muuttumaan.



Kuva 5.4 Vattolan lähdön Mikkolan muuntamon jälkeinen yhteys Tuorilan lähtöön.

5.3 Verkon sähköiset arvot

Tehonjako-, maasulku- ja oikosulkulaskennan tulokset Tuorilan, Huhdin ja Vattolan KJ-verkolle on esitetty liitteessä 4. PJ-verkolle tehdyn laskennan tulokset on

esitetty liitteessä 5. Taulukoihin 5.1 ja 5.2 on kerätty yhteenveto nykyisen verkon tärkeimmistä laskentatuloksista.

Taulukko 5.1 Tuorilan, Huhdin ja Vattolan lähtöjen tehonjakolaskennan tulokset.

Lähdön tunnus	Muuntajan tunnus	U_{las} (kV)	I_{max} (A)	P_{max} (kW)	U_{min} (kV)	Kul lkm	Energia (MWh)
08 KAR_TUORI	KARPT2	20.6	81	2 868	20.27	1 538	11 509
10 KAR_HUHTI	KARPT2	20.6	58	2 037	20.44	919	8 918
17 KAR_VATTO	KARPT1	20.6	41	1 449	20.51	481	5 640

Taulukko 5.2 Tarkastelussa olevien muuntopiirien tehonjako- ja oikosulkulaskennan tulokset.

Tunnus	K-aste	U_{min} (V)	U_h (%)	I_{max} (A)	P_{max} (kW)	Kul lkm	Energia (MWh)	I_{ktmin} (A)
	mja/verkko (%)							
Tuorilantie	25/32	233.8	1.5	178	122	43	467.7	439
Jokivääriä	16/28	233.6	1.7	71	50	10	186.9	552
Kauppatie	27/43	232.6	2.1	77	54	24	205.3	292
Järvenpääntie	38/38	228.7	3.5	266	186	44	838.0	349
Mikkola	78/51	222.4	6.1	113	76	25	277.2	233
Saavajoki	53/47	221.4	6.3	75	51	11	208.1	157
Tuorilan mylly	36/33	227.4	3.5	104	71	27	289.6	200
Siikalan koski	65/22	229.3	3.1	46	32	12	113.5	279
Alestalo	18/14	233.2	1.4	13	8	2	24.4	331
Siikalan kas	17/35	231.8	2.0	24	16	4	54.6	285

Laskentatuloksista huomataan, että Saavajoen ja Tuorilan myllyn alhaisia oikosulkuvirran arvoja lukuun ottamatta, laskentatulosten puolesta verkko ei kaipaa väli-töntä saneerausta.

5.4 Rakenteiden ikä

Tuorilan lähtö on rakennettu pääosin 50...70 lukujen aikana lukuun ottamatta run-gosta lähteviä haaroja, joita on rakennettu viime vuosikymmenen aikana. VFV:n määrittelemän käyttöiän mukaan verkko on pääosin ikääntynyt ja tältä osin vaatii saneerausta. VFV: n määrittelemät käyttöiät eri verkkokomponenteille ja yksityis-kohtainen kohdealueen verkon rakenteiden ikätaulukko on esitetty liitteessä 6.

5.5 Luotettavuus ja käyttökustannukset

Nykyiselle ja kaikkien suunnitelmavaihtoehtojen mukaiselle verkolle suoritettun RNA- ja AM-laskennan tulokset ovat esitetty liitteessä 7. Taulukkoon 5.3 on kerät-

ty tärkeimmät luotettavuuslaskennan tulokset tarkasteltavien KJ-lähtöjen osalta sekä Tuorilan lähdön johto-osien mukaan väliltä Karkkilan sähköasema...Siikalan kytkinasema.

Taulukko 5.3 RNA-laskennan tulokset tarkasteltaville KJ-lähdöille.

Tunnus	As. [kpl]	Vikoja [kpl/a]	PJK [kpl/a]	AJK [kpl/a]	JK as.kerrat [kpl/a]	Vika- as.kerrat [kpl/a]	Sähkött. Ajanj. summa [min/a]	As.vika- keskeytyst. [h/a]
08 TUORILA	1 538	12,2	81,0	14,3	51 514	6 471	2495	8 021
10 HUHTI	919	0,247	1,99	0,350	2 147,1	226,8	48,97	365,8
17 VATTOLA	481	0,443	3,32	0,585	1 876,5	213,3	84,98	342,7
Yhteensä	2 938	12,9	86,3	15,2	55 538	6 911	2 628	8 730
<u>Vain käsiteltävä väli (Karkkilan SA - Siikala KA)</u>								
	1 538	0,334	2,82	0,497	4 443,0	433,8	61,42	165,5

Taulukon arvoja voidaan vertailla keskenään laskemalla kullekin arvolla kyseisen lähdön pituuteen suhteutettu arvo. Pituusyksikköön suhteutetut arvot on esitetty taulukossa 5.4.

Taulukko 5.4 RNA-laskennan tulokset pituusyksikköä kohden.

Tunnus	Asiakkaita [kpl/km]	Vikoja [kpl/a/km]	JK yhteensä [kpl/a/km]	JK as.kerrat [kpl/a/km]	Vika- as.kerrat [kpl/a/km]	As.vika- keskeytyst. [h/a/km]	Pituus [km]
08 TUORILA	11,1	0,09	0,69	373	46,8	58,1	138
10 HUHTI	165	0,04	0,42	386	40,7	65,7	5,6
17 VATTOLA	58,9	0,05	0,48	230	26,1	41,9	8,2
Keskiarvo	19,3	0,09	0,67	366	45,5	57,5	152
<u>Vain käsiteltävä väli (Karkkilan SA - Siikala KA)</u>							
	-	0,06	0,57	766	74,8	28,5	5,8

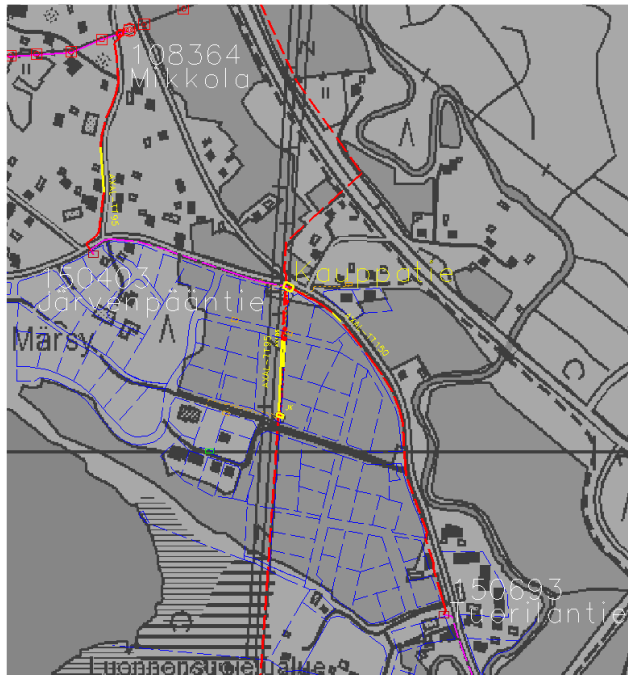
Taulukon arvoista huomataan, että Tuorilan lähtö on kaikkein häiriöaltis. Muiden lähtöjen verkko on rakennettu tiheimmin asutulle ja häiriövapaammalle alueelle.

6 SUUNNITELMAVAIHTOEHDOT

6.1 Kaava-alueen muutokset

Kaikkiin tehtyihin suunnitelmavaihtoehtoihin sisältyvät samat Tuorilan kaava-alueen muutokset. Jokiväärän pylväsmuuntamo puretaan. Kauppatien pylväsmuuntamon paikalle rakennetaan muuntajaerottimellinen puistomuuntamo, jonka syöttö rakennetaan Tuorilantien muuntamon erotinkojeistolta 150 mm² KJ-kaapelilla.

Kauppatien pylväsmuuntamolta Järvenpääntien muuntamolle menevä 95 mm² KJ-kaapeli siirretään pylväältä Kauppatien puistomuuntamolle. Järvenpääntien puistomuuntamolta rakennetaan KJ-kaapeliyhteys Vattolan lähtöön 95 mm² KJ-kaapelilla, joka vie Mikkolan pylväsmuuntamon eteen vapaasti seisovaan pylväeseen. Näin Vattolan lähdön yhteys Tuorilan lähtöön voidaan purkaa kytkentämahdollisuuksien kärsimättä.



Kuva 6.1 Tuorilan asemakaava-alueen muutokset. Punaisella rakennettava KJ-kaapeli, vaaleanpunaisella olemassa oleva KJ-kaapeli.

Tuorilan lähtö rakennetaan jokaisessa suunnitelmavaihtoehdossa 95 mm² AXAL-TT-kaapelityypillä vanhaa reittiä pitkin aina Porintien pohjoispuolelle saakka. Asemakaava-alueen Tuorilantien ja Kauppatien muuntamoiden toiminta-alueet muuttuvat Jokiväärän muuntamon jäädessä pois.

PJ-verkon mitoituksen lähtöarvoina käytetään seuraavia parametreja:

- oikosulkusuojaus standardin SFS6000 mukaisesti
- jännitteenalenema maksimissaan 6 %
- muuntajan tehonmitoitus verkostosuosituksen SA 1:87 mukaan
- mitoitus pinta-ala kaavaluonnoksen rakennusalan mukaan.

Kauppatien muuntopiirin alueella olevista kulutusposteista on kerätty taulukon 6.1 mukainen lista, jonka perusteella Kauppatien muuntaja valitaan.

Taulukko 6.1 Kauppätien muuntamon vaikutusalueella olevien kulutuspisteiden mitoitustehöt.

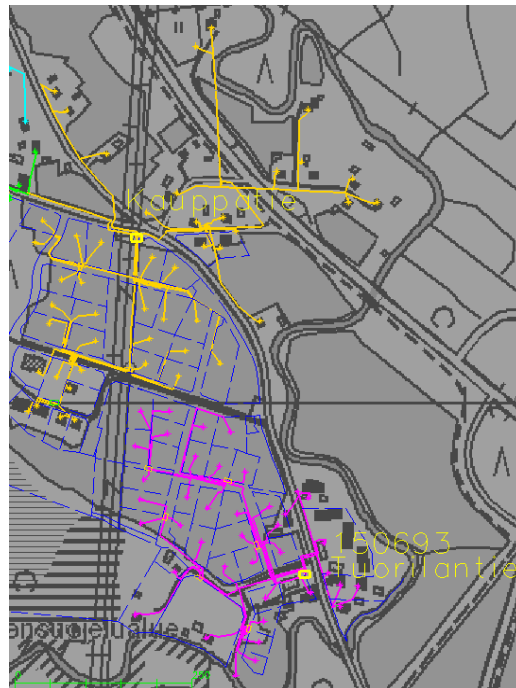
Rak. tyyppi	Huon. ala [m ²]	Asuntoja [kpl]	Yhteensä [m ²]	P [kW]	Vakiotehot Pke [kW]	Pmax [kW]
AO	200	13	2600	67,6	10	30
AOS	200	27	5400	265	10	30
AOS	280	3	840	41,2	10	30
AOS	750	1	750	36,8	10	30
AR	100	12	1200	58,8	10	30
Yht		56	10790	468,9	10	30

Taulukon mukaiset tehot johtavat seuraaviin muuntajan mitoitus-tehoihin:

Keskiarvohuipputeho 479 kW
(mitoitusteho, todennäköisyys ylitykseen 50 %)

Maksimihuipputeho 499 kW
(todennäköisyys ylitykseen 1 %)

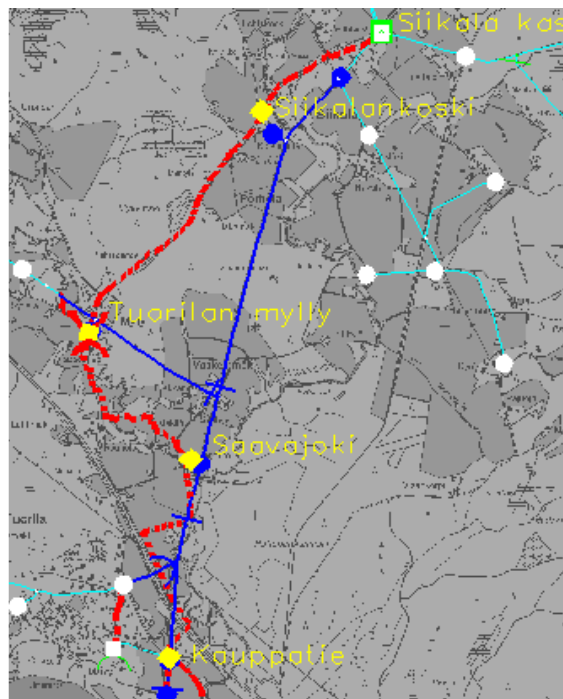
Uudet toiminta-alueet on esitetty kuvassa 6.2. Jokiväärän pylväsmuuntamo korvataan katujakokaapilla, jonka syöttö rakennetaan AXMK 4x185 mm² PJ-kaapelilla Kauppätien muuntamosta. Suunnitelman mukaiset PJ-laskentatulokset on esitetty liitteessä 5.



Kuva 6.2 Tuorilan kaava-alueen uudet muuntopiirirajat, kun Jokiväärän muuntamo jätetään pois.

6.2 Tuorilan lähdön suunnitelmavaihtoehto A

Ensimmäisessä suunnitelmavaihtoehdossa lähdetään hakemaan ratkaisua, jossa koko tarkasteltavan alueen verkko uusitaan. Ratkaisussa tultaisiin väistämättä investointikustannuksiltaan kalleimpaan vaihtoehtoon, mutta suunnitelmavaihtoehtoon tuoma luotettavuuden paraneminen halutaan tässä vaihtoehdossa arvostaa suurimmaksi tekijäksi. Runkokaapelin reitti Karkkilan sähköaseman ja Siikalan kytkinaseman välille muodostetaan kiertämällä kaikki reitillä olevat muuntopiirit, jolloin pylväsmuuntamot korvataan maaseutumuuntamoilla, lukuun ottamatta Tuorilan myllyn muuntamo, johon suunnitellaan 3+1 erotinkojeistollinen muuntamo. Erotinkojeiston avulla verkon kytkentätilannetta voidaan muuttaa halutulla tavalla. Muuntopiirien PJ-ilmajohtoverkko muutetaan tarpeellisin osin kaapeliverkoksi. Suunnitelmavaihtoehto A:n verkkotopologia on esitetty kuvassa 6.3.

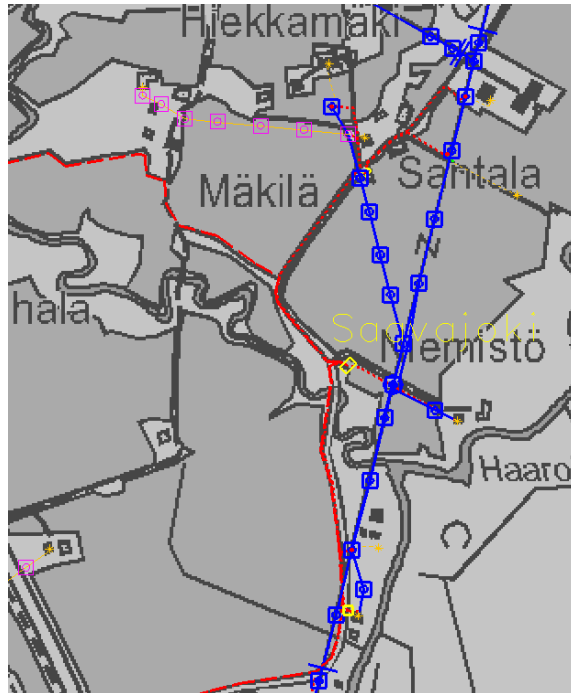


Kuva 6.3 Tuorilan lähdön vaihtoehto A:n mukainen verkkotopologia.

Kuvassa 6.3 sininen osa osoittaa purettavaa ja punainen rakennettavaa verkon osaa. Turkoosi osoittaa nykyistä verkkoa, johon ei tehdä muutoksia. Suunnitelmavaihtoehto A:n mukaisen verkon laskentatulokset on esitetty liitteissä 3 ja 4.

6.2.1 Saavajoki

Huhdin lähtöön siirrettävän Kauppatien muuntamon jälkeen Tuorilan lähtö menee Porintien ali ja kääntyy Vaskoinmäentien varteen kohti Saavajoen muuntopiiriä. Kuvassa 6.4 on Saavajoen muuntopiiriä koskevat muutostyöt.



Kuva 6.4 Saavajoen muuntopiiri suunnitelmavaihtoehto A:n mukaisesti.

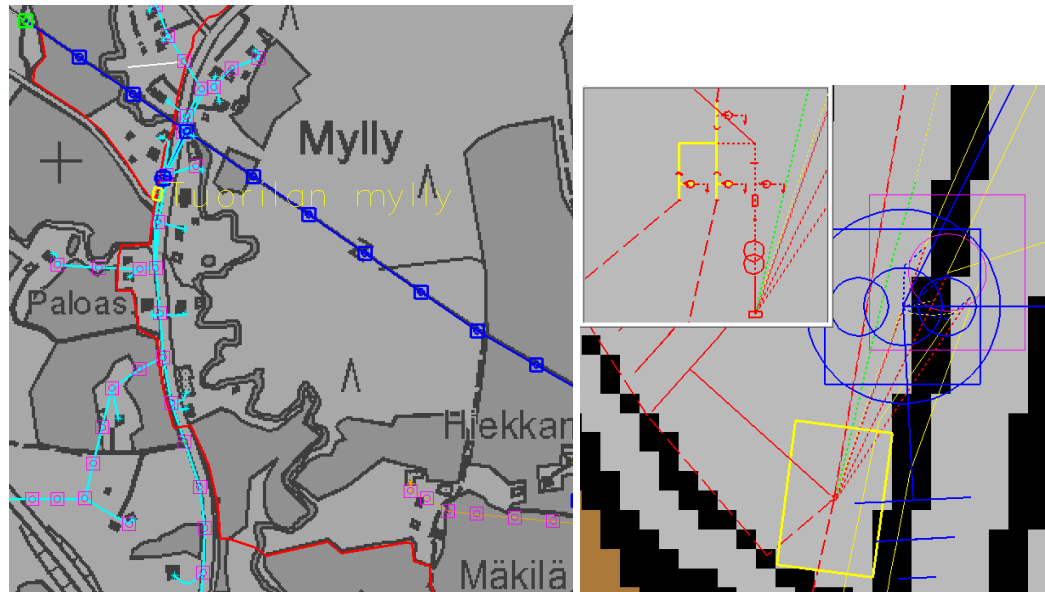
Saavajoen muuntopiirissä PJ-ilmajohtoverkko muutetaan kaapeliverkoksi niiltä osin kun se on kannattavaa. Alkupään pientaloille rakennetaan haaroituskotelo, jonka syöttö rakennetaan purettavan Saavajoen pylväsmuuntamon viereen rakennettavalta maaseutumuuntamolta. Muuntopiirin pohjoispään liittymille rakennetaan katujakokaappi Santalan tilan ja Vaskoinmäentien rajalle.

Karkkilan sähköasemalta tuleva KJ-kaapeli jatkaa Saavajoen maaseutumuuntamon jälkeen kohti Tuorilan myllyn muuntamo Vaskoinmäentietä ja siitä haarautuvaa peltotietä pitkin. Reitin pituus sähköasemalta Saavajoen muuntamolle on 2,8 km.

6.2.2 Tuorilan mylly

Saavajoen muuntopiiriltä tuleva KJ-kaapeli alittaa Saavajoen ennen Tuorilan myllyä. Tuorilan myllyn pylväsmuuntamo puretaan ja paikalle rakennetaan 3+1 kojeistollinen puistomuuntamo. Näin tähän saadaan runkojohdon katkaisu- ja samalla kytkentätilan muutoskohta. Yhteys Siikalan kytkinaseman Vuotinaisen lähtöön rakennetaan Tuorilan myllyn luoteispuolelle jäävän peltoaukean reunaan avojohto-

verkon harustettavalle pylväälle. PJ-verkkoon ei tässä muuntopiirissä tehdä oleellisia muutoksia. Muuntamon lähdöt nostetaan lähimmälle PJ-pylväälle AXMK 4x95 kaapelia käyttäen.



a) Tuorilan myllyn KJ-kaapelointi ja purku suunnitelmavaihtoehto A:n mukaisesti. b) Purettavan pylväsmuuntamon paikalle 3+1 KJ-kojeistollinen puistomuuntamo.

Kuva 6.5 Suunnitelmavaihtoehto A:n mukaiset Tuorilan myllyn muuntopiiriä koskevat muutokset.

Kuvassa 6.5 a) vaalean sinisenä näkyvä verkko on Tuorilan myllyn PJ-verkkoa, joka on pääosin AMKA-tyyppistä riippukierrekaapelia. Kaapeli on ripustettu katuvalopylväisiin. Kuvassa b) on esitetty suunnitellun puistomuuntamon KJ-kytkentäkaavio. Reitin pituus Saavajoen muuntamolta Tuorilan myllyn muuntamolle on 1,2 km ja kokonaispituus sähköasemalta on noin 4 km.

Tuorilan myllyn muuntamolta jatkettaessa kaapelointia kohti seuraavaa Siikalankosken muuntopiiriä, joudutaan Saavajoki alittamaan toistamiseen, koska joen ylittävissä tiessä ei ole paikkaa kaapelille.

6.2.3 Siikalankoski

Tuorilan myllyn ja Siikalankosken välinen KJ-kaapeli suunnitellaan aurattavaksi Siikalantien varteen kestopäällysteistä Hajakantien alitusta lukuun ottamatta. Kuvassa 6.6 esitetty muuntamoiden välinen kaapelireitin pituus on 1,6 km.



Kuva 6.6 Tuorilan myllyn ja Siikalankosken välinen KJ-kaapeliteitti.

Siikalankosken pylväsmuuntamon paikalle on suunniteltu laitettavaksi PJ-kaapelit yhdistävä haaroituskotelo. Siikalantien toiselle puolelle, nykyisen CDC 420-tyyppisen katujakokaapin läheisyyteen on suunniteltu asennettavaksi 50 kVA:n maaseutumuuntamo, josta rakennetaan syöttö katujakokaapille AXMK 4x95 kaapelilla. Nykyiseltä pylväsmuuntamolta tuleva katujakokaapin syöttö käännetään katujakokaapilta maaseutumuuntamolle, jolloin suunnitellun haaroituskotelon perään jäävä kuormitus ei kulje katujakokaapin kautta. Verkkokuva Siikalankosken muutoksista on esitetty kuvassa 6.7. Punainen verkkoviiva edustaa uutta KJ-kaapelia, sininen purettavaa KJ-verkkoa ja vihreä olemassa olevaa PJ-kaapeliverkkoa. Nykyinen KJ-avojohtoverkko puretaan Alestalon muuntopiiriä edeltävälle pylvälle saakka.



Kuva 6.7 Siikalankosken muutokset suunnitelmavaihtoehto A:n mukaisesti.

Siikalankosken ylitys voidaan rakentaa kuvassa 6.8 esitetyn Siikalankosken ylittävään Siikalantien sillan pohjaan, jossa on kannakkeet ja jo olemassa olevia putkia.



Kuva 6.8 Siikalantien silta Siikalankosken kohdalla.

6.2.4 Alestalo

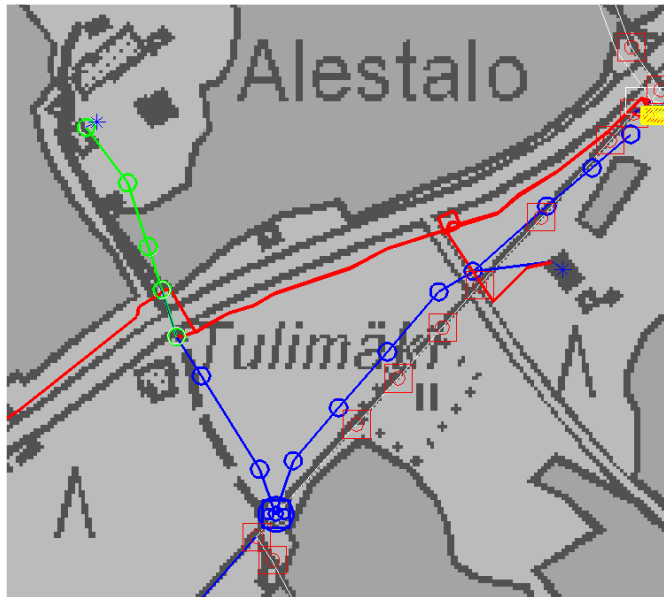
Kuvassa 6.9 esitetty Alestalon pylväsmuuntamo ja siihen liittyvä ilmajohtoverkko puretaan ja PJ-verkkoa rakennetaan siten, että Alestalon muuntopiirin kaksi kuluttajaa siirretään Siikalan kytkinaseman muuntopiiriin.



Kuva 6.9 Alestalon vuonna 1975 rakennettu 2-pylväsmuuntamo.

Kytkinaseman kiinteistömuuntamoon lisätään yksi jonovarokelähtö, josta rakennetaan AXMK 4x50 PJ-kaapeli syöttämään Alestalon muuntopiirin kahta asiakasta. Yhteistä aurasreittiä KJ- ja PJ-kaapeleille tulee noin 300 metriä. Pajuojantien kohdalle rakennetaan haarotuskotelo, josta Pajuojantien varressa olevalle liittymälle viedään kaapeli. Toiselle kuluttajalle kaapeli viedään Siikalantien varressa sijaitsevalle pylväälle. Pylvästystä voidaan harkita kokonaisuudessaan purettavaksi, mutta

siitä on neuvoteltava kyseisen liittymän kanssa, koska hänellä on tällä hetkellä myös oma AMKA-linja pylväissä. Verkkokuva Alestalon muuntopiirin muutoksista on esitetty kuvassa 6.10. Kuvassa näkyvä punainen verkkoviiva esittää suunniteltua PJ-verkkoa Siikalan kytkinasemalta Alestalon kahdelle kuluttajalle, sininen esittää purettavaa PJ-ilmajohtoverkkoa ja vihreä esittää verkkoa, jossa kuluttajalla on VFV:n AMKA-linjan lisäksi myös omaa AMKA-linjaa.

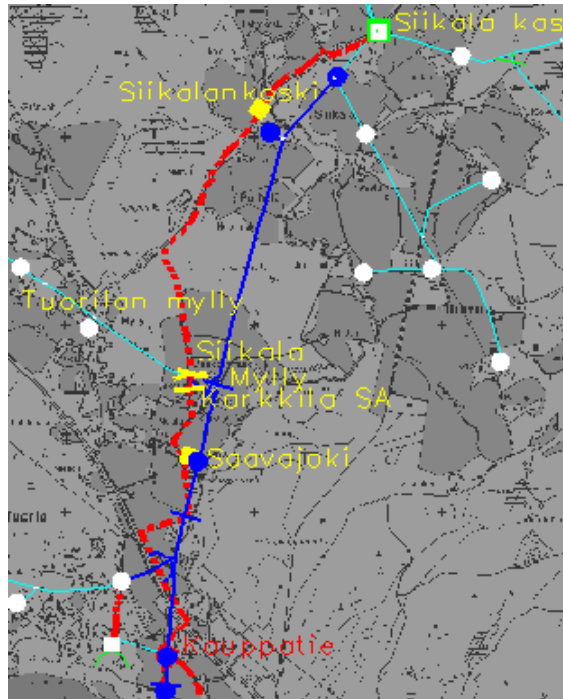


Kuva 6.10 Alestalon muutokset suunnitelmavaihtoehto A:n mukaisesti.

6.2.5 Siikalan kytkinasema

Siikalankoskelta tuleva KJ-kaapeli rakennetaan Tulimäen kohdalle Siikalantien pohjoispuolella. Siikalantien alitus tehdään siten, että yhteinen auraus PJ-kaapelin kanssa voidaan suorittaa mahdollisimman pitkälti. Kaapeli tuodaan kytkinaseman lähtöön SKLAJ. Lähdön nykyinen kaapeli, joka liittyy purettavaan Tuorilan avojohtoverkoon, käännetään kytkinaseman sisällä Vaskijärven lähtöön. Karkkilan sähköasemalta tuleva Tuorilan avojohtoverkko puretaan siis Alestalon muuntamoaa edeltävälle pylväälle siten, että jäljelle jäävää johtoa Alestalon muuntamon ja Siikalan kytkinaseman välillä voidaan käyttää rungosta nykyisin lähtevän haaran sähköistämiseen. Työkohteen loppupään KJ-verkon muutokset on esitetty kuvassa 6.11. Keltainen viiva osoittaa nykyistä verkkoa, johon ei tehdä muutoksia, punainen uutta KJ-kaapelia, sininen purettavaa KJ-verkkoa ja vihreä muutettavaa verkosaa. Siikalankosken ja kytkinaseman välinen kaapelointireitti on pituudeltaan 850 metriä.

kentätilannetta voidaan muuttaa kuten A vaihtoehdossakin, mutta Tuorilan mylly jää kuitenkin Siikalan kytkinaseman takaiseen Vuotinaisen lähtöön.

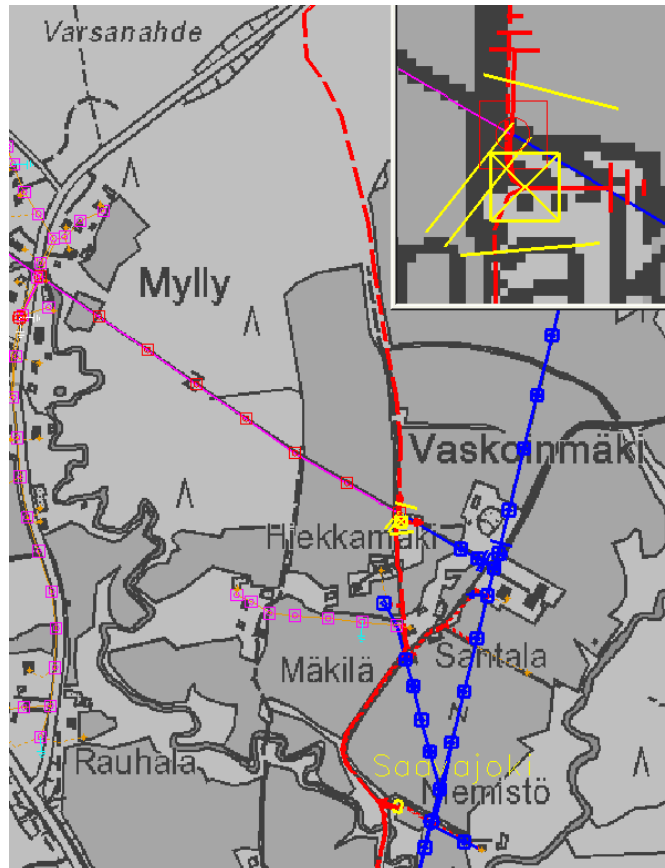


Kuva 6.12 Tuorilan lähdön vaihtoehto B:n mukainen verkkotopologia.

Kuvassa 6.12 sininen osoittaa purettavaa verkon osaa ja punainen rakennettavaa verkon osaa. Turkoosi osoittaa nykyistä verkkoa, johon ei tehdä muutoksia. Vaihtoehdosta A poikkeavan alueen suunniteltuja verkostomuutoksia esittää kuva 6.13. Erotinaseman alue on kuvassa suurennettuna. Erotinasemalta lähtevä kaapeli kohti Siikalankoskea rakennetaan osin peltotien ja osin metsätien reitille. Kaapeli on suunniteltu aurattavaksi koko matkalta, lukuun ottamatta lähellä Siikalankosken muuntamoita tehtävää Siikalantien alitusta.

Tämän suunnitelmavaihtoehdon huonoina puolina voidaan pitää kaapelin myöhempää käytettävyyttä metsäosuudella. Toisin kuin A vaihtoehdossa, kaapeli on Saavajoen ja Siikalankosken välillä edempänä muusta infrastruktuurista, jolloin voidaan olettaa, että mahdolliset uuden muuntopiirin rakentamistarpeet eivät sijoitu kaapelin reitille. Vaihtoehto B:n mukaisen verkon laskentatulokset on esitetty liitteissä 4 ja 5.

Saavajoen muuntamon ja erotinaseman välinen KJ-kaapelin reitti on pituudeltaan 480 metriä. Erotinaseman ja Siikalankosken välisen reitin pituus on 1750 metriä.

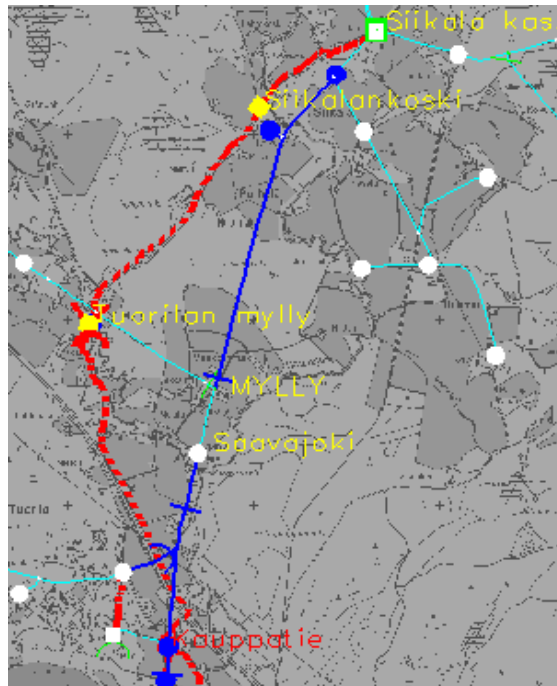


Kuva 6.13 Vaihtoehto B:n mukaiset verkostoon tehtävät muutokset, jotka poikkeavat A vaihtoehdosta.

6.4 Tuorilan lähdön suunnitelmavaihtoehto C

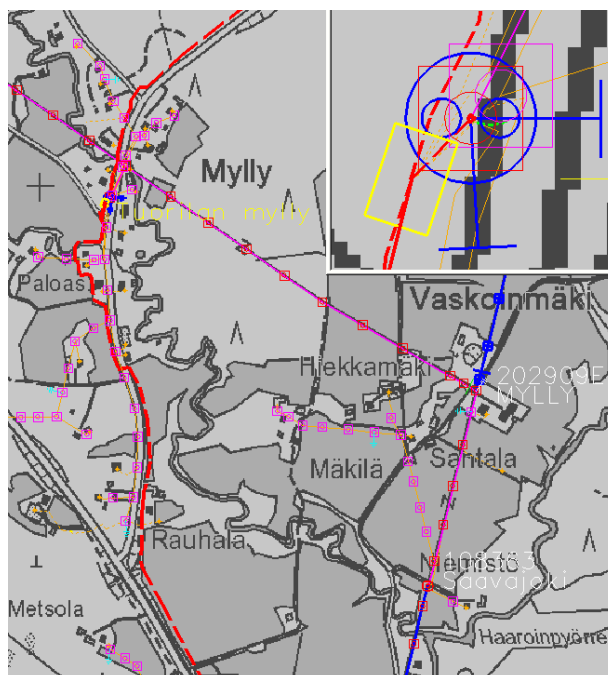
Viimeisessä suunnitelmavaihtoehdossa lähdetään hakemaan myös kustannustehokasta ratkaisua, mutta pyritään välttämään vaihtoehdossa B esiin tulleet kaapelin käytettävyyteen liittyvät puutteet. Runkokaapelin reitti Karkkilan sähköaseman ja Siikalan kytkinaseman välille muodostetaan käsittelemällä vain välttämättömät reitillä olevat muuntopiirit, mutta kaapeli pyritään pitämään mahdollisimman lähellä olemassa olevaa infrastruktuuria.

Vaihtoehto C:n ero A:han nähden on Saavajoen muuntopiirin jättäminen ennalleen, jolloin ensimmäiseksi muuntopiiriksi sähköasemalta lähdettäessä tulee Tuorilan mylly. Tuorilan mylly rakennetaan A vaihtoehtoa vastaavalla tavalla, mutta nykyistä pylväsmuuntamorakenteesta ei pureta muuta, kuin jakelumuuntaja ja PJ-kojeisto. Viereen rakennettavaksi suunnitellusta puistomuuntamosta nostetaan erotinkojeiston kautta tuleva haara muuntamopylväille ja liitetään olemassa olevaan avojohtoverkkoon. Vaihtoehto C:n verkkotopologia on esitetty kuvassa 6.14.



Kuva 6.14 Tuorilan lähdön vaihtoehto C:n mukainen verkkotopologia.

Kuvassa 6.14 sininen osoittaa purettavaa verkon osaa ja punainen rakennettavaa verkon osaa. Turkoosi osoittaa nykyistä verkkoa, johon ei tehdä muutoksia. Suunnitelmavaihtoehto C:n mukaisen verkon laskentatulokset on esitetty liitteissä 4 ja 5. Vaihtoehdosta A poikkeavan alueen suunniteltuja verkostomuutoksia esittää kuva 6.15.



Kuva 6.15 Vaihtoehto C:n mukaiset verkostoon tehtävät muutokset, jotka poikkeavat A vaihtoehdosta.

KJ-kaapeli on suunniteltu aurattavaksi Porintien varteen ja siitä edelleen kevyen liikenteen väylän viertä pitkin Siikalantien varteen. Siikalantien alitus tehdään peltoaukean päätyttyä, jolloin peltoaukean helppo aurasmaasto voidaan hyödyntää. Kaapelireitin pituus Karkkilan sähköaseman ja Tuorilan myllyn välillä on 3,5 km.

Huonona puolena tässä versiossa voitaisiin pitää verkon kokonaisuuden kannalta huonosti jäävää Saavajoen muuntamo. Tulevaisuudessa vastaantuleva Saavajoen muuntamon syötön kaapelointi jouduttaisiin tekemään Tuorilan myllyltä saakka, ellei Porintien ja Vaskoinmäentien risteykseen rakenneta erillistä erotinasemaa tai haaroituskotelo.

7 YHTEENVETO JA JATKOTOIMENPITEET

7.1 Suunnitelmavaihtoehtojen vertailu

Eri suunnitelmavaihtoehtojen vertailuun käytetään verkoston elinkaarikustannuksia ja luotettavuutta mittaavia tunnuslukuja, joita on kerätty Xpower-verkkotietojärjestelmästä suunnitelmaversioita tehtäessä. Verkon topologinen vertailu on myös paikallaan, koska alue on jatkuvassa kasvussa. Vain tämän hetkistä tarvetta palvelevaa suunnitelmaa ei siis ole järkevä toteuttaa.

7.1.1 Kustannukset

Suunnitelmavaihtoehtoja voidaan helposti vertailla niihin liittyvien investointi- ja käyttökustannusten valossa. Näiden kustannusten pohjalta tehdään yleensä myös vaihtoehtojen valintapäätökset. Nykyisin olisi tärkeää kiinnittää huomiota myös luotettavuutta kuvaaviin arvoihin. Taulukossa 7.1 on esitetty AM-laskentatyökalun avulla saadut nykyisen verkon ja suunnitelmavaihtoehtojen käyttökustannukset sekä suunnitelmavaihtoehtojen investointi ja elinkaarikustannukset.

Elinkaarikustannuksiin on laskettu kaikki luvussa 3 mainitut kustannustekijät nykyarvomenetelmää käyttäen. Vaihtoehtojen kustannuksissa on mukana myös Tuorilan kaava-alueen muutoksesta johtuvat kustannukset.

Taulukko 7.1 Suunnitelmavaihtoehtojen ja nykyisen verkon käyttökustannukset ja suunnitelmavaihtoehtojen elinkaarikustannukset eriteltyinä.

Versio	Vuotuiset kustannukset				Investointi €	Elinkaari- kustannukset €/40v.
	Kunnossapito €/a	Häviöt €/a	Verkkoyhtiö €/a	Yhteensä €/a		
Nykyinen	5 203	3 243	557	9 003	-	
Vaihtoehto A	5 117	2 961	557	8 635	292 734	385 075
Vaihtoehto B	5 148	2 902	565	8 615	262 044	354 072
Vaihtoehto C	5 147	2 898	564	8 609	243 313	335 272

Nykyisen verkon ja eri suunnitelmavaihtoehtojen kustannuksista voidaan päätellä, että käyttökustannukset tulevat laskemaan yhtä paljon, tehdään verkoston muutostyö minkä suunnitelmaversioon mukaan hyvänsä. Investointikustannuksissa on huomattavaa eroa etenkin A ja C vaihtoehdon välillä. A vaihtoehdon korkea investointikustannus johtuu sen suurimmasta vaikutusalueesta. C vaihtoehdon edullisuus johtuu Saavajoen PJ-verkon muutostyön aiheuttaman kustannuksen puuttumisesta, jonka osuus vaihtoehtojen A ja B investointikustannuksista on noin 15.000 euroa. Vaihtoehtojen investointikustannukset olisivat vaihtoehdosta riippuen 30...40 % korkeammat, mikäli työ toteutettaisiin perinteisillä komponenteilla ja työmenetelmillä.

Suunnitelmavaihtoehtojen erisuuruuksista vaikutusalueista johtuen paljaiden investointikustannusten vertailu ei anna oikeaa kuvaa vaihtoehtojen kannattavuudesta. Saneerauskohteessa investointien vertailu kannattaakin suorittaa esimerkiksi uusittavan KJ-verkon pituuteen suhteutettuna. Vaihtoehdossa A uusittavaa keskijänniteverkkoa on noin 5720 m, vaihtoehdossa B noin 5050 m ja vaihtoehdossa C noin 4530 m.

7.1.2 Luotettavuus

Taulukkoon 7.2 on kerätty taulukon 7.1 tapaan suunnittelutyötä koskevan alueen verkkoa, eli Tuorilan, Huhdin ja Vattolan lähtöjen luotettavuutta kuvaavat tunnusluvut.

Taulukko 7.2 Nykyisen ja eri vaihtoehtojen mukaisien verkkojen luotettavuutta kuvaavat arvot.

Versio	Vikoja [kpl/a]	PJK [kpl/a]	AJK [kpl/a]	Jälleenkytk. yhteensä [kpl/a]	JK as.kerrat [kpl/a]	Vika- as.kerrat [kpl/a]	As.vika- keskeytyst. [h/a]
Nykyinen	12,93	86,31	15,23	101,5	55 538	6 911	8 730
Vaihtoehto A	12,71	83,24	14,69	97,93	50 099	6 631	7 768
Vaihtoehto B	12,79	84,29	14,87	99,16	51 635	6 758	7 859
Vaihtoehto C	12,79	83,86	14,80	98,66	50 757	6 698	7 827

Taulukossa 7.3 on esitetty standardin IEEE 1366-2001 mukaiset verkon luotettavuutta kuvaavat indeksiarvot ja niiden muutos nykyiseen suunniteltavana olevaa aluetta koskien.

Taulukko 7.3 Luotettavuutta kuvaavat indeksi arvot ja niiden muutos nykyiseen verrattuna.

	Indeksiarvot				Muutos nykyiseen		
	Nykyinen	A	B	C	A	B	C
SAIFI	2,35	2,26	2,30	2,28	-4,0 %	-2,2 %	-3,1 %
SAIDI	2,97	2,64	2,67	2,66	-11 %	-10 %	-10 %
MAIFI	18,9	17,1	17,6	17,3	-10 %	-7,0 %	-8,6 %

Taulukon arvoista huomataan, ettei merkittävää parannusta tapahdu. Syynä tähän on laskennassa mukana olleen verkon suuruus, johon muutostyön tuottama luotettavuuden nousu katoaa. Selvempiä eroja saadaan, kun tutkitaan vain Tuorilan lähdön muutoksen kohteena olevaa verkon osaa. Tämän osan laskentatulokset ja muutos nykyiseen on esitetty taulukoissa 7.4 ja 7.5.

Taulukko 7.4 Luotettavuutta kuvaavat arvot Tuorilan lähdössä sähköaseman ja kytkinaseman välisellä verkko-osuudella.

Versio	Asiakkaita	Vikoja	PJK	AJK	Jälleenk. yhteensä	Jälleenk. as.kerrat	Vika- as.kerrat	As.vika- keskeytyst.	Pituus
	[kpl]	[kpl/a]	[kpl/a]	[kpl/a]	[kpl/a]	[kpl/a]	[kpl/a]	[h/a]	[m]
Nyk.	1538	0,33	2,8	0,50	3,3	4 400	434	166	5 796
A	1461	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	128	33,2	6 430
B	1461	0,16	0,69	0,12	0,82	610	162	75,1	5 880
C	1461	0,16	0,60	0,11	0,70	350	156	71,9	5 920

Taulukko 7.5 Luotettavuutta kuvaavien arvojen muutos nykyiseen verrattuna Tuorilan lähdössä sähköaseman ja kytkinaseman välisellä verkko-osuudella.

	A	B	C
Vika asiakaskerrat	-70 %	-63 %	-64 %
Jälleenytk. asiakaskerrat	-100 %	-86 %	-92 %
Viat	-73 %	-51 %	-52 %
Jälleenytkennät	-100 %	-75 %	-79 %

Taulukoita 7.4 ja 7.5 tarkastelemalla voidaan jo oletustikin havaita, että luotettavuus paranee huomattavasti, kun avojohtoverkko korvataan kaapeliverkolla. Kaapeliverkon vikoja ovat käytännössä vain huolimattomasta kaivamisesta tai asennusvirheistä johtuvat kaapelivauriot, erotinkojeiden hajoaminen tai muuntajan hajoaminen, joka on erittäin harvinaista.

Luotettavuuden kannalta parhaimmat arvot saaneen A vaihtoehdon tulokset johtuva yksinomaan vaihtoehdon korkeimmasta kaapelointiasteesta, joka on 100 % koko tarkastelualueen KJ-verkosta. Vaihtoehto C:n kaapelointiaste on 84 % koko tarkastelualueen johtoreitin pituudesta ja luotettavuusluvuissa huonoimmaksi sijoittuneen B vaihtoehdon kaapelointiaste on 90 %. Luotettavuutta alensi Tuorilan myllyn muuntopiirin jääminen Vuotinaisen lähdön päähän.

Taulukon 7.6 asiakasryhmäkohtaisten KAH-arvojen mukaan lasketut luotettavuuskustannukset korreloivat laskentatavasta johtuen hyvin tarkasti luotettavuutta kuvaavia arvoja. Edellä mainituissa taulukossa esitetyt arvot on eritelty tarkemmin RNA-laskentatuloksia käsittelevässä liitteessä 7.

Taulukko 7.6 KAH-arvoihin perustuvat vuotuiset luotettavuuskustannukset.

Versio	Vikakeskeytys- kustannukset	Työkeskeytys- kustannukset	Jälleenkytkentä- kustannukset	KAH
				-kustannukset yhteensä
Nykyinen	19 514 €	954 €	2 492 €	22 961 €
Vaihtoehto A	19 451 €	933 €	1 292 €	21 676 €
Vaihtoehto B	19 751 €	946 €	1 292 €	21 989 €
Vaihtoehto C	19 709 €	941 €	1 292 €	21 942 €

7.1.3 Yhteenveto

Edellisissä luvuissa esiteltujen kolmen suunnitelmavaihtoehdon keskeisimmät ominaisuudet ja puutteet toisiinsa nähden ovat lyhyesti esitettynä alla olevassa luetelossa.

Vaihtoehto A

- + parhaimmat luotettavuusarvot
- + tulevaisuuden kannalta paras kaapelin käytettävyys
- + alhaisimmat investointikustannukset purettavaa johtokilometriä kohti
- investointikustannuksiltaan kallein
- pisin ja hankalin kaapelointireitti.

Vaihtoehto B

- + lyhyin ja helpoin kaapelointireitti
- huono kaapelin käytettävyys (metsäosuus).

Vaihtoehto C

- + investointikustannuksiltaan edullisin
- Saavajoen muuntamo jää haaraan, joka on myöhemmin hankala kaapeloida.

Taulukkoon 7.7 on laadittu kunkin suunnitelmavaihtoehdon pisteytys. Pisteytystä painotetaan eri kustannustekijöistä saatavien maksimipistemäärien avulla. Kustannustekijät ja maksimipistemäärät ovat purettavaan KJ-avojohtoverkon pituuteen suhteutetut investointikustannukset 25 pistettä, elinkaaren aikaiset käyttö- ja huoltokustannukset 35 pistettä, KAH-arvoihin perustuvat jälleenykyntäkustannukset 15 pistettä, KAH-arvoihin perustuvat työkeskeytyskustannukset 10 pistettä ja KAH-arvoihin perustuvat vikakeskeytyskustannukset 15 pistettä. Kustannustekijöihin laskettiin kolmen tutkittavana olleen KJ-lähdön yhteiskustannukset.

Pisteytys toteutetaan siten, että verrattavan kustannustekijän huonoin vaihtoehto saa kyseisestä osasta 0 % maksimipistemäärästä ja siitä paremmat aina prosentuaalisen eron osoittaman pistemäärän huonoimpaan nähden. Täyden pistemäärän saamiseksi vaaditaan siis 100 % ero huonoimpaan. VFV:lla ei ole käytössä tämän tyyppistä pisteytystä, joten pisteytyksen eri osa-alueiden painotus on valittu tämän työn tekijän ja kokeneiden asiantuntijoiden oman kokemuksen ja arvostuksen mukaisesti. Selkeänä linjauksena voidaan kuitenkin pitää, että painoarvoa siirretään yhä enemmän pelkiltä investointikustannuksilta käyttökustannuksiin ja luotettavuutta mittaaviin arvoihin.

Taulukko 7.7 Suunnitelmavaihtoehtojen pisteytys investointi ja elinkaarikustannuksia vertailemalla.

	Painotus	A		B		C	
		arvo (€)	osuus	arvo (€)	osuus	arvo (€)	osuus
Investointi/purettava km	25	51	4,7 %	52	3,4 %	54	0,0 %
Käyttö ja huolto	35	92 341	0,0 %	92 028	0,3 %	91 959	0,4 %
KAH-kustannukset JK:stä	15	13 430	0,0 %	12 730	5,2 %	12 730	5,2 %
KAH-kustannukset työkesk.	10	9 210	1,4 %	9 338	0,0 %	9 287	0,5 %
KAH-kustannukset vioista	15	191 971	1,5 %	194 956	0,0 %	194 544	0,2 %
Pistemäärä	100		1,5		1,7		1,0

Tällä painotuksella B vaihtoehto saa parhaimmat pisteet. Merkittävää eroa ei kuitenkaan saada minkään vaihtoehdon välille. KAH-arvoista mitatut kustannukset ovat hyvin lähellä toisiaan, koska vaihtoehtojen väliset erot eivät erotu tämän tyyppisessä tarkastelussa. Luotettavuuden paraneminen on kuitenkin huomattavaa vertailtaessa suunnitelmavaihtoehtoja alkuperäiseen tilanteeseen.

Pisteytyksestä huolimatta toteutettavaksi vaihtoehdoksi voidaan ehdottaa koko alueen kattavaa A vaihtoehtoa. Tällä vaihtoehdolla saavutetaan paras luotettavuus. Lähelle kaava-alueita jäävä Saavajoen muuntopiiri ei jää ilmajohtoverkoksi eivätkä Tuorilan myllyn tai Saavajoen muuntamoiden syötöt jää Siikalan kytkinaseman ta-

kaisen Vuotinaisen lähdön päähän, joka tapahtuu toteutettaessa saneeraus B tai C vaihtoehdolla.

Toiseksi vaihtoehdoksi voidaan esittää vaihtoehtoa C, jolloin kaapelin käytettävyys pysyy hyvänä. Saavajoen muutos voitaisiin tehdä myöhempänä ajankohtana, jos kaavoitus laajenee Porintien yli kohti Saavajokea.

Lopullisen toteutettavan suunnitelman päättäminen tapahtuu VFV:ssa kevään 2007 aikana. Silloin päätettävää tai edellä esitetyistä vaihtoehdoista muunneltua suunnitelmaa VFV vie eteenpäin vuoden 2007 aikana. Rakentamistyö on tarkoitus aloittaa talvella 2007...2008.

7.2 Ehdotukset tulevaisuuden verkostotöiksi

Tämän työn yhtenä tarkoituksena oli etsiä teknistaloudellisesti kannattava saneerausvaihtoehto KJ-jakeluverkon osalle ja samalla reitillä olevalle PJ-verkolle. Näin ollen kaikkia tässä työssä havaittuja puutteita ei korjattu, vaan ne jäivät odottamaan muuta ajankohtaa.

Tämän kaltaisia asioita ovat Saavajoen ja Tuorilan myllyn muuntopiirien kaukaisimpien liittyjien matalat oikosulkuvirrat. Oikosulkuvirrat eivät ole vielä vaarallisen matalalla tasolla, mutta niihin tulisi kiinnittää huomiota, kun alueelle suunnitellaan uusia verkostotöitä.

Työssä käsiteltyä Vattolan keskijänniteverkkoa tulisi uusia niiltä osin, kun Tuorilan kaava-alueen laajeneminen edellyttää. Mikkolan muuntamon itäpuolelle laajenevan Tuorilan kaava-alueen sähköistämiseksi ehdotan Mikkolan pylväsmuuntamon paikalle rakennettavaa puistomuuntamoja. Mikkolan muuntamon saneerauksen yhteydessä voitaisiin harkita toista Vattolan KJ-verkkoon kuuluvan Tuorilan pylväsmuuntamon vaihtamista niin ikään puistomuuntamoksi. Tuorilan ja Järvenpääntien muuntamoiden välille voitaisiin rakentaa KJ-kaapeli, jolla korvataan Mikkolan ja Tuorilan muuntamoiden välinen ikääntynyt avojohtoverkko.

LÄHDELUETTELO

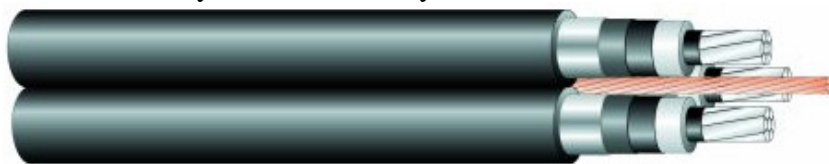
- [DRAKa] Draka Cableteq. [viitattu 04.01.2007] Saatavissa:
http://www.draka.dk/cableteq/pdf/4_7.pdf
- [DRAKb] Draka Finland. [viitattu 04.01.2007] Saatavissa:
[http://www.nkclub.com/nk/products.nsf/FILES/AHXAMK_W_20kV_FI_esite/\\$file/AHXAMK_W_20kV_lyhyt_esite.pdf](http://www.nkclub.com/nk/products.nsf/FILES/AHXAMK_W_20kV_FI_esite/$file/AHXAMK_W_20kV_lyhyt_esite.pdf)
- [EMV07] Verkkokomponentit ja indeksikorjatut yksikköhinnat vuodelle 2007. Energiamarkkinavirasto. [viitattu 12.01.2007] Saatavissa:
<http://www.energiamarkkinavirasto.fi/data.asp?articleid=1259&pgid=195>
- [ERIC] Ericsson Network Technologies AB. [viitattu 22.11.2006] Saatavissa:
<http://archive.ericsson.net/service/internet/picov/get?DocNo=2/28701-FGC101681&Lang=EN>
- [FOR01] Forstén, Jarl, Sähkön toimitusvarmuuden parantaminen. KTM 2002.
- [HEM07] Kaj I. Hemming, toimitusjohtaja. Haastattelu, haastattelijana Harri Ranta. Veljekset Hemming Oy 2007.
- [IEE01] IEEE 1366-2001 IEEE Guide for Electric Power Distribution Reliability Indices. IEEE Power Engineering Society 2001.
- [LAK96] Lakervi, Erkki, Sähkönjakeluverkkojen suunnittelu. Otatieto 1996.
- [LUO05] Verho – Pylvänäinen – Järvinen – Oravasaari – Kunttu – Sarsama, Luotettavuuspohjaisen verkostoaalyysin (LuoVa) -projektin loppuraportti. Tampereen teknillinen yliopisto. Tampere 2005.
- [MAA02] Leivo – Rantala, Maanvaraisten alapohjarakenteiden kosteustekninen toimivuus. Tampereen teknillinen korkeakoulu. Tampere 2002. [viitattu 12.01.2007] Saatavissa:
<http://www.tut.fi/units/rka/rtek/tutkimus/rakennusfysiikka/raportit/Raportti120.pdf>
- [SA 5:94] Verkostosuositus SA 5:94 Keski-jänniteverkon sähköinen mitoittaminen, Sähköenergialiitto ry.
- [SFS00] SFS-EN 50160 Yleisen jakeluverkon jakelujännitteen ominaisuudet. Suomen standardisoimisliitto SFS 2000.
- [SFS01] SFS 6001 Suurjännitesähköasennukset. Suomen standardisoimisliitto SFS 2001.
- [SFS88] SFS 2664 Standardijännitteet. Suomen standardisoimisliitto SFS 1988.
- [TK 2:87] Verkostosuositus TK 2:87 Kaapelialaus, Sähköenergialiitto ry.
- [VFV] Vattenfall Verkko Oy:n julkaisematon materiaali.

LIITTEET

- Liite 1 Eräiden keskijännitekaapeleiden teknisiä tietoja
- Liite 2 Huipputehon mitoituksessa käytetyt kertoimet
- Liite 3 Käyttäjän määriteltävissä olevat laskentaparametrit
- Liite 4 Kohdealueen KJ-laskentatulokset
- Liite 5 Kohdealueen PJ-laskentatulokset
- Liite 6 Kohdealueen verkon rakenteiden ikä
- Liite 7 Kohdealueen RNA- ja AM-laskentatulokset

AHXAMK-W, 12/20 kV

Lähde: Reka Oy, Solar Suomi Oy



Noudattaa rakennestandardeja:
SFS 5636, HD 620-5F S1, IEC 60502-1

Rakenne

Vaihejohtin:	Vesitiivis, pyöreä alumiiniköysi
Johdinsuoja:	Puolijohtava muovi
Eristys:	PEX-muovi
Hohtosuoja:	Puolijohtava muovi
Vesitiivistys:	Puolijohtava nauha, joka paisuu veden vaikutuksesta ja muodostaa esteen veden pitkittäiselle etenemiselle.
Kosketussuoja:	Alumiini-muovilaminaatti, joka toimii myös vesitiivistyksenä poikittaissuunnassa.
Vaihevaippa:	Musta säänkestävä PE-muovi
Keskusköysi:	Pyöreä kupariköysi
Kertaus:	Kolme vaipattua vaihejohtinta on kerrattu keskusköyden ympärille.

Mekaaniset ominaisuudet

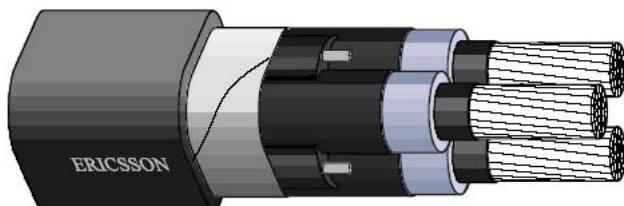
AHXAMK-W 12/20 kV	3x70+35	3x95+35	3x120+35	3x150+35	3x185+35	3x240x35	3x300x+35
Vaihevaipan halkaisija	30 mm	33 mm	34 mm	35 mm	37 mm	40 mm	43 mm
Ulkohalkaisija	66 mm	71 mm	74 mm	76 mm	80 mm	89 mm	94 mm
Matalin asennuslämpötila	-20 °C	-20 °C	-20 °C	-20 °C	-20 °C	-20 °C	-20 °C
Taivutussäde	370 mm	400 mm	420 mm	430 mm	450 mm	500 mm	530 mm
Paino	2650 kg/km	3100 kg/km	3450 kg/km	3800 kg/km	4300 kg/km	5500 kg/km	6250 kg/km

Sähköiset ominaisuudet (+20 °C)

AHXAMK-W 12/20 kV	3x70+35	3x95+35	3x120+35	3x150+35	3x185+35	3x240x35	3x300x+35
Johtimen halkaisija	9,6 mm	11,3 mm	12,7 mm	14,1 mm	15,7 mm	18,1 mm	20,3 mm
Johtimen resistanssi	0,443 Ω/km	0,320 Ω/km	0,253 Ω/km	0,206 Ω/km	0,164 Ω/km	0,125 Ω/km	0,100 Ω/km
Keskusköyden resistanssi	0,524 Ω/km	0,524 Ω/km	0,524 Ω/km	0,524 Ω/km	0,524 Ω/km	0,524 Ω/km	0,524 Ω/km
Induktanssi	0,42 mH/km	0,40 mH/km	0,39 mH/km	0,37 mH/km	0,36 mH/km	0,35 mH/km	0,34 mH/km
Kapasitanssi	0,18 µF/km	0,21 µF/km	0,22 µF/km	0,24 µF/km	0,26 µF/km	0,29 µF/km	0,32 µF/km

AXAL-TT PRO 24 kV

Lähde: Ericsson Network Technologies AB

**Rakenne**

Vaihejohdin:	Pyöreä alumiiniköysi
Johdinsuoja:	Puolijohtava muovi
Eristys:	PEX-muovi
Suojajohdin:	Alumiini
Pitkittäisvesitiivistys:	Nauha ja pulveri, joka paisuu veden vaikutuksesta ja muodostaa esteen veden pitkittäiselle etenemiselle.
Poikittäisvesitiiviys:	Alumiinifolio, joka on liimattu kaapelivaippaan.
Kaapelivaippa:	PE-muovi

Mekaaniset ominaisuudet

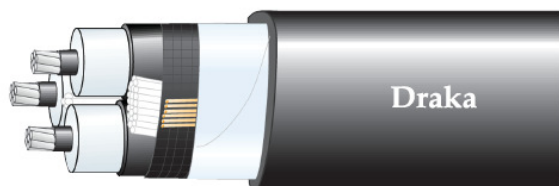
Johdin pinta-alat [mm ²]	<u>3x25+25</u>	<u>3x50+25</u>	<u>3x95+25</u>	<u>3x150+35</u>	<u>3x240+35</u>
Johtimen halkaisija [mm]	5,9	8,1	11,2	14,0	18,0
Vaihevaipan halkaisija [mm]	18,0	19,8	23,1	25,9	30,0
Ulkohalkaisija [mm]	47	48	55	61	70
Taivutussäde (päiden välillä) [mm]	550	552	636	708	804
Paino [kg/km]	1300	1700	2500	3500	4300
Suurin vetovoima kelalta purettaessa [kN]	9,0	10,6	14,0	17,4	22,4

Sähköiset ominaisuudet (+20 °C)

Johdin pinta-alat [mm ²]	<u>3x25+25</u>	<u>3x50+25</u>	<u>3x95+25</u>	<u>3x150+35</u>	<u>3x240+35</u>
Johtimen resistanssi [Ω /km]	1,20	0,641	0,320	0,206	0,125
Suojan resistanssi [Ω /km]	1,2	1,2	1,2	0,80	0,80
Induktanssi [mH/km]	0,42	0,37	0,34	0,32	0,29
Kapasitanssi [μ F/km]	0,13	0,16	0,19	0,23	0,27
Kapasitiivinen maasulkuvirta [A/km]	1,64	2,02	2,50	2,94	3,51

AXLJ-TT 14/24 kV

Lähde: Draka Kabel Sverige AB



Noudattaa rakennestandardeja:
HD 620-osa 6 jae K

Rakenne

Vaihejohdin:	Pyöreä alumiiniköysi
Johdinsuoja:	Puolijohtava muovi
Eristys:	PEX-muovi
Suojajohdin:	Hehkutettu kuparijohdin
Pitkittäisvesitiivistys:	Johtava nauha ja hihna, jotka paisuvat veden vaikutuksesta ja muodostavat esteen veden pitkittäiselle etenemiselle.
Poikittaisvesitiiviys:	Alumiinifolio, joka on liimattu kaapelivaippaan.
Kaapelivaippa:	PE-muovi

Mekaaniset ominaisuudet

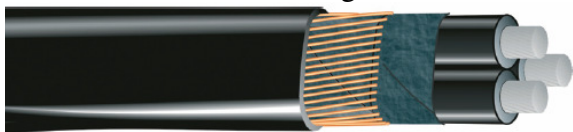
Johdin pinta-alat [mm ²]	3x25+16	3x50+16	3x95+16	3x150+25	3x240+25
Vaihevaipan halkaisija [mm]	19,1	21,2	24,5	27,4	31,3
Ulkohalkaisija [mm]	47,7	52,6	60,1	66,8	75,8
Taivutussäde (päiden välillä) [mm]	382	421	481	535	607
Paino [kg/km]	1575	1968	2695	347,2	4690

Sähköiset ominaisuudet (+20 °C)

Johdin pinta-alat [mm ²]	3x25+16	3x50+16	3x95+16	3x150+25	3x240+25
Johtimen resistanssi [Ω /km]	1,20	0,641	0,320	0,206	0,125
Suojan resistanssi [Ω /km]	1,2	1,2	1,2	0,80	0,80
Induktanssi [mH/km]	0,42	0,38	0,34	0,32	0,30
Reaktanssi [Ω /km]	0,13	0,12	0,11	0,10	0,09
Kapasitanssi [μ F/km]	0,14	0,17	0,20	0,24	0,29
Kapasitiivinen maasulkuvirta [A/km]	1,8	2,2	2,6	3,2	3,8

AXLJ-RMF 14/24 kV

Lähde: Draka Kabel Sverige AB



Noudattaa rakennestandardeja:
HD 620-osa 6 jae M

Rakenne

Vaihejohdin:	Pyöreä alumiiniköysi
Johdinsuoja:	Puolijohtava muovi
Eristys:	PEX-muovi
Suojajohdin:	Hehkutettu kuparijohdin
Kaapelivaippa:	PE-muovi

Mekaaniset ominaisuudet

Johdin pinta-alat [mm ²]	<u>3x25+16</u>	<u>3x50+16</u>	<u>3x95+16</u>	<u>3x150+25</u>	<u>3x240+25</u>
Vaihevaipan halkaisija [mm]	18,3	20,4	23,7	26,6	30,5
Ulkohalkaisija [mm]	49,0	53,9	61,4	68,1	77,1
Taivutussäde (päiden välillä) [mm]	392	432	492	545	617
Paino [kg/km]	1470	1849	2552	3285	4412

Sähköiset ominaisuudet vastaavat AXLJ-TT tyyppisen kaapelin vastaavien poikkipintojen arvoja.

PEX-muovi eristeisen johtimen kuormitettavuus

Lähde: Ericsson, Kraftkabel handboken.

Kuormitettavuus: 3-johdiminen kaapeli maahan asennettuna.

Johdin pinta-ala [mm ²]	Kuormitettavuus [A]		Maks. 1 sekunnin kestoinen kuormitettavuus. [kA]		
	65 °C	90 °C	35 °C	70 °C	90 °C
25	100	115	2,9	2,5	2,4
50	145	170	5,7	5,1	4,7
70	175	205	8,0	7,1	6,6
95	205	240	10,9	9,7	9,0
120	230	270	13,7	12,2	11,3
150	260	310	17,2	15,3	14,2
185	290	245	21,2	18,8	17,5
240	340	400	27,5	24,4	22,7
300	380	450	34,3	30,5	28,3

Jatkuvan tilan suurin sallittu johtimen lämpötila on 90 °C.

Velanderin kertoimet talvihiipun etsimiseen.

Kuluttajaryhmä	k_1	k_2
Kotitaloudet yhdistetty	0,30	0,00
Yhdistetty sähkölämmitys ja asuminen	0,27	0,02
Maatalous	0,23	0,04
Maatalous, viljantuotanto	0,20	0,08
Palvelu, yhdistetty	0,20	0,04
Teollisuus, 1-vuoro	0,34	0,10
Teollisuus, 2-vuoro	0,17	0,11
Vapaa-ajan asunnot	0,17	0,03

SLY:n kuormitustutkimuksessa selvitetty osallistumiskertoimien α_i -arvot.

Kuluttajaryhmä	Osallistumiskerroin						
	Kellonaika						
	8-9	9-10	15-16	16-17	17-18	21-22	22-23
Kotitaloudet yhdistetty	0,55	0,50	0,60	0,80	0,95	0,75	0,55
Yhdistetty sähkölämmitys ja asuminen	0,50	0,50	0,55	0,55	0,60	0,75	1,00
Maatalous	0,95	0,70	0,55	0,75	1,00	0,50	0,40
Maatalous, viljanviljely	0,95	1,00	0,85	0,80	0,80	0,85	0,95
Palvelu yhdistetty	0,90	1,00	0,90	0,80	0,80	0,50	0,45
Teollisuus, 1-vuoro	0,95	1,00	0,80	0,45	0,35	0,20	0,20
Teollisuus, 2-vuoro	0,95	1,00	0,80	0,70	0,65	0,45	0,40
Vapaa-ajan asunnot	0,95	0,95	0,90	0,95	0,95	0,95	0,90

Lähde: Sähköenergialiitto ry, Verkostosuositus SA 5:94 Keski-jänniteverkon sähköinen mitoittaminen.

Käyttäjän määriteltävissä olevat laskentaparametrit

Oletusparametreina tehonjakolaskennassa käytetään seuraavia arvoja:

Tyyppikäyrien kirjasto = VFV2003
Laskentajännite = Mitoitusvuorokausi
Todennäköisyys = Laskenta ilman hajontoja
Kulutus = Tuntimittaukset / Kuormituskäyrät
Yleinen laskentajännite (V) = 231 / 20600
Tehohäviön hinta (€/kW,a) = 0,00
Energiahäviön hinta (€/kWh,a) = 0,021
Kuormien kasvukerroin = 0

Oletusparametreina PJ -oikosulkulaskennassa käytetään seuraavia arvoja:

Laskentajännite (V) = 219 V
Johdinlämpötila (°C) = 40
Sulaketyypin oletusarvo = IEC:n maksimikäyrä
Runkojohdon sulakkeen pisin sulamisaika (s) = 5,0

Oletusparametreina KJ -oikosulkulaskennassa käytetään seuraavia arvoja:

Laskentajännite = Vain SJ/KJ-muuntajalta
Jännitekerroin I_{kmax} -laskentaan = 1,10
Johdinlämpötila (°C) = 40

Oletusparametreina maasulkulaskennassa käytetään seuraavia arvoja:

Vikaresistanssi 1 (Ω) = 500
Vikaresistanssi 2 (Ω) = 0
Maadoitusten mitoitusvirta (A) = 0
Maadoitusmittaustarkistus = Kaikki kohteet

Tehonjakolaskennan tulokset suunnitelmaversioittain:

Lähtö	Muuntaja	Versio	U _{las} (kV)	I _{max} (A)	P _{max} (kW)	U _{min} (kV)	Kul lkm	E (MWh)	P _h (kW)	E _h (MWh)
08 KAR_TUORILA	KARPT2	nykyinen	20,6	81	2 868	20,27	1 538	11 509	55,79	115,56
		A		74	2 599	20,34	1 462	10 334	47,86	98,83
		B		73	2 594	20,36	1 462	10 327	46,45	96,10
		C		74	2 591	20,36	1 462	10 327	46,27	95,79
10 KAR_HUHTI	KARPT2	nykyinen	20,6	58	2 037	20,44	919	8 918	11,91	30,97
		A+B+C		65	2 286	20,44	998	10 107	13,31	34,90
17 KAR_VATTO	KARPT1	nykyinen	20,6	41	1 449	20,51	481	5 640	3,68	7,52
		A+B+C		41	1 445	20,51	481	5 621	3,66	7,42

Oikosulkulaskennan tulokset suunnitelmaversioittain:

Lähtö	Asema	Muuntaja	Versio	U _{las} (kV)	R _f (Ω)	X _f (Ω)	I _{k2max} (kA)	I _{kmin} (kA)
08 KAR_TUORI	KARKKILA	KARPT2	nykyinen	20,6	0,21	2,72	4,796	1,555
			A		0,21	2,72	4,796	2,398
			B		0,21	2,72	4,796	2,491
			C		0,21	2,72	4,796	2,484
01 SKLA_VUOT	SIIKALA_KA	KARPT2	nykyinen	20,6	2,61	4,49	2,519	0,524
			A		2,27	3,53	3,117	0,546
			B		2,10	3,46	3,234	0,552
			C		2,11	3,47	3,225	0,552
02 SKLA_PILP	SIIKALA_KA	KARPT2	nykyinen	20,6	2,61	4,49	2,519	0,670
			A		2,27	3,53	3,117	0,711
			B		2,10	3,46	3,234	0,721
			C		2,11	3,47	3,225	0,720
03 SKLA_VASK	SIIKALA_KA	KARPT2	nykyinen	20,6	2,61	4,49	2,519	0,433
			A		2,27	3,53	3,117	0,449
			B		2,10	3,46	3,234	0,452
			C		2,11	3,47	3,225	0,452
10 KAR_HUHTI	KARKKILA	KARPT2	kaikissa	20,6	0,21	2,72	4,796	2,104
17 KAR_VATTO	KARKKILA	KARPT1	kaikissa	20,6	0,22	2,72	4,799	1,691

Kohdealueen KJ-laskentatulokset

Maasulkulaskennan tulokset suunnitelmaversioittain, päämuuntaja KARPT01:

Katkaisija	Lähtö	Asema	Versio	I _{e1} (A)	I _{e2} (A)	U ₀ (kV)	Vika muualla		Oma vika	
							I _{r1} (A)	I _{r2} (A)	I _{r1} (A)	I _{r2} (A)
PITKJ02Q0	02 PITK_LAAR	PITKÄLÄ_KA	nykyinen A, B ja C	26,2	17,6	8,0	0,7	0,4	25,6	17,2
				27,1	17,9	7,8	0,7	0,4	26,5	17,4
PITKJ06Q0	06 PITK_NORD	PITKÄLÄ_KA	nykyinen A, B ja C	26,2	17,6	8,0	3,1	2,1	23,1	15,5
				27,1	17,9	7,8	3,1	2,1	24,0	15,8
PITKJ07Q0	07 PITK_AHMO	PITKÄLÄ_KA	nykyinen A, B ja C	26,2	17,6	8,0	3,8	2,6	22,4	15,0
				27,1	17,9	7,8	3,8	2,5	23,3	15,4
KARJ15Q0	15 KAR_SAIRA	KARKKILA	nykyinen A, B ja C	26,2	17,6	8,0	20,8	14,0	5,4	3,7
				27,1	17,9	7,8	20,8	13,7	6,4	4,2
KARJ17Q0	17 KAR_VATTO	KARKKILA	nykyinen A, B ja C	26,2	17,6	8,0	5,4	3,7	20,8	14,0
				27,1	17,9	7,8	6,4	4,2	20,8	13,7

Alaindeksi 1 = Tulos vikaresistanssin arvolla R_f = 0 Ω

Alaindeksi 2 = Tulos vikaresistanssin arvolla R_f = 500 Ω

Maasulkulaskennan tulokset suunnitelmaversioittain, päämuuntaja KARPT02:

Katkaisija	Lähtö	Asema	Versio	I _{e1} (A)	I _{e2} (A)	U ₀ (kV)	Vika muualla		Oma vika	
							I _{r1} (A)	I _{r2} (A)	I _{r1} (A)	I _{r2} (A)
KARJ08Q0	08 KAR_TUORI	KARKKILA	nykyinen	57,5	22,0	4,5	14,5	5,5	43,1	16,4
			A	75,8	22,7	3,6	30,2	9,0	45,7	13,7
			B	73,7	22,6	3,7	28,1	8,6	45,6	14,0
			C	73,9	22,6	3,6	28,2	8,7	45,7	14,0
SKLAJ01Q0	01 SKLA_VUOT	SIIKALA_KA	nykyinen	57,5	22,0	4,5	4,5	1,7	53,0	20,3
			A	75,8	22,7	3,6	5,3	1,6	70,6	21,1
			B	73,7	22,6	3,7	4,6	1,4	69,2	21,2
			C	73,9	22,6	3,6	4,6	1,4	69,3	21,2
SKLAJ02Q0	02 SKLA_PILP	SIIKALA_KA	nykyinen	57,5	22,0	4,5	4,1	1,6	53,5	20,4
			A	75,8	22,7	3,6	4,1	1,2	71,8	21,5
			B	73,7	22,6	3,7	4,1	1,2	69,7	21,4
			C	73,9	22,6	3,6	4,1	1,2	69,8	21,4
SKLAJ03Q0	03 SKLA_VASK	SIIKALA_KA	nykyinen	57,5	22,0	4,5	4,4	1,7	53,1	20,3
			A	75,8	22,7	3,6	4,7	1,4	71,1	21,3
			B	73,7	22,6	3,7	4,7	1,5	69,0	21,2
			C	73,9	22,6	3,6	4,7	1,5	69,2	21,2
KARJ10Q0	10 KAR_HUHTI	KARKKILA	nykyinen	57,5	22,0	4,5	9,5	3,6	48,0	18,3
			A	75,8	22,7	3,6	12,1	3,6	63,7	19,1
			B	73,7	22,6	3,7	12,1	3,7	61,7	18,9
			C	73,9	22,6	3,6	12,1	3,7	61,8	18,9
KARJ12Q0	12 KAR_HÖGFO	KARKKILA	nykyinen	57,5	22,0	4,5	2,2	0,8	55,4	21,2
			A	75,8	22,7	3,6	2,2	0,6	73,7	22,1
			B	73,7	22,6	3,7	2,2	0,7	71,6	22,0
			C	73,9	22,6	3,6	2,2	0,7	71,7	22,0

Katkaisija	Lähtö	Asema	Versio	I _{e1} (A)	I _{e2} (A)	U ₀ (kV)	Vika muualla		Oma vika	
							I _{r1} (A)	I _{r2} (A)	I _{r1} (A)	I _{r2} (A)
KARJ14Q0	14 KAR_MEIJE	KARKKILA	nykyinen	57,5	22,0	4,5	15,9	6,1	41,7	15,9
			A	75,8	22,7	3,6	15,9	4,8	59,9	17,9
			B	73,7	22,6	3,7	15,9	4,9	57,9	17,8
			C	73,9	22,6	3,6	15,9	4,9	58,0	17,8
KARJ16Q0	16 KAR_VALTA	KARKKILA	nykyinen	57,5	22,0	4,5	11,8	4,5	45,8	17,5
			A	75,8	22,7	3,6	11,8	3,5	64,1	19,2
			B	73,7	22,6	3,7	11,8	3,6	62,0	19,0
			C	73,9	22,6	3,6	11,8	3,6	62,1	19,0
KARJ18Q0	18 KAR_HAAPA	KARKKILA	nykyinen	57,5	22,0	4,5	3,8	1,4	53,8	20,5
			A	75,8	22,7	3,6	3,8	1,1	72,1	21,6
			B	73,7	22,6	3,7	3,8	1,2	70,0	21,5
			C	73,9	22,6	3,6	3,8	1,2	70,1	21,5

Alaindeksi 1 = Tulos vikaresistanssin arvolla $R_f = 0 \Omega$

Alaindeksi 2 = Tulos vikaresistanssin arvolla $R_f = 500 \Omega$

Kohdealueen PJ-laskentatulokset**Muuntopiiri: Tuorilantie****Kuormitus: Tuorilantie**

Versio	Kohde	S (kVA)	K-aste (%)	U _{min} (V)	U _h (%)	P _h (kW)	E _h (kWh)	t _H (h)	t _h (h)
Kaikki	Muuntaja	500	25	236	0,50	1,111	7 469	3 821	2 204
	Verkko		32	234	1,5	0,921	2 029		
Mitoitus	Muuntaja	500	55	229	0,90	2,391	10 438	3 995	2 286
	Verkko		64	219	5,40	6,092	13 923		

Tehonjako ja oikosulku: Tuorilantie

Versio	Lähdön tunnus	Lähdön suunta	Sulake (A)	I _{max} (A)	P _{max} (kW)	Kul. lkm	E (MWh)	I _{kt1min} (A)
Kaikki	52894	muuntaja		178	122	43	467,7	12 831
	1	jk Nahkurinkuja 4-6	250	12	9	5	29,6	439
	2	jk Aholantie 2-4	250	49	35	8	126,2	540
	3	Tuorilantie 12	315	81	54	14	191,1	3 420
	4	Tuorilantie 10-18	80	46	32	16	120,7	711
Mitoitus	52894	muuntaja		402	271	62	1 083	12 831
	1	jk Nahkurinkuja 4-6	250	90	61	12	219,6	439
	2	jk Aholantie 2-4	315	212	142	20	551,2	540
	3	Tuorilantie 12	315	84	54	14	191,1	3 420
	4	Tuorilantie 10-18	80	48	32	16	120,7	711

Johtopituudet: Tuorilantie

Versio	Lähtö	Maa	AMKA	Muu	Summa (m)
Kaikki	1	803	0	19	822
	2	695	0	5	700
	3	98	0	0	98
	4	118	279	35	432
	Summa	1 714	279	59	2 052
Mitoitus	1	1 259	0	19	1 278
	2	1 818	0	5	1 823
	3	98	0	0	98
	4	118	279	35	432
	Summa	3 293	279	59	3 631

Muuntopiiri: Jokiväärä**Kuormitus: Jokiväärä**

Kohde	S (kVA)	K-aste (%)	U _{min} (V)	U _h (%)	P _h (kW)	E _h (kWh)	t _H (h)	t _h (h)
Muuntaja	315	16	236,8	0,3	0,721	5610	3722	2068
Verkko		28	233,6	1,7	0,423	875		

Kohdealueen PJ-laskentatulokset

Tehonjako ja oikosulku: Jokiväärä

Lähdön tunnus	Lähdön suunta	Sulake (A)	I _{max} (A)	P _{max} (kW)	Kul. lkm	E (MWh)	I _{k3max} (A)	I _{k1min} (A)
X10279	muuntaja		71	50	10	186,9	9740	7631
1	jk Märsyntie	250	54	38	9	140,5	9006	552
2	Märsyntie 16	63	30	21	1	46,4	8945	1289

Johtopituudet: Jokiväärä

Lähtö	Maa	AMKA	Muu	Summa (m)
1	522	91	5	618
2	174	0	0	174
Summa	696	99	5	800

Muuntopiiri: Kauppatie

Kuormitus: Kauppatie

Versio	Kohde	S (kVA)	K-aste (%)	U _{min} (V)	U _h (%)	P _h (kW)	E _h (kWh)	t _H (h)	t _h (h)
Nykyinen	Muuntaja	200	27	236,2	0,5	0,585	3929	3817	2093
	Verkko		43	232,6	2,1	0,479	1003		
Mitoitus	Muuntaja	500	47	229,1	0,8	2,158	10619	3946	2108
	Verkko		52	220,2	4,7	4,803	10124		
A+B+C	Muuntaja	500	20	230,2	0,3	1,124	8328	3886	2091
	Verkko		45	225,1	2,6	1,34	2803		

Tehonjako ja oikosulku: Kauppatie

Versio	Lähdön tunnus	Lähdön suunta	Sulake (A)	I _{max} (A)	P _{max} (kW)	Kul. lkm	E (MWh)	I _{k1min} (A)
Nykyinen	52909	muuntaja		77	54	24	205,3	5067
	1	jk Aittomäenpolku 4	250	48	33	17	121,7	292
	2	Järvenpääntie pylvä	63	0	0	0	0	936
	3	Kauppatie	125	11	7	3	26	389
	4	jk Taniaksentie 4	200	22	16	4	57,6	434
Mitoitus		muuntaja		342	232	50	917,2	12222
	1	jk Aittomäenpolku 4	250	49	33	17	121,7	297
	3	Kauppatie	125	11	7	3	26	401
	4	jk, Taniaksentie 4	250	114	77	13	262,6	447
	5	jk, Jokiväärä	250	145	96	16	366,9	470
	6	jk, Rivitalot	250	57	38	1	140	1755
A+B+C		muuntaja		143	97	33	378,4	12224
	1	jk Aittomäenpolku 4	250	49	33	17	121,8	298
	3	Kauppatie	125	11	8	3	27,1	400
	4	jk Taniaksentie 4	250	17	12	3	42,6	448
	5	jk Jokiväärä	250	74	51	10	186,9	473

Kohdealueen PJ-laskentatulokset

Johtopituudet: Kauppatie

Versio	Lähtö	Maa	AMKA	Muu	Summa (m)
Nykyinen	1	729	822	41	1592
	2	75	126	0	201
	3	75	301	8	384
	4	635	0	0	635
	Summa	1514	1257	49	2820
Mitoitus	1	73	301	8	382
	2	73	126	0	199
	3	729	822	41	1592
	4	921	0	0	921
	5	1374	91	5	1470
	6	280	0	0	280
Summa	3450	1340	54	4844	
A+B+C	1	698	848	43	1589
	2	74	126	0	200
	3	74	301	8	383
	4	534	0	0	534
	5	881	91	5	977
Summa	2261	1366	56	3683	

Muuntopiiri: Järvenpäantie

Kuormitus: Järvenpäantie

Kohde	S (kVA)	K-aste (%)	U _{min} (V)	U _n (%)	P _n (kW)	E _n (kWh)	t _H (h)	t _h (h)
Muuntaja	500	38	235,5	0,7	1,443	8100	4502	2436
Verkko		38	228,7	3,5	3,481	8481		

Tehonjako ja oikosulku: Järvenpäantie

Lähdön tunnus	Lähdön suunta	Sulake (A)	I _{max} (A)	P _{max} (kW)	Kul. lkm	E (MWh)	I _{k1min} (A)
52625	muuntaja		266	186	44	838	11568
1	Jk Järvenpäantie 10	250	32	23	6	78,5	369
2	Kallioahtentie pylväs	125	23	16	6	63,9	642
3	JK Huvilatie 11	250	134	92	20	413,1	538
4	JK Elonkuja 2-4	250	7	5	1	18,7	1163
5	Jussilantie 4	80	1	1	1	3,1	2294
7	JK Järvenpäantie 57	250	100	68	10	260,7	349

Kohdealueen PJ-laskentatulokset

Johtopituudet: Järvenpääntie

Lähtö	Maa	AMKA	Muu	Summa
1	480	0	10	490
2	202	384	9	595
3	1829	0	20	1849
4	156	0	0	156
5	173	0	0	173
7	1654	0	5	1659
Summa	4494	384	44	4922

Muuntopiiri: Mikkola**Kuormitus: Mikkola**

Kohde	S (kVA)	K-aste (%)	U _{min} (V)	U _h (%)	P _h (kW)	E _h (kWh)	t _H (h)	t _h (h)
Muuntaja	100	78	231,9	2,1	1,44	4379	3634	1956
Verkko		51	222,4	6,1	1,24	2426		

Tehonjako ja oikosulku: Mikkola

Lähdön tunnus	Lähdön suunta	Sulake (A)	I _{max} (A)	P _{max} (kW)	Kul. lkm	E (MWh)	I _{k1min} (A)
X10278	muuntaja		113	76	25	277	4166
1	Kallioahtentie/Kauppatie	50	33	22	8	77,6	339
3	Sepäntie	80	42	29	8	106	456
4	Työväentalo/Porintie	50	22	14	7	53,9	233
5	Tievalaistuskeskus/Tiehallinto	35	17	11	2	39,5	493

Johtopituudet: Mikkola

Lähtö	Maa	AMKA	Muu	Summa (m)
1	78	465	26	569
3	128	484	21	633
4	106	840	18	964
5	15	146	4	165
Summa	327	1943	69	2339

Muuntopiiri: Saavajoki**Kuormitus: Saavajoki**

Versio	Kohde	S (kVA)	K-aste (%)	U _{min} (V)	U _h (%)	P _h (kW)	E _h (kWh)	t _H (h)	t _h (h)
Nykyinen+C	Muuntaja	100	53	234	1,3	0,648	2823	4077	2774
	Verkko		47	221	6,3	1,632	4526		
A+B	Muuntaja	100	49	228	1,2	0,62	2724	4230	2600
	Verkko		33	222	4,1	1,073	2791		

Kohdealueen PJ-laskentatulokset

Tehonjako ja oikosulku: Saavajoki

Versio	Lähdön tunnus	Lähdön suunta	Sulake (A)	I _{max} (A)	P _{max} (kW)	Kul. lkm	E (MWh)	I _{k1min} (A)
Nykyinen+C	147914	muuntaja		75	51	11	208,1	2888
	1	Vaskoinmäentie 19	50	20	13	4	39,1	207
	2	Hiekkamäki/Mäkilä	35	38	25	3	118,3	157
	3	Vaskoinmäentie 103	80	20	14	4	50,6	405
A+B		muuntaja		72	48	11	201,1	3025
	1	jk Vaskoinmäentie 87	160	57	37	7	168,9	198
	2	hk, Vaskoinmäentie 31	63	15	10	3	32,1	362
	3	Vaskoinmäentie	63	0	0	1	0	564

Johtopituudet

Versio	Lähtö	Maa	AMKA	Muu	Summa
Nykyinen+C	1	22	606	14	642
	2	75	546	8	629
	3	130	327	0	457
	Summa	227	1482	22	1731
A+B	1	925	230	8	1163
	2	642	0	9	651
	3	130	0	5	135
	Summa	1697	230	22	1949

Muuntopiiri: Tuorilan mylly

Kuormitus: Tuorilan mylly

Versio	Kohde	S (kVA)	K-aste (%)	U _{min} (V)	U _h (%)	P _h (kW)	E _h (kWh)	t _H (h)	t _h (h)
Nykyinen+B	Muuntaja	200	36	232,2	0,7	0,786	4835	4082	2525
	Verkko		33	227,4	3,5	0,997	2518		
A+C	Muuntaja	200	36	229,3	0,8	0,694	3765	4076	2495
	Verkko		19	222,6	3,6	1,101	2746		

Tehonjako ja oikosulku: Tuorilan mylly

Versio	Lähdön tunnus	Lähdön suunta	Sulake (A)	I _{max} (A)	P _{max} (kW)	Kul, lkm	E (MWh)	I _{k1min} (A)
Nykyinen+B	370303	muuntaja		104	71	27	289,6	5114
	1	Hajakantie	63	13	9	3	34,5	256
	2	Siikalantie 91	63	43	30	7	111,2	396
	3	Siikalantie, Porintie	80	32	22	12	99,2	200
	4	Paloasema	80	16	11	5	44,8	314
A+C		muuntaja		107	71	27	290,2	5153
	1	Hajakantie	63	13	9	3	34,5	257
	2	Siikalantie 91	63	41	27	6	102,3	398
	3	Siikalantie, Porintie	80	45	30	15	135,4	200
	4	Siikalantie 50, 56	63	4	2	2	8,4	260
	5	Rautojantie 3	63	4	3	1	9,7	1486

Kohdealueen PJ-laskentatulokset

Johtopituudet: Tuorilan mylly

Versio	Lähtö	Maa	AMKA	Muu	Summa
Nykyinen+B	1	23	634	16	673
	2	141	328	34	503
	3	499	1100	14	1613
	4	81	226	2	309
	Summa	744	2288	66	3098
A+C	1	23	634	16	673
	2	93	328	34	455
	3	499	1100	14	1613
	4	81	226	2	309
	5	48	0	0	48
Summa	744	2288	66	3098	

Muuntopiiri: Siikalankoski

Kuormitus: Siikalankoski

Versio	Kohde	S (kVA)	K-aste (%)	U _{min} (V)	U _n (%)	P _n (kW)	E _n (kWh)	t _H (h)	t _h (h)
Nykyinen	Muuntaja	50	65	232,3	1,9	0,676	2442	3568	1804
	Verkko		22	229,3	3,1	0,294	531		
A+B+C	Muuntaja	50	65	226,9	1,8	0,583	1858	3563	1569
	Verkko		19	222,4	3,7	0,338	530		

Tehonjako ja oikosulku: Siikalankoski

Versio	Lähdön		Sulake		P _{max} (kW)	Kul. lkm	E (MWh)	I _{k1min} (A)
	tunnus	Lähdön suunta	(A)	I _{max} (A)				
Nykyinen	X10850	muuntaja		46	32	12	113,5	2179
	1	hk Siikalantie 191	63	18	12	3	36,2	334
	2	jk Koivuniementie 1	80	22	15	7	59,3	279
	3	Siikalantie 209 ja 213	63	7	5	2	18	461
A+B+C		muuntaja		48	32	12	113,5	1532
	1	jk Koivuniementie	80	22	15	7	59,3	321
	2	hk Siikalantie 209	63	26	17	5	54,3	268

Johtopituudet: Siikalankoski

Versio	Lähtö	Maa	Muu	Summa
Nykyinen	1	760	6	766
	2	1155	16	1171
	3	245	8	253
	Summa	2160	30	2190
A+B+C	1	976	16	992
	2	1195	14	1209
	Summa	2171	30	2201

Kohdealueen PJ-laskentatulokset**Muuntopiiri: Alestalo****Kuormitus: Alestalo**

Kohde	S (kVA)	K-aste (%)	U _{min} (V)	U _n (%)	P _n (kW)	E _n (kWh)	t _H (h)	t _h (h)
Muuntaja	50	18	234,7	0,8	0,184	1240	2874	1134
Verkko		14	233,2	1,4	0,05	57		

Tehonjako ja oikosulku: Alestalo

Lähdön tunnus	Lähdön suunta	Sulake (A)	I _{max} (A)	P _{max} (kW)	Kul. lkm	E (MWh)	I _{k1min} (A)
X10170	muuntaja		13	8	2	24,4	1581
2	Pajuojaantie	35	2	2	1	5,5	331
3	Siikalantie 268	50	11	7	1	18,9	571

Johtopituudet: Alestalo

Lähtö	Maa	AMKA	Muu	Summa
2	0	355	10	365
3	8	260	0	268
Summa	8	615	17	640

Muuntopiiri: Siikala KA**Kuormitus: Siikala KA**

Versio	Kohde	S (kVA)	K-aste (%)	U _{min} (V)	U _n (%)	P _n (kW)	E _n (kWh)	t _H (h)	t _h (h)
Nykyinen	Muuntaja	100	17	235,5	0,4	0,299	2265	3350	1678
	Verkko		35	231,8	2,0	0,222	373		
A+B+C	Muuntaja	100	26	234,8	0,7	0,367	2350	3178	1480
	Verkko		35	231,2	2,3	0,346	512		

Tehonjako ja oikosulku: Siikala KA

Versio	Lähdön tunnus	Lähdön suunta	Sulake (A)	I _{max} (A)	P _{max} (kW)	Kul. lkm	E (MWh)	I _{k1min} (A)
Nykyinen	X10371	muuntaja		24	16	4	54,6	2787
	1	jk Siikalantie 321	125	24	16	4	54,6	285
A+B+C	X10371	muuntaja		37	25	6	79	2787
	1	jk Siikalantie 321	125	24	16	4	54,6	285
	2	hk Siikalantie	63	13	9	2	24,4	304

Johtopituudet: Siikala KA

Versio	Lähtö	Maa	AMKA	Muu	Summa
Nykyinen	Summa	899	140	8	1047
A+B+C	1	899	140	8	1047
	2	568	0	10	578
	Summa	1467	140	18	1625

Kohdealueen verkon rakenteiden ikä

VFV:n määrittelemät käyttöiät keskijänniteverkon osille ovat seuraavat:

- Keskijänniteilmajohdot	40 v
- Keskijännitekaapelit	45 v
- Pylväsmuuntamot	35 v
- Puistomuuntamot	40 v
- Kiinteistömuuntamot	40 v
- Jakelumuuntajat	35 v

Verkkokomponenttien ikä on taulukoitu sähköasemalta lähtien.

Pylväiden jäljellä olevaa ikää ei ole määritelty.

Kohdealueen verkkokomponenttityyppi ja ikä.

Paikka	Tyyppi	Määrä / koko	Rakennusvuosi	Jäljellä oleva ikä
SA – Jokiväärä	Pigeon	1060 m	1972	5
SA – Jokiväärä	Pylväät	17 kpl	1955 -1986	
Jokiväärä	Pylväsmuuntamo	315 kVA	1972	0
Jokiväärä – Kauppatie	Raven	186 m	1972	5
Jokiväärä – Kauppatie	Pylväät	4 kpl	1956 - 1988	
Kauppatie	Pylväsmuuntamo	200 kVA	1991	19
Kauppatie – Järvenpäantie	AHXW95	355 m	2002	40
Järvenpäantie	Puistomuuntamo	500 kVA	2002	35
Mikkolan haara	Raven	323 m	1995	28
Mikkola	Pylväsmuuntamo	100 kVA	1973	1
Kauppatie – Saavajoki	Raven	1028 m	1957 – 1960	0
Kauppatie – Saavajoki	Pylväät	18 kpl	1956 – 1991	
Saavajoki	Pylväsmuuntamo	100 kVA	1982	10
Tuorilan myllyn haara	Pigeon	702 m	2000	33
Tyorilan myllyn haara	Pylväät	11 kpl	2000	
Tuorilan mylly	Pylväsmuuntamo	100 kVA	2000	28
Saavajoki – Siikalankoski	Raven	1776 m	1965 - 1970	0-3
Saavajoki – Siikalankoski	Pylväät	27 kpl	1956 - 1984	
Siikalankoski	Pylväsmuuntamo	50 kVA	1999	27
Siikalankoski – Alestalo	Raven	425 m	1974	7
Siikalankoski – Alestalo	Pylväät	7 kpl	1958 – 1984	
Alestalo	Pylväsmuuntamo	50 kVA	1975	3
Alestalo – Siikalankas.	Raven	312 m	1960	0
Alestalo – Siikalankas.	Pylväät	7 kpl	1956 – 1987	
Alestalo	Kiinteistömuuntamo	100 kVA	1989	22

Luotettavuus

Tunnus	Asiakkaita [kpl]	Kokonais- kriittisyys	Vikoja [kpl/a]	PJK [kpl/a]	AJK [kpl/a]	JT-kuoppia [kpl/a]	JK- as.kerrat [kpl/a]	Vika- as.kerrat [kpl/a]	Työ- keskeytyksiä [kpl/a]	Sähköttömiä ajanjaksojen summa [min/a]	Asiakkaiden vikakesk.tunnit [h/a]	Avojohton pituus [m]	Kaapelin pituus [m]	Pituus yhteensä [m]
Hyökyinen														
08KAR_TUORILA	1 538	1,79	12,24	81,01	14,30	94,18	51 514	6 471	8,14	2 495	8 021	136 028	2 136	138 165
10KAR_HUHTI	919	1,89	0,25	1,99	0,35	2,15	2 147	227	0,54	49	366	1 810	3 758	5 569
17KAR_VAITTOLA	481	1,93	0,44	3,32	0,59	3,94	1 876	213	0,60	85	343	6 193	1 976	8 169
Yhteensä	2 938		12,9	86,3	15,2	100,3	55 538	6 911	9,3	2 628	8 730	144 032	7 871	151 903
Versio A														
08KAR_TUORILA	1 461	1,79	12,01	78,00	13,77	92,21	45 955	6 158	7,76	2 458	7 019	130 378	8 529	138 907
10KAR_HUHTI	996	1,82	0,26	1,95	0,34	2,17	2 287	261	0,59	52	407	1 802	4 713	6 516
17KAR_VAITTOLA	481	1,91	0,44	3,28	0,58	3,93	1 857	212	0,58	85	342	5 870	2 351	8 221
Yhteensä	2 938		12,7	83,2	14,7	98,3	50 099	6 631	8,9	2 595	7 768	138 050	15 593	153 643
Versio B														
08KAR_TUORILA	1 461	1,82	12,09	79,06	13,95	93,11	47 490	6 285	7,83	2 473	7 110	131 285	7 683	138 968
10KAR_HUHTI	996	1,82	0,26	1,95	0,34	2,17	2 287	261	0,59	52	407	1 802	4 713	6 516
17KAR_VAITTOLA	481	1,91	0,44	3,28	0,58	3,93	1 857	212	0,58	85	342	5 870	2 346	8 216
Yhteensä	2 938		12,8	84,3	14,9	99,2	51 635	6 758	9,0	2 611	7 859	138 957	14 742	153 699
Versio C														
08KAR_TUORILA	1 461	1,81	12,09	78,63	13,88	92,91	46 612	6 225	7,80	2 472	7 079	131 829	7 724	139 553
10KAR_HUHTI	996	1,82	0,26	1,95	0,34	2,17	2 287	261	0,59	52	407	1 802	4 713	6 516
17KAR_VAITTOLA	481	1,91	0,44	3,28	0,58	3,93	1 857	212	0,58	85	342	5 870	2 346	8 216
Yhteensä	2 938		12,8	83,9	14,8	99,0	50 757	6 698	9,0	2 610	7 827	139 501	14 783	154 284

Kohdealueen RNA- ja AM-laskentatulokset

Vuotuiset käyttö- ja luotettavuuskustannukset.

Tunnus	Käyttökustannukset €/a				KAH -arvoihin perustuvat luotettavuuskustannukset €/a				Luotettavuus- kustannukset yhteensä
	Kunnossapito	Häviöt	Verkkoyhtiön kustannukset	Yhteensä	Mkakeskeyty- kustannukset	Työkeskeyty- kustannukset	Jälleenyhteyttä- kustannukset	Yhteensä	
Nykyinen									
08 KAR_TUORILA	4 926	2 433	489	7 848	17 193	751	1 300	19 244	
10 KAR_HUHTI	99	653	32	784	1 535	142	850	2 527	
17 KAR_VATTOLA	178	157	36	372	787	61	342	1 190	
Yhteensä	5 203	3 243	557	9 003	19 514	964	2 492	22 961	
Versio A									
08 KAR_TUORILA	4 835	2 063	484	7 382	16 898	719	0	17 618	
10 KAR_HUHTI	105	742	37	884	1 768	154	953	2 875	
17 KAR_VATTOLA	178	156	36	370	786	60	339	1 184	
Yhteensä	5 117	2 961	557	8 635	19 451	933	1 292	21 676	
Versio B									
08 KAR_TUORILA	4 865	2 006	492	7 363	17 199	732	0	17 932	
10 KAR_HUHTI	105	740	37	882	1 766	154	953	2 873	
17 KAR_VATTOLA	178	156	36	370	785	60	339	1 184	
Yhteensä	5 148	2 902	565	8 615	19 751	946	1 292	21 989	
Versio C									
08 KAR_TUORILA	4865	2002	491	7 357	17157	727	0	17 884	
10 KAR_HUHTI	105	740	37	882	1767	154	953	2 874	
17 KAR_VATTOLA	178	156	36	370	785	60	339	1 184	
Yhteensä	5 147	2 898	564	8 609	19 709	941	1 292	21 942	

Kohdealueen RNA- ja AM-laskentatulokset

Elinkaarikustannukset 40 vuoden aikana.

		Käyttökustannukset €				KAH -arvoihin perustuvat luotettavuuskustannukset €				Luotettavuus-	
Tunnus	Kunnossapito	Häviöt	Verkkoyhtiön kustannukset	Yhteensä	Vikakeskeytys-kustannukset	Työkeskeytys-kustannukset	Jälleenyhteyttä-kustannukset	Yhteensä	kustannukset	Yhteensä	kustannukset
Versio A											
08 KAR_TUORILA	48 037	25 071	4 784	77 892	166 789	7 100	3	173 892			
10 KAR_HUHTI	1 042	9 033	364	10 438	17 448	1 520	9 405	28 373			
17 KAR_VATTOLA	1 761	1 896	354	4 010	7 735	590	4 070	12 394			
Yhteensä	50 839	35 999	5 502	92 341	191 971	9 210	13 478	214 660			
Versio B											
08 KAR_TUORILA	48 340	24 391	4 864	77 595	169 769	7 229	3	177 002			
10 KAR_HUHTI	1 041	9 014	363	10 417	17 434	1 519	9 403	28 356			
17 KAR_VATTOLA	1 765	1 896	355	4 016	7 752	590	3 343	11 685			
Yhteensä	51 147	35 300	5 582	92 028	194 956	9 338	12 749	217 043			
Versio C											
08 KAR_TUORILA	48 333	24 341	4 852	77 526	169 351	7 178	3	176 532			
10 KAR_HUHTI	1 042	9 013	363	10 418	17 441	1 520	9 403	28 364			
17 KAR_VATTOLA	1 765	1 896	355	4 016	7 752	590	3 343	11 685			
Yhteensä	51 139	35 250	5 569	91 959	194 544	9 287	12 749	216 581			