

# KEMI-TORNION AMMATTIKORKEAKOULU

## Savukosken varasyöttöyhteyden selvitys

Henri Vihriälä

Sähkötekniikan koulutusohjelman opinnäytetyö  
Sähkövoimatekniikka  
Insinööri(AMK)

KEMI 2012

## **ALKUSANAT**

Haluan kiittää Koillis-Lapin Sähkö Oy:tä opinnäytetyön aiheesta. Lisäksi haluan kiittää Koillis-Lapin Sähkö Oy:n henkilöstöä ja opinnäytetyön ohjaajaani Antero Martimoa avunannosta työhöni.

## TIIVISTELMÄ

Kemi-Tornion ammattikorkeakoulu, Tekniikan ala	
Koulutusohjelma	Sähkötekniikka
Opinnäytetyön tekijä	Henri Vihriälä
Opinnäytetyön nimi	Savukosken varasyöttöyhteyden selvitys
Työn laji	Opinnäytetyö
päiväys	16.4.2012
sivumäärä	64 + 43 liitesivua
Opinnäytetyön ohjaaja	Ins. Antero Martimo
Yritys	Koillis-Lapin Sähkö Oy
Yrityksen yhteyshenkilö/valvoja	Verkkopäällikkö Jukka Ojala

Työn tavoite oli selvittää varasyöttöyhteys, jolla voidaan korvata Savukoskea syöttävä 45 kV verkosto 100-prosenttisesti sen vioittuessa, yhdessä muiden korvausmenetelmien kanssa. Muita korvausmenetelmiä olivat Pelkosenniemieltä ja Sallasta saatava korvaava teho, varavoimageneraattori sekä jännitteenkorotusmuuntaja. Nykyisellä jo olemassa olevalla 20 kV:n verkostolla ei pystytä korvaamaan 45 kV:n syöttävää verkostoa täysin, kun siihen tulee syystä tai toisesta keskeytykseen johtava vika.

Työtä rajattiin siten, että suuret 110 ja 220 kV:n vaihtoehdot jätettiin pois liian suurten investointikustannusten vuoksi. Savukosken kuormituksen kasvuennuste oli 0 %. Mahdollisen Soklin kaivoshankkeen vaikutus verkkoon jätettiin huomioimatta tässä työssä, koska mikäli kaivos tulee, sen avulla saadaan 20 kV:n varayhteys Savukosken yläosille.

Työ aloitettiin määrittämällä nykyisen verkon huipputehot ja kuormitusasteet sekä korvattavuus nykyverkolla. Korvattavuus määritettiin huipputehojen mukaan. Tällä tavoin saatiin selvitettyä, mitä uudelta varasyöttöyhteydeltä vaaditaan. Seuraavaksi määritettiin mahdolliset varasyöttöyhteyden muodot, jotka olisivat toteutettavissa. Korvattavuuden lisäksi uusista varasyöttöyhteyksistä määritettiin mitoituksen liittyvien määräysten- ja suositusten mukaisuus. Varasyöttöyhteyden tuli olla investointikustannuksiltaan kohtuullinen ja työssä tuli ottaa huomioon, että Pelkosenniemen ja Savukosken välinen 20 kV:n johto-osuus tullaan saneeraamaan lähitulevaisuudessa. Vaikutus näkyi investointikustannuksien määräytymisessä. Varasyöttöyhteyksistä laskettiin myös niiden tuoma muutos verkon keskeytyskustannuksiin.

Opinnäytetyössä saavutettiin sille asetetut tavoitteet ja ominaisuuksiltaan sekä kustannuksiltaan paras mahdollinen varasyöttöyhteys saatiin selvitettyä. Koillis-Lapin Sähkön henkilöstöä varten Integra -verkkotietojärjestelmän simuloinnit tallennettiin muistiin. Lisäksi tästä raportista löytyvät tarvittavat korvattavuuteen, mitoituksen ja kustannuksiin liittyvien laskentojen tulokset, joita voidaan käyttää apuna tarkempia suunnitelmia tehdessä.

Asiasanat: varayhteys, sähkönjakelu, selvitys

## ABSTRACT

Kemi-Tornio University of Applied Sciences, Technology	
Degree Programme	Electrical Engineering
Name	Henri Vihriälä
Title	Electricity Backup Connection in Savukoski
Type of Study	Bachelor's Thesis
Date	16 April 2012
Pages	64 + 43 appendixes
Instructor	Antero Martimo, BEng
Company	Koillis-Lapin Sähkö
Contact Person/Supervisor from Company	Jukka Ojala, Grid Manager

The goal of this work was to solve a backup connection for Savukoski's electricity network. New back up connection should replace with other replacing methods the old 45 kilovolt input to Savukoski with 100 % certainty when it fails. Other replacing methods are replacement power from Pelkosenniemi and Salla, generator and voltage increasing transformer. With the current replacement methods we cannot replace the 45 kilovolt input with 100 % certainty.

Big connection options like 110 and 220 kilovolt were left out from this thesis because they would be too expensive. At this time is expected that electrical loads in Savukoski are not going to increase in the future. There is a mining project going on in Sokli but it is expected that they are going to take their own electricity connection elsewhere. After these limitations possible back up connections are 20 and 45 kilovolt options.

The work was started by solving the Savukoski's max loads and how much we can replace the 45 kilovolt input with the current replacement methods. Then the backup connections options were defined. The questions concerning the possible backup connections options, how much they will replace and how they will fit the current network were answered. In addition the costs of the back up connection options were estimated.

The result of this work was that the best backup connection option was solved. The new back up connection were not the cheapest but also not the most expensive. It replaces the 45 kilovolt input well enough and you do not have to use early mentioned generator or voltage increasing transformer. All made simulations were saved for use of Koillis-Lapin Sähkö's personnel. In addition results of different calculations can be found from this report. Those calculations can be helpful in accurate planning.

Keywords: backup connection, supply of electricity, clearance.

## SISÄLLYSLUETTELO

ALKUSANAT .....	I
TIIVISTELMÄ .....	II
ABSTRACT .....	III
SISÄLLYSLUETTELO .....	IV
KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET .....	VI
1. JOHDANTO .....	1
2. KOILLIS-LAPIN SÄHKÖ OY .....	2
3. SÄHKÖNJAKELUVERKKOJEN YLEISSUUNNITTELU .....	5
3.1. Verkon nykytilan määrittäminen .....	5
3.2. Sähkönjakelulle asetettavat tavoitteet .....	6
3.3. Toimenpide-ehdotus .....	8
4. KESKIJÄNNITEVERKON SUUNNITTELU .....	9
4.1. Sähköverkon mitoitus .....	9
4.2. Jännitteenalenema .....	11
4.3. Oikosulkulaskenta .....	11
4.4. Oikosulkukestoisuus .....	14
4.5. Kuormitettavuus .....	16
4.6. Maasulkulaskenta .....	16
4.7. Keskeytyskustannukset .....	17
5. VERKKOTIETOJÄRJESTELMÄ .....	19
6. SÄHKÖVERKON NYKYTILA SAVUKOSKELLA .....	20
6.1. Kytentätilanne normaalitilassa .....	22
6.2. Kytentätilanne korvaustilanteessa .....	23
6.2.1. Keskeytyskustannukset nykyisessä korvaustilanteessa .....	25
7. VARASYÖTTÖYHTEYSVAIHTOEHDOT .....	26
7.1. Saneeraukset ja toimenpiteet Savukosken sähköverkossa .....	26
7.2. Jännitteenkorotusmuuntaja .....	27
7.3. Pelkosenniemi – Savukoski välisen 20 kV:n johto-osuuden vahvistus .....	28
7.4. Pelkosenniemi – Savukoski välinen 20 kV:n kaksoisjohtojärjestelmä .....	30
7.5. Ahvenselkä – Savukoski välinen uusi 20 kV:n johto-osuus .....	32
Kursu – Savukoski välinen uusi 45 kV:n johto-osuus .....	35
8. VARASYÖTTÖYHTEYSVAIHTOEHTOJEN TEKNIS-TALOUDELLINEN SELVITYS .....	37
8.1. Pelkosenniemi – Savukoski välisen 20 kV:n johto-osuuden vahvistus AL132-johdolla .....	38
8.1.1. AL132-johdon vaikutus korvaustilanteeseen .....	38
8.1.2. AL132-johdon vaikutus normaalin kytkentätilan verkkoon .....	40
8.1.3. Investointikustannukset .....	41
8.1.4. Keskeytyskustannukset .....	41
8.2. Pelkosenniemi – Savukoski välisen 20 kV:n johto-osuuden vahvistus BLL-T157-johdolla .....	42
8.2.1. BLL-T157-johdon vaikutus korvaustilanteeseen .....	42
8.2.2. BLL-T157-johdon vaikutus normaalin kytkentätilan verkkoon .....	44
8.2.3. Investointikustannukset .....	46
8.2.4. Keskeytyskustannukset .....	47

8.3. Pelkosenniemi – Savukoski välinen 20 kV:n kaksoisjohtojärjestelmä .....	47
8.3.1. Kaksoisjohdon vaikutus korvaustilanteeseen.....	47
8.3.2. Kaksoisjohdon vaikutus normaalin kytkentätilan verkkoon.....	49
8.3.3. Investointikustannukset.....	49
8.3.4. Keskeytyskustannukset .....	51
8.4. Ahvenselkä – Savukoski välinen 20kV:n uusi johto-osuus .....	51
8.4.1. Uuden johto-osuuden vaikutus korvaustilanteeseen .....	51
8.4.2. Uuden johto-osuuden vaikutus normaalin kytkentätilan verkkoon .....	53
8.4.3. Investointikustannukset.....	53
8.4.4. Keskeytyskustannukset .....	54
8.5. Kursu – Savukoski välinen 45kV:n uusi johto-osuus .....	55
8.5.1. Uuden 45 kV:n johto-osuuden vaikutus korvaustilanteeseen .....	55
8.5.2. Uuden johto-osuuden vaikutus normaalin kytkentätilan verkkoon .....	57
8.5.3. Investointikustannukset.....	57
8.5.4. Keskeytyskustannukset .....	57
9. TOIMENPIDE-EHDOTUS .....	59
10. YHTEENVETO .....	61
11. LÄHDELUETTELO .....	62
12. LIITELUETTELO .....	64

## KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

ABB	Asea Brown Boveri
EMV	Energiamarkkinavirasto
DMS	Distribution Management System
DMS 600 NE	ABB MicroSCADA Pro DMS 600 Integra/Network Edition
KAH	keskeytyksestä aiheutuva haitta
KLS	Koillis-Lapin Sähkö Oy
SA	sähköasema
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition
pjk	pikajälleenkytkentä
ajk	aikajälleenkytkentä
$U_{\min}$	minimi vaihejännite asiakkaan liittymispisteessä
$I_{k2v}$	kaksivaiheinen oikosulkuvirta
$I_{k3v}$	kolmivaiheinen oikosulkuvirta
$I_{res}$	nollavirta, käyttäjän määrittelemällä vikaresistanssilla

## 1. JOHDANTO

Opinnäytetyön aihe on saatu Koillis-Lapin Sähkö Oy:ltä. Valitsin tämän aiheen opinnäytetyökseni, koska se vastasi parhaiten opiskeluni suuntautumislinjaa sähkövoimatekniikkaa. Työn tavoitteena on selvittää Savukoskea syöttävän 45 kV verkoston korvaava varasyöttöyhteys. Uuden varasyöttöyhteyden tulee korvata yhdessä muiden korvausmenetelmien kanssa kyseinen 45 kV:n verkosto 100-prosenttisesti. Muita korvausmenetelmiä ovat Pelkosenniemen ja Sallan sähköasemalta saatava korvausteho, jännitteenkorotusmuuntaja sekä varavoimageneraattori. Tällä hetkellä Savukoskea syöttävän 45 kV verkon vioittuessa sitä ei voida korvata täysin jo olemassa olevilla korvausmenetelmillä.

110 ja 220 kV:n vaihtoehdot jätetään pois liian suurten investointikustannusten vuoksi. Soklin kaivoshankkeen vaikutusta sähköverkkoon ei oteta huomioon, koska kaivos tulee ottamaan oman 220 kV liittymänsä. Lisäksi kyseisen kaivoshankkeen tuomaa mahdollista kuormitusten kasvua ei oteta laskennoissa huomioon, koska kaivoksen avulla saadaan 20 kV:n varayhteys Savukosken yläosille.

Työn laskennat ja verkon suunnittelu suoritetaan ABB:n tekemällä DMS 600 NE - verkkotietojärjestelmällä. Työvaiheisiin kuuluvat nykyverkon tarkastelu, varasyöttöyhteyksien vaihtoehtojen selvitys ja mahdollisten varasyöttöyhteyksien teknis-taloudellinen selvitys. Työn lähtökohtana on selvittää nykyisen verkon huipputehot ja kuormitukset sekä määrittää 45 kV syöttävän verkon korvattavuus nykytilanteessa. Varasyöttöyhteyksien tekniseen selvitykseen kuuluu korvattavuuden määrittäminen ja uusien verkon osien mitoitus korvaustilanteen ja nykytilanteen verkkoon sopivaksi. Taloudelliseen tarkasteluun kuuluu investointikustannusten ja varasyöttöyhteyksien keskeytyskustannuksille tuomien muutoksien määrittäminen. Keskeytyskustannuksien osalta työssä käytetään hyväksi Elmil Oy:n vuonna 2010 KLS:lle tekemää Koillis-Lapin Sähkö Oy:n verkoston kehittämissuunnitelmaa, josta saadaan tarvittavat laskentaparametrit. Varayhteyksien käytössä syntyviä häviökustannuksia ei ole nähdä tarpeelliseksi määrittää, koska uudet varasyöttöyhteydet tulisivat lähinnä ainoastaan varayhteyksikäyttöön.



## 2. KOILLIS-LAPIN SÄHKÖ OY

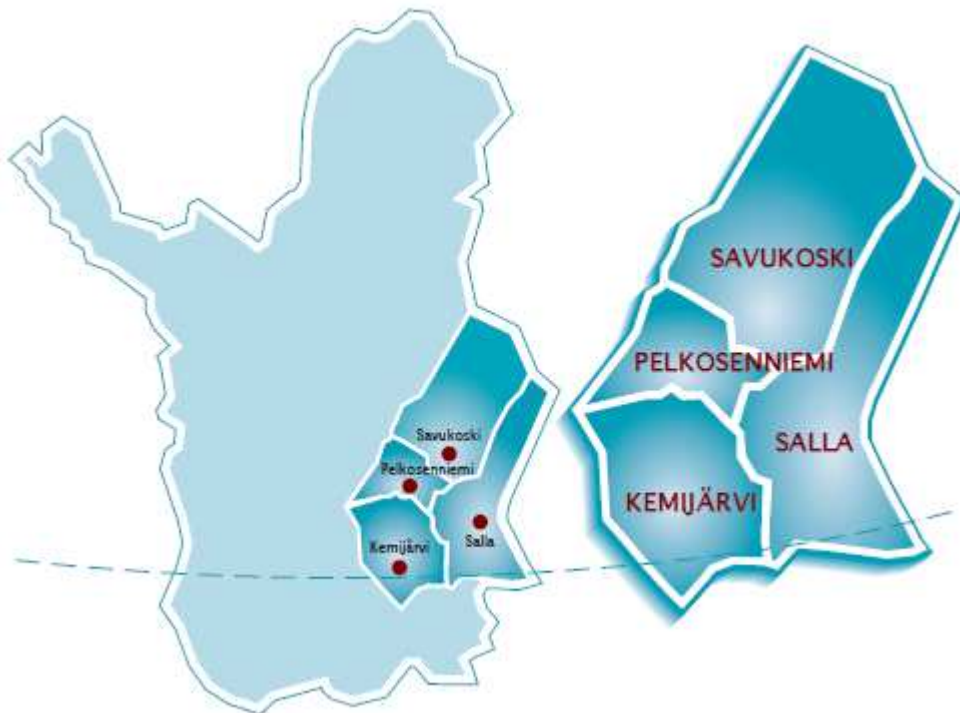
Koillis-Lapin Sähkö Oy on yritys, joka toimittaa Itä-Lapin asukkaille sähköenergiapalveluita. KLS:n toimialueeseen kuuluu Kemijärven, Sallan, Pelkosenniemen ja Savukosken kuntien alueet. Kyseiset kunnat ovat myös Koillis-Lapin Sähkö Oy:n omistajia. /8/

KLS:llä on 2 sisaryhtiötä. Itä-Lapin Energia Oy hallinnoi omistajakunnille tulevaa ja omistajakuntien myymää Kemijoki-osuussähköä. Keski-Lapin Voima Oy tuottaa sähköä Juotaksen vesivoimalaitoksen avulla. KLS on lisäksi osakkaana sähkönmyyntiyhtiönsä Energiapolar Oy:ssä. /8/

KLS:n toimialueella asuu n. 14480 ihmistä ja pinta-alaa on 17600 m<sup>2</sup>. Alueella on kolme tunnettua tunturikeskusta, joita ovat Pyhä-, Suomu- ja Sallatunturi. Toimialue on suurimmaksi osaksi harvaan asuttua maaseutua etenkin pohjoisimmissa osissa. Suurin osa sähkön käytöstä ja verkostosta sijaitsee Kemijärven ja Sallan kunnissa. /8/

Sähkönjakelualueeseen kuuluu yli 3000 km sähköverkostoa, josta 202 km 110 kV:n alueverkkoa, 102 km 45 kV:n jakeluverkkoa, 1812 km 20 kV:n jakeluverkkoa ja 1487 km 0,4 kV:n jakeluverkkoa. Sähköasemia jakelualueella on 8 ja jakelumuuntajia on 1211 kpl. Vuonna 2011 asiakkaita (käyttöpaikkoja) oli 12593 kpl ja sähköä siirrettiin 156 GWh. Samana vuonna KLS:ssä oli vakinaista henkilöstöä 35 kpl. /8/

Koillis-Lapin Sähkö Oy:n liikevaihto oli v. 2011 4,6 miljoonaa euroa. Jakelualueelle on tehty ja tehdään edelleen suuria saneeraustoimenpiteitä, jotka ovat vaatineet suuria investointikustannuksia. Kuvassa 1 on esitetty KLS:n jakelualue ja kuvassa 2 on esitetty tarkempi kuva KLS:n jakeluverkosta, josta nähdään asutuskeskukset ja käytössä olevat jännitetasot. /8/



**Kuva 1. Koillis-Lapin Sähkö Oy:n jakelualue. /8/**



Kuva 2. KLS:n jakeluverkko. /8/

### 3. SÄHKÖNJAKELUVERKKOJEN YLEISSUUNNITTELU

Tämä työ ei ole varsinaisesti pitkän aikavälin suunnittelutyö, mutta toimintaperiaate on sama. Työssä pyritään selvittämään millainen sähkönjakeluverkon tulisi olla ja millä kustannuksilla. Tärkeimpinä määräävinä tekijöinä ovat siis tavoitteet tulevalle verkolle sekä taloudellisuus. /11/

#### 3.1. Verkon nykytilan määrittäminen

Nykyverkon tuntemus helpottaa tulevan verkon suunnittelua. Laskenta- ja mittaustuloksilla nykyverkosta saadaan selville verkon suorituskyky ja tällöin voidaan ottaa myös huomioon mahdolliset kuormitusten kasvut. Lisäksi tulevan verkon kustannusten arviointi helpottuu nykyverkon tuntemuksen kautta. /11/

Suunnittelujen keskeiset kohdealueet ovat keskijänniteverkko ja sitä syöttävät sähköasemat. Keskijänniteverkkoa on havainnollisin esittää karttapohjasta, kuten jakeluverkostokaaviosta tai nykyään verkkotietojärjestelmästä. Verkkokartoista tulee näkyä verkon komponentit, kuten solmupistetunnukset, muuntamot, kytkinlaitteet ym. /11/

Verkko- ja päämuuntoasematiedoilla voidaan laskea verkossa vaikuttavat oikosulkuvirrat ja maasulkuvirrat. Oikosulkuvirtoja määriteltäessä tulee ottaa huomioon runkojohtojen lisäksi myös haarajohtot, jolloin voidaan havaita mahdolliset oikosulkukestottomat johtosuorat. Maasulkuvirtoja määritettäessä riittää, että tunnetaan avojohtojen johtopituudet ja maakaapeleista lisäksi kaapelien tyypit. /11/

Verkoston mekaanisilla rakenteilla on myös merkitystä suunnittelussa. Esimerkiksi pylvästyksen, orsirakenteiden tai jännevälien ollessa liian heikot, voivat mahdolliset johdon vahvistuksen kustannukset olla oletettua suuremmat. Nämä seikat vaikuttavat osaltaan saneerauksien kannattavuuteen sekä valintaan. /11/

Jännitteenalenemia ja teho- sekä energiahäviöitä määritettäessä verkostosta tarvitaan kuormitustietoja. Kuormituksen suuruus vaikuttaa oleellisesti jännitteenaleneman ja teho- sekä energiahäviöiden määrän. Keskijännitekuluttajat ja jakelumuuntamot ovat verkoston kuormitussolmupisteitä. Kuormitustiedot täytyy kohdistaa tarkasti oikeisiin sijainteihin. Suunnitteluissa tulee ottaa huomioon alueen mahdollinen sähköntarpeen kasvu. Pelkkä historiatietojen tarkastelu ei ole riittävän tarkka menetelmä. /11/

### **3.2. Sähkönjakelulle asetettavat tavoitteet**

Tavoitteiden määrittäminen voi tietyissä tilanteissa olla hankalaa, jos aikaväli on pitkä ja tulevia verkoston muutoksia ei voida täysin ennakoita. Verkoston suunnittelua helpottaa se, että tavoitteille määrätään selvät rajat, joihin suunnittelussa myöhemmin pyritään. Yleensä pyritään mahdollisimman taloudelliseen vaihtoehtoon, jossa asetetut tavoitteet saavutetaan minimikustannuksilla. Tavoitteet muuttuvat monesti rajoitusmuotoon, kuten jännitteenalenemien suurimmat sallitut arvot ovat. Usein määräävinä tavoitteina ovat myös siirtokyky, käyttövarmuus ja turvallisuus. /11/

Siirtokyvyn määrittävät verkoston heikoimpien osien kuormitettavuudet, oikosulkukestoisuudet ja jännitteenalenemat. Kuormitus aiheuttaa johtimissa lämpenemistä ja johdoilla on tietyt omat maksimikuormitettavuudet, jonka ne kestävät. Sama pätee oikosulkukestoisuuksiin. Tietyt määräykset, suositukset ja laitevalmistajat ovat antaneet näille osioille sallitut arvot, joita ei saa ylittää. Johdoille ja komponenteille löytyy kuormitettavuuksien ja oikosulkukestoisuuksien arvot yleensä komponenttien valmistajilta. Jännitteenaleneman kohdalla Suomessa noudatetaan jännitestandardia SFS-EN 50160. Standardin mukaan asiakkaan liittymiskohdan vaihejännitteen ei tulisi vaihdella enempää kuin 230 V +6/-10 % eli suurin vaihteluväli on 207–244 V. Suurempi jännitetaso nostaa siirtokykyä, pienentää virtaa, ja häviöitä. Kantaverkon ja alueverkon komponentit ovat kuitenkin verraten kalliimpia kuin keskijänniteverkon komponentit, johtuen mm. suuremmista eristyksistä. /11/, /18/

Siirtoverkon jännite voi vaihdella suurestikin ilman, että se vaikuttaa asiakkaisiin. Sähköasemien päämuuntajat säätävät käämikytkimien avulla kiskojännitettä sopivaksi. Jännitteenalenema riippuu siirtoverkon kuormituksesta, johtopituudesta sekä mitoituksesta. Jotta jännitteenalenema saataisiin pienennettyä, tarvitaan lisäinvestointeja. Esimerkiksi paksumman poikkipinnan omaava johdin pienentää jännitteenalenemaa. Suunnittelua helpottaa, jos määrätään jännitteenalenemalle tietyt raja-arvot, joita suunnittelussa ei saa ylittää. KLS:n kehittämissuunnitelman mukaan sallittu jännitteenalenema normaalitilassa taajama-alueella on 3 % ja haja-asutusalueella 6 %. Vikatilanteessa arvot ovat taajama-alueella 6 % ja haja-asutusalueella 10 %. Arvot eivät kuitenkaan ole täysin ehdottomat. /11/, /4/

Käyttövarmuutta määritellään eri tavoin. Joissain tilanteissa luetellaan vikapaikat, jotka eivät saa aiheuttaa pitkäaikaista keskeytystä sähköjakelussa. Tällä otetaan kantaa siihen, että saako sähköaseman vakava vika esimerkiksi päämuuntajavika aiheuttaa pitkäaikaista keskeytystä ja kuinka suuri tehonvajauksen osuus on huipputehosta. Taajamaverkossa tämä määritellään yleensä siten, että vakavakaan vika ei aiheuta pitkäaikaista sähkönsiirron keskeytystä. /11/

Yleisesti käytetty käyttövarmuusvaatimus on, että rakennetaan varayhteyksiä sähköverkkoon, jotta vioittuneille johdoille saadaan varayhteys. Taajama-alueilla voidaan asettaa vaatimus, että sähköjakelu on turvattu myös syöttävän johto-osuuden vian aikana. Sähköjakeluverkot rakennetaankin nykyään yleisesti mahdollisuuksien mukaan rengasverkkomuotoon, mutta niitä käytetään suurimmaksi osaksi säteittäisenä käytännöllisyyden takia. Rakennettaessa sähköverkot silmukkamuotoon saadaan parempi käyttövarmuus, koska sähköä voidaan tarvittaessa syöttää monesta suunnasta. Jakorajat erottavat renkaat toisistaan. Haja-asutusalueilla verkot ovat kuitenkin useasti säteittäisiä kustannuksien vuoksi. /11/

Käytettäessä verkkoa säteittäisenä häiriöiden rajoittaminen ja suojausten toteuttaminen on yksinkertaisempaa, oikosulkuvirrat ovat pienempiä ja jännitteensäätö helpompaa kuin rengasverkossa. Rengasverkossa jännitteenalenemat ja häviöt olisivat pienempiä. /11/

Näiden käyttövarmuusmenetelmien lisäksi sähköverkon on täytettävä viranomaisten määräämät turvallisuusvaatimukset. Hyvin tärkeitä ovat oikosulkukestoisuus -määräykset sekä maasulkusuojausvaatimukset. Uudet sähköasemat kasvattavat oikosulkuvirtoja, kuten myös uudet paksummat johtimet. Maasulkusuojuksessa kiinnitetään huomio suurimpiin sallittuihin suojamaadoitusresistansseihin. Määräykset muuttuvat jatkuvasti ja nämä tulee ottaa huomioon uutta verkkoa suunniteltaessa. /11/

### **3.3. Toimenpide-ehdotus**

Muuttunutta verkkoa tarkastellaan laskemalla muutosten vaikutus nykyiseen sähköverkkoon. Näin voidaan todeta täyttääkö muuttunut verkko sille asetetut vaatimukset. Tärkeinä tekijöinä ovat siirtokyky ja luotettavuus. Tuloksista etsitään komponentit tai johto-osat, jotka eivät täytä vaadittuja tavoitteita ja näihin pyritään tekemään parannuksia. Tavoitteiden täyttymistä tarkastellaan uudelleen, kun verkkoon on lisätty uusia komponentteja tai ominaisuuksia, kuten mm. johdinvahvistuksia, uusia keskijännitejohtoja, kytkinlaitteita. Teknisesti vastaavista vaihtoehdoista valinta tarkastellaan yleensä investointikustannuksien kautta. /11/

Sijaintien valinta uusille komponenteille on monimutkainen tehtävä. Esimerkiksi uuden syöttöaseman sijoitus voi olla ongelmallista tiheään asutuilla alueilla. Yksi vaihtoehto on myös laajentaa vanhoja syöttöasemia. Maaseudulla etäisyydet 110 kV:n verkoista vaikuttavat suuresti sähköasemien sijaintiin. Keskeistä on myös teknisten valintojen teko, kuten kiskojärjestelmät, muuntajamäärät ja nimellistehot. Nämä vaikuttavat esimerkiksi oiko- ja maasulkuvirtoihin. Maaseudut on saatu Suomessa käytännössä sähköistettyä ja tältä osin kuormitusten kasvu on hidastunut sekä verkonrakennus vähentynyt. Nykyään jakelun luotettavuus ja henkilöstön työolosuhteet ovat entistä tärkeämpiä. Tämän johdosta uusien sähköasemien, suojauksen, kaukokäytön ja automaation tarve on korostunut. /11/

## 4. KESKIJÄNNITEVERKON SUUNNITTELU

Sähkötaloudenjärjestelmän tehtävä on siirtää voimaloista tai siirtoverkkojärjestelmästä tuleva sähkövoima asiakkaille. Suomessa sähkönjakelu koostuu kantaverkosta (400 kV, 220 kV ja 110 kV), alueverkoista (110 kV ja 45 kV), keskijänniteverkosta (20 kV ja 10 kV) sekä pienjänniteverkosta (1-0,4 kV). /10/, /22/

Keskijänniteverkkoa syöttävät sähköasemat muuntavat alueverkon suuren jännitteen keskijännitteeksi. Sähköasemilla sijaitsevat myös katkaisijat, suojarleistys ym. komponentit, joilla voidaan hallita sähkönsiirtoa eri tilanteissa. /11/

Suunnitteluun sisältyy olennaisena osana sähkötekniseen tilaan ja käyttövarmuuteen liittyvät laskennat. /10/

### 4.1. Sähköverkon mitoitusteho

Suurimman tehon määrittämiseen on eri tapoja, kuten vuosienenergiaan perustuvat huipputehon arviointimenetelmät. Laskennallisia tuloksia voidaan myös verrata mitattuihin huipputehoihin. Tavallisesti käytetty menetelmä on kuluttajan vuosienenergian ja kuluttajakohtaisten kertoimien avulla Velanderin kaavasta laskettu huipputeho. /11/

$$P_{max} = k_1 * W + k_2 * \sqrt{W} \quad (1)$$

,missä

$P_{max}$  = huipputeho

$k_1$  ja  $k_2$  = kuluttajakohtaiset kertoimet

$W$  = vuosienenergia

Toinen vuosienenergiaan perustuva menetelmä on huipun käyttöennuste, jossa vuosienenergian ja arvioidun vuoden huipputehon käyttöajan perusteella voidaan laskea huipputeho. Huipunkäyttöaika perustuu kokemukseräiseen arvoon. Kaavan avulla voidaan laskea myös verkon keskiteho, jos verkon huipputeho on tiedossa. /11/



$$P_{max} = \frac{W}{t_k} \quad (2)$$

,missä

$t_k$  = arvioitu huipun käyttöaika

Velanderin kaavaa tarkempiin tuloksiin päästään kuormitusten mallintamisella. Tavoitteena on profiloida erityyppisten sähkökäyttäjien sähkökäyttötottumukset ja laatia ns. kuormitusmallit. /10/

Kuormitusmallit kuvaavat sähkökäyttäjien määrällisesti ja ajallisesti muuttuvaa sähkökulutusta. Malleilla voidaan arvioida kuluttajien tuntikohtainen tehontarve. Sähkön kokonaiskäytön tarkasteluissa käytetään pienien kuluttajaryhmien sijasta laajempia ryhmiä. /10/

Sähköverkko on lähes aina kolmivaiheinen. Seuraavissa kaavoissa on esitetty kolmivaiheisten pätö-, lois- ja näennäistehojen laskenta. /1/

$$P = \sqrt{3} * U * I * \cos\varphi \quad (3)$$

,missä

P = pätöteho

U =pääjännite

I = päävirta

$\varphi$  = jännitteen ja virran välinen vaihesiirtokulma

$$Q = \sqrt{3} * U * I * \sin\varphi \quad (4)$$

,missä

Q = loisteho

$$S = \sqrt{3} * U * I \quad (5)$$

,missä

S = näennäisteho

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (6)$$

## 4.2. Jännitteenalenema

Johdon jännitteenalenema riippuu johtopituuksista, johtotyypeistä ja kuormitustasosta. Haja-asutusalueilla ja pitkillä johtopituuksilla jännitteenalenema voi olla merkittävin mitoitusvaikuttava tekijä. Johtojen resistansseissa ja reaktansseissa tulee ottaa huomioon johtopituus, koska kyseiset johtojen arvot on annettu tyypillisesti kilometriä kohden. Jännitteenalenemaa voidaan pienentää esimerkiksi suurentamalla johdinpoikkipinta-aloja, suurentamalla jakelumuuntajakokoja ja jakamalla alue pienempiin osiin. Toinen mahdollisuus on loistehon kompensointi, mikä vähentää loistehon aiheuttamaa siirtoverkon ylimääräistä kuormittumista. Muuntajissa on usein väliottokytkimet, joilla voidaan nostaa tai laskea muuntajan jännitettä. Keski-jännitejohdon jännitteenalenema voidaan laskea seuraavalla kaavalla: /1/, /12/

$$U_h = I(R * \cos\varphi + X * \sin\varphi) \quad (7)$$

,missä

$U_h$  = jännitteenalenema voltteina

$I$  = johtimen virta

$R$  = johtimen vaiheresistanssi

$X$  = johtimen vaihereaktanssi

$\varphi$  = vaihejännitteen ja –virran välinen vaihesiirtokulma

## 4.3. Oikosulkulaskenta

Sähköverkon mitoituksia ja suunnitelmia tehdessä tulee tuntee verkon oikosulkuvirrat eri tilanteissa ja verkon osissa. Oikosulkuvirran suuruus määräytyy vikapaikan ja syöttävän verkon välisestä oikosulkuimpedanssista. Oikosulkuimpedanssi koostuu vikapaikan ja syöttävän verkon välisistä taustaverkon, muuntajien ja johtimien oikosulkuimpedansseista. Mitä pienempi oikosulkuimpedanssi on, sitä suurempi on oikosulkuvirta. Oikosulkuvirta voi muodostua merkittäväksi tekijäksi syöttöpisteen lähellä olevissa haarajohdoissa. /11/

Taustaverkon resistanssin ja reaktanssin arvot saadaan yleensä kantaverkkoyhtiöltä. Taustaverkon resistanssi ja reaktanssi tulee redusoida muuntajan alajännitepuolelle. Redusointi voidaan suorittaa seuraavasti: /1/

$$R'_T = R_T * \left(\frac{U_2}{U_1}\right)^2 \quad (8)$$

,missä

$R'_T$  = alajännitepuolella näkyvä oikosulkuresistanssi

$R_T$  = yläjännitepuolella näkyvä oikosulkuresistanssi

$U_2$  = muuntajan alajännitepuolen jännite

$U_1$  = muuntajan yläjännitepuolen jännite

$$X'_T = X_T * \left(\frac{U_2}{U_1}\right)^2 \quad (9)$$

,missä

$X'_T$  = alajännitepuolella näkyvä oikosulkureaktanssi

$X_T$  = yläjännitepuolella näkyvä oikosulkureaktanssi

Muuntajan oikosulkuimpedanssi, -resistanssi ja -reaktanssi voidaan laskea seuraavasti: /1/

$$Z_M = \frac{z_k}{100\%} * \frac{U_N^2}{S_N} \quad (10)$$

,missä

$Z_M$  = muuntajan oikosulkuimpedanssi

$U_N$  = muuntajan nimellisjännite

$S_N$  = muuntajan nimellisteho

$z_k$  = muuntajan oikosulkujännite

$$R_M = \frac{r_m}{100\%} * \frac{U_N^2}{S_N} = \frac{P_K}{3 * I^2} \quad (11)$$

,missä

$R_M$  = muuntajan oikosulkuresistanssi

$U_N$  = muuntajan nimellisjännite

$S_N$  = muuntajan nimellisteho

$r_m$  = resistiivinen oikosulkujännite

$P_K$  = kuormitushäviöt

$I_N$  = nimellisvirta

$$X_M = \sqrt{Z_M^2 - R_M^2} \quad (12)$$

,missä

$X_M$  = oikosulkureaktanssi

Johdon oikosulkuimpedanssi voidaan laskea johdon valmistajan antamalla resistanssien  $r_j$  ja reaktanssin  $x_j$  arvojen avulla. Arvot on annettu kilometriä kohden, joten johdon pituus tulee ottaa huomioon. Kolmivaiheinen oikosulkuvirta voidaan laskea seuraavalla kaavalla.

/1/

$$I_{K3v} = \frac{c * U}{\sqrt{3} * \sqrt{(R_T + R_M + l * r_j)^2 + (X_T + X_M + l * x_j)^2}} \quad (13)$$

,missä

$I_{K3v}$  = kolmivaiheinen oikosulkuvirta

$U$  = verkon pääjännite

$c$  = jännitekerroin

$R_T$  = taustaverkon oikosulkuresistanssi

$R_M$  = muuntajan oikosulkuresistanssi

$l$  = johtopituus

$r_j$  = johdon vaiheresistanssi

$x_j$  = johdon vaihereaktanssi

$X_T$  = taustaverkon oikosulkureaktanssi

$X_M$  = muuntajan oikosulkureaktanssi

$Z_k$  = vikapaikan ja syöttävän verkon välinen oikosulkuimpedanssi

Jännitekertoimelle  $c$  on olemassa taulukko, josta nähdään mitä  $c$ :n arvoa milloinkin tulee käyttää. Taulukossa 1 on esitetty  $c$ -kertoimen arvot. Suojareleiden asetteluja määritettäessä lasketaan kaksivaiheinen minimioikosulkuvirta kertoimen  $c_{min}$  avulla. Johtojen

oikosulkukestoisuuksia määritettäessä lasketaan kolmivaiheinen oikosulkuvirta käyttämällä kerrointa  $c_{max}$ . /6/, /1/

**Taulukko 1. Jännitekerroin c: arvot. /6/**

Nimellisjännite $U_n$	Maksimioiko- sulkuvirta $C_{max}$	Minimioiko- sulkuvirta $C_{min}$
pienjännite 100 V – 1000 V a) 230 V / 400 V b) muut jännitteet	 1.00 1.05	 0.95 1.00
keskijännite 1 kV - 35 kV	1.10	1.00
suurjännite 35 kV - 230 kV	1.10	1.00

Kolmivaiheisesta oikosulkuvirrasta saadaan laskettua suojauksen kannalta tärkeä kaksivaiheinen oikosulkuvirta seuraavalla kaavalla: /1/

$$I_{K2v} = \frac{\sqrt{3}}{2} * I_{K3v} \quad (14)$$

,missä

$I_{K2v}$  = kaksivaiheinen oikosulkuvirta

#### 4.4. Oikosulkukestoisuus

Johdon oikosulkukestoisuuden ylittäminen voi aiheuttaa johtimiin vaurioita. Oikosulkukestoisuus riippuu komponenttien lämpötilakestävydestä. Tähän vaikuttavat komponentin esimerkiksi johdon poikkipinta, vallitseva lämpötila ennen oikosulkua ja oikosulun kesto aika. Jälleenkytkennät on otettava huomioon oikosulkukestoisuutta tarkasteltaessa, koska johtimet ja komponentit pääsevät jäähtymään niiden aikana. /11/

Oikosulkukestoisuutta voidaan parantaa suojareleiden avulla. Lyhentämällä suojareleiden aika-asetteluja voidaan pienentää oikosulun kesto aikaa. Suojausaikoja määritettäessä pitää

kuitenkin ottaa huomioon selektiivisyys muiden suojarleiden kanssa. Toinen keino oikosulkukestoisuuden parantamiseen on johtojen saneeraus suurempiin poikkipintaisiin. /11/

Jälleenkytkentöjä käytettäessä johtimia lämmittäväksi ajaksi tulee oikosulun kesto aika ennen ajk:n jännitteetöntä aikaa ja oikosulun kesto aika ajk:n jälkeen. Eri aikojen tuntemuksella voidaan laskea oikosulun ekvivalenttinen kesto aika. Jäähtymisaikavakion  $\tau$  saa johdinvalmistajan tiedoista. /11/

$$t = t_1 * e^{-t_0/\tau} + t_2 \quad (15)$$

,missä

t = oikosulun ekvivalenttinen kesto aika

t<sub>1</sub> = oikosulun kesto aika ennen ajk:n jännitteetöntä aikaa (releen aseteltujen hidastusaikojen summa lisätynä releen havahtumis- ja katkaisijan toiminta-aikojen summalla)

t<sub>0</sub> = ajk:n jännitteetön aika

$\tau$  = johtimen jäähtymisaikavakio

t<sub>2</sub> = ajk:n jälkeisen oikosulun kesto aika

Johtimen sallittu oikosulkuvirta saadaan laskettua johtimen 1s oikosulkukestoisuuden ja oikosulun kestoajan avulla. /11/

$$I_{kt} = \frac{I_{k1s}}{\sqrt{t}} \quad (16)$$

,missä

I<sub>kt</sub> = johtimen sallittu oikosulkuvirta

I<sub>k1s</sub> = johtimen 1s maksimi oikosulkuvirta

t = oikosulun kesto aika

## 4.5. Kuormitettavuus

Johtimien kuormitettavuus perustuu johtimen suurimpaan sallittuun lämpötilaan. Tämä riippuu materiaalista, eristyksestä ja ympäristöolosuhteista. Lämpenemiseen vaikuttavat oleellisesti asennustavat ja kuormitusvirta. Ympäristön vaikutus tulee ottaa huomioon laskennoissa korjauskertoimilla. Korjauskertoimet ovat tärkeitä etenkin kaapeliasennuksissa. Avojohtoihin vaikuttaa kuormitettavuuden kannalta käytännössä ainoastaan ilman lämpötila. /10/

## 4.6. Maasulkulaskenta

Suomessa maadoitustapana on tähtipisteestään maasta erotettu verkko tai tämän erikoismuoto sammutettu verkko. Sammutetussa verkossa muuntajan tähtipisteeseen kytketään induktanssi, joka kompensoi verkon maakapasitanssien tuottamaa kapasitiivista loisvirtaa. Lisäksi on käytetty hajautettua sammutusta, jossa johtolähtöihin asennetaan kiinteitä kompensointikuristimia. /7/, /11/

Sähköturvallisuusmääräyksissä suojamaadoituksille on annettu suurimmat sallitut maadoitusjännitteiden arvot. Turvallisuutta voidaan parantaa maadoituksia lisäämällä, suojarleiden laukaisuaikaa lyhentämällä ja pienentämällä verkon maasulkuvirtaa. Maasulkuvirtaa voidaan pienentää jakamalla verkko galvaanisesti eri osiin muuntajien avulla tai käyttämällä sammutuskuristimia. Maasulkuvirran suuruus vikaresistanssittomassa maasulussa voidaan laskea kaavalla: /1/, /11/

$$I_e = \sqrt{3} * \omega * C_0 * U \quad (17)$$

,missä

$C_0$  = verkon yhden vaiheen maakapasitanssi

$U$  = verkon pääjännite

$\omega = 2 * \pi * f$  ( $f$  = verkon taajuus) = verkon kulmataajuus

Avojohtoverkkojen maasulkuvirta voidaan laskea riittävän tarkasti seuraavalla kaavalla: /1/

$$I_e \approx \frac{U \cdot l}{300} \quad (18)$$

,missä

U = verkon pääjännite (kV)

l = galvaanisesti yhteen kytketyn verkon pituus (km)

#### 4.7. Keskeytyskustannukset

Suunnitteluissa on otettava huomioon myös keskeytyskustannukset. Tarkasteluissa selvitetään esimimerkiksi varayhteyksien osalta, vaikutus kuluttajien keskeytysaikoihin ja toimittamatta jääneeseen energian määrään. /10/

Keskeytyksestä aiheutunut haitta ilmaisee sähkönjakelun keskeytymisestä aiheutunutta kustannusta kuluttajalle. Haitan arviointi on normaalisti monimutkainen ja haastava tehtävä. Erilaisten sähkönkäyttäjien takia, tarkkoja ryhmäkohtaisia KAH-arvoja on vaikea määrittää. Keskeytykset voivat aiheuttaa tuotantohäiriöitä yrityksissä. Kotitalouksilla pidemmät keskeytykset aiheuttavat esimerkiksi pakasteiden sulamista. Lisäksi tilanteeseen vaikuttaa keskeytysajankohta sekä keskeytyksen kesto-aika. /11/, /16/

Taulukossa 2 on esitetty KLS:n kehittämissuunnitelman luotettavuuslaskennassa käytetyt KAH-arvot. Arvot perustuvat Energiamarkkinaviraston valtakunnallisiin energiaosuuksilla painotettuihin KAH-arvoihin. /4/

**Taulukko 2. KAH-Arvot. /4/**

Keskeytyskustannukset					
Vikakeskeytykset		Suunnitellut keskeytykset		pjk	ajk
€/kW	€/kWh	€/kW	€/kWh	€/kW	€/kW
1,1	11	0,5	6,8	0,55	1,1



Keskeytyksistä 90 % johtuu erilaisista sähköverkon häiriöistä ja näistä merkittävä osa tapahtuu keskijänniteverkossa. Maaseuduilla jälleenkytkennöillä voidaan selvittää suuri osa vioista. Pysyviä vikoja on tyypillisesti alle 35 % kaikista vioista. Kaupunkialueilla pysyvien vikojen osuus on yli 60 %. Tämä johtuu maakaapeloinnin suuresta määrästä. Maakaapeleissa vika on yleensä pysyvä. /16/

Merkittäviä tekijöitä kuluttajan kannalta ovat vian sijainti ja varayhteyksien käyttömahdollisuus. Viasta koituu kuluttajalla joko vian korjausajan tai vian poiskytkentäajan mittainen keskeytys. Suunnitelluissa keskeytyksissä haitta on yleensä pienempi, koska kytkentämuutokset voidaan tehdä usein jännitteisenä ja pienempi määrä asiakkaita jää näin ilman sähköä. /16/

Luotettavuuslaskentoja tehtäessä tarkastellaan yleensä yhden komponentin vikaantumisen vaikutusta keskeytyksiin. Verkkoa käytetään yleensä säteittäisenä, jolloin luotettavuusmallina voidaan käyttää sarjamallia, jossa jokaisen yksittäisen verkon komponentin vikaantuminen aiheuttaa keskeytyksen sähköjälkijakelussa tarkasteltavalla johto-osalla. Laskennoissa otetaan huomioon komponentit ja niiden sijainnit. Yhdysjohtojen vaikutus keskeytyskustannuksiin voidaan laskea määrittämällä sen vaikutus nykyisen verkon korjausaikoihin. /10/, /16/

Sähköjälkijakelun keskeytyksestä aiheutunut kustannus voidaan laskea seuraavalla kaavalla: /10/

$$K_{kj} = \sum_{i \in I} f_i [a_j + b_j(t_{ij}) * t_{ij}] * \bar{P}_j \quad (19)$$

,missä

$K_{kj}$  = keskeytyskustannus

$f_i$  = komponentin vikataajuus

$a_j$  = toimittamatta jääneen tehon hinta [€/kW]

$b_j$  = toimittamatta jääneen sähköenergian hinta [€/kWh]

$t_{ij}$  = komponentin i aiheuttama keskeytysaika

$\bar{P}_j$  = tarkastelupisteen j vuotuinen keskiteho

## 5. VERKKOTIETOJÄRJESTELMÄ

KLS:llä on käytössään ABB:n tekemä MicroSCADA Pro DMS 600 Integra/Network Editor -verkkotietojärjestelmä. Tässä työssä ohjelmasta käytetään nimeä Integra. Integra on graafinen sähkönjakeluverkkojen verkkotietojärjestelmä, jota käytetään sähköyhtiöiden keski- ja pienjänniteverkkojen hallintaan, jakeluverkon tilan seurantaan sekä verkostosuunnitteluun. Järjestelmä voidaan yhdistää käytöntukijärjestelmään DMS 600 WS ja ilmajohtojen suunnitteluohjelmaan ABB Profila CENELEC. Käytöntukijärjestelmällä voidaan hallita verkkoa ja sen tilaa. Ohjelmistoa voidaan käyttää useista työasemista yhtä aikaa. /2/

Sähköverkko näkyy järjestelmässä maantieteellisessä esitysmuodossa. Käytettäviä taustakarttoja ovat rasteri- ja vektorikartat. Lisäksi jakeluverkkoa voi tarkastella kaaviomuodossa. /2/

Verkkotietojärjestelmään kuuluu olennaisena osana verkostolaskennat, kuten tehonjako-, oikosulku- ja maasulkulaskennat. Tehonjakolaskennoista saadaan esille mm. verkoston laskennalliset huipputehot, jännitteenalenemat ja häviökustannukset. Oikosulkulaskennasta saadaan tietoon mm. johtojen oikosulkuvirrat, oikosulkukestoisuudet ja suojareleiden asettelut. Maasulkulaskennasta saadaan esille mm. verkoston maasulkuvirrat, maadoitusresistanssit ja suojareleiden asettelut. /2/

Suunnittelutilassa Integralla voidaan rakentamaa simuloinnin avulla uusia verkon osia sekä tarkastella niiden tuomia muutoksia nykyiseen verkkoon. Lisäksi simuloinnin avulla voidaan muuttaa verkon kytkentöjä ilman, että muutokset vaikuttaisivat käytöntukijärjestelmän toimintaan. Simuloiduista verkon osista tai kytkentöjen muutoksista voidaan laskea samat verkostolaskennat kuin nykyisestäkin verkosta.

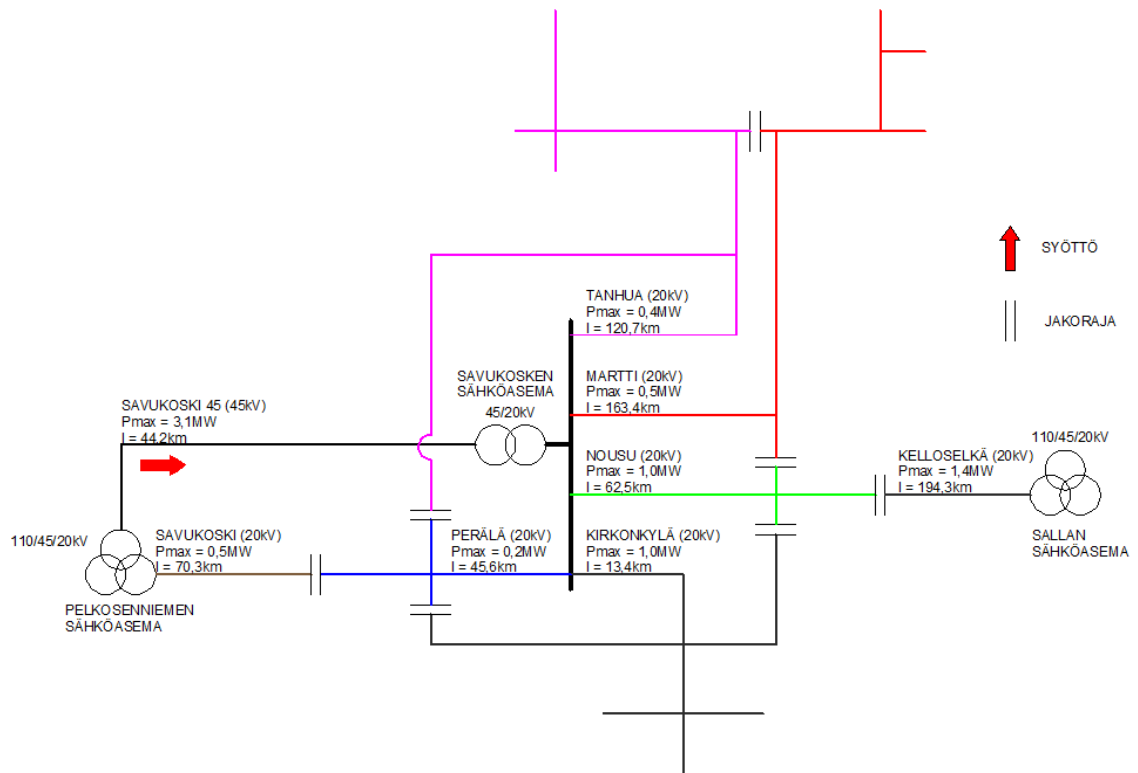
## 6. SÄHKÖVERKON NYKYTILA SAVUKOSKELLA

Savukosken alueelta on yksi sähköasema. Jännitetasoina Savukoskella ovat 45 kV ja 20 kV. Sähköasemalla on kaksi 45/20 kV:n päämuuntajaa, joista toinen on tarkoitettu varakäyttöön. Molemmat muuntajat ovat teholtaan 5 MVA. Aseman alueelle on sijoitettu myös liikuteltava varavoimageneraattori nimellisteholtaan 1 MVA. Kyseistä generaattoria käytetään yleensä vikatilanteiden ja suunniteltujen keskeytysten aikana. Varavoimageneraattorin käyttö haluttaisiin nykyään korvata muulla tavalla, koska sen käyttö on ollut viime aikoina epävarmaa.

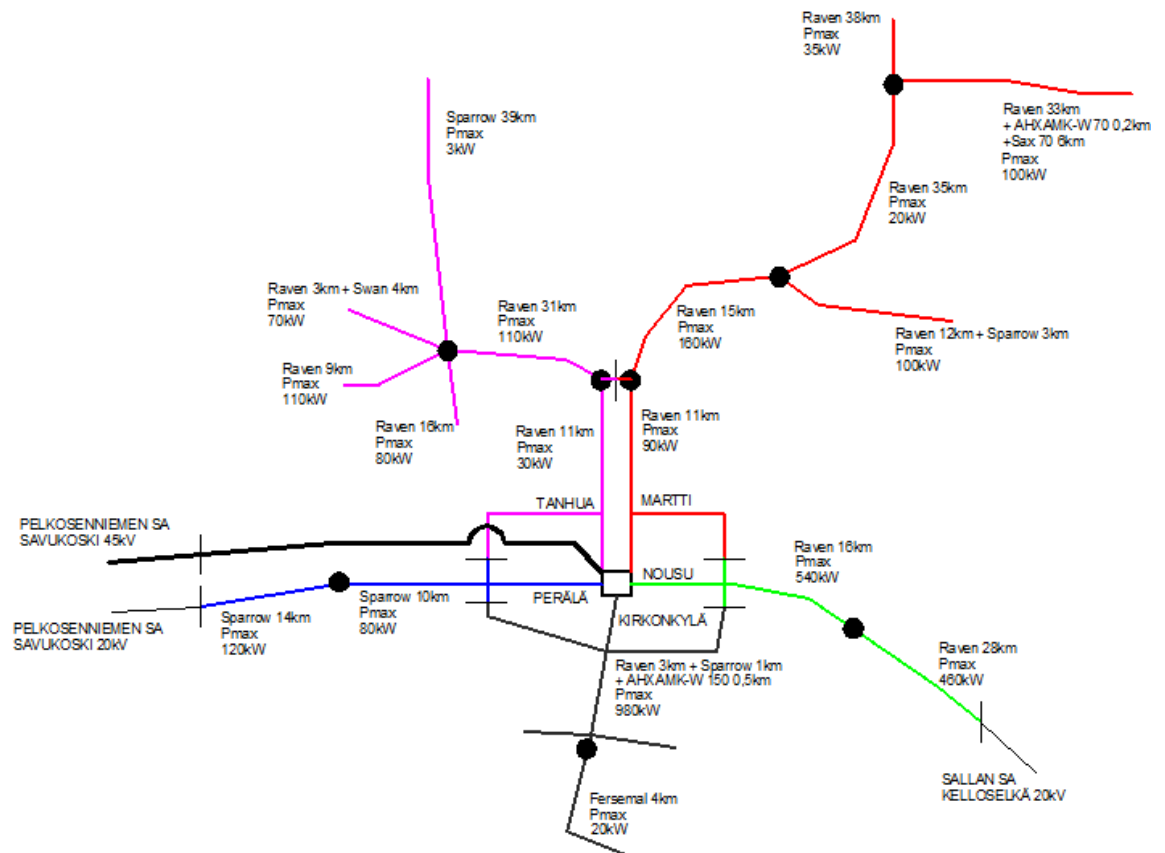
Lähtöjä ovat Perälä, Kirkonkylä, Tanhua, Nousu ja Martti. Lähdöt ovat 20 kV:n jännitetasossa. Johtopituutta Savukosken 20 kV:n sähköverkossa on yhteensä n. 470 km. Verkosto koostuu lähes kokonaan ilmajohdoista. Maakaapelia on ainoastaan pienillä osuuksilla Savukosken taajama-alueella sekä Martin lähdön loppuosissa.

Kuvassa 3 on esitetty kaaviokuva Savukosken sähköverkosta. Kuvasta nähdään syöttävät päämuuntajat, syötön suunta, johtolähtöjen kokonaispituudet ja huipputehot sekä jakorajat. Väreillä ilmaistaan, mitä johto-osaa mikäkin lähtö syöttää.

Kuvasta 4 nähdään tarkempi kaaviokuva Savukosken sähköverkosta. Kyseisessä kuvassa on esitetty johtolähtöjen runkojohtojen johtotyypit ja pituudet sekä kuormitusten jakautuminen. Kuormitusalueet on erotettu toisistaan pisteillä. Liitteessä 2 on esitetty Savukosken sähköverkko maantieteellisessä karttapohjassa.



Kuva 3. Savukosken sähköverkko.



Kuva 4. Kuormitusten jakautuminen Savukosken jakelualueella.

## 6.1. KytKentättilanne normaalitilassa

Normaalitilanteessa syöttö Savukosken sähköaseman päämuuntajalle tulee Pelkosenniementä 45 kV:n linjaa pitkin. Savukosken sähköaseman Perälän lähtö ja Pelkosenniemen sähköaseman Savukosken lähtö ovat vastakkain. Näiden lähtöjen jakoraja sijaitsee normaalisti Perälän kaukokäyttöerottimella. Vastaavasti Savukosken sähköaseman Nousun lähtö ja Sallan sähköaseman Kelloselän lähdöt ovat vastakkain. Näiden lähtöjen jakoraja sijaitsee Naruskan haarassa (kts. liite 2).

Koillis-Lapin Sähkö Oy:n vuoden 2010 kehittämissuunnitelman perusteella kuormituksen kasvuennuste Savukoskelle on 0 %, joten kuormituksen vuotuista kasvua ei oteta laskennoissa huomioon. Savukosken pohjoisosassa on käynnissä Soklin kaivoshanke. Soklin kaivos tulee ottamaan oman 220 kV:n sähköliittymänsä. Lisäksi mikäli kaivos tulee, sen avulla saadaan 20 kV:n varayhteys Savukosken yläosille. Näiden seikkojen vuoksi mahdollista kaivoksen tuomaa kuormitusten kasvua ei oteta huomioon laskelmissa. /4/

Taulukoon 3 on koottu Integran kuormitustietojen perusteella Savukosken ja Pelkosenniemen päämuuntajien jännitetasot, nimellistehot, nykytilan huipputehot ja päämuuntajien kuormitusasteet. Pelkosenniemen kuormitus on otettu taulukkoon matkaan sen vuoksi, että se syöttää Savukosken sähköasemaa normaalissa kytKentättilanteessa. Päämuuntajien kuormitusasteet on saatu käsin laskemalla. Laskennat ovat näkyvillä liitteessä 4/10.

**Taulukko 3. Päämuuntajien kuormitukset nykytilassa.**

Sähköasema	Jännitetasot [kV]	Nimellisteho Sn [MVA]	Huipputeho P [MW]	Loisteho Q [Mvar]	Päämuuntajan kuormitusaste [%]
Pelkosenniemi	110/45/20	15/15	6,4/5,6	1,3	81
Savukoski	45/20	5	3,1	1,1	62

Taulukosta 3 voidaan laskea, että Savukosken osuus Pelkosenniemen päämuuntajan kuormituksesta on normaalisti n. 26 %.

Savukosken sähköverkossa jännitteenalenema on suurin mitoituksen vaikuttava tekijä, koska etäisyydet ovat niin pitkiä. Taulukossa 4 on nähtävillä normaalissa kytkentätilassa vaikuttavat minimi vaihejännitteet asiakkaiden liittymispisteissä. Lisäksi taulukossa 4 on esitetty Savukosken johtolähtöjen kuormitusvirrat ja maksimi kuormitusasteet huipputehojen aikaan. Savukoski 45 lähdön kuormitusvirta on 45 kV:n jännitetasossa.

**Taulukko 4. Jännitteenalenemat ja johtolähtöjen kuormitusasteet lähdöittäin nykytilassa.**

Sähköasema	Johtolähtö	$U_{\min}$ [V]	Kuormitusvirta [A]	Kuormitusaste [%]
Pelkosenniemi	Savukoski 45	-	42	15
Savukoski	Tanhua	222	11	4
Savukoski	Martti	218	14	8
Savukoski	Nousu	215	32	13
Savukoski	Kirkonkylä	217	32	12
Savukoski	Perälä	215	5	2

Pelkosenniemeltä Savukosken sähköasemalle tulevan 45 kV:n syötön jännitteenalenema korjataan normaalitilanteessa muuntajan käämikytkimellä. Savukoski 45 lähdön suhteellinen jännitteenalenema on 4,2 %.

## 6.2. Kytkentätilanne korvaustilanteessa

Pahin mahdollinen häiriötilanne Savukosken osalta on, että 45 kV:n sähköyhteys Pelkosenniemeltä Savukoskelle katkeaa. Tällöin kumpaakaan Savukosken sähköaseman muuntajaa ei voida käyttää, vaan sähkö on saatava asiakkaille toista tietä vian etsinnän ja korjaamisen aikana. Tässä työssä tarkastellaan korvaustilannetta huipputehojen aikaan. Huipputehot sijoittuvat yleensä tammi-helmikuulle.

Aikaisemmin mainitut Perälän ja Nousun lähdöt ovat yhteydessä toiseen sähköasemaan. Näillä 20 kV:n johtoyhteyksillä ei voida nykytilassa täysin korvata 45 kV:n linjan siirtämää huipputehoa. Johtoihin vaikuttava johtolähtöjen kasvanut pituus ja jännitetason lasku nostavat jännitteenalenemien suuruutta merkittävästi. Tämä johtaa siihen, että

Savukosken sähköverkosta on pudotettava kuormaa pois, jotta jännitteenalenema ei kasvaisi liian suureksi (kts. 3.2).

Integra –verkkotietojärjestelmällä tehtiin simulointi korvaustilanteesta Savukoskella. Simulointiin kuului syötön ja jakorajojen muutokset sekä verkostolaskennat. Simuloinnissa pudotettiin kuormaa pois verkosta, jotta jännitteenalenemat verkossa saatiin sallittuihin arvoihin. Simuloinnin jälkeen tarkasteltiin korvattavuutta sähköttömien asukkaiden avulla.

Normaalitilanteen korvattavuuden määrittäminen antaa suuntaa sille, kuinka paljon uudelta varayhteydeltä vaaditaan teknisesti. Taulukossa 5 on esitetty simuloinnin avulla saadut korvaustilanteessa ja sen kytkennöillä vaikuttavat korvaavat tehot, sähköasemien päämuuntajien kuormitusasteet, minimi vaihejännitteet asiakkaiden liittymispisteissä ja syöttävien johtolähtöjen kuormitusvirrat sekä maksimi kuormitusaste.

**Taulukko 5. Korvaavat tehot, jännitteenalenemat ja syöttävien johtolähtöjen kuormitusasteet korvaustilanteessa.**

Sähkö- asema	Johto- lähtö	Korvattu teho [MW]	Päämuuntajien kuormitusaste [%]	$U_{min}$ [V]	Kuormitus- virta [A]	Johtojen kuormitus- aste [%]
Pelkosenniemi Salla	Savukoski	0,85	65	207	31	14
	Kellosekä	0,68	58	208	60	33

Taulukon arvojen avulla voidaan laskea, että Savukosken sähköaseman huipputehosta (3,1 MW) voidaan korvata 1,53 MW eli n. 49 %. Savukosken sähköasemalla on aiemmin mainittu siirrettävä varavoimageneraattori, jolla voidaan korvata lisäksi n. 0,7 MW huipputehosta. Varavoimageneraattorin avulla korvattavuus kasvaa n. 72 %:iin. Pelkosenniemen päämuuntajan kuormitusaste pieneni normaalista vähentyneen kuorman vuoksi, kun taas Sallan päämuuntajan kuormitusaste suureni normaalista 5 % (kts. liite 4/10).

Pelkosenniemen Savukoski lähdön kuormitusvirta on normaalisti 14 A ja kuormitusaste 6 %. Sallan Kellosekä lähdön kuormitusvirta on normaalisti 40 A ja kuormitusaste 22 %.

### **6.2.1. Keskeytyskustannukset nykyisessä korvaustilanteessa**

Osa Savukosken asukkaista näkee 45 kV sähköyhteyden kadotessa vain kaukokäyttöisen kytkennän mittaisen keskeytyksen. Osa taas näkee korjausajan mittaisen keskeytyksen. Näillä tiedoilla 45 kV vian aiheuttamiksi keskeytyskustannuksiksi saadaan parhaassa tilanteessa n. 21600 €. Laskennat on esitetty liitteessä 5. Huonossa tilanteessa, jossa 20 kV:n linja Pelkosenniemeltä Savukoskelle tulee kytkeä jännitteettömäksi korjaustyön ajaksi, keskeytyskustannukset kasvavat entisestään riippuen siitä, missä vika tapahtuu. 20 kV:n linja kulkee samassa johtokadussa 45 kV linjan kanssa. Korvaavaa tehoa saadaan tällöin ainoastaan varavoimageneraattorista ja Sallasta.



## 7. VARASYÖTTÖYHTEYSVAIHTOEHDOT

Tavoite uudelle varasyöttöyhteydelle oli saada 100 %:n korvattavuus 45 kV:n syötölle yhdessä muiden käytössä olevien korvausmenetelmien kanssa. Selvityksestä selvisi neljä erilaista varasyöttöyhteyden muotoa, joita tässä työssä tarkastellaan. Näitä ovat kolme 20 kV:n vaihtoehtoa ja yksi 45 kV:n vaihtoehto. Yhtä 20 kV:n varayhteysvaihtoehtoa tarkastellaan kahdella eri johdintyypillä. Varasyöttöyhteysvaihtoehtoja tarkastellaan teknis-taloudellisen selvityksen avulla. Sallasta on liian pitkä matka Savukoskelle verrattuna Pelkosenniemeen, joten todettiin, että varayhteysttä Sallasta ei tulla tarkastelemaan.

### 7.1. Saneeraukset ja toimenpiteet Savukosken sähköverkossa

Pelkosenniemen sähköaseman ja Savukosken sähköaseman välistä 20 kV:n johto-osuutta tullaan saneeraamaan lähitulevaisuudessa. Kyseinen johto-osuus on saneerattava lähinnä sen iän ja huonokuntoisuuden vuoksi. Saneerauksessa johto-osuudelta uusitaan pylvää, johdot ja orret. Saneeraus on määrä suorittaa Savukoskentien ja Sodankyläntien risteyksestä aina Savukosken sähköasemalle asti. Saneerattavaa johtoa tulee n. 38 km. Pelkosenniemen kirkonkylän kohdalla runkojohto on Ravenia ja pylväissä on metalliorret, joten tätä osaa johdosta ei ole tarvetta saneerata. /15/

Saneeraus vaikuttaa työn suunnitelmiin, koska on otettava huomioon kyseisen saneerauksen vaikutus varasyöttöyhteyksiin. Tämä tulisi laskemaan ainakin saneerattavaa reittiä kulkevan varasyöttöyhteyden investointikustannuksia, koska saneerauksen ja varasyöttöyhteyden kustannuksia voitaisiin yhdistää. Eri reittiä kulkevan varasyöttöyhteyden hintaa saneeraus periaatteessa nostaisi, koska saneeraus tehdään joka tapauksessa.

## 7.2. Jännitteenkorotusmuuntaja

Jännitteenkorotusmuuntajalla voidaan kompensoida johdolla tapahtuvaa jännitteenalenemaa. Samalla johdon siirtokyky paranee. Korotusmuuntaja toimii kuten mikä tahansa muuntaja eli sillä säädetään toisiojännitettä. Korotusmuuntajan kustannuksiin kuuluu suurimpana osana itse muuntaja. Lisäksi järjestelmän investointiin tulee kustannuksia kytkentä-, säätö- ja suojalaitteista sekä asennuksista. /5/

Tässä selvityksessä jännitteenkorotusmuuntaja tulee kysymykseen varasyöttöyhteyksien muodoissa, jotka ovat 20 kV:n jännitetasossa. 45 kV:n varasyöttöyhteydellä jännitteenalenemaongelmaa ei tule, koska varasyöttöyhteys kytkettäisiin Savukosken päämuuntajaan, jonka käämikytkimellä säädettäisiin jännite sopivaksi. Jännitteenkorotusmuuntaja tulisi olemaan nimellisteholtaan yhtä suuri kuin Savukosken tämän hetkinen päämuuntaja eli 5 MVA. Kuvassa 5 on esitetty jännitteenkorotusmuuntaja.

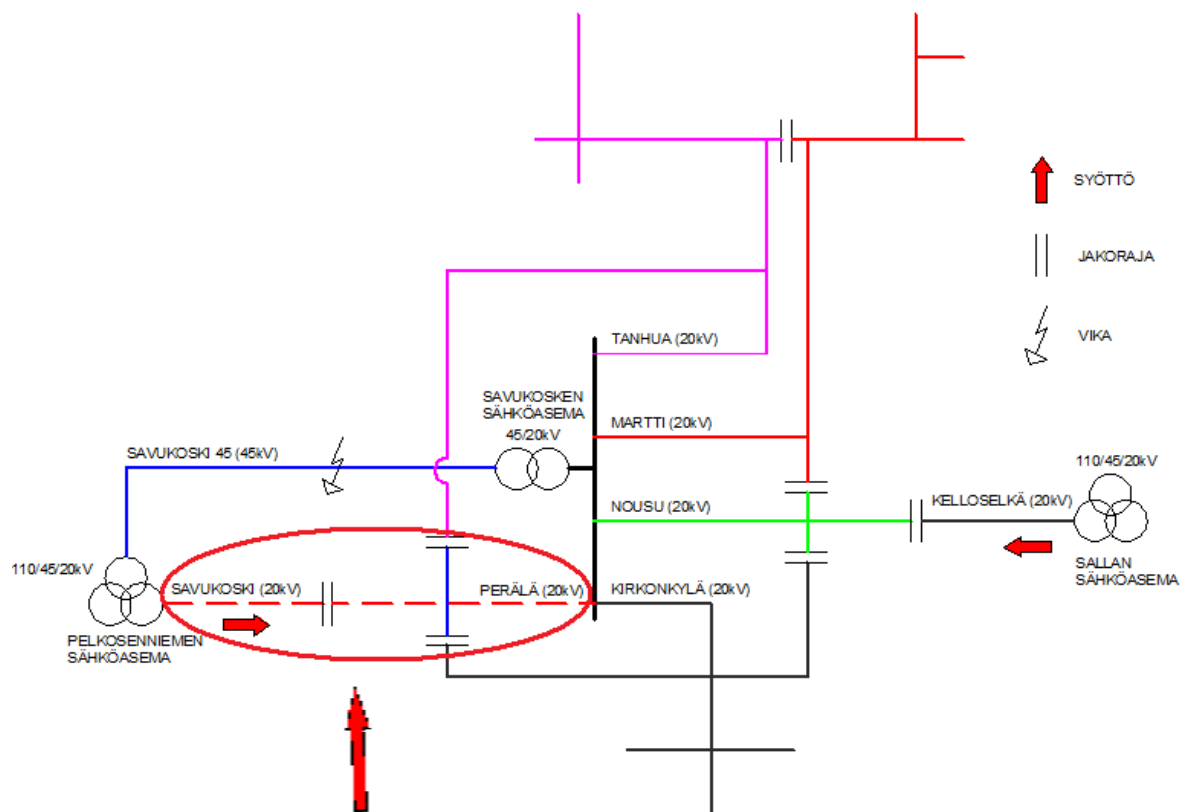


**Kuva 5. Jännitteenkorotusmuuntaja /9/**

### 7.3. Pelkosenniemi – Savukoski välisen 20 kV:n johto-osuuden vahvistus

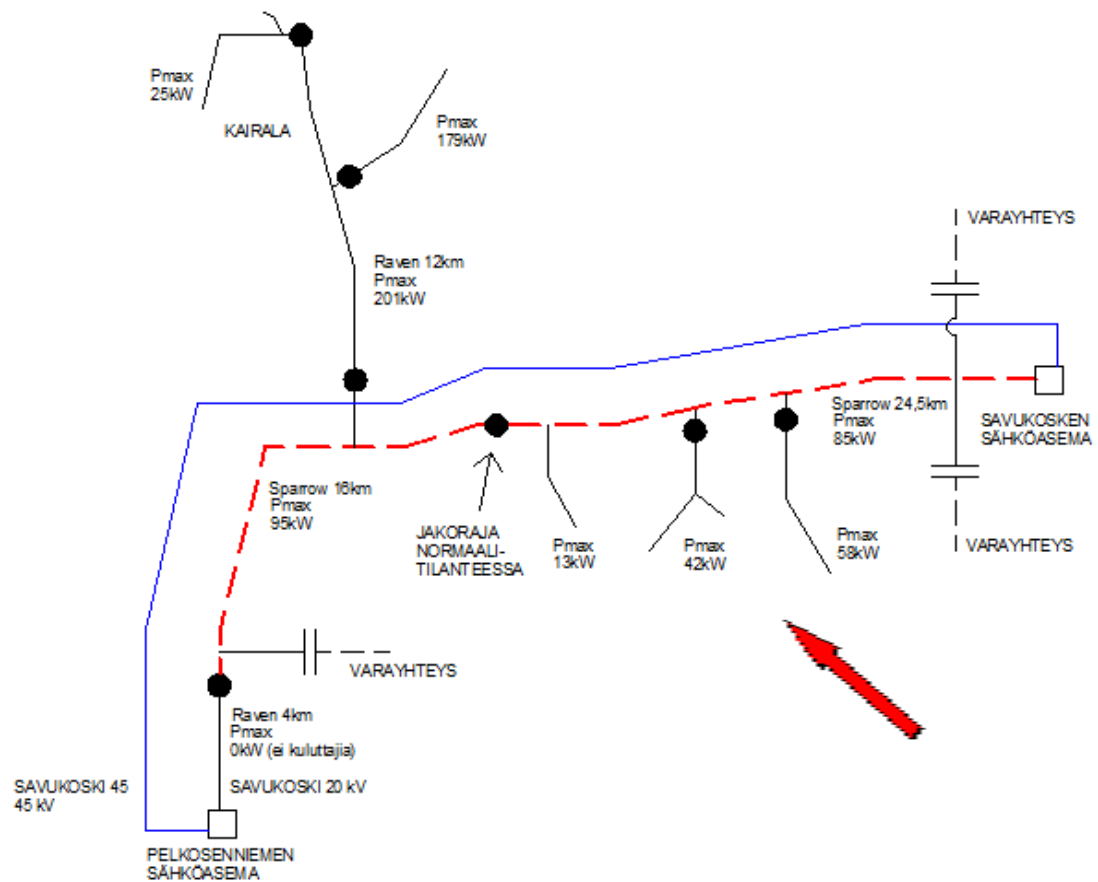
Vahvistettava johto-osa on Pelkosenniemen Savukoski-lähtö ja sitä vastassa oleva Savukosken Perälä-lähtö. Vahvistamalla kyseistä 20 kV:n johto-osaa, varasyöttöyhteys Savukoskelle tulisi näin vanhaa reittiä pitkin. Liitteen 3 kuvassa 1 on esitetty vahvistettava johto-osa maantieteellisesti.

Kuvassa 6 on esitetty kaaviokuva vahvistettavasta johto-osasta. Lisäksi kuvassa on esitetty syötön suunnat korvaustilanteessa. Katkoviivalla merkitty johto-osa vaihdetaan AL132- / BLL-T157-johtoon. Jakorajat on esitetty normaalitilassa.



**Kuva 6. Pelkosenniemen ja Savukosken välinen vahvistettava johto-osa.**

Kuvassa 7 on esitetty tarkempi kuva vaihdettavasta johto-osasta. Kuvassa on esitetty runkojohtojen tyypit ja johtopituudet sekä eri verkon osien huipputehot normaalitilassa. Kuormitusalueet on erotettu toisistaan pisteillä. Katkoviivalla merkitty viiva kuvaa vaihdettavaa johto-osaa.



**Kuva 7. Tarkennettu kuva Pelkosenniemen ja Savukosken välisestä vahvistettavasta johto-osasta.**

Runkojohdolla on pituutta Pelkosenniemeltä Savukoskelle yhteensä 44,5 km. Nykyisellään kyseisessä johto-osassa on käytetty runkojohtona suurimmaksi osaksi Sparrow-johtoa. Haarajohdoissa kuluttajille on käytetty lisäksi Swania ja Ravenia. Pelkosenniemen sähköasemalta Savukoskelle päin runkojohdossa on käytetty Ravenia noin 4km. Tähän johto-osaan ei ollut tarkoituksen mukaista vaihtaa uutta johtoa.

Saneerauksen yhteydessä johtimet vaihdettaisiin poikkipinnaltaan paksumpiin johtimiin. Pelkosenniemen osuus tulisi tehdä vielä lisätyönä. Tämä varasyöttöyhteyden muoto olisi helppo toteuttaa saneerauksen yhteydessä. Rakentamisen aikana syöttö kuluttajille saataisiin kokoajan kahdesta suunnasta, joten keskeytyksiä tulisi vähän. Tämän varayhteyden rakentaminen kestäisi kuitenkin n. 4 vuotta, koska johto-osuudella on paljon asiakkaita ja johtoa voidaan rakentaa n. 10 km kerrallaan. Näin ollen Savukosken sähköverkon huono korvaustilanne tulisi kestämaan vielä pitkään. /14/

Poikkipinnaltaan paksuimmat KLS:n käyttämät paljaat avojohdot ovat 20 kV:lla AL132 ( $A=132 \text{ mm}^2$ ). Lisäksi käytössä on päällystettyä avojohtoa, joista paksuin käytetty on BLL-T157 ( $A=157 \text{ mm}^2$ ). Päällystetty avojohto parantaa yleistä luotettavuutta. Oksat ym. pienet kosketukset eivät välttämättä aiheuta maasulkua. Tässä varayhteyden muodossa selvitetään AL132- ja BLL-T157-johtojen vaikutus korvaustilanteeseen. Liitteessä 6 on esitelty AL132 ja BLL-T157 – johdot.

Pelkosenniemen ja Savukosken välinen 20 kV:n linja kulkee lähes koko matkan samassa johtokadussa 45 kV johto-osuuden kanssa. Tämä voi tuoda mukanaan ongelmia korvaustilanteen sähkönsiirrossa. On mahdollisuus, että kyseinen 20 kV linja tulee kytkeä jännitteettömäksi vian korjauksen ajaksi, koska se on fyysisesti niin lähellä 45 kV:n linjaa. Vian etsinnän ajan 20 kV:n johto-osuutta voitaisiin käyttää normaalisti varasyöttönä.

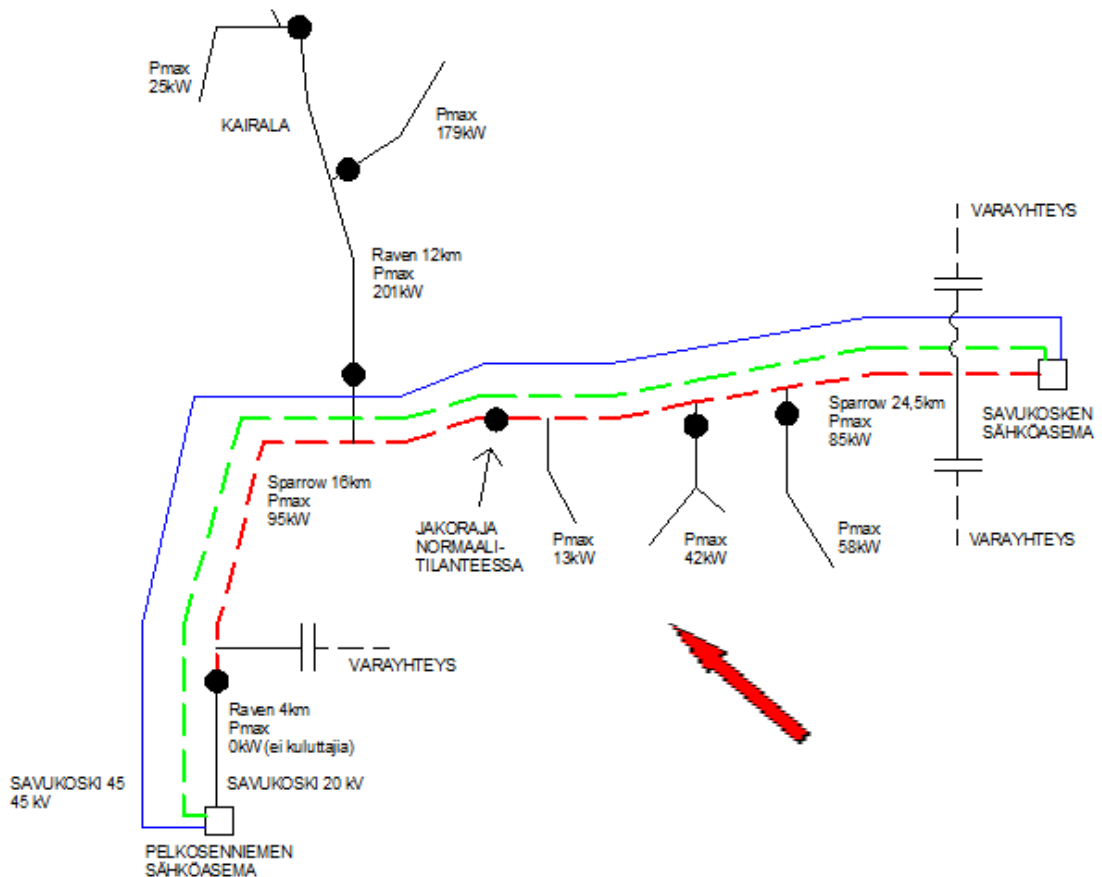
#### **7.4. Pelkosenniemi – Savukoski välinen 20 kV:n kaksoisjohtojärjestelmä**

Tässä varasyöttöyhteyden muodossa on kyse saman johto-osan uusimisesta kuin kohdassa 7.3. Liitteen 3 kuvasta 1 voidaan siis nähdä tämänkin varasyöttöyhteyden sijainti verkossa ja reitti kartalla.

Tässä muodossa tultaisiin käyttämään kaksoisjohtojärjestelmää, joka toteutettaisiin päällystetyllä avojohdolla BLL-T157:lla. Samoissa pylväissä kulkisi tällöin kaksi sähkölinjaa, joista toinen syöttäisi normaalisti asiakkaita, kuten vanha johto tekee tällä hetkellä. Toinen taas kulkisi suoraan Pelkosenniemeltä Savukosken sähköasemalle ja toimisi pelkästään varasyöttöyhteytenä.

Kuvassa 8 on esitetty kaaviokuva kaksoisjohtojärjestelmäksi muutettavasta johto-osasta. Kaksoisjohdoksi muutettava johto-osa on sama kuin kuvissa 6 ja 7 on esitetty. Kuvassa katkoviivalla merkityt johto-osat toteutetaan kaksoisjohtojärjestelmällä. Vihreällä merkitty johto-osa kuvaa kaksoisjohdon uutta johto-osaa ja punaisella merkitty ns. vanhaa johtoa. Uusi johto kulkee Pelkosenniemen alkupään 4 km:n osuuden yksittäisenä. Kuvassa on esitetty lisäksi muutettavan johto-osan runkojohtojen tyypit ja johtopituudet sekä eri

verkon osien huipputehot normaalitilanteessa. Kuormitusalueet on erotettu toisistaan pisteillä.



**Kuva 8. Kaksoisjohtojärjestelmäksi muutettava johto-osa.**

Tämäkin varasyöttöyhteyden muoto toteutettaisiin saneerauksen yhteydessä, joten kustannuksia voitaisiin yhdistää kuten edellisen varasyöttömuodon kanssa. Tämän muodon etuna toimisi erillinen varasyöttöyhteys. Toinen johto vahvistaisi lisäksi vanhaa johtoa. Tässäkin vaihtoehdossa on se ongelma, että se kulkee samassa johtokadussa kuin 45 kV:n sähkölinja.

Tämä varasyöttöyhteyden muoto tulee olemaan kalliimpi kuin kohdan 7.3 vaihtoehdot, koska johtoja on kaksi ja Savukosken sähköasemalle tulisi tehdä uusi 20 kV:n lähtö tätä varayhteyttä varten. Lisäksi välille on suunniteltu laitettavaksi uusia kaukokäyttöisiä erotinasemia. Pelkosenniemellä on yksi varalähtö valmiina. Rakentaminen veisi n. 4 vuotta. Kuvassa 9 on esitetty kaksoisjohtojärjestelmä päällystetyllä avojohdolla.



**Kuva 9. Kaksoisjohtojärjestelmä päällystetyllä avojohdolla. /9/**

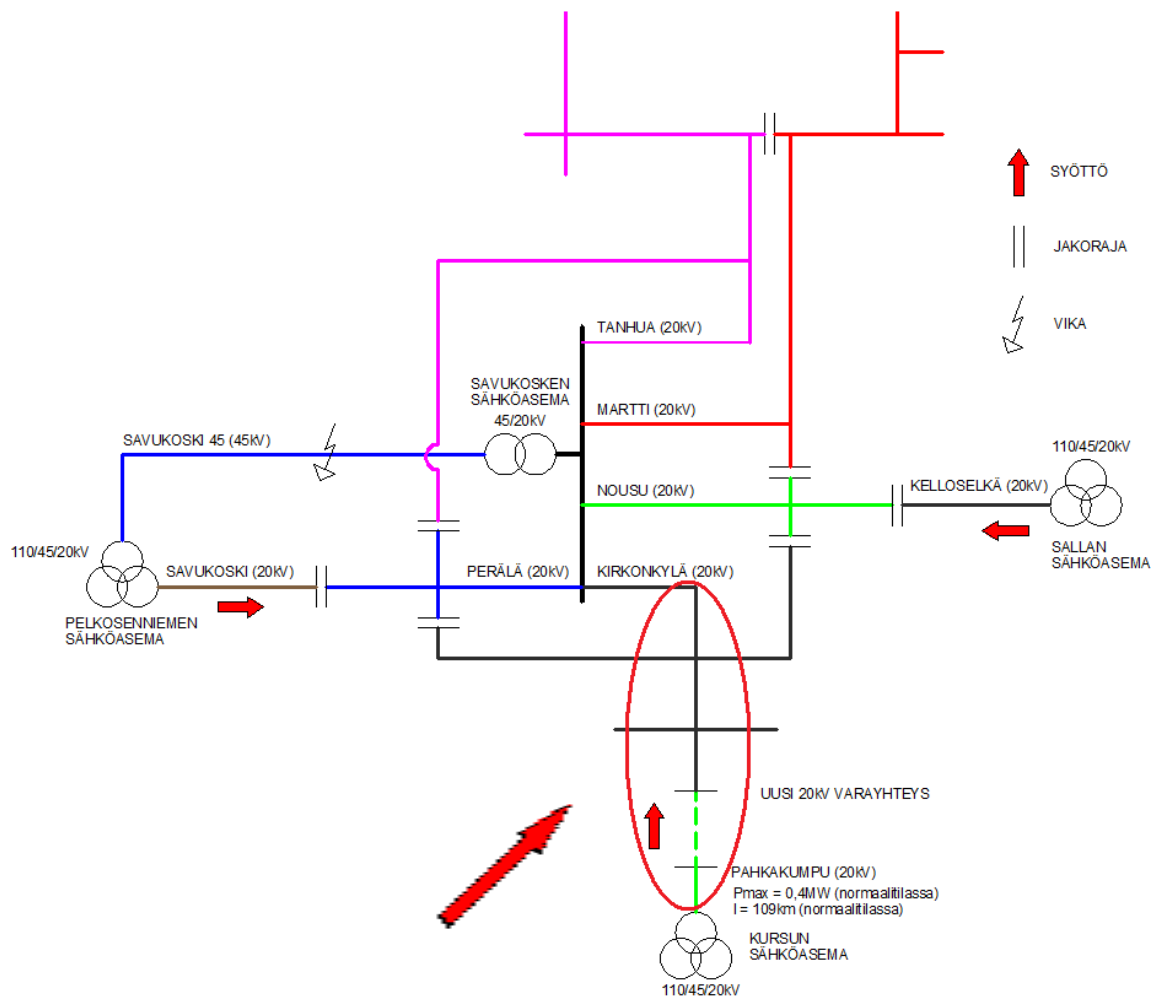
### **7.5. Ahvenselkä – Savukoski välinen uusi 20 kV:n johto-osuus**

Tässä varasyöttöyhteysvaihtoehdossa on tarkoituksena rakentaa uusi 20 kV:n sähkölinja Ahvenselästä Savukoskelle. Ahvenselässä kulkee ennestään 20 kV:n sähköverkkoa, joka saa syöttönsä normaalissa kytkentätilassa Kursun sähköasemalta Pahkakummun lähdöstä. Ahvenselästä sähköverkko on yhteydessä lisäksi Sallan, Kemijärven ja Pelkosenniemen suuntiin, joten sähköä saadaan monesta eri suunnasta. Liitteen 3 kuvassa 2 on esitetty uusi 20 kV:n johto-osa maantieteellisesti.

Uusi linja tulisi kulkemaan Ahvenselästä tienreunoja pitkin Savukosken taajamaan ja se yhdistettäisiin Kirkonkylän lähtöön. Vanhaa sähköverkkoa joudutaan korvaamaan uudella johdolla sekä Ahvenselässä että Savukoskella pienipoikkipintaisten johtimien vuoksi.

Varayhteys tul-taisiin toteuttamaan ilmajohdolla ja johtimena tul-taisiin käyttämään BLL-T157-johtoa. Ongelmaksi voi tulla vanha sähköverkko Kursusta Ahvenselkään, jonka täytyisi kestää korvaustilanteen vaatimat muutokset sähköverkossa. Uudella johtosuudella pituutta olisi n. 34 km ja matkaa Kursun sähköasemalta Savukosken sähköasemalle tulisi n. 73 km.

Kuvassa 10 on esitetty kaaviokuva Ahvensalmen ja Savukosken yhdistävästä johto-osasta. Katkoviivalla merkitään uutta 20 kV:n johto-osaa. Jakorajat on esitetty normaalitilassa.

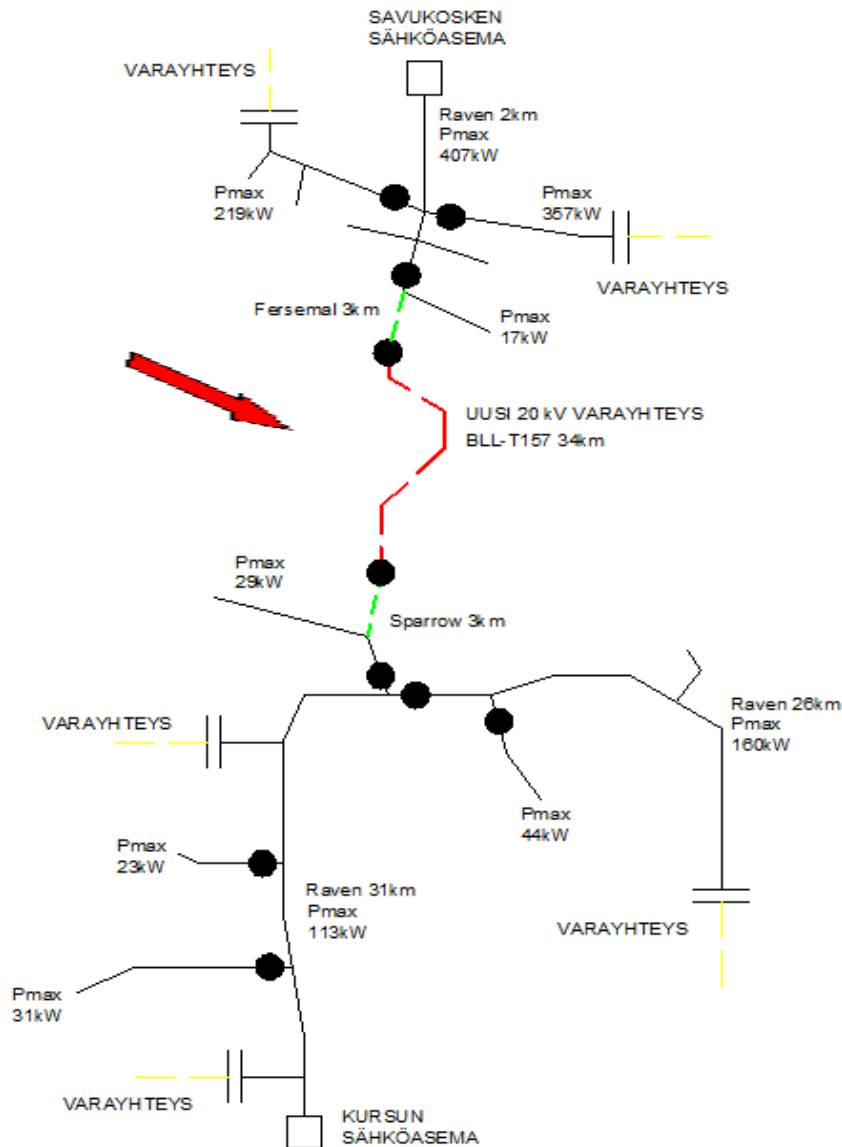


**Kuva 10. Ahvensalmen ja Savukosken välinen uusi 20 kV:n johto-osa.**

Kuvassa 11 on esitetty tarkempi kuva uudesta Ahvenselän ja Savukosken yhdistävästä johto-osasta. Punaisella katkoviivalla kuvataan uutta 20 kV johto-osaa. Vihreällä katkoviivalla merkityt johdot vaihdetaan BLL-T157-johtoon. Kuvassa on esitetty lisäksi



muutettavan johto-osan runkojohtojen tyypit ja johtopituudet sekä eri verkon osien huipputehot normaalitilanteessa. Kuormitusalueet on erotettu toisistaan pisteillä.

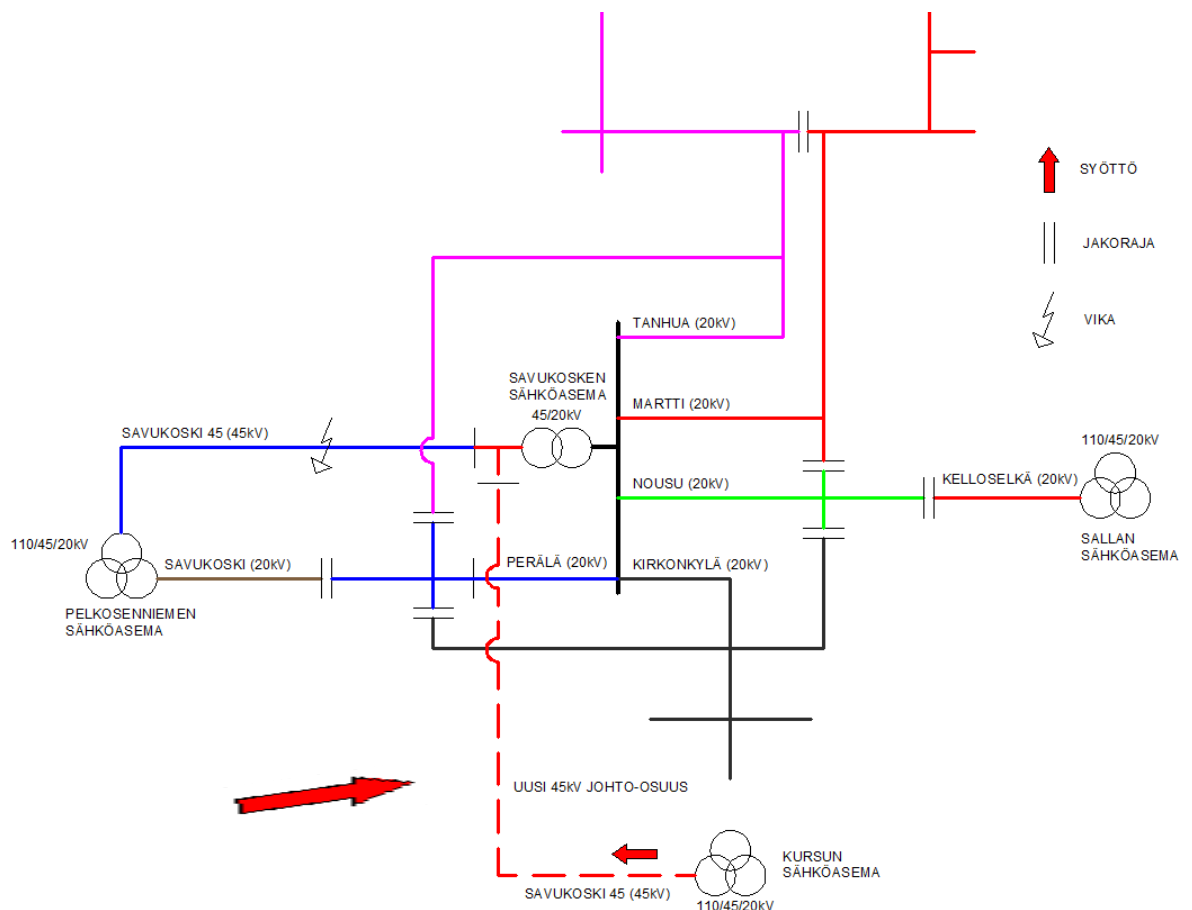


**Kuva 11. Tarkennettu kuva Ahvensalmen ja Savukosken välisestä uudesta 20 kV:n johto-osasta.**

Hyvä puoli tässä varayhteyden muodossa on, että se kulkee täysin eri paikassa kuin 45 kV:n syöttö Pelkosenniementä Savukoskelle. Tällä tavoin tällä varayhteydellä voitaisiin siirtää sähköä korvaustilanteessa myös korjauksen aikana. Lisäksi tätä yhteyttä voitaisiin käyttää esimerkiksi 20 kV:n vikojen aikana. Tällaisen sähkölinjan rakentaminen olisi halpa ja nopea rakentaa. Alueella johon sähkölinja rakennettaisiin, ei ole yhtään asutusta.

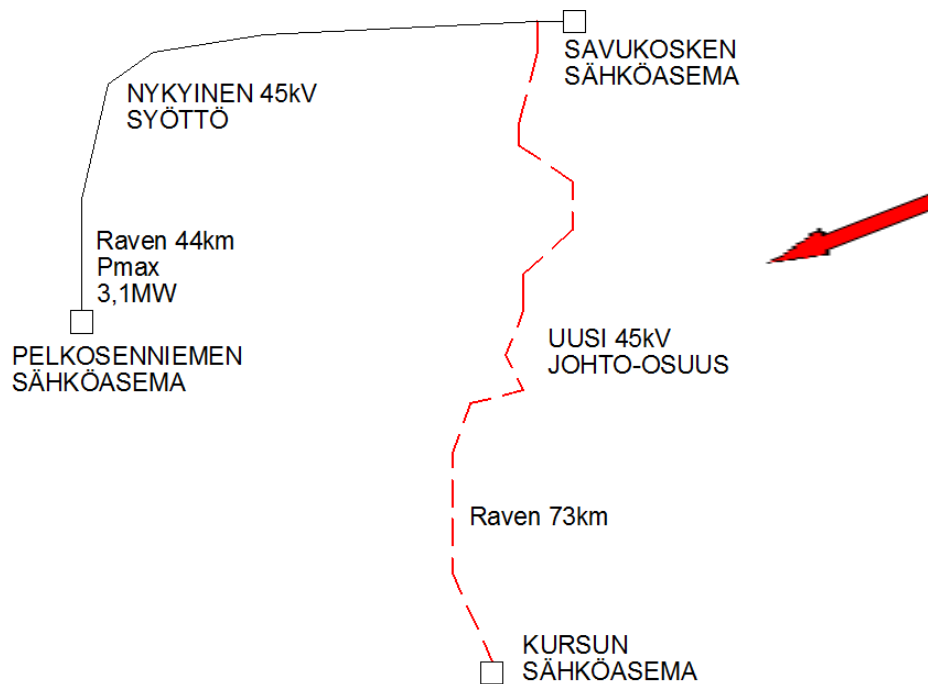
## Kursu – Savukoski välinen uusi 45 kV:n johto-osuus

45 kV:n varasyöttöyhteys saataisiin Kursun sähköasemalta. Kursun sähköasemalla on valmiina 110/45/20 kV:n muuntaja. Uusi sähkölinja rakennettaisiin kulkemaan tienvarsia pitkin Kursusta Savukoskelle. Kursun sähköasemalle tulisi rakentaa uusi 45 kV:n lähtö. Savukoskella johto voidaan liittää olemassa olevaan verkkoon. Liitteen 3 kuvassa 3 on esitetty uusi 45 kV:n johto-osuus maantieteellisesti. Kuvassa 12 on esitetty kaaviokuva uudesta 45 kV johto-osasta Kursusta Savukoskelle. Uutta 45kV:n johto-osaa on kuvattu punaisella katkoviivalla.



**Kuva 12. Kursun ja Savukosken välinen uusi 45kV johto-osuus.**

Kuvassa 13 on esitetty tarkempi kuva uudesta 45 kV:n johto-osasta. Punaisella katkoviivalla kuvataan uutta 45 kV:n johto-osuutta. Lisäksi kuvassa näkyy nykyinen 45 kV syöttö Savukoskelle, johon uusi johto-osa liitettäisiin.



**Kuva 13. Tarkennettu kuva Kursun ja Savukosken välisestä uudesta 45kV johto-osuudesta.**

Varayhteydessä tultaisiin käyttämään johtimena Ravenia (kts. liite 6). Linjalle tulee pituutta n. 73 km, mutta tämä ei ole ongelma, koska tällä varayhteyden muodolla saadaan jännite Savukosken päämuuntajaan. Päämuuntajan käämikytkimellä voidaan korjata jännitteenalenemaa tarvittaessa.

Myös tällä varasyöttöyhteydellä olisi hyvänä puolena se, että sähköä voitaisiin siirtää koko korvaustilanteen ajan, jolloin kuluttajille ei tulisi keskeytystä kuin varayhteyden kytkemisen ajan, kuten 20 kV:n varayhteydessä Ahvenselästä Savukoskelle.

Tällaisen sähkölinjan rakentaminen ei kestäisi kovin kauan, mutta kustannukset ovat suuret. Hyvinä puolina on ainakin, että jännitteenkorotusta ei tarvita, korvattavuus on taattu, luotettavuus on hyvä ja keskeytyksiä rakennuksen aikana vähän. Tämä yhteys olisi myös tulevaisuutta silmällä pitäen hyvä vaihtoehto ja tae sähkönsiirrolle, jos esimerkiksi kuormitukset Savukoskella alkaisivatkin kasvaa.

## 8. VARASYÖTTÖYHTEYSVAIHTOEHTOJEN TEKNI- TALOUDELLINEN SELVITYS

Selvitettävät varasyöttöyhteyden muodot suunniteltiin ja simuloitiin Integralla. Kaikki simuloitut suunnitelmat tallennettiin muistiin KLS:n henkilöstön käytettäväksi. Simuloiduista sähköverkon muutoksista laskettiin mitoituksen liittyvien arvojen määräysten ja suositusten mukaisuus, investointikustannukset sekä vaikutukset keskeytyskustannuksiin. Mitoitukseen liittyvät laskennat suoritettiin Integralla. Esimerkkilaskennat on esitetty liitteessä 4.

Investointikustannukset 20 kV laitteistojen osalta on määritetty verkostosuositus KA2:10 yksikköhintojen avulla. 45 kV laitteistojen ja jännitteenkorotusmuuntajan osalta kustannukset on määritetty vuoden 2012 EMV:n sähköjakeluverkon komponenttien yksikköhintojen mukaan. Kyseiset yksikköhinnat perustuvat Energiategollisuus ry:n verkostosuositukseen KA2:10 ja EMV:n Empower Oy:ltä tilaamaan sähköverkkokomponenttien yksikköhintojen määrittelyä koskevaan selvitykseen 17.11.2010. Hintoja jouduttiin osittain soveltamaan, koska hinnastoista ei löytynyt kaikille komponenttiratkaisuille sopivia hintoja. Pelkosenniemen ja Savukosken välisen johto-osuuden saneeraus otettiin huomioon investointikustannuksia laskettaessa. Taulukossa 6 on esitetty saneerauksen kustannusarvio. /15/, /19/, /20/

**Taulukko 6. Pelkosenniemi-Savukoski välisen johto-osan saneerauksen kustannusarvio.**

Komponentti	Yksikkö	Määrä [kpl/km]	Yksikkö hinta [€]	Hinta alv 0 % [€/km]
Pylvästys 20 kV	kpl	15	970	14550

Keskeytyskustannus laskelmissa määritettiin uusien varayhteyksien tuomat muutokset keskeytyskustannuksiin. Keskeytyskustannusten vaikutus määritettiin käsin laskemalla. Laskennat on esitetty liitteessä 5.

## 8.1. Pelkosenniemi – Savukoski välisen 20 kV:n johto-osuuden vahvistus AL132-johdolla.

Kohdan 7.3 mukaisen varasyöttöyhteyden ensimmäinen vaihtoehto oli, että Pelkosenniemen ja Savukosken välinen vanha runkojohto korvattaisiin saneerauksen yhteydessä AL132-johdolla. Pelkosenniemen alkupään Raven-johtoa ei vaihdeta.

### 8.1.1. AL132-johdon vaikutus korvaustilanteeseen

Simuloinnissa runkojohdon Sparrow-johto vaihdettiin AL132-johtoon ja tehtiin tarvittavat kytkentämuutokset korvattavuuden selvittämiseksi. Sallasta saatiin maksimi korvausteho 0,68 MW. Taulukkoon 7 on koottu korvaustilanteessa vaikuttavat päämuuntajien kuormitusasteet, syöttävien lähtöjen kuormitusasteet, korvaavat tehot ja korvausasteet, kun Pelkosenniemen ja Savukosken välistä johto-osaa on vahvistettu AL132-johdolla.

**Taulukko 7. Syöttävien lähtöjen korvaavat tehot, kuormitusasteet ja korvausasteet AL132-johdon vaikutuksesta.**

Sähkö- asema	Johto- lähtö	Päämuuntajan kuormitusaste [%]	Kuormitus- virta [A]	Johtojen kuormitus- aste [%]	Korvattu teho [MW]	Korvaus- aste [%]
Pelkosenniemi	Savukoski	74	74	32	2,09	67
Salla	Kelloselkä	58	60	33	0,68	22
					<b>Korvattavuus yht. [%]</b>	<b>89</b>

Korvattavuus parani normaalitilanteesta 40 %. Savukosken sähköasemalla olevalla siirrettävällä varavoimageneraattorilla voidaan korvata n. 0,7 MW, joten generaattoria käyttämällä korvattavuus kasvaa 100 %:iin. Jännitteenkorotusmuuntajalla jännitteenaleneman arvot saataisiin parempiin arvoihin ja korvattavuus kasvaisi myös 100 %:iin. Jännitteenkorotusmuuntaja tulisi Savukosken sähköasemalle ja se kytkettäisiin Perälän lähtöön.

Jännitteenkorotusmuuntajalla Pelkosenniemen Savukoski lähdön kuormitusvirta olisi 83 A ja kuormitusaste 37 %. Kyseisessä tilanteessa korvaamatta jäänyt teho (0,33MW) siirrettäisiin siis Pelkosenniemen Savukoski-lähtöä pitkin. Pelkosenniemen päämuuntajan kuormitusaste nousisi tällöin 76 %:iin. Savukosken sähköaseman lähtöjen kuormitettavuutta ei tarkasteltu, koska niiden kuormitettavuus on täydellään kuormalla sallituissa arvoissa.

Taulukkoon 8 on koottu lähdöittäin minimi vaihejännitteet asiakkaiden liittymispisteissä, kaksivaiheiset oikosulkuvirrat johtolähtöjen äärimmäisissä päissä, kolmivaiheinen oikosulkuvirta heikoimman johto-osuuden alussa ja kyseisen johto-osan oikosulkukestoisuus sekä maasulkureleiden näkemät maasulkuvirrat. Suojareleiden oikosulku- ja maasulkuasettelut on esitetty liitteessä 1. Oikosulkukestoisuus on esitetty suhteellisenä arvona kolmivaiheisen oikosulkuvirran suhteesta oikosulun ekvivalenttisen kestoajan ja johtimen 1s oikosulkuvirran avulla laskettuun suurimpaan sallittuun oikosulkuvirtaan. Jos arvo on alle 100 %, johto on oikosulkukestoinen. Jännitteenalenemat on esitetty korvatun tehon kytkennöillä.

**Taulukko 8. AL132-johdon vaikutus korvaustilanteen verkkoon.**

Sähköasema	Johtolähtö	$U_{\min}$ [V]	$I_{k_{2v}}$ [kA]	$I_{k_{3v}}$ [kA]	Oikosulku-kestoisuus [%]	Summa- virta $I_{res}$ [A]
Pelkosenniemi	Savukoski	207	0,43	1,33	<b>131</b>	9,2
Savukoski	Tanhua	211	0,12	0,24	24	18,1
Savukoski	Martti	207	0,11	0,31	15	16,5
Savukoski	Nousu	216	<b>0,31</b>	0,49	33	19,0
Savukoski	Kirkonkylä	207	<b>0,33</b>	0,52	34	18,9
Salla	Kelloselkä	208	0,12	0,84	79	2,8

Nousun ja Kirkonkylän lähdoissä kaksivaiheinen oikosulkuvirta on suurempi kuin pikalaukaisun havahtumisarvo. Pelkosenniemen Savukoski-lähdön ja Savukosken Nousu- ja Kirkonkylä-lähtöjen selektiivisyyttä tulisi parantaa. Pelkosenniemen sähköaseman Savukoski-lähdön alussa korvaustilanteessa vaikuttava kolmivaiheinen oikosulkuvirta on suuruudeltaan 2,95 kA. Savukosken sähköasemalla kolmivaiheinen oikosulkuvirta lähtöjen alussa on 0,54 kA. Sallan sähköasemalla Kelloselän lähdoissä kolmivaiheinen oikosulkuvirta on 2,56 kA.

Pelkosenniemen Savukoski-lähdöllä on aikalaukaisulla oikosulkukestoton johto-osa. Kyseessä on Kairalassa sijaitseva haarajohto muuntajalle. Kyseinen johto on jo normaalistikin oikosulkukestoton. Normaalitylanteessa kyseisen johto-osan kolmivaiheinen oikosulkuvirta on 1,15 kA ja oikosulkukestoisuus 114 %. Muilta johto-osilta ei löytynyt oikosulkukestottomia johto-osuuksia.

Syöttävät päämuuntajat sijaitsevat nyt Sallassa ja Pelkosenniemellä. Maasulkulaskennat suoritettiin samoilla kytkennöillä kuin oikosulkulaskennat. Vikaresistanssina maasulkulaskennoissa on käytetty 500 Ω. Summavirta-arvot ovat suojareleiden näkemät maasulkuvirtojen arvot. Maasulkusuojaus on kunnossa.

### 8.1.2. AL132-johdon vaikutus normaalin kytkentätilan verkkoon

Normaalitylanteessa johdinvaihdoksen muutokset vaikuttivat ainoastaan Savukosken Perälä-lähdöllä ja Pelkosenniemen Savukoski-lähdöllä. Taulukossa 9 on esitetty johdinvaihdoksen vaikutus normaalikytkentätilan minimi vaihejännitteisiin asiakkaiden liittymispisteissä, johtolähtöjen kuormitusasteisiin, kaksivaiheisiin oikosulkuvirtoihin, heikoimpien johto-osien kolmivaiheisiin oikosulkuvirtoihin ja oikosulkukestoisuuksiin.

**Taulukko 9. AL132-johdon vaikutus normaalin kytkentätilan verkkoon.**

Sähkö- asema	Johto- lähtö	$U_{min}$ [V]	Kuormitus- virta [A]	Kuormitus- aste [%]	$Ik_{2v}$ [kA]	$Ik_{3v}$ [kA]	Oikosulku- kestoisuus [%]
Pelkosen- niemi	Savukoski	239	14	6	0,38	1,33	<b>131</b>
Savukoski	Perälä	216	5	2	<b>0,35</b>	0,50	34

Minimi vaihejännite pysyy normaalina Pelkosenniemen Savukoski-lähdöllä ja paranee vain hieman Savukosken Perälä lähdöllä.

Paksumpi johdin nostaa oikosulkuvirtoja ja oikosulkukestoisuus huononee. Kolmivaiheiset oikosulkuvirrat sähköasemien lähtöjen alussa pysyvät normaalina. Perälän lähdön kaksivaiheinen oikosulkuvirta on suurempi kuin pikalaukaisun havahtumisarvo.

Pelkosenniemen Savukoski-lähdössä Kairalan haarajohdon tilanne on sama kuin korvaustilanteessa. Muilta osin oikosulkukestoisuudet olivat kunnossa.

Maasulkuvirrat eivät muutu normaalista, koska AL132-johto on kirkasta avojohtoa, kuten vanha Sparrow-johtokin.

### 8.1.3. Investointikustannukset

Tässä varasyöttöyhteydessä kustannukset koostuvat uudesta johdosta sekä jännitteenkorotusmuuntajasta. Lisäksi otettiin huomioon saneeraustoimenpiteen vähentävä vaikutus investointikustannuksiin. Taulukossa 10 on esitetty kustannusarvio johdon vahvistukselle AL132-johdolla.

**Taulukko 10. Investointikustannukset johdon vahvistukselle AL132-johdolla.**

Komponentti	Yksikkö	Määrä [kpl]	Yksikköhinta alv 0 % [k€]	Hinta yht. [k€]
AL132 tai suurempi (AL132)	km	41	27,7	1134,1
20/20kV säätömuuntaja	kpl	1	198,4	198,4
			<b>Hinta yht. alv 0 % [k€]</b>	<b>1332,4</b>
Pelkosenniemi - Savukoski saneeraus	km	-38	14,6	-552,9
			<b>Hinta yht. alv 0 % [k€]</b>	<b>779,5</b>

Hinnat ovat hieman todellisuutta korkeampia. Verkostosuosituksessa KA2:10 esimerkiksi uuden johdon rakennuskustannuksissa on mukana johtokadun raivauksen ja johtoaluekorvauksen kustannukset, jotka on todellisuudessa jo suoritettu. Jännitteenkorotusmuuntajakaan ei ole pakollinen, mutta huomattavasti luotettavampi kuin varavoimageneraattori ja jännitteenalenemat olisivat pienemmät.

### 8.1.4. Keskeytyskustannukset

Korvattavuus kasvoi 100 %:iin, joten parhaassa tilanteessa kuluttajat kokevat nyt ainoastaan kaukokäytön kytkentäajan mittaisen keskeytyksen 45 kV syötön katketessa.



Käyttämällä kohdan 6.2.1 arvoja keskeytyksestä aiheutuneeksi kustannukseksi saadaan parhaassa tilanteessa n. 4800 €, joten kustannukset pienenisivät n. 16800 €. Tämä varayhteys on samassa johtokadussa kuin 45 kV:n syöttö, joten huonossa tilanteessa tämä sähkölinja tulee kytkeä jännitteettömäksi korjaustyön ajaksi. Tällöin korvaavaa tehoa saadaan ainoastaan varavoimageneraattorista ja Sallan sähköasemalta. Tämä nostaa 45 kV syötön vioittumisen keskeytyskustannuksia riippuen siitä missä kohden vika sattuu ja kuinka suuri sähköttömien kuluttajien määrä on.

AL132-johto ei vaikuta Pelkosenniemen Savukoski- ja Savukosken Perälä-lähtöjen vuotuisiin keskeytyskustannuksiin, koska keskimääräinen korjausaika ja vikataajuus pysyvät samana kuin normaalitilanteessa.

## **8.2. Pelkosenniemi – Savukoski välisen 20 kV:n johto-osuuden vahvistus BLL-T157-johdolla**

Tässä varasyöttöyhteyden muodossa on kyse kohdan 7.3 mukaisesta varayhteydestä. Tilanne on muuten sama kuin kohdassa 8.1, mutta runkojohdon osalta Sparrow-johto vaihdetaan BLL-T157-johtoon. Pelkosenniemen alkupään Raven-johtoa ei vaihdeta.

### **8.2.1. BLL-T157-johdon vaikutus korvaustilanteeseen**

Kuormaa pudottamalla jännitteenaleneman arvot saatiin sallittuihin ja sen jälkeen tarkasteltiin korvattavuutta. Taulukkoon 11 on koottu päämuuntajien kuormitusasteet, syöttävien lähtöjen korvaavat tehot, kuormitusvirrat, kuormitusasteet ja korvausasteet, kun Pelkosenniemen ja Savukosken välistä johto-osaa on vahvistettu BLL-T157-johdolla. Sallasta saatiin korvaavaa tehoa 0,68MW.

**Taulukko 11. Syöttävien lähtöjen korvaavat tehot, kuormitusasteet ja korvausasteet BLL-T157-johdon vaikutuksesta.**

Sähkö- asema	Johto- lähtö	Päämuuntajan kuormitusaste [%]	Kuormitus- virta [A]	Johtojen kuormitus- aste [%]	Korvattu teho [MW]	Korvaus- aste [%]
Pelkosen- niemi	Savukoski	74	76	34	2,19	71
Salla	Kelloselkä	58	60	33	0,68	22
					<b>Korvattavuus yht. [%]</b>	93

Korvattavuus BLL-T157-johdolla on 4 % parempi kuin kohdan 8.1 AL132-johdolla. Varavoimageneraattorilla saatiin korvattua 0,7 MW, joten myös tätä johtoa käyttämällä päästään 100 % korvattavuuteen, mikä tekee myös tästä varasyöttöyhteyden muodosta mahdollisen. Jännitteenkorotusmuuntajalla korvattavuus saadaan 100 % ilman generaattoria ja jännitteenalenemat saadaan samalla parempiin arvoihin. Jännitteenkorotusmuuntajaa käytettäessä Pelkosenniemen Savukoski-lähdön kuormitusvirta olisi 83 A ja kuormitusaste 37 %. Kyseisessä tilanteessa korvaamatta jäänyt teho (0,23MW) siirrettäisiin siis Pelkosenniemen Savukoski-lähtöä pitkin. Pelkosenniemen päämuuntajan kuormitusaste nousisi tällöin 76 %:iin.

Taulukkoon 12 on koottu lähdeittäin minimi vaihejännitteet asiakkaiden liittymispisteissä, kaksivaiheiset oikosulkuvirrat johtolähtöjen äärimmäisissä päissä, kolmivaiheinen oikosulkuvirta heikoimman johto-osuuden alussa ja kyseisen johto-osan oikosulkukestoisuus sekä maasulkureleiden näkemät maasulkuvirrat. Jännitteenalenemat on esitetty korvatun tehon kytkennöillä.

**Taulukko 12. BLL-T157-johdon vaikutus korvaustilanteen verkkoon.**

Sähköasema	Johto- lähtö	$U_{\min}$ [V]	$Ik_{2v}$ [kA]	$Ik_{3v}$ [kA]	Oikosulku- kestoisuus [%]	Summavirta $I_{res}$ [A]
Pelkosenniemi	Savukoski	208	0,47	1,36	<b>134</b>	9,3
Savukoski	Tanhua	212	0,12	0,25	25	18,0
Savukoski	Martti	208	0,11	0,33	16	16,3
Savukoski	Nousu	217	<b>0,34</b>	0,54	36	18,8
Savukoski	Kirkonkylä	207	<b>0,36</b>	0,57	12	18,8
Salla	Kelloselkä	208	0,12	0,84	79	2,7

Jännitteenalenema pienenee Pelkosenniemen Savukoski-lähdöllä hieman. Muilla lähdöillä jännitteenaleneman muutosta ei voida tarkastella kovin tarkasti, koska kytkennät muuttuivat kohtaan 8.1 verrattuna.

Paksumpi johto nostaa oikosulkuvirtoja ja samalla heikentää haarajohtojen oikosulkukestoisuuksia. Nousun ja Kirkonkylän lähdöissä kaksivaiheinen oikosulkuvirta on suurempi kuin pikalaukaisun havahtumisarvo. Savukosken sähköasemalla kolmivaiheinen oikosulkuvirta kasvoi 0,60 kA:iin. Pelkosenniemen Savukoski-lähdön ja Savukosken sähköaseman lähtöjen selektiivisyyttä tulisi parantaa. Pelkosenniemen Savukoski-lähdön heikoimman johto-osan oikosulkukestottomuus on huonontunut entisestään verrattaessa kohtaan 8.1. Muita oikosulkukestottomia johto-osia ei löytynyt.

Syöttävät päämuuntajat sijaitsevat nyt Sallassa ja Pelkosenniemellä. Maasulkulaskennat suoritettiin samoilla kytkennöillä kuin oikosulkulaskennat. Tässä tilanteessa runkojohto Pelkosenniemeltä Savukoskelle on päällystettyä avojohtoa, joka vaikuttaa maasulkuvirtoihin. Maasulkuarvot pienenevät hieman verrattuna kohtaan 8.1. Integrassa BLL-T157-johdon maakapasitanssin arvo on määritetty valmistajan mukaan (kts liite 6). Maasulkusuojaus on kunnossa.

### **8.2.2. BLL-T157-johdon vaikutus normaalin kytkentätilan verkkoon**

Normaalitilanteessa johdinvaihdoksen muutokset vaikuttivat ainoastaan Savukosken Perälä-lähdöllä ja Pelkosenniemen Savukoski-lähdöllä. Taulukossa 13 on esitetty johdinvaihdoksen vaikutus normaalikytkentätilan minimi vaihejännitteisiin asiakkaiden liittymispisteissä, johtolähtöjen kuormitusasteisiin, kaksivaiheisiin oikosulkuvirtoihin, heikoimpien johto-osien kolmivaiheisiin oikosulkuvirtoihin ja oikosulkukestoisuuksiin.

**Taulukko 13. BLL-T157-johdon vaikutus normaalin kytkentätilan jännitteenaleniin.**

Sähköasema	Johto-lähtö	$U_{min}$ [V]	Kuormitus- virta [A]	Kuormitus- aste [%]	$I_{k2v}$ [kA]	$I_{k3v}$ [kA]	Oikosulku- kestoisuus [%]
Pelkosenniemi	Savukoski	239	14	6	0,38	1,36	<b>134</b>
Savukoski	Perälä	216	5	1	<b>0,36</b>	0,52	35

Jännitteenalenevat pysyvät samoina kuin kohdassa 8.1. Perälän lähdön kuormitusaste pieneni 1 %:iin.

Oikosulkuvirrat kasvoivat vain hieman kohdasta 8.1. Perälän lähdön kaksivaiheinen oikosulkuvirta on suurempi kuin releen pikalaukaisun havahtumisarvo. Kolmivaiheiset oikosulkuvirrat sähköasemien lähdöissä pysyivät muuttumattomina. Pelkosenniemen Savukoski-lähdön oikosulkukestottoman johto-osan tilanne on sama kuin korvaustilanteessa. Muita oikosulkukestottomia johto-osia ei löytynyt.

Vaikka runkojohdon tyyppi muuttuu ainoastaan Pelkosenniemen Savukoski-lähdöllä ja Savukosken Perälä-lähdöllä, BLL-T157-johto vaikuttaa kaikkien Savukosken ja Pelkosenniemen sähköasemien suojareleiden näkemiin maasulkuvirtoihin. Taulukosta 14 nähdään maasulkulaskennan tulokset normaalissa kytkentätilassa käytettäessä Pelkosenniemen ja Savukosken välisenä runkojohtona. BLL-T157-johtoa.

**Taulukko 14. BLL-T157-johdon vaikutus normaalin kytkentätilan summavirtoihin.**

Sähkösäema	Johtolähtö	BLL-T157-johdon vaikutus summavirtaan	Nykytilan summavirta
		$I_{res}$ [A]	$I_{res}$ [A]
Pelkosenniemi	Savukoski	12,8	12,7
Pelkosenniemi	Pyhäjärvi	9,5	9,7
Pelkosenniemi	Vuostimo	13,3	13,4
Pelkosenniemi	Pelkosenniemi	15,2	15,4
Pelkosenniemi	Vuostimo 45	34,2	34,6
Pelkosenniemi	Savukoski 45	31,2	31,5
Savukoski	Tanhua	10,0	12,0
Savukoski	Martti	7,5	9,5
Savukoski	Nousu	11,4	11,1
Savukoski	Kirkonkylä	11,3	13,1
Savukoski	Perälä	10,6	12,1

Maasulkuvirtojen arvot muuttuivat hieman, mutta maasulkusuojaus on kunnossa.

### 8.2.3. Investointikustannukset

Investointikustannuksia muuttaa kohtaan 8.1.4 verrattuna kalliimpi johto. Tässäkin vaihtoehdossa otettiin huomioon saneeraustoimenpiteen vähentävä vaikutus investointikustannuksiin. Taulukkoon 15 on laskettu investointikustannukset Pelkosenniemen ja Savukosken välisen johto-osan vahvistukselle, kun johtona on käytetty BLL-T157-johtoa.

**Taulukko 15. Investointikustannukset johdon vahvistukselle BLL-T157-johdolla.**

Komponentti	Yksikkö	Määrä [kpl]	Yksikköhinta [k€]	Hinta yht. [k€]
Päällystetty avojohto 95 tai suurempi (BLL-T157)	km	41	29,72	1218,52
20/20kV säätömuuntaja	kpl	1	198,35	198,35
			<b>Hinta yht. alv 0 % [k€]</b>	<b>1416,87</b>
Pelkosenniemi – Savukoski saneeraus	km	-38	14,55	-552,90
			<b>Hinta yht. alv 0 % [k€]</b>	<b>863,97</b>

Taulukosta nähdään, että verrattuna AL132-johtoon hinta nousi n. 0,1 M€. Hinnat ovat hieman todellisuutta korkeampia samoista syistä kuin kohdassa 8.1.4 on mainittu.

#### **8.2.4. Keskeytyskustannukset**

Korvattavuus kasvoi tälläkin vaihtoehdolla 100 %:iin, mutta tilanne on sama kuin kohdassa 8.1.4. Vaikutus 45 kV syöttävän johdon vian keskeytyskustannukseen on parhaassa tilanteessa n. -16800 €. Tämä varayhteys on myös samassa johtokadussa kuin 45 kV:n syöttö, joten tilanne on sama kuin kohdassa 8.1.4.

Päällystetty avojohto vaikuttaa myös vuotuisiin keskeytyskustannuksiin, koska päällystetty avojohto pienentää vikataajuutta. Laskenta on liitteessä 5. Käyttämällä johdinvaihdoksessa BLL-T157-johtoa hyöty keskeytyskustannuksissa on yhteensä n. -1000 €/a.

### **8.3. Pelkosenniemi – Savukoski välinen 20 kV:n kaksoisjohtojärjestelmä**

Tässä varasyöttöyhteyden muodossa oli kyse kohdan 7.4 mukaisesta vaihtoehdosta, jossa Pelkosenniemen ja Savukosken välille rakennetaan kaksoisjohtojärjestelmä. Uuden johto-osan lähdön nimenä toimii tässä tapauksessa Savukoski Vara.

#### **8.3.1. Kaksoisjohdon vaikutus korvaustilanteeseen**

Kaksoisjohtojärjestelmällä ja BLL-T157 johdolla kuormaa ei tarvinnut pudottaa pois verkosta, joten korvattavuudeksi saatiin 100 %. Taulukkoon 16 on koottu päämuuntajien kuormitusasteet, syöttävien lähtöjen korvaavat tehot, kuormitusvirrat, kuormitusasteet ja korvausasteet, kun Pelkosenniemen ja Savukosken välistä johto-osaa on vahvistettu BLL-T157-johdolla.

**Taulukko 16. Syöttävien lähtöjen korvaavat tehot, kuormitusasteet ja korvausasteet kaksoisjohdon vaikutuksesta.**

Sähkö- asema	Johto- lähtö	Päämuuntajan kuormitusaste [%]	Kuormitus- virta [A]	Kuormitus- aste [%]	Korvattu teho [MW]	Korvaus- aste [%]
Pelkosen -niemi	Savukoski	78	42	19	1,04	34
Pelkosen -niemi	Sav. Vara		52	22	1,70	55
Salla	Kellosekä	58	50	28	0,37	12
					<b>Korvattavuus yht. [%]</b>	100

Taulukosta nähdään, että Sallan korvaavaa tehoa saatiin laskettua lähes puolella, jolloin jännitteenalenemakin laski huomattavasti Kellosekä lähdöllä. Suurin osa huipputehosta korvataan Pelkosenniemen Savukoski Vara-lähdöllä, joka syöttää Savukosken sähköasemaa ja samalla Nousun ja Kirkonkylän lähtöjä. Ns. vanhalla johdolla saatiin kytkentöjä muuttamalla korvattua koko yläperä eli Martin ja Tanhuan lähdöt sekä lisäksi Perälän lähdön kuluttajat. Kuormitukset saatiin hyvin tasoittumaan eri lähdöille.

Taulukkoon 17 on koottu lähdöittäin minimi vaihejännitteet asiakkaiden liittymispisteissä, kaksivaiheiset oikosulkuvirrat johtolähtöjen äärimmäisissä päissä, kolmivaiheinen oikosulkuvirta heikoimman johto-osuuden alussa ja kyseisen johto-osan oikosulkukestoisuus sekä maasulkureleiden näkemät maasulkuvirrat. Pelkosenniemen Vara-lähdöllä ei ole asiakkaita. Jännitteenalenemat on esitetty korvattun tehon kytkennöillä.

**Taulukko 17. Kaksoisjohdon vaikutus korvaustilanteen verkkoon.**

Sähköasema	Johto- lähtö	$U_{min}$ [V]	$I_{k_{2v}}$ [kA]	$I_{k_{3v}}$ [kA]	Oikosulku- kestoisuus [%]	Summavirta $I_{res}$ [A]
Pelkosenniemi	Savukoski	208	<b>0,11</b>	1,36	<b>134</b>	12,2
Pelkosenniemi	Sav. Vara	-	0,51	0,65	25	18,5
Savukoski	Nousu	219	0,23	0,43	43	18,8
Savukoski	Kirkonkylä	211	<b>0,39</b>	0,62	41	19,4
Salla	Kellosekä	218	0,12	0,84	79	2,8

Kytkentämuutokset ja uusi johto muuttavat oikosulkuvirtoja. Savukosken Martti- ja Tanhua-lähtöjen suojauksena toimii Pelkosenniemen Savukoski-lähdön suojaus.

Pelkosenniemen Savukoski-lähdön kaksivaiheinen oikosulkuvirta on liian pieni lähdön havahtumisvirtaan nähden. Kirkonkylän lähdön kaksivaiheinen oikosulkuvirta on suurempi kuin pikalaukaisun havahtumisarvo. Savukoski Vara-lähdön oikosulkuvirta on Savukosken sähköasemalla näkyvä kaksivaiheinen oikosulkuvirta. Kolmivaiheinen oikosulkuvirta Savukosken sähköasemalla kasvoi 0,65 kA:iin.

Pelkosenniemen Savukoski-lähdöllä on edelleen aikalaukaisulla oikosulkukestoton haarajohto. Savukoski Vara-lähdölle aseteltiin samat releasettelut kuin Pelkosenniemen Savukoski-lähdöllä on. Muita oikosulkukestottomia johto-osia ei löytynyt. Maasulkuvirratt muuttuivat hieman uuden johdon myötä korvaustilanteessa. Maasulkuvirtojen arvot ovat kunnossa.

### **8.3.2. Kaksoisjohdon vaikutus normaalin kytkentätilan verkkoon**

Kaksoisjohtojärjestelmän uusi johto tulee ainoastaan varayhteyskäyttöön, joten se ei vaikuta nykyverkkoon. Vanhaa johtoa vahvistavan johdon osalta on voimassa kohdan 8.2.3 jännitteenaleneman, oikosulkuvirtojen, kuormitettavuuden, oikosulkukestoisuuden ja maasulkuvirtojen muutokset.

### **8.3.3. Investointikustannukset**

Verkostosuosituksessa KA2:10 oli hinta kaapeloidulle erotinasemalle, jossa oli 2-4 kaukokäyttöerotinkennoa, joista yksi muuntajalle ja jonka hinta oli 23500 €. Tarvittavassa erotinasemassa olisi kuitenkin useampi erotin. KLS on tilannut Pyhätunturille vastaavia kaapeloituja erotinasemia ja näiden kustannusarvio oli n. 35000 €/kpl. /14/

Tämän vaihtoehdon investointikustannukset koostuvat suurimmaksi osaksi kaksoisjohdosta. Kaksoisjohdolle ei löytynyt suoraa arvoa hinnastoista, joten hintoja täytyi soveltaa, jotta kaksoisjohdolle saatiin määritettyä hinta. Todettiin, että toisen johdon hinta asennuksineen vastaisi lähes johtimen vaihdon kustannuksia, josta on vähennetty



purkamiskustannukset. Tämä arvo lisättiin normaalin yksittäisen johdon kustannukseen. Näin saatiin laskettua taulukon 18 mukainen kustannusarvio kaksoisjohdolle kilometriä kohden. /15/

**Taulukko 18. BLL-T157 kaksoisjohdon kustannusarvio.**

<b>Kaksoisjohto BLL-T157</b>		
<b>Komponentti</b>	<b>Yksikkö</b>	<b>Yksikkö hinta [€/km]</b>
Päällystetty avojohto, 95 tai suurempi (BLL-T157)	km	29720
20 kV johtimen vaihto, AL132 tai suurempi (BLL-T157)	km	24240
Rakenteiden purkaminen, 20 kV avojohto	km	-4220
<b>Hinta yht. alv 0 % [€/km]</b>		<b>49740</b>

Pelkosenniemen ja Savukosken välillä kaksoisjohtoa tulisi yhteensä 41 km ja yksittäistä uutta johto-osaa tulisi Pelkosenniemen päähän n. 3 km. Taulukossa 19 on esitetty investointikustannukset tälle varasyöttöyhteydelle.

**Taulukko 19. Investointikustannukset kaksoisjohdolle.**

<b>Komponentti</b>	<b>Yksikkö</b>	<b>Määrä [kpl]</b>	<b>Yksikköhinta [k€]</b>	<b>Hinta yht. [k€]</b>
Päällystetty avojohto 95 tai suurempi (BLL-T157 Yhteinen johto-osuus)	km	41	49,74	2039,34
Päällystetty avojohto 95 tai suurempi (BLL-T157 Yksittäinen johto-osuus)	km	3	29,76	89,28
150–185 maakaapeli (AHXAMK 3*185+35CU)	km	1,1	35,07	38,58
Kaapeloitu erotinasema	kpl	3	35,00	105,00
Kojeistopääte	kpl	13	1,17	15,21
Pylväspääte	kpl	13	2,19	28,47
Kaapeliojan kaivuu, helppo	km	1,1	9,36	10,30
1-kisko lisäkenttä	kpl	1	13,47	13,47
			<b>Hinta yht. alv 0 % [k€]</b>	<b>2339,64</b>
Pelkosenniemi - Savukoski saneeraus	km	-38	14,55	-552,90
			<b>Hinta yht. alv 0 % [k€]</b>	<b>1786,74</b>

Verrattuna johtoa vahvistaviin vaihtoehtoihin hinta nousi melkoisesti. Myös tämän johdon osalta johtokadun raivaukset ja johtoaluekorvaukset olisivat jo hoidettu, joten hinta olisi todellisuudessa hieman matalampi.

### **8.3.4. Keskeytyskustannukset**

Korvattavuus kasvoi tälläkin vaihtoehdolla 100 %:iin, mutta tilanne on sama kuin kohdassa 8.1.4 ja 8.2.4. Vaikutus 45 kV syöttävän johdon vian keskeytyskustannuksiin on parhaassa tilanteessa n. -16800 €. Tämä varayhteys on myös samassa johtokadussa kuin 45 kV syöttö, joten tilanne on sama kuin kohdissa 8.1.4 ja 8.2.4.

Kaksoisjohto parantaisi Pelkosenniemen Savukoski-lähdön ja Savukosken Perälä-lähdön luotettavuutta ja näin pienentää vuotuisia keskeytyskustannuksia. Kaksoisjohdon yhteydessä rakennettaisiin kauko-ohjattavia erotinasemia vanhan johdon ja varayhteyden välille. Pelkosenniemen Savukoski-lähdöllä vaikutus vikakeskeytyskustannuksiin on hyvin pieni, koska suurin osan keskeytyskustannuksista kyseisellä lähdöllä tulee Kairalan haarasta. Käytettäessä kaksoisjohtoa Pelkosenniemen ja Savukosken välillä hyöty keskeytyskustannuksissa on yhteensä n. -1700 €/a.

## **8.4. Ahvenselkä – Savukoski välinen 20kV:n uusi johto-osuus**

Tässä varasyöttöyhteyden muodossa oli kyse kohdan 7.5 mukaisesta varasyöttöyhteyden vaihtoehdosta, jossa Ahvenselän ja Savukosken välille rakennettaisiin uusi 20 kV:n johto-osuus.

### **8.4.1. Uuden johto-osuuden vaikutus korvaustilanteeseen**

Uuden johdon simulointi suoritettiin Integralla, jonka jälkeen tehtiin tarvittavat kytkentämuutokset. Kuormaa tuli pudottaa verkosta, jotta jännitteenalenemat saatiin sallittuihin rajoihin. Taulukkoon 20 on koottu päämuuntajien kuormitusasteet, syöttävien lähtöjen korvaavat tehot, kuormitusvirrat, kuormitusasteet ja korvausasteet, uuden Ahvenselän ja Savukosken yhdistävän 20 kV:n johto-osuuden myötä.

**Taulukko 20. Syöttävien lähtöjen korvaavat tehot, kuormitusasteet ja korvausasteet uuden 20 kV:n johto-osuuden vaikutuksesta.**

Sähkö- asema	Johtolähtö	Päämuuntajan kuormitusaste [%]	Kuormitus- virta [A]	Kuormitus- aste [%]	Korvattu teho [MW]	Korvaus- aste [%]
Pelkosen -niemi	Savukoski	64	35	16	0,75	24
Kursu	Pahkakumpu	14	38	21	1,10	36
Salla	Kelloselkä	59	65	36	0,68	22
					<b>Korvattavuus yht. [%]</b>	82

Pelkosenniemen Savukoski-lähdön korvausaste pieneni normaalista muuttuneiden kytkentöjen vuoksi. Savukosken sähköaseman huipputehosta voidaan korvata tällä varasyöttöyhteydellä 2,53 MW. Savukosken varavoimageneraattorilla voitiin korvata n. 0,7 MW, joten generaattorin kanssa korvattavuus nousee 100 %:iin. Sallan Kelloselkä-lähdöllä korvattiin Kursun Pahkakumpu-lähtöä 0,2 MW. Tämä ei nostanut Kelloselän lähdön jännitteenalenemia yli sallitun. Sallan Kelloselkä-lähdön kuormitusaste kasvaa muihin varasyöttöyhteyden vaihtoehtoihin verrattuna.

Jännitteenkorotusmuuntaja tulisi sijoittaa Savukosken sähköasemalle ja se kytkettäisiin tässä tapauksessa Kirkonkylän lähtöön. Tarkastellessa jännitteenalenemia täydellä kuormalla ilmeni, että jännitteenalenema tulisi olemaan liian suuri jo ennen jännitteenkorotusmuuntajan oletettua sijaintia, joten jännitteenkorotusmuuntaja ei parantaisi korvattavuutta tässä tilanteessa.

Taulukkoon 21 on koottu lähdöittäin minimi vaihejännitteet asiakkaiden liittymispisteissä, kaksivaiheiset oikosulkuvirrat johtolähtöjen äärimmäisissä päissä, kolmivaiheinen oikosulkuvirta heikoimman johto-osuuden alussa ja kyseisen johto-osan oikosulkukestoisuus sekä maasulkureleiden näkemät maasulkuvirrat. Jännitteenalenemat on esitetty korvatun tehon kytkennöillä.

**Taulukko 21. Uuden 20 kV: johto-osuuden vaikutus korvaustilanteen verkkoon.**

Sähköasema	Johtolähtö	$U_{\min}$ [V]	$I_{k_{2v}}$ [kA]	$I_{k_{3v}}$ [kA]	Oikosulku-kestoisuus [%]	Summavirta $I_{res}$ [A]
Pelkosenniemi	Savukoski	211	<b>0,09</b>	1,15	<b>114</b>	11,1
Kursu	Pahkakumpu	209	0,25	3,27	61	5,9
Savukoski	Nousu	211	0,20	0,30	19	15,3
Savukoski	Martti	210	0,09	0,22	10	12,4
Salla	Kelloselkä	207	0,12	0,84	79	2,6

Pelkosenniemen Savukoski-lähdön kaksivaiheinen oikosulkuvirta on pienempi kuin aikalaukaisun havahtumisarvo. Pahkakummun lähtö syöttää Savukosken sähköaseman Martti- ja Nousu-lähtöä, joten oikosulun kestoajoja on syytä muuttaa, jotta selektiivisyys varmasti toteutuu. Pelkosenniemen Savukoski-lähdöllä on normaalisti aikalaukaisulla oikosulkukestoton haarajohto Kairalassa. Muita oikosulkukestottomia johto-osia ei löytynyt. Maasulkusuojaus on kunnossa.

#### 8.4.2. Uuden johto-osuuden vaikutus normaalin kytkentätilan verkkoon

Uusi johto-osa tulisi ainoastaan varayhteyskäyttöön, joten se ei vaikuta nykyverkkoon mitoituksen kannalta.

#### 8.4.3. Investointikustannukset

Tässä tapauksessa Pelkosenniemen ja Savukosken välisen johto-osuuden saneerauksen hinta kasvatti investointikustannuksia, koska kustannuksia ei voida yhdistää. Taulukossa 22 on esitetty Ahvenselän ja Savukosken yhdistävän johto-osuuden investointikustannukset.

**Taulukko 22. Investointikustannukset Ahv. – Sav. väliselle johto-osuudelle BLL-T157-johdolla.**

Komponentti	Yksikkö	Määrä [kpl]	Yksikköhinta [k€]	Hinta yht. [k€]
Päällystetty avojohto 95 tai suurempi (BLL-T157)	km	41	29,76	1220,16
20 kV johtimen vaihto, AL132 tai suurempi (BLL-T157)	km	4	24,24	96,96
Kauko-ohjattu erotinasema, 1 erotin	kpl	2	12,96	25,92
			<b>Hinta yht. alv 0 % [k€]</b>	<b>1343,04</b>
Pelkosenniemi – Savukoski saneeraus	km	38	14,55	552,90
			<b>Hinta yht. alv 0 % [k€]</b>	<b>1895,94</b>

#### 8.4.4. Keskeytyskustannukset

Korvattavuus kasvoi tälläkin vaihtoehdolla 100 %:iin. 45 kV syötön vioittumisen keskeytyskustannukset pienenevät parhaassa tilanteessa saman verran kuin kohdissa 8.1.4, 8.2.4 ja 8.3.4 eli -16800 €. Tämä varayhteys kulkee eri reittiä kuin 45 kV:n syöttö Savukoskelle. Huonossa tilanteessa Pelkosenniemen ja Savukosken välinen johto-osuus täytyi kytkeä jännitteettömäksi korjaustyön ajaksi ja korvaavaa tehoa saatiin vain varavoimageneraattorista ja Sallan sähköasemalta. Nyt korvaavaa tehoa saadaan myös Ahvenselän kautta. Tämä laskee 45 kV syötön keskeytyskustannuksia huonossa tilanteessa verrattaessa kohtiin 8.1.4, 8.2.4 ja 8.3.4 riippuen siitä missä vika tapahtuu.

Ahvenselän ja Savukosken uusi johto-osa parantaa myös Savukosken Kirkonkylä lähdön vuotuisia keskeytyskustannuksia tuomalla kyseiselle lähdölle uuden varayhteyden. Laskennat ovat liitteessä 5. Hyötyä keskeytyskustannuksiin Kirkonkylä lähdöllä saataisiin n. -4600 €/a. Kursun Pahkakumpu lähdöllä uusi johto ei muuta laskennallisia keskeytyskustannuksia, koska varayhteyksiä on kyseisellä johto-osalla jo niin paljon.

## 8.5. Kursu – Savukoski välinen 45kV:n uusi johto-osuus

Tässä varasyöttöyhteyden muodossa on kyse kohdan 7.6 mukaisesta varasyöttöyhteydestä, jossa Kursun ja Savukosken välille rakennettaisiin uusi 45 kV:n johto-osuus. Uudelle 45 kV:n lähdölle Kursun sähköasemalla annettiin nimeksi Savukoski 45.

### 8.5.1. Uuden 45 kV:n johto-osuuden vaikutus korvaustilanteeseen

Integralla simuloitiin 45 kV:n linja liitteen 4 kuvan 3 mukaan ja linjalle tuli pituutta n. 73 km. Nyt kytkennät voitiin suorittaa siten, että ainoastaan Kursun sähköasema syöttää Savukosken sähköasemaa korvaustilanteessa. Sallasta ja Pelkosenniemeltä ei tarvittu korvaavaa tehoa. Tilanne vastasi nyt lähes normaalia tilannetta. Savukoskella syöttö tapahtui kuten normaalitilanteessa eli kaikki lähdöt olivat normaalisti käytössä vanhoilla jakorajoillaan. Taulukkoon 23 on koottu päämuuntajien kuormitusasteet, syöttävien lähtöjen korvaavat tehot, kuormitusvirrat, kuormitusasteet ja korvausasteet, uuden Kursun ja Savukosken yhdistävän 45 kV:n johto-osuuden myötä.

**Taulukko 23. Syöttävien lähtöjen korvaavat tehot, kuormitusasteet ja korvausasteet uuden 45 kV:n johto-osuuden vaikutuksesta.**

Sähkö- asema	Johtolähtö	Päämuuntajan kuormitusaste [%]	Kuormitus -virta [A]	Kuormitus -aste [%]	Korvattu teho [MW]	Korvaus- aste [%]
Kursu	Savukoski 45	30	44	15	3,10	100
					<b>Korvattavuus yht. [%]</b>	100

Kursun sähköaseman normaalitilanteen kuormitusaste 8,3 % koostuu ainoastaan 20 kV:n kuormituksesta. Taulukossa 47 on esitetty korvaustilanteen kytkennöillä vaikuttavat maksimi jännitteenalenemat muuntajilla sekä minimi vaihejännitteet kuluttajilla.

Taulukkoon 24 on koottu lähdöittäin minimi vaihejännitteet asiakkaiden liittymispisteissä, kaksivaiheiset oikosulkuvirrat johtolähtöjen äärimmäisissä päissä, kolmivaiheinen oikosulkuvirta heikoimman johto-osuuden alussa ja kyseisen johto-osan

oikosulkukestoisuus sekä maasulkureleiden näkemät maasulkuvirrat. Jännitteenalenemat on esitetty korvatus tehon kytkennöillä. Savukoski 45 lähdöllä ei ole asiakkaita vaan se syöttää Savukosken sähköasemaa.

**Taulukko 24. Uuden 45 kV: johto-osuuden vaikutus korvaustilanteen verkkoon.**

Sähköasema	Johtolähtö	$U_{\min}$ [V]	$I_{k_{2v}}$ [kA]	$I_{k_{3v}}$ [kA]	Oikosulku-kestoisuus [%]	Summavirta $I_{res}$ [A]
Kursu	Savukoski 45	-	0,35	1,33	-	26,5
Savukoski	Tanhua	222	0,12	0,26	26	12,0
Savukoski	Martti	218	0,12	0,35	17	9,5
Savukoski	Nousu	215	0,21	0,43	44	11,1
Savukoski	Kirkonkylä	217	<b>0,39</b>	0,63	42	13,1
Savukoski	Perälä	215	0,26	0,33	22	12,1

Verrattuna normaalitilanteen jännitteenalenemiin ainoastaan 45 kV:n syötön jännitteenalenema muuttui suuremmaksi. Savukoski 45 lähdön suhteellinen jännitteenalenema on 7,3 %, kun se normaalisti oli 4,2 %.

Syöttö tulee nyt Kursun sähköasemalta, joten 45 kV syötön johtopituus n. 29 km pidempi kuin Pelkosenniementä Savukoskelle. Tämä vaikuttaa oikosulkuvirtoihin. Kursun Savukoski 45-lähdöllä ei ole vielä releasetteluja. Pelkosenniemen Savukoski 45-lähdön kolmivaiheinen oikosulkuvirta 45 kV:n jännitetasossa on 1,31 kA ja Kursussa se on 1,33 kA. Pelkosenniemen Savukoski 45-lähdön oikosulkukestoisuuden arvo on 23 %. Jos releasettelut Kursun Savukoski 45-lähdöllä olisivat esimerkiksi samat kuin Pelkosenniemen Savukoski 45-lähdöllä, johto-osa olisi oikosulkukestoinen, koska kolmivaiheinen oikosulkuvirta 45 kV:n jännitetasossa molemmilla lähdöillä on suuruudeltaan lähes sama. Kirkonkylän lähdön kaksivaiheinen oikosulkuvirta on suurempi kuin pikalaukaisun havahtumisarvo.

Kursun sähköasemalla maasulkuvirrat nousevat lisääntyneen johtopituuden vuoksi. Maasulkusuojaus on kunnossa.

### 8.5.2. Uuden johto-osuuden vaikutus normaalin kytkentätilan verkkoon

Uusi 45 kV:n johto-osa tulisi ainoastaan varayhteyskäyttöön, joten se ei vaikuta nykyverkkoon mitoituksen kannalta.

### 8.5.3. Investointikustannukset

Investointikustannukset määräytyvät suurimmaksi osaksi uuden linjan rakentamisesta. Taulukossa 25 on esitetty investointikustannukset uudelle 45 kV:n johto-osalle. Investointikustannuksiin otettiin huomioon myös Pelkosenniemen ja Savukosken välisen johto-osuuden saneerauksen kustannukset.

**Taulukko 25. Investointikustannukset 45 kV Kursu – Savukoski johto-osalle.**

Komponentti	Yksikkö	Määrä [kpl]	Yksikköhinta [k€]	Hinta yht. [k€]
45 kV puupylväsjohto	km	73	43,85	3201,05
45 kV lisäkenttä	kpl	2	185,83	371,66
45 kV erotinasema, 1 erotin	kpl	2	19,84	39,68
			<b>Hinta yht. alv 0 % [k€]</b>	<b>3612,39</b>
Pelkosenniemi - Savukoski saneeraus	km	38	14,55	552,90
			<b>Hinta yht. alv 0 % [k€]</b>	<b>4165,29</b>

Lisäkenttien hinnat voisivat olla todellisuudessa hieman matalampia, koska esimerkiksi Savukoskelle ei välttämättä tarvitsisi rakentaa omaa katkaisijaa.

### 8.5.4. Keskeytyskustannukset

45 kV:n syöttävässä johdossa tapahtuvan vian vuoksi Savukosken kuluttajat näkevät nyt ainoastaan kaukokäyttöisen kytkennän pituisen vian. Tällöin vaikutus kyseisen vian aiheuttamiin keskeytyskustannuksiin on sama kuin kohdissa 8.1.4, 8.2.4, 8.3.4 ja 8.4.4 eli - 16800 €.



Pelkosenniemen Savukoski 45 lähdön vuotuiset keskeytyskustannukset pysyvät laskennallisesti normaalina paitsi, että nyt korvattavuus on kaikissa tilanteissa 100 %.

## 9. TOIMENPIDE-EHDOTUS

Kaikki varasyöttöyhteyksien muodot olivat omalla tavallaan mahdollisia korvaamaan Savukosken sähköaseman 45 kV syötön vikaantuessa. Kaikilla tilanne parani huomattavasti normaalista. Kuitenkin ainoastaan kaksi vaihtoehtoa olisi mielestäni vartenotettavia vaihtoehtoja korvaamaan 45 kV:n syötön sen vikaantuessa.

Ahvenselän ja Savukosken yhdistävä uusi johto olisi keskeytyskustannusten kannalta hyvä vaihtoehto, koska se kulkee eri reittiä kuin 45 kV:n syöttö Savukoskelle. Lisäksi Savukosken Kirkonkylä lähdön vuotuiset keskeytyskustannukset pienenisivät. Rakentaminenkin kestäisi vain lyhyen ajan. Jo alussa todettiin, että varavoimageneraattorin käytöstä haluttaisiin eroon ja tällä varasyöttöyhteyden muodolla varavoimageneraattorin käyttö olisi pakollista, koska jännitteenkorotusmuuntajaa ei voitu käyttää. Generaattori on lisäksi osoittautunut todella epävarmaksi käytössä. Tämän vuoksi Ahvensalmen ja Savukosken välisen uuden 20 kV:n johdon käyttö olisi 100 % korvattavuuden kannalta hyvin epävarmaa. Lisäksi investointihinta saneeraus huomioiden (1,90M€) on suurempi kuin esimerkiksi kaksoisjohdolla Pelkosenniementä Savukoskelle (1,79M€), jolla korvattavuus oli parempi.

Pelkosenniemen ja Savukosken välistä vanhaa johto-osaa vahvistavat vaihtoehdot olivat korvattavuuden kannalta hieman parempia kuin Ahvenselän ja Savukosken välinen vaihtoehto. Saneeraus huomioiden hinta olisi halvin. Rakentaminen veisi pitkän ajan eli n. 4 vuotta. Johtoa vahvistavilla vaihtoehdoilla saatiin korvattavuus 100 %:iin käyttämällä joko varavoimageneraattori tai jännitteenkorotusmuuntajaa. Varavoimageneraattorin käytöstä haluttiin eroon, joten ainoaksi vaihtoehdoksi jäi kallis jännitteenkorotusmuuntaja. Jännitteenkorotusmuuntajan hinnalla rakentaisi kaksoisjohtojärjestelmää hyvän matkaa.

45 kV:n uusi johtoyhteys Kursusta Savukoskelle olisi muiden ominaisuuksien kannalta paras vaihtoehto paitsi hinnan puolesta. Korvattavuus on hyvä ja keskeytyskustannukset pienet. Lisäksi rakentaminen olisi nopeaa. Jos varasyöttöyhteyden hinta ei olisi tärkeä määräävä tekijä, suosittelisin ehdottomasti tätä vaihtoehtoa korvaamaan Savukosken sähköaseman vikatilanteessa. Kytcentöjen suoritus onnistuu nopeasti ja korvattavuus on

taattu. Tämä vaihtoehto olisi myös hyvä, jos kuormitukset tulevaisuudessa alkaisivat kasvaa. Johdon investointihinta on saneeraus huomioiden yli 230 % kalliimpi (4,17 M€) kuin kaksoisjohdolla Pelkosenniementä Savukoskelle (1,79 M€).

Mielestäni paras vaihtoehto korvattavuuden ja hinnan osalta on kaksoisjohto Pelkosenniementä Savukoskelle. Korvattavuus on yksinään 100 %, eikä Sallasta tarvita niin paljo korvaavaa tehoa. Lisäksi jännitteenkorotusta ei tarvita. Huono puoli tällä varasyöttöyhteydellä on se että se kulkee samassa johtokadussa 45 kV syötön kanssa. Tämä tarkoitti sitä, että 20 kV:n linja Pelkosenniementä Savukoskelle voidaan huonossa tilanteessa joutua kytkemään jännitteettömäksi korjaustyön ajaksi. Päälystetty avojohto kasvattaa yleistä luotettavuutta, koska pienet oksien kosketukset ym. eivät aiheuta välttämättä maasulkua. Kaksoisjohto myös parantaa 20 kV johto-osan sähkön siirtoa ja vikapaikkojen etsintää, koska rinnakkain kulkevia johtoja voitaisiin uusien erottimien kautta kytkeä yhteen 20 kV vikojen aikana. Hinta on kohtuullinen saneeraus huomioon ottaen (1,79 M€). Kaksoisjohto tulisi jopa halvemmäksi kuin Ahvenselän ja Savukosken yhdistävä vaihtoehto. Hinta olisi lisäksi todellisuudessa halvempi, koska linja on jo raivattu ja johtoaluekorvaukset suoritettu. Jos vanha Pelkosenniemen ja Savukosken välinen johto-osa saneerataan joka tapauksessa, kaksoisjohtojärjestelmä on helppo rakentaa siihen samalla. Lisäksi osa kaksoisjohdosta tulee jokapäiväiseen käyttöön siirtämään sähköä asiakkaille. Näillä perusteilla Savukosken sähköaseman varasyöttöyhteydeksi tulisi mielestäni valita kohdan 7.4 mukainen 20 kV:n kaksoisjohto Pelkosenniementä Savukoskelle ja käytettävänä johtona olisi päälystetty avojohto BLL-T157.

## 10. YHTEENVETO

Työn aiheena oli selvittää sopiva varasyöttöyhteys Savukosken sähköverkolle, kun Savukoskea syöttävään 45 kV verkon osaan tulee syystä tai toisesta keskeytykseen johtava vika. Työn tuloksina saatiin selvitettyä korvaavuudeltaan, investointikustannuksiltaan ja keskeytyskustannuksiltaan mielestäni paras vaihtoehto ja tavoitteet saatiin toteutettua. Uusi varasyöttöyhteys on suositusten ja määräysten mukainen. Kaikista varasyöttöyhteysvaihtoehdoista tallennettiin simuloinnit KLS:n käyttöön.

Verkkotietojärjestelmä Integran käyttö sujui ilman suurempia ongelmia, koska sen käyttöä on harjoiteltu jo aikaisemminkin. Verkon simulointi ja laskentatoiminnot tulivat uutena asiana. Käsien laskettujen mitoituslaskentoihin liittyvien laskentojen suoritus onnistui myös hyvin, koska arvot täsmäsivät Integran laskemiin arvoihin hyvin. Käsien tehtävien laskentojen merkitys tuli kuitenkin hyvin esille, koska Integrassa oli parin johdon tiedoissa puutteita ja näin laskennat erosivat aluksi hieman. Arvojen korjauksen jälkeen laskennat täsmäsivät. Samalla tuli tarkistettua myös muiden johtojen ja komponenttien arvojen oikeellisuus. Suurimmat ongelmat tulivat keskeytyskustannuslaskennassa, jossa tuli määrittää varasyöttöyhteys tuomat muutokset keskeytyskustannuksiin. Kyseisiä asioita on käyty koulussa hyvin vähän läpi ja lisäksi yksityiskohtaisia laskentaesimerkkejä oli vaikea löytää. Lopulta löytyi hyvät esimerkit, joiden avulla laskennat saatiin suoritettua.

Työn aihe oli alusta lähtien mielenkiintoinen ja vastasi hyvin valitsemaani suuntautumislinjaa opiskelussani. Työ oli hyvin laaja, mahdollisten varasyöttöyhteyskustannusten ja huomioon otettavien asioiden määrän vuoksi. Työn tekemisen aikana tuli hyvää kokemusta uusien johtojen ja komponenttien vaikutuksesta verkon ominaisuuksiin ja tänä päivänä yhä tärkeämpien keskeytyskustannusten määrittämisestä. Kustannusasioita tulisi harjoitella koulussa enemmän. Työ onnistui mielestäni hyvin.

## 11. LÄHDELUETTELO

/1/ ABB, ABB-TTT-käsikirja, 2000-07.

/2/ ABB, Verkkotietojärjestelmä Open++ Integra v.3.2 käyttöohje, [WWW-dokumentti], [[http://library.abb.com/GLOBAL/SCOT/scot229.NSF/VerityDisplay/5EB087DFE5A46483C125729C005D6932/\\$File/Integra.pdf](http://library.abb.com/GLOBAL/SCOT/scot229.NSF/VerityDisplay/5EB087DFE5A46483C125729C005D6932/$File/Integra.pdf)], 15.1.2012

/3/ AMO Kraft AB, Product Catalog, [WWW-dokumentti], [<http://www.alstermokabel.com/ftp/Kraft/AMOengelskpdf.pdf>], 26.3.2012.

/4/ Elmil Oy, Martikainen, Antti, Koillis-Lapin Sähkö Oy:n verkoston kehittämissuunnitelma, Mikkeli, 2010.

/5/ Hokkanen, Jari, Sähkönjakeluverkon jälleenhankinta-arvon määrittäminen, Lappeenrannan Teknillinen Yliopisto, 2000.

/6/ IEC 60909, Short-circuit currents in three-phase a.c. systems, International Electrotechnical Commission, 2001-07.

/7/ Isomäki, Rami, Sammutetun keskijänniteverkon kompensointilaitteiston lisävastuksen ohjaus, Opinnäytetyö, Vaasan Ammattikorkeakoulu, 2010.

/8/ Koillis-Lapin Sähkö Oy, Yhtiöesittely, [WWW-dokumentti], [[www.koillislapinsahko.fi](http://www.koillislapinsahko.fi)], 10.1.2012.

/9/ Koillis-Lapin Sähkö Oy, Yrityksen sisäinen materiaali.

/10/ Lakervi, Erkki, & Partanen, Jarmo, Sähkönjakelutekniikka, 2. painos, Otatieta, 2009.

/11/ Lakervi, Erkki, Sähkönjakeluverkkojen suunnittelu, Otatieta, 1996.

- /12/ Lungren, Ville, Virttaan 20kV runkojohtovaihtoehdot, Tutkintotyö, Tampereen Ammattikorkeakoulu, 2008
- /13/ Prysmian, Tuotteet, [WWW-dokumentti], [<http://www.prysmian.fi/energy/products/>], 26.3.2012.
- /14/ Puikko, Pekka, suunnittelijan haastattelu, Koillis-Lapin Sähkö, 10.3.2012.
- /15/ Pöyliö, Kaarlo, alueteknikon haastattelu, Koillis-Lapin Sähkö, 7.3.2012.
- /16/ Rämä, Jukka, Sähkönjakelun luotettavuusindeksit ja laskenta, Kandidityö, Lappeenrannan Teknillinen Yliopisto, 2008.
- /17/ SFS 6000, Pienjännitesähkösennukset ja sähkötyöturvallisuus, 1. painos, Suomen Standardisoimisliitto, 2007.
- /18/ SFS-EN 50160, Yleisen jakeluverkon jakelujännitteen ominaisuudet, Suomen Standardisoimisliitto.
- /19/ Sähkönjakeluverkon komponenttien yksikköhinnat 2012, Energiamarkkinavirasto, 2012.
- /20/ Verkostosuositus KA 2:10, Verkostotöiden kustannusluettelo, Energiateollisuus ry, 2010.
- /21/ Verkostosuositus SA 5:94, Keski-jänniteverkon sähköinen mitoittaminen, Energiateollisuus ry, 2003.
- /22/ Voutilainen, Vesa, Tasasähkönjakelun käyttöpotentiaalin määrittäminen, Diplomityö, Lappeenrannan Teknillinen Yliopisto, 2007.

## **12. LIITELUETTELO**

LIITE 1. Suojareleiden asettelut nykyverkossa

LIITE 2. Savukosken sähköverkko maantieteellisesti

LIITE 3. Varasyöttöyhteysvaihtoehdot maantieteellisesti

LIITE 4. Esimerkkilaskennat

LIITE 5. Keskeytyskustannuksien laskennat

LIITE 6. AL132-, BLL-T157- ja Raven-johtojen ominaisuudet

LIITE 7. Ilmajohtojen ja maakaapelien johtotietoja

## Suojareleiden releasettelut nykyverkossa

Oikosulkulaskennoissa käytettävät suojareleiden asettelut on esitetty taulukossa 1 ja maasulkulaskennoissa käytettävät asettelut on esitetty taulukossa 2. Releasettelut on saatu Integrasta, johon ne päivittyvät käytöntukijärjestelmästä. Oikosulun kesto aika sarakeessa ensimmäinen aika merkitsee aikaa ennen ajk:ta ja jälkimmäinen aikaa ajk:n jälkeen.

**Taulukko 1. Oikosulkuasettelut nykytilassa**

Sähkö-asema	Johtolähtö	Rele Aikalaukaisu		Rele Pikalaukaisu		Ajk:n jännitteetön aika [s]
		Havahtu -misvirta [A]	Oikosulun kesto aika [s]	Havahtu -misvirta [A]	Oikosulun kesto aika [s]	
Pelkosenniemi	Savukoski 45	125	1,2-0,00	400	0,1	120
Pelkosenniemi	Savukoski	150	0,53-0,361	540	0,04	123,1
Savukoski	Tanhua	78	0,00-0,58	330	0,09	30,1
Savukoski	Martti	75	0,46-0,56	400	0,09	80,8
Savukoski	Nousu	90	0,44-0,37	300	0,09	81,6
Savukoski	Kirkonkylä	125	0,42-0,39	300	0,11	90,0
Savukoski	Perälä	90	0,42-0,41	300	0,1	91,9
Salla	Kellosekä	108	0,37-0,37	600	0,05	120
Kursu	Pahkakumpu	60	0,56-0,36	300	0,1	120

**Taulukko 2. Maasulkuasettelut nykytilassa**

Sähköasema	Johtolähtö	Maasulkuvirran asettelu arvo $I_0$ [A]	Aikahidastus t [s]
Pelkosenniemi	Savukoski	1,4	0,3
Savukoski	Tanhua	1,0	0,5
Savukoski	Martti	0,7	0,3
Savukoski	Nousu	1,0	0,5
Savukoski	Kirkonkylä	1,6	0,5
Salla	Kellosekä	1,4	0,6
Kursu	Pahkakumpu	1,4	0,3

Oikosulkukestoisuus on esitetty laskennoissa suhteellisen arvona kolmivaiheisen oikosulkuvirran suhteesta oikosulun ekvivalenttisen kestoajan ja johtimen 1s oikosulkuvirran avulla laskettuun suurimpaan sallittuun oikosulkuvirtaan. Jos arvo on alle 100 %, johto on oikosulkukestoinen.



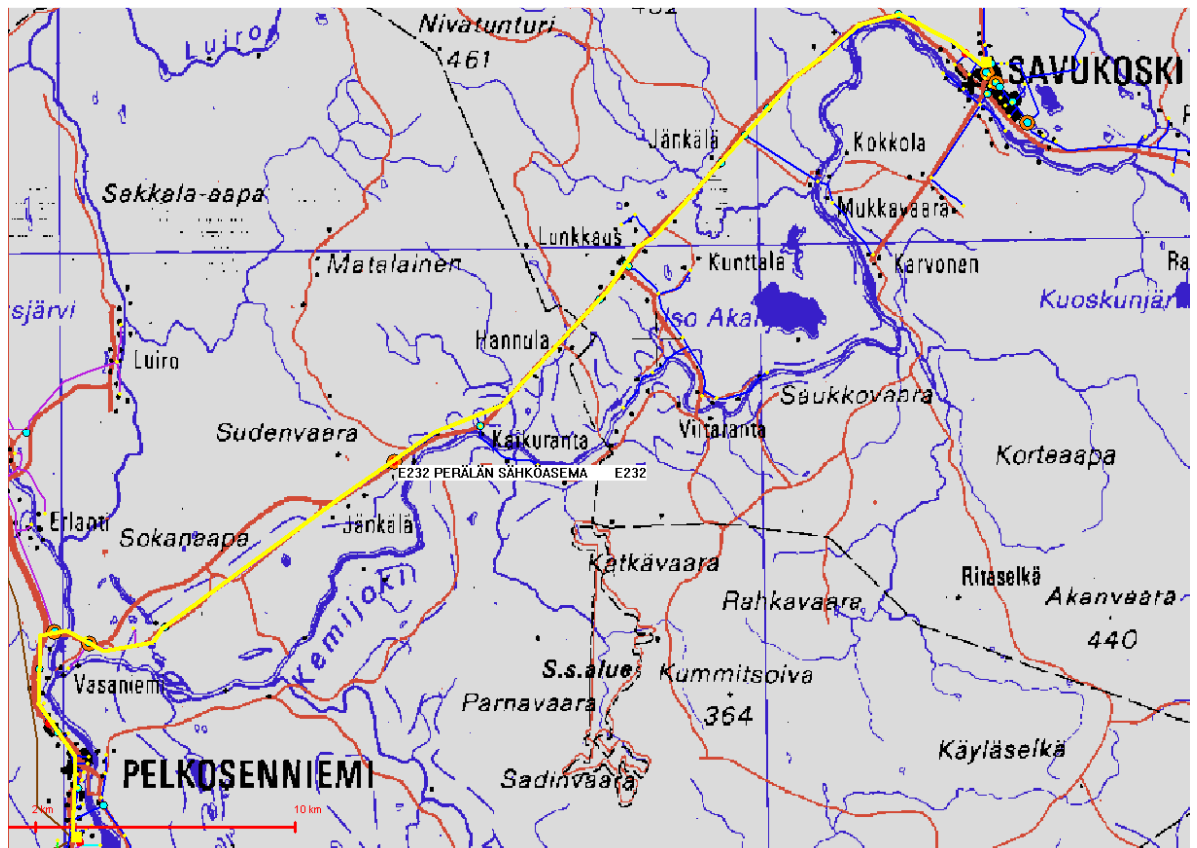
## Savukosken sähköverkko maantieteellisesti



Kuva 1. Savukosken sähköverkko maantieteellisesti.

## Pelkosenniemen ja Savukosken välisen 20 kV johto-osuuden vahvistus sekä kaksoisjohtojärjestelmä

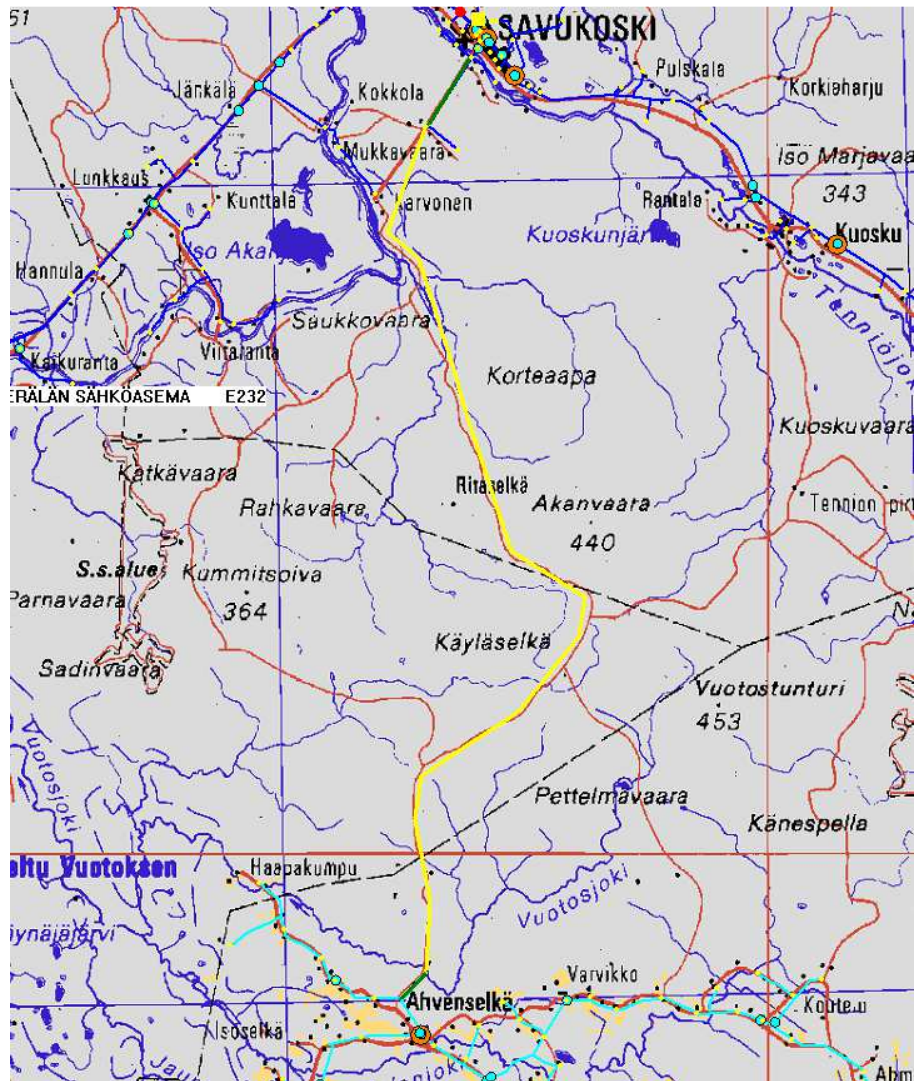
Kuvassa 1 on esitetty kohtien 7.3 ja 7.4 mukainen vahvistettava johto-osuus sekä kaksoisjohtojärjestelmän tuleva reitti kartalla.



Kuva 1. Pelkosenniemen ja Savukosken välisen 20kV:n vahvistettavan johdon sekä kaksoisjohdon sijainti kartalla.

## Ahvonselkä – Savukoski välinen uusi 20 kV:n johto-osuus

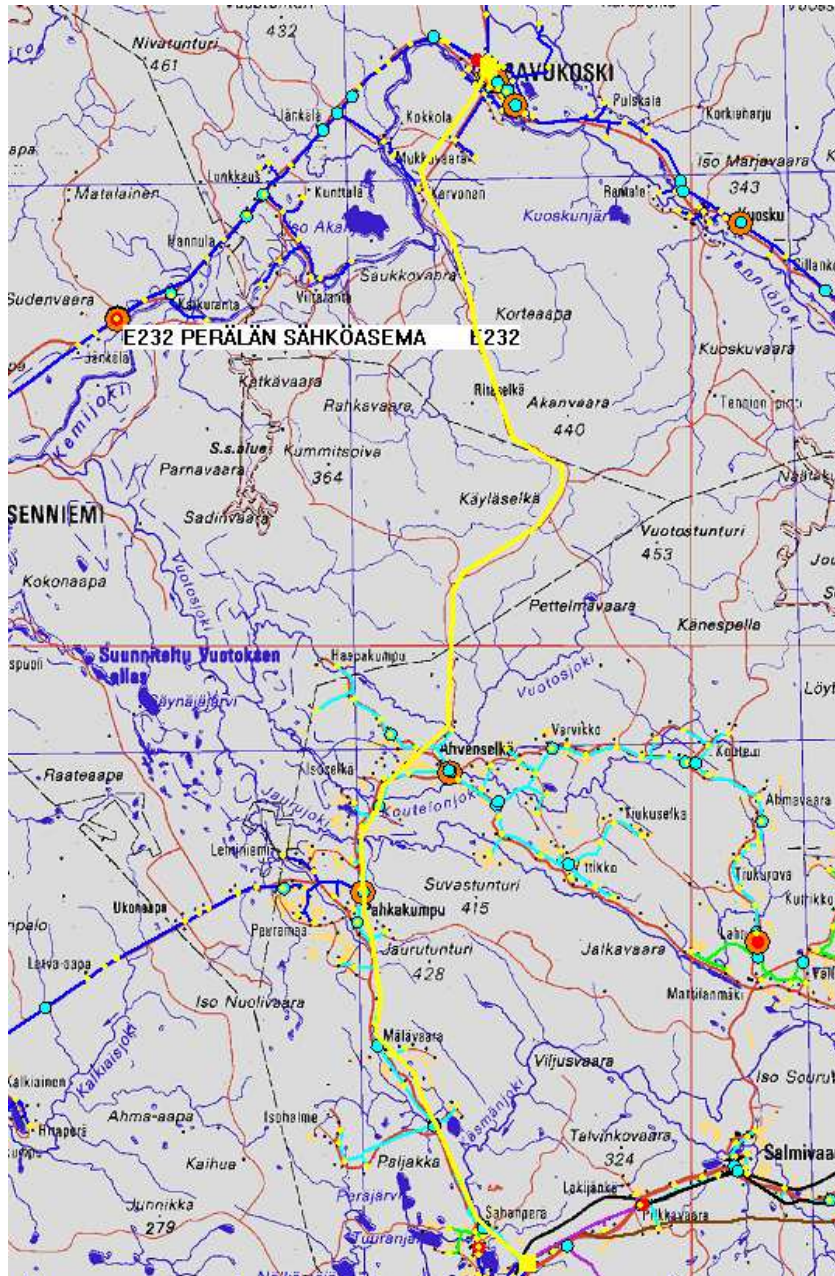
Kuvassa 4 on esitetty kohdan 7.5 mukaisen uuden 20 kV johto-osuuden reitti ja sijainti kartalla.



Kuva 2. Ahvenselkä – Savukoski välisen uuden 20 kV johdon sijainti kartalla.

## Kursu – Savukoski välinen uusi 45 kV johto-osuus

Kuvassa 3 on esitetty kohdan 7.6 mukaisen uuden 45 kV johto-osuuden reitti ja sijainti kartalla.



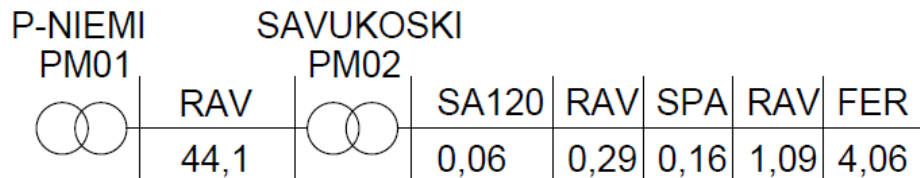
Kuva 3. Kursu – Savukoski välisen uuden 45 kV sähkölinjan sijainti kartalla.

## Esimerkkilaskennat

Esimerkkilaskennoilla on tarkoituksena verrata käsin laskettuja arvoja Integra - verkkotietojärjestelmän laskemiin arvoihin ja todeta, että Integran laskemiin arvoihin voidaan luottaa.

## Oikosulkulaskenta

Esimerkissä lasketaan kolmivaiheinen oikosulkuvirta Savukosken sähköaseman lähtöjen alussa, sekä kaksivaiheinen oikosulkuvirta Kirkonkylän lähdön äärimmäisessä päässä. Laskennat suoritettiin kaavoilla 11-16. Johtojen resistanssin ja reaktanssin arvot saatiin liitteen 7 taulukoista. Kuvassa 1 on esitetty johtotyypit ja pituudet Pelkosenniemen ja Kirkonkylän lähdön äärimmäisen pään välillä. Pituuden arvot ovat kilometreissä. /21/



**Kuva 1. Johtotyypit ja pituudet oikosulkulaskentaa varten.**

Taustaverkon oikosulkuimpedanssi Pelkosenniemen 45kV:n kiskostossa:

$$R_T = 1,131\Omega, \quad X_T = 23,734\Omega$$

$$Z_T = \sqrt{R_T^2 + X_T^2} = \sqrt{(1,131\Omega)^2 + (23,734\Omega)^2} = 23,760\Omega$$

Oikosulkuimpedanssi 45kV:n johto-osuudella Pelkosenniemeltä Savukoskella.

Raven:  $r_v = 0,535\Omega/\text{km}$ ,  $x_v = 0,368\Omega/\text{km}$

Johto-osuuden pituus: 44,1km

$$Z_{45} = \sqrt{(l * r_v)^2 + (l * x_v)^2} = \sqrt{(44,1\text{km} * 0,535\Omega/\text{km})^2 + (44,1\text{km} * 0,368\Omega/\text{km})^2} = 28,636\Omega$$

Taustaverkon ja 45kV johdon yhteinen oikosulkuimpedanssi:

$$Z_{K+45} = Z_K + Z_{45} = 23,760\Omega + 28,636\Omega = 52,397\Omega$$

Edellinen impedanssin arvo redusoituna Savukosken sähköaseman 20kV:n puolelle:

$$Z_{K+45(20kV)} = Z_{K+45} * \left(\frac{U_2}{U_1}\right)^2 = 52,397\Omega * \left(\frac{20kV}{45kV}\right)^2 = 10,350\Omega$$

Savukosken päämuuntajan oikosulkuimpedanssi:

Suhteellinen oikosulkujännite  $z_k = 5,8 \%$

$$Z_M = \frac{z_k}{100} * \frac{U_N^2}{S_N} = \frac{5,8}{100} * \frac{(20kV)^2}{5MVA} = 4,64\Omega$$

Kolmivaiheinen oikosulkuvirta lähtöjen alussa:

$$I_{K3v} = \frac{c * U}{\sqrt{3} * (Z_{K+45(20kV)} + Z_M)} = \frac{1,0 * 20,5kV}{\sqrt{3} * (10,350\Omega + 4,64\Omega)} = 789,56 \dots A \approx 0,79kA$$

Verrattaessa käsin laskettua ja Integran laskemaa kolmivaiheista oikosulkuvirtaa lähtöjen alussa todetaan, että käsin laskettu arvo on pyöristettynä täsmälleen sama kuin Integran laskema.

Seuraavaksi lasketaan kaksivaiheinen oikosulkuvirta Kirkonkylän lähdön äärimmäisessä päässä ja verrataan sitä Integran laskemaan arvoon. Etäisyydet saadaan kuvasta 1.

Eri johto-osien oikosulkuimpedanssit:

SAMKA 3x120:  $r_v = 0,256\Omega/km$ ,  $x_v = 0,130\Omega/km$

Raven:  $r_v = 0,535\Omega/km$ ,  $x_v = 0,368\Omega/km$

Sparrow:  $r_v = 0,847\Omega/km$ ,  $x_v = 0,383\Omega/km$

Fersemal:  $r_v = 1,560\Omega/km$ ,  $x_v = 0,398\Omega/km$

$$Z_{SA120} = \sqrt{(l * r_v)^2 + (l * x_v)^2} \\ = \sqrt{(0,06km * 0,256\Omega/km)^2 + (0,06km * 0,130\Omega/km)^2} = 0,0172\Omega$$

$$Z_{RAV} = \sqrt{(l * r_v)^2 + (l * x_v)^2} = \sqrt{(1,38km * 0,535\Omega/km)^2 + (1,38km * 0,368\Omega/km)^2} \\ = 0,896\Omega$$

$$Z_{SPA} = \sqrt{(l * r_v)^2 + (l * x_v)^2} = \sqrt{(0,17km * 0,847\Omega/km)^2 + (0,17km * 0,383\Omega/km)^2} \\ = 0,158\Omega$$

$$Z_{FER} = \sqrt{(l * r_v)^2 + (l * x_v)^2} = \sqrt{(4,06km * 1,560\Omega/km)^2 + (4,06km * 0,398\Omega/km)^2} \\ = 6,536\Omega$$

Oikosulkuimpedanssi yhteensä johto-osan lopussa:

$$Z_{KOK} = Z_{K+45(20kV)} + Z_M + Z_{SA120} + Z_{RAV} + Z_{SPA} + Z_{FER} \\ = 10,350\Omega + 4,64\Omega + 0,0172\Omega + 0,896\Omega + 0,158\Omega + 6,536\Omega \\ = 22,597\Omega$$

Kolmivaiheinen minimoikosulkuvirta johto-osan lopussa:

$$I_{K3v} = \frac{c * U}{\sqrt{3} * \sqrt{(R_T + R_M + l * r_j)^2 + (X_T + X_M + l * x_j)^2}} = \frac{c * U}{\sqrt{3} * Z_{KOK}} = \frac{1,0 * 20,5kV}{\sqrt{3} * 22,597\Omega} = 523,75 \dots A$$

Kaksivaiheinen minimioikosulkuvirta johto-osan lopussa:

$$I_{K2v} = \frac{\sqrt{3}}{2} * I_{K3v} = \frac{\sqrt{3}}{2} * 523,75 \dots kA = 453,58 \dots A \approx 0,45kA$$

Verrattaessa käsin laskettua ja Integran laskemaa kaksivaiheista oikosulkuvirtaa Kirkonkylän lähdön lopussa todetaan, että käsin laskettu arvo on pyöristettynä täsmälleen sama Integran laskema.

## Oikosulkukestoisuus

Esimerkissä lasketaan oikosulkukestoisuus Savukosken sähköaseman Kirkonkylä-lähdön alkupäässä, jossa johtona on käytetty Ravenia.

Termistä oikosulkukestoisuutta tarkasteltaessa tulee laskea kolmivaiheinen maksimioikosulkuvirta. Se voidaan laskea oikosulkuvirtalaskennan arvojen avulla, mutta käyttämällä eri jännitekerrointa.

$$I_{K3v} = \frac{c * U}{\sqrt{3} * (Z_{K+45(20kV)} + Z_M)} = \frac{1,1 * 20,5kV}{\sqrt{3} * (10,350\Omega + 4,64\Omega)} = 868,52 \dots A \approx 0,87kA$$

### Oikosulun ekvivalenttinen kesto aika:

Oikosulun kesto aika ennen ajk:ta:  $t_1 = 0,422s$

Oikosulun kesto aika ajk:n jälkeen:  $t_2 = 0,390s$

ajk:n jännitteetön aika:  $t_0 = 94,02s$

Johtimen jäähtymisaikavakio (Raven):  $\tau = 6min / 360s$

$$t = t_1 * e^{-t_0/\tau} + t_2 = 0,422e^{-94,02/360} + 0,390 = 0,715 \dots s$$

### Oikosulkukestoisuus:

Johtimen maksimi 1s oikosulkuvirta (Raven) = 5,1 kA

$$I_{kt} = \frac{I_{k1s}}{\sqrt{t}} = \frac{5,1kA}{\sqrt{0,715 \dots s}} = 6,031 \dots kA > 0,87kA$$

Kyseinen johto-osa on siis reilusti oikosulkukestoinen. Edellisten arvojen perusteella lasketaan suhteellinen oikosulkukestoisuus, jotta arvoa voidaan verrata Integra - verkkotietojärjestelmän laskemaan arvoon.

**Suhteellinen oikosulkukestoisuus:**

$$I_k \% = \frac{I_{k3v}}{I_{kt}} * 100\% = \frac{0,868 \dots kA}{6,031 \dots kA} * 100\% = 14,401 \dots \% \approx 14\%$$

Integran laskema suhteellinen oikosulkukestoisuus on myös 13 %, joten laskennat vastaavat lähes toisiaan. Ero näyttää johtuvan siitä, että Integra ei käytä jännitekerrointa oikosulkuvirran laskennoissa, koska ilman jännitekerrointa suhteelliseksi oikosulkukestoisuudeksi saatiin sama kuin Integra on laskenut eli 13 %.

**Kuormitettavuus**

Esimerkiksi otetaan Kirkonkylä-lähdön alkupään Raven johto, jonka suurin sallittu kuormitettavuus on 280 A. Ilman lämpötilan oletetaan olevan +25°C (k = 1,00). Tehonjakolistauksen mukaan kyseisessä paikassa kuormitusvirta on huipputehoilla normaalissa kytkentätilanteessa 31,4 A. Tästä saadaan suhteelliseksi kuormitusasteeksi seuraavanlainen arvo: /17/

$$k_1(\text{ilman lämpötila } +25 \text{ }^\circ\text{C}) = 1,00$$

$$I\% = \frac{k_1 * I}{I_{max}} * 100\% = \frac{1,00 * 31,4A}{280A} * 100\% = 11,214 \dots \% \approx 11\%$$

Integran laskema arvo on myös 11 %, joten arvot ovat vastaavat.

**Maasulkulaskenta**

Maasulkulaskentaan otettiin esimerkiksi Martin lähtö, josta lasketaan maasulkuvirta ja verrataan sitä Integran laskemaan maasulkuvirtaan kyseisellä lähdöllä. Loppujen lähtöjen maasulkuvirrat laskettiin Microsoft Excelillä ja taulukoitiin. Maakapasitanssin arvot eri johtotyypeille on saatu Integrasta ja liitteen 7 taulukoista. Laskennat suoritettiin kaavojen 17 ja 18 avulla.

**Martin lähtö:**

$$f = 50\text{Hz}$$

$$U = 20,0 \text{ kV}$$

Avojohtoa: 154,4 km

Päällystettyä avojohtoa: 8,7 km

Maakaapelia: 0,2 km

Päällystetty avojohto:

SAMKA 3x70:  $C_0 = 0,21 \mu\text{F/km}$



SAX 3x70:  $C_0 = 0,005 \mu\text{F}/\text{km}$

Maakaapeli:

AHXAMK-W 3x70:  $C_0 = 0,18 \mu\text{F}/\text{km}$

**Avojohtodon osuus maasulkuvirrasta:**

$$I_{EAvo} = \frac{U[\text{kV}] * l[\text{km}]}{300} = \frac{20,0 * 154,4}{300} = 10,293 \dots A$$

**Päällystetyn avojohtodon osuus maasulkuvirrasta:**

SAMKA 3x70: 0,05 km

$$\begin{aligned} I_{EPääl1} &= \sqrt{3} * U * \omega * C_0 = \sqrt{3} * 20,0\text{kV} * 2\pi * 50\text{Hz} * 0,21 \mu\text{F}/\text{km} * 0,05\text{km} \\ &= 0,114 \dots A \end{aligned}$$

SAXKA 3x70: 8,65 km

$$\begin{aligned} I_{EPääl2} &= \sqrt{3} * U * \omega * C_0 = \sqrt{3} * 20,0\text{kV} * 2\pi * 50\text{Hz} * 0,005 \mu\text{F}/\text{km} * 8,65\text{km} \\ &= 0,470 \dots A \end{aligned}$$

**Maakaapelin osuus maasulkuvirrasta:**

AHXAMK-W 3x70: 0,2 km

$$\begin{aligned} I_{EMaa} &= \sqrt{3} * U * \omega * C_0 = \sqrt{3} * 20,0\text{kV} * 2\pi * 50\text{Hz} * 0,18 \mu\text{F}/\text{km} * 0,2\text{km} \\ &= 0,391 \dots A \end{aligned}$$

**Maasulkuvirta yhteensä:**

$$\begin{aligned} I_{Ekok} &= I_{EAvo} + I_{EPääl1} + I_{EPääl2} + I_{EMaa} \\ &= 10,293 \dots A + 0,114 \dots A + 0,470 \dots A + 0,391 \dots A = 11,270 \dots A \\ &\approx 11,3A \end{aligned}$$

Lähtöä on kompensoitu 5A, joten maasulkuvirraksi Martin lähdölle saadaan:

$$I_E = 11,270 \dots A - 5A = 6,270 \dots A \approx 6,3A$$

Integran laskema kokonaismaasulkuvirta Martin lähdölle on 6,3, joten käsin lasketut ja Integran laskemat arvot vastaavat toisiaan.

Seuraaviin taulukoihin on laskettu muiden Savukosken lähtöjen maasulkuvirrat, jotta koko sähköaseman käsinlaskettua maasulkuvirran arvoa voitaisiin verrata Integran laskemaan

arvoon. Taulukossa 1 on esitetty Savukosken lähtöjen päällystettyjen avojohtojen ja maakaapelien johtopituudet johtotyypeittäin.

**Taulukko 1. Johtopituudet johtotyypeittäin.**

	Päällystetty avojohto [km]				Maakaapeli [km]	
	SA120	SA70	SX120	SX70	AHX150	AHX70
Tanhua	0,05	0	0	0,45	0	0
Martti	0	0,05	0	8,65	0	0,2
Nousu	0	0	0	0	0	0
Kirkonkylä	0	0	0,5	0	0,3	0
Perälä	0	0	0	0	0	0

SA120 = SAMKA 3x120

SA70 = SAMKA 3x70

SX120 = SAX 3x120

SX70 = SAX 3x70

AHX150 = AHXAMK-W 3x150

AHX70 = AHXAMK-W 3x70

AHX150 maakaapelin maakapasitanssin arvo saatiin valmistajalta ja SX-johtojen tiedot saatiin Integrasta.

**Taulukko 2. Johdintyyppien maakapasitanssit.**

Johtotyyppi	$C_0$
AL132	0,0061 uF/km
AHX150	0,24 uF/km
AHX70	0,18 uF/km
SA120	0,25 uF/km
SA70	0,21 uF/km
SX120	0,005 uF/km
SX70	0,005 uF/km

Taulukkoon 3 laskettiin muiden lähtöjen maasulkuvirrat samoin kuin Martin lähdön kohdalla.

**Taulukko 3. Maasulkuvirrat lähdöittäin.**

Lähtö	Johtopituus tyypeittäin [km]			Maasulkuvirrat tyypeittäin [km]			Yhteensä [A]
	Avo	Pääl.	Maa	Avo	Pääl.	Maa	
Tanhua	120,2	0,5	0	8,01	0,16	0,00	<b>8,17</b>
Martti	154,4	8,7	0,2	10,29	0,58	0,3918	<b>11,27</b>
Nousu	63,5	0	0	4,23	0,00	0,00	<b>4,23</b>
Kirkonkylä	12,6	0,5	0,3	0,84	0,03	0,78	<b>1,65</b>
Perälä	45,6	0	0	3,04	0,00	0,00	<b>3,04</b>
			<b>Yht. [A]</b>	<b>26,42</b>	<b>0,77</b>	<b>1,18</b>	<b>28,37</b>

Tanhuan ja Martin lähtöjä on kompensoitu 5A. Taulukkoon 4 on laskettu maasulkuvirrat yhteen ja lopuksi vielä kompensointi otettiin huomioon.

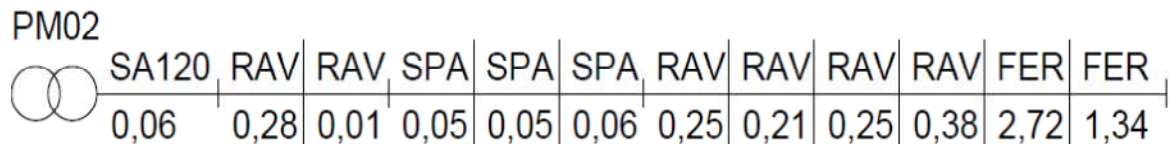
**Taulukko 4. Maasulkuvirrat yhteensä.**

<b>Maasulkuvirta yht.</b>	28,37 A
<b>Kompensointi yht.</b>	10 A
<b>Maasulkuvirta</b>	18,37 A

Maasulkuvirraksi saatiin käsin pyöreästi 18,4 A. Integran laskema maasulkuvirran arvo on 18,5 A, joten tämän perusteella voidaan todeta, että arvot vastaavat lähes toisiaan.

## Jännitteenalenema

Jännitteenaleneman laskentaan esimerkiksi otettiin Kirkonkylän lähtö, johon jännitteenalenema lasketaan käsin äärimmäiseen päähän. Käsin laskettua arvoa vertaillaan Integran laskemaan arvoon. Kuvassa 2 on esitetty kuormituspisteiden väliset johtotyypit ja niiden pituudet.

**Kuva2. Kuormituspisteiden väliset johtotyypit ja pituudet.**

Kuvassa 2 pituudet ovat kilometreissä. Johdintyyppien selitykset ovat seuraavat:

SA120: Samka 3x120mm<sup>2</sup>

RAV: Raven

SPA: Sparrow

FER: Fersemal

Kirkonkylän lähdön ensimmäisen kuormituspisteen tehot on saatu Integrasta:

$$P_{\max} = 1079 \text{ kW}$$

$$Q_{\max} = 293 \text{ kVar}$$

Nimellistehot, tehokertoimet ja virrat laskettiin kaavojen 4, 5 ja 6 avulla.

$$S_{\max} = \sqrt{P_{\max}^2 + Q_{\max}^2} = \sqrt{(1079 \text{ kW})^2 + (293 \text{ kVar})^2} = 1118 \text{ kVA}$$

Nimellistehon ja pätötehon avulla saadaan kertoimet  $\cos\varphi$  ja  $\sin\varphi$ .

$$\cos\varphi = \frac{P}{S} = \frac{1079 \text{ kW}}{1118 \text{ kVA}} = 0,965 \dots \approx 0,97$$

$$\sin\varphi = \sin(\cos^{-1}0,97) = 0,260 \dots \approx 0,26$$

Seuraavaksi voidaan laskea nimellisvirta, pätövirta sekä loisvirta.

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} * U * \cos\varphi} = \frac{1079 \text{ kW}}{\sqrt{3} * 20,5 \text{ kV} * 0,97} = 31,5 \text{ A}$$

$$I_P = I * \cos\varphi = 31,5 \text{ A} * 0,97 = 30,4 \text{ A}$$

$$I_Q = I * \sin\varphi = 31,5 \text{ A} * 0,26 = 8,3 \text{ A}$$

Johtimen tyyppin ja pituuden mukaan voidaan laskea johdon resistanssin ja reaktanssin arvot ensimmäiselle kuormituspisteelle laskettiin kaavan 8 avulla. Resistanssin ja reaktanssin arvot saatiin Integrasta.

Samka 3x120 (0,06km):  $r_v = 0,256 \Omega/\text{km}$ ,  $x_v = 0,130 \Omega/\text{km}$

Raven (0,28km):  $r_v = 0,535 \Omega/\text{km}$ ,  $x_v = 0,368 \Omega/\text{km}$

$$R_1 = l * r_v = 0,06 \text{ km} * 0,256 \frac{\Omega}{\text{km}} + 0,28 \text{ km} * 0,535 \frac{\Omega}{\text{km}} = 0,165 \Omega$$

$$X_1 = l * x_v = 0,06 \text{ km} * 0,130 \frac{\Omega}{\text{km}} + 0,28 \text{ km} * 0,368 \frac{\Omega}{\text{km}} = 0,111 \Omega$$

Nyt virtojen, resistanssin ja reaktanssin avulla voidaan laskea jännitteenalenema ensimmäisellä kuormituspisteellä.

$$U_h = I_P * R + I_Q * X = 30,4 \text{ A} * 0,165 \Omega + 8,3 \text{ A} * 0,111 \Omega = 5,9 \text{ V}$$

Suhteellinen jännitteenalenema on:

$$U_h \% = \frac{U_h}{U} * 100\% = \frac{5,9 \text{ V}}{20500 \text{ V}} * 100\% = 0,029\%$$

Loput kuormituspisteet laskettiin samalla tavalla ja tulokset ovat nähtävillä taulukossa 5.

**Taulukko 5. Jännitteenalenemalaskenta.**

Kuormituspiste	$P_{\max}$ [kW]	$Q_{\max}$ [kVar]	$S_{\max}$ [kVA]	$I$ [A]	$I_p$ [A]	$I_q$ [A]	$r_v$ yht. [Ω]	$x_v$ yht. [Ω]	$U_h$ [V]
1	1079	293	1118	31,5	30,4	8,3	0,165	0,111	5,9
2	894	243	926	26,1	25,2	6,8	0,048	0,023	1,4
3	749	204	776	21,9	21,1	5,7	0,042	0,019	1,0
4	722	194	748	21,1	20,3	5,5	0,185	0,115	4,4
5	280	71	289	8,2	7,9	2,1	0,112	0,077	1,1
6	209	52	215	6,1	5,9	1,6	0,134	0,092	0,9
7	73	13	74	2,1	2,1	0,6	0,203	0,140	0,5
8	17	3	17	0,5	0,5	0,1	4,243	1,083	2,2
9	10	3	10	0,3	0,3	0,1	2,090	0,533	0,6
<b>Yht. <math>U_h</math> [V]</b>									18,0
<b>Yht. <math>U_h</math> [%]</b>									0,1

Kirkonkylä lähdön äärimmäiseen päähän saatiin käsin laskettuna jännitteenalenemaksi 0,1 % ja Integran laskema oli 0,1 %, joten tulos on vastaava.

## Päämuuntajien kuormitukset

Päämuuntajien kuormitusaste tuli tarkastella, jotta muuntajien kuormitusaste pysyy korvaustilanteessakin sallituissa arvoissa. Esimerkkinä otetaan Savukosken käytössä oleva päämuuntaja normaalissa kytkentätilanteessa. Pätötehot ja loistehot saatiin Integra - verkkotietojärjestelmästä. Laskenta suoritettiin kaavalla 6.

Päämuuntajan nimellisteho:  $S_N = 5 \text{ MVA}$

Maksimi pätöteho Savukoskella:  $P = 3,097 \text{ MW}$

Maksimi loisteho Savukoskella:  $Q = 0,353 \text{ Mvar}$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{3,097^2 + 0,353^2} = 3,11 \dots \text{ MVA}$$

Suhteellinen kuormitusaste voidaan laskea seuraavasti:

$$S\% = \frac{S}{S_N} * 100\% = \frac{3,11 \text{ MVA}}{5 \text{ MVA}} = 62,341 \dots \% \approx 62\%$$

Muiden päämuuntamoiden kuormitusasteet on laskettu samalla tavalla. Seuraavaan taulukkoon on laskettu päämuuntajien kuormitusasteet eri kytkentätilanteissa.

**Taulukko 1. Päämuuntajien kuormitusasteet eri kytkentätilanteissa.**

Kytkeätilanne	Sähköasema	20 kV		45kV		S [MVA]	Sn [MVA]	Kuormitus-aste [%]
		P [MW]	Q [Mvar]	P [MW]	Q [MW]			
Normaali	Pelkosen- niemi	5,6	1,3	6,4	1,1	12,2	15	81
Normaali	Savukoski	3,1	0,4			3,1	5	62
Normaali	Salla	7,8	1,7			8,0	15	53
Normaali	Kursu	1,2	0,1	2,4	0,5	3,7	15	25
Korvaus	Pelkosen- niemi	6,4	1,4	3,2	0,5	9,8	15	65
Korvaus	Salla	8,5	1,8			8,7	15	58
AI132	Pelkosen- niemi	7,7	1,5	3,2	0,5	11,1	15	74
AI132	Salla	8,5	1,8			8,7	15	58
BLL-T157 1x	Pelkosen- niemi	7,8	1,5	3,2	0,5	11,2	15	74
BLL-T157 1x	Salla	8,5	1,8			8,7	15	58
BLL-T157 2x	Pelkosen- niemi	8,4	1,5	3,2	0,5	11,7	15	78
BLL-T157 2x	Salla	8,2	1,8			8,4	15	56
Ahv - Sav BLL- T157	Pelkosen- niemi	6,3	1,3	3,2	0,5	9,7	15	64
Ahv - Sav BLL- T157	Salla	8,7	1,8			8,9	15	59
Ahv - Sav BLL- T157	Kursu	2,2	0,3	2,4	0,5	4,7	15	31
Kur- Sav 45 kV	Savukoski	3,1	0,4			3,1	5	62
Kur- Sav 45 kV	Kursu	1,2	0,1	5,7	0,6	7,0	15	47

## Keskeytyskustannuksien laskennat

Keskeytyskustannuslaskelmissa käytetyt arvot on saatu Koillis-Lapin Sähkö Oy:n vuoden 2010 verkoston kehittämissuunnitelmasta. /4/

### **Yhden 45 kV syöttävässä verkossa tapahtuvan vian keskeytyskustannukset**

Yksi 45 kV:n syöttävässä nykyisessä verkossa tuottama keskeytyskustannus aiheuttaa osalle kuluttajista korjausajan mittaisen keskeytyksen ja osalle kaukokäyttöisen kytkennän mittaisen keskeytyksen. Otetaan esimerkiksi paras tilanne eli, kun 20 kV linjaa Pelkosenniemeltä Savukoskelle ei tarvitse kytkeä jännitteettömäksi 45 kV syötön ajaksi. 45 kV:n syöttö kulkee lähes koko matkan tien varressa.

Korjausaika tienvarressa  $t_1 = 2$  h.

Kaukokäyttöinen kytkentäaika  $t_2 = 0,25$  h.

Savukosken huipputeho = 3,1 MW

Integrasta saatu Savukosken huipunkäyttöaika  $t_k = 4881$  h

Vikakeskeytyksestä aiheutuva haitta  $k = 11$  €/kWh

Integralla tehdyn korvaustilanteen simuloinnin avulla nähdään kuluttajat, jotka näkevät korjausajan mittaisen keskeytyksen ja ne jotka näkevät kaukokäyttöisen kytkennän mittaisen keskeytyksen.

Korjausajan mittaisen keskeytyksen näkevien kuluttajien huipputeho on 1,57 MW

Kaukokäyttöisen kytkentäajan mittaisen keskeytyksen näkevien kuluttajien huipputeho on 1,53 MW. Keskimääräisellä huipunkäyttöajalla saadaan laskettua näille kuluttajille vuoden keskiteho.

$$P_{ke1} = \frac{t_k * P_{max}}{T} = \frac{4881h * 1570kW}{8760h} = 874,79 \dots kW$$



$$P_{ke2} = \frac{4881h * 1530kW}{8760h} = 852,50 \dots kW$$

Keskeytyskustannus korjausajan näkeville kuluttajille:

$$KAH_1 = P_{ke1} * t_1(h) * k(€/kWh) = 874,79 \dots kW * 2h * 11€/kWh = 19245,40 \dots €$$

Keskeytyskustannus kaukokäyttöisen kytkennän näkeville kuluttajille:

$$KAH_2 = P_{ke2} * t_2(h) * k(€/kWh) = 852,50 \dots kW * 0,25h * 11€/kWh = 2344,38 \dots €$$

$$KAH_{yht} = KAH_1 + KAH_2 = 19245,40€ + 2344,38€ = 21589,79€ \approx 21600€$$

Varayhteyksillä korvattavuus kasvaa 100 % eli Savukosken kuluttajat näkevät parhaassa tilanteessa ainoastaan kaukokäyttöisen kytkennän mittaisen keskeytyksen.

Savukosken keskiteho:

$$P_{ke3} = \frac{4881h * 3100kW}{8760h} = 1727,29 \dots kW$$

Keskeytyskustannus:

$$\begin{aligned} KAH_3 &= P_{ke3} * t_2(h) * k(€/kWh) = 1727,29 \dots kW * 0,25h * 11€/kWh \\ &= 4750,06 \dots € \approx 4800€ \end{aligned}$$

Varayhteyksien tuoma hyöty yhdestä 45 kV syöttävän verkon viasta parhaassa tilanteessa:

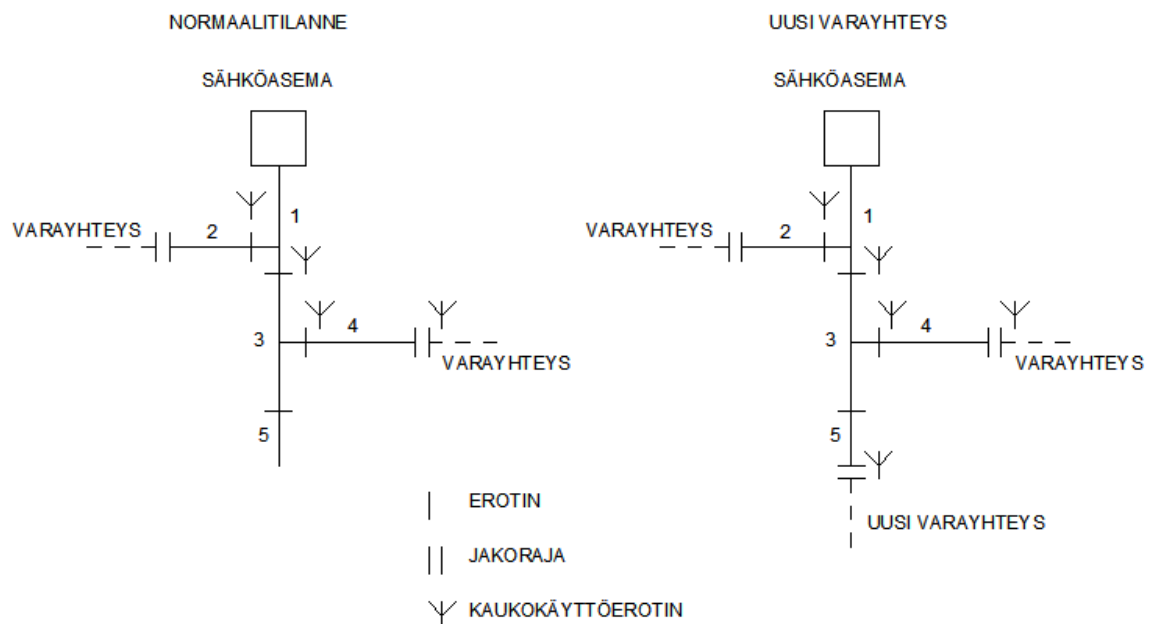
$$\begin{aligned} KAH_{hyöty} &= KAH_{yht} - KAH_3 = 21589,79 \dots € - 4750,06 \dots € = 16839,73 \dots € \\ &\approx 16800€ \end{aligned}$$

## Vuotuiset keskeytyskustannukset

Vuotuiset keskeytyskustannukset muuttuvat kohtien 8.2, 8.3 ja 8.4 varasyöttöyhteyksien muodoissa. Kohdassa 8.1 uusi johto on kirkasta avojohtoa, joten vikataajuus ei muutu. Kohdassa 8.5 laskennalliset vuotuiset vikakeskeytyskustannukset eivät muutu, koska korjausaika ei muutu.

## Ahvonselkä – Savukoski uusi 20 kV johto-osuus

Esimerkkilaskentana käytetään kohdan 8.4 mukaisen Ahvensalmen ja Savukosken välisen uuden johto-osuuden keskeytyskustannuksien muutosta normaaliin tilanteeseen. Uusi varasyöttöyhteys parantaa Savukosken Kirkonkylä lähdön vuotuisia keskeytyskustannuksia. Kuvassa 1 on esitetty pelkistetty kaaviokuva nykyisestä Savukosken Kirkonkylä lähdöstä ja uuden varayhteyden sijoitus.



**Kuva 1. Pelkistetty kuva Kirkonkylä lähdöstä erotinvyöhykkeittäin.**

Keskimääräinen vikataajuus Kirkonkylä lähdöllä  $f_j = 0,15$  vikaa/km.

Integrasta saatiin Kirkonkylä lähdön huipunkäyttöajaksi on **5208h**.

Keskimääräiset KAH-arvot:

**Odottamattomat:  $k_1 = 1,1 \text{ €/kW}$ ,  $k_2 = 11 \text{ €/kWh}$**

**Suunnitellut:  $k_3 = 0,5 \text{ €/kW}$ ,  $k_4 = 6,8 \text{ €/kWh}$**

Avojohtojen korjausaika tienvarressa:  **$t_1 = 2\text{h}$** .

Kytöntäaika käsin:  **$t_2 = 1\text{h}$**

Kytöntäaika kauko-ohjaus:  **$t_3 = 0,25\text{h}$**

Työkeskeytyksen  **$t_4 = 1,5\text{h}$**

Vyöhykkeiden johtopituudet ja huipputehot.

K1.  $l_1 = 0,3\text{km}$  /  $P_{\max 1} = 10\text{kW}$

K2.  $l_2 = 1,7\text{km}$  /  $P_{\max 2} = 219\text{kW}$

K3.  $l_3 = 1,1\text{km}$  /  $P_{\max 3} = 464\text{kW}$

K4.  $l_4 = 3,1\text{km}$  /  $P_{\max 4} = 357\text{kW}$

K5.  $l_5 = 7,1\text{km}$  /  $P_{\max 5} = 73\text{kW}$

Laskentaa yksinkertaistettiin sen verran, että oletetaan kaikkien johtojen olevan avojohtoa ja tienvarressa. Keskeytyskustannukset (odottamattomat ja suunnitellut) laskettiin alueittain ja lopussa arvot summattiin yhteen. Laskenta suoritettiin kaavan 19 avulla.

**Normaalitilanteen keskeytyskustannukset:**

$$\begin{aligned}
 K_1 &= f_j * l_1 * \frac{5208 * P_{\max 1}}{8760} * (k_1 + k_2 * t_1 + k_2 + k_4 * t_4) + f_j * l_2 * \frac{5208 * P_{\max 1}}{8760} \\
 &\quad * (k_1 + k_2 * t_2) + f_j * l_3 * \frac{5208 * P_{\max 1}}{8760} * (k_1 + k_2 * t_3) \\
 K_1 &= 0,15 \frac{v}{\text{km}} * 0,3\text{km} * \frac{5208\text{h} * 10\text{kW}}{8760\text{h}} \\
 &\quad * \left( 1,1 \frac{\text{€}}{\text{kW}} + 11 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} * 2\text{h} + 0,5 \frac{\text{€}}{\text{kW}} + 6,8 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} * 1,5\text{h} \right) + 0,15 \frac{v}{\text{km}} \\
 &\quad * 1,7\text{km} * \frac{5208\text{h} * 10\text{kW}}{8760\text{h}} * \left( 1,1 \frac{\text{€}}{\text{kW}} + 11 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} * 1\text{h} \right) + 0,15 \frac{v}{\text{km}} \\
 &\quad * (1,1\text{km} + 3,1\text{km} + 7,1\text{km}) * \frac{5208 * (10\text{kW})}{8760} \\
 &\quad * \left( 1,1 \frac{\text{€}}{\text{kW}} + 11 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} * 0,25\text{h} \right) = 168,40 \dots \frac{\text{€}}{\text{a}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
K2 &= 0,15 \frac{v}{km} * 1,7km * \frac{5208h * 219kW}{8760h} \\
&* \left( 1,1 \frac{€}{kW} + 11 \frac{€}{kWh} * 2h + 0,5 \frac{€}{kW} + 6,8 \frac{€}{kWh} * 1,5h \right) + 0,15 \frac{v}{km} \\
&* (0,3km + 1,1km + 3,1km + 7,1km) * \frac{5208h * (219kW)}{8760h} \\
&* \left( 1,1 \frac{€}{kW} + 11 \frac{€}{kWh} * 0,25h \right) = 1781,25 \dots \frac{€}{a}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
K3 &= 0,15 \frac{v}{km} * (1,1km + 7,1km) * \frac{5208h * (464kW + 73kW)}{8760h} \\
&* \left( 1,1 \frac{€}{kW} + 11 \frac{€}{kWh} * 2h + 0,5 \frac{€}{kW} + 6,8 \frac{€}{kWh} * 1,5h \right) + 0,15 \frac{v}{km} \\
&* (0,3km + 1,7km + 3,1km) * \frac{5208h * (464 + 73kW)}{8760h} \\
&* \left( 1,1 \frac{€}{kW} + 11 \frac{€}{kWh} * 0,25h \right) = 10206,16 \dots \frac{€}{a}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
K4 &= 0,15 \frac{v}{km} * 3,1km * \frac{5208h * (357kW)}{8760h} \\
&* \left( 1,1 \frac{€}{kW} + 11 \frac{€}{kWh} * 2h + 0,5 \frac{€}{kW} + 6,8 \frac{€}{kWh} * 1,5h \right) + 0,15 \frac{v}{km} \\
&* (0,3km + 1,7km + 1,1km + 7,1km) * \frac{5208h * (357kW)}{8760h} \\
&* \left( 1,1 \frac{€}{kW} + 11 \frac{€}{kWh} * 0,25h \right) = 3769,80 \dots \frac{€}{a}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
K5 &= 0,15 \frac{v}{km} * 7,1km * \frac{5208h * (73kW)}{8760h} \\
&* \left( 1,1 \frac{€}{kW} + 11 \frac{€}{kWh} * 2h + 0,5 \frac{€}{kW} + 6,8 \frac{€}{kWh} * 1,5h \right) + 0,15 \frac{v}{km} \\
&* (0,3km + 1,7km + 1,1km + 3,1km) * \frac{5208h * (73kW)}{8760h} \\
&* \left( 1,1 \frac{€}{kW} + 11 \frac{€}{kWh} * 1h \right) = 1753,90 \dots \frac{€}{a}
\end{aligned}$$

Keskeytyskustannus yhteensä: **KAH(yht.) = K1 + K2 + K3 + K4 + K5 = 17679,51... €/a**

**Uuden varayhteyden tuoma hyöty vikakeskeytyskustannuksissa:**

Uusi varayhteys vaikuttaa ainoastaan vyöhykkeeseen 3. Vian sattuessa vyöhykkeellä 3, vyöhykkeelle 5 saadaan sähkö uuden varayhteyden kautta käsikäyttöisen erottimen avulla.

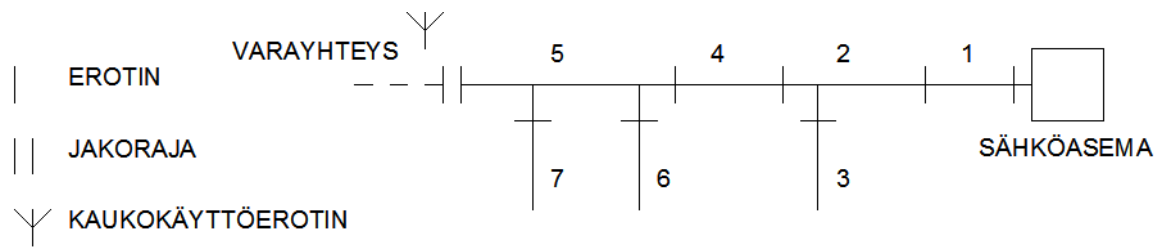
$$\begin{aligned}
 K3(uusi) &= 0,15 \frac{v}{km} * (1,1km) * \frac{5208h * (464kW)}{8760h} \\
 &* \left( 1,1 \frac{\text{€}}{kW} + 11 \frac{\text{€}}{kWh} * 2h + 0,5 \frac{\text{€}}{kW} + 6,8 \frac{\text{€}}{kWh} * 1,5h \right) + 0,15 \frac{v}{km} \\
 &* (0,3km + 1,7km + 3,1km) * \frac{5208h * (464kW)}{8760h} \\
 &* \left( 1,1 \frac{\text{€}}{kW} + 11 \frac{\text{€}}{kWh} * 0,25h \right) + 0,15 \frac{v}{km} * (7,1km) * \frac{5208h * (464kW)}{8760h} \\
 &* \left( 1,1 \frac{\text{€}}{kW} + 11 \frac{\text{€}}{kWh} * 1h \right) = 5613,54 \dots \frac{\text{€}}{a}
 \end{aligned}$$

Uuden varayhteyden myötä vikakeskeytyskustannus olisi yhteensä: **K1 + K2 + K3(uusi) + K4 + K5 = 13086,89...€/a**

Hyötyä tulee  $17679,51... \text{ €/a} - 13086,89... \text{ €/a} = 4592,61... \text{ €/a} \approx 4600 \text{ €/a}$

**Pelkosenniemi – Savukoski 20kV johto-osuuden vahvistus BLL-T157-johdolla**

Kohdan 8.2 keskeytyskustannukset määritettiin samalla tavalla kuin kohdan 8.4 laskelmat. Taulukossa 1 on esitetty vikataajuudet Savukosken Perälä lähdöllä ja Pelkosenniemen Savukoski lähdöllä. Kuvassa 2 on esitetty kaaviokuva Perälä lähdestä.



**Kuva 2. Pelkistetty kaaviokuva Perälä lähdöstä.**

**Taulukko 1. Vikataajuudet Savukosken Perälä ja Pelkosenniemen Savukoski lähdöllä.**

	Vikataajuus
Avojohton vikataajuus	0,04
Päällystetyn avojohdon vikataajuus	0,02

Taulukossa 2 on esitetty erotinvyöhykkeiden johtopituudet johtotyypeittäin sekä vyöhykkeiden keskitehot. Päällystetyn avojohdon sarakkeen johtopituus tarkoittaa, päällystetyn avojohdon osuutta avojohdon määrästä, kun johto-osa on vahvistettu BLL-T157-johdolla.

**Taulukko 2. Vyöhykkeiden johtopituudet tyypeittäin Perälä lähdöllä.**

Erotinvyöhyke	Avojohtoa [km]	Päällystettyä avojjohtoa [km]	Keskiteho $P_{ke}$ [kW]
1	3,1	3,1	5,7
2	7,3	7,3	9,3
3	5,7	0	30,0
4	5,8	4,3	8,8
5	10,1	9,7	21,2
6	11,2	0	21,7
7	2,4	0	4,7

Taulukkoon 3 on laskettu keskeytyskustannukset (odottamattomat ja suunnitellut) normaalitilanteessa Perälä lähdöllä.

**Taulukko 3. Keskeytyskustannukset normaalitilanteessa Perälä lähdöllä.**

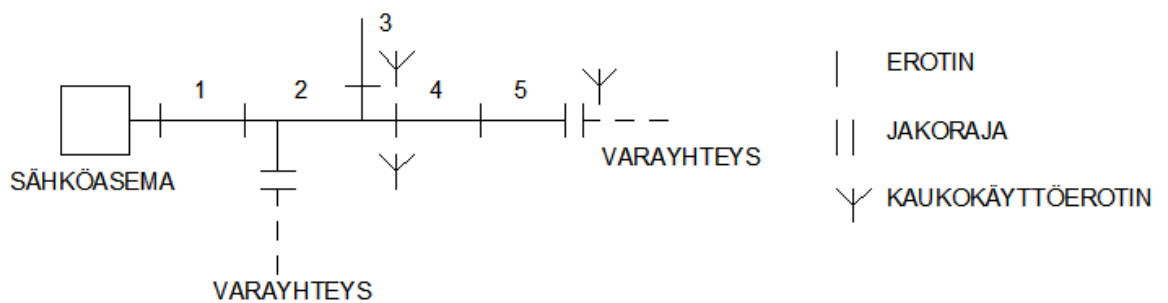
Vyöhyke	Odott. [€]	Suunn. [€]	Yht. [€]
K1	133	11	145
K2	235	44	279
K3	738	110	848
K4	217	33	249
K5	563	138	700
K6	587	587	1174
K7	108	7	115
		<b>Yht. [€]</b>	<b>3509</b>

Taulukkoon 4 on laskettu BLL-T157-johdon vaikutus Perälä lähdön keskeytyskustannuksiin.

**Taulukko 4. BLL-T157-johdon vaikutus keskeytyskustannuksiin Perälä lähdöllä**

Vyöhyke	Odott. [€]	Suunn. [€]	Yht. [€]
K1	67	11	78
K2	118	44	161
K3	738	110	848
K4	156	33	189
K5	293	138	431
K6	587	587	1174
K7	108	7	115
		<b>Yht. [€]</b>	<b>2995</b>
		<b>Ero normaaliin [€]</b>	<b>-514</b>

Savukosken keskeytyskustannukset määritettiin ja laskettiin samalla tavalla. Kuvassa 3 on esitetty Pelkosenniemen Savukoski lähdön kaaviokuva erotinvyöhykkeittäin.

**Kuva 3. Kaaviokuva Pelkosenniemen Savukoski lähdöstä.**

Taulukkoon 5 on koottu Savukoski lähdön johtopituudet johtotyypeittäin sekä keskitehot. Päälystetyn avojohdon sarakkeen johtopituus tarkoittaa, päälystetyn avojohdon osuutta avojohdon määrästä, kun johto-osa on vahvistettu BLL-T157-johdolla.

**Taulukko 5. Vyöhykkeiden johtopituudet tyypeittäin Savukoski lähdöllä.**

Erotinvyöhyke	Avojohtoa [km]	Päälystettyä avojohdtoa [km]	Keskiteho $P_{ke}$ [kW]
1	3,9	0	0,5
2	3,3	3,3	20,4
3	48,5	0,0	184,9
4	5,9	4,3	47,7
5	8,7	8,7	14,5

Taulukkoon 6 on laskettu keskeytyskustannukset (odottamattomat ja suunnitellut) normaalitilanteessa Savukoski lähdöllä.

**Taulukko 6. Keskeytyskustannukset normaalitilanteessa Savukoski lähdöllä.**

Vyöhyke	Odott. [€]	Suunn. [€]	Yht. [€]
K1	8	1	9
K2	298	43	341
K3	8906	5756	14662
K4	871	182	1053
K5	282	81	363
	<b>Yht.</b>		<b>16428</b>

Taulukkoon 7 on laskettu BLL-T157-johdon vaikutus Savukoski lähdön keskeytyskustannuksiin.

**Taulukko 7. BLL-T157-johdon vaikutus keskeytyskustannuksiin Perälä lähdöllä.**

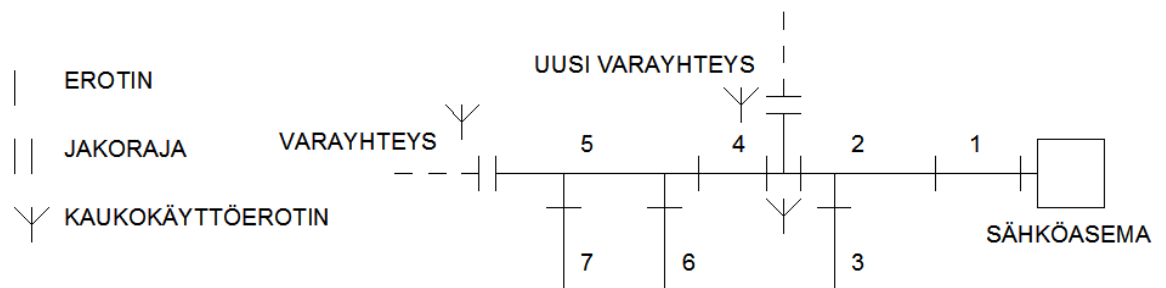
Vyöhyke	Odott. [€]	Suunn. [€]	Yht. [€]
K1	8	1	9
K2	149	43	192
K3	8906	5756	14662
K4	655	182	837
K5	141	81	222
	<b>Yht. [€]</b>		<b>15922</b>
	<b>Ero normaaliin [€]</b>		<b>-507</b>



BLL-T157-johdon tuoma hyöty Savukoski ja Perälä lähdöllä on yhteensä **514 € + 507 € = 1021 €**.

### Pelkosenniemi – Savukoski 20 kV:n kaksoisjohtojärjestelmä

Kohdan 8.3 keskeytyskustannukset määritettiin samalla tavalla kuin kohdan 8.4 laskelmat. Vikataajuudet on nähtävillä taulukossa 1 ja johtopituudet sekä keskitehot taulukossa 2. Nyt korjausajat muuttuvat kohdan 8.2 varasyöttöyhteyteen verrattuna. Kuvassa 4 on esitetty kaaviokuva Perälä lähdestä kaksoisjohdon ja uuden oletetun kaukokäyttöisen erotinaseman myötä.



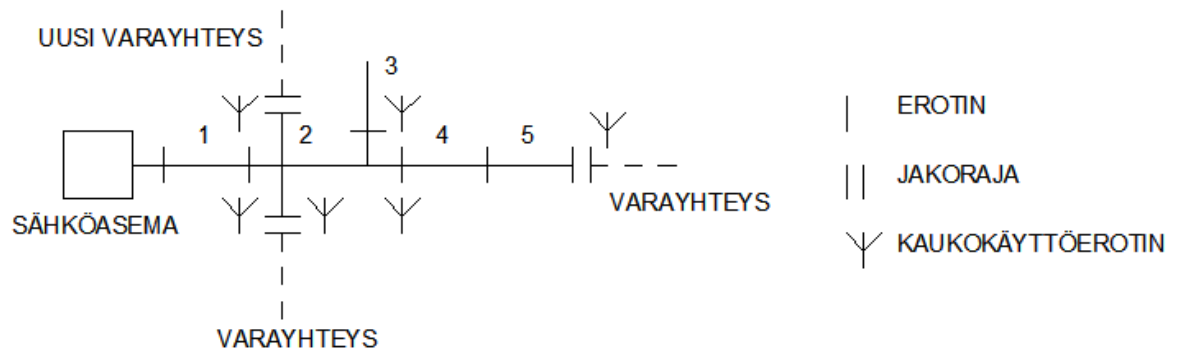
**Kuva 4. Kaaviokuva Savukosken Perälä lähdestä kaksoisjohdon ja kk-erotinaseman jälkeen.**

Taulukoon 8 on laskettu kaksoisjohdon vaikutus keskeytyskustannuksiin Savukosken Perälä lähdöllä.

**Taulukko 8. Keskeytyskustannukset kaksoisjohdon myötä Perälä lähdöllä.**

Vyöhyke	Odott. [€]	Suunn. [€]	Yht. [€]
K1	39	11	50
K2	54	44	98
K3	445	110	555
K4	122	33	155
K5	235	138	372
K6	471	587	1058
K7	83	7	90
		<b>Yht. [€]</b>	<b>2379</b>
		<b>Ero normaaliin [€]</b>	<b>-1130</b>

Savukosken keskeytyskustannukset määritettiin ja laskettiin samalla tavalla. Kuvassa 5 on esitetty Pelkosenniemen Savukoski lähdön kaaviokuva erotinvyöhykkeittäin kaksoisjohdon myötä. Taulukossa 5 on esitetty Savukoski lähdön johtopituudet ja keskitehot eri vyöhykkeillä.



**Kuva 5. Pelkosenniemen Savukoski lähdön kaaviokuva kaksoisjohdon myötä.**

Taulukkoon 9 on laskettu kaksoisjohdon vaikutus Savukoski lähdön keskeytyskustannuksiin.

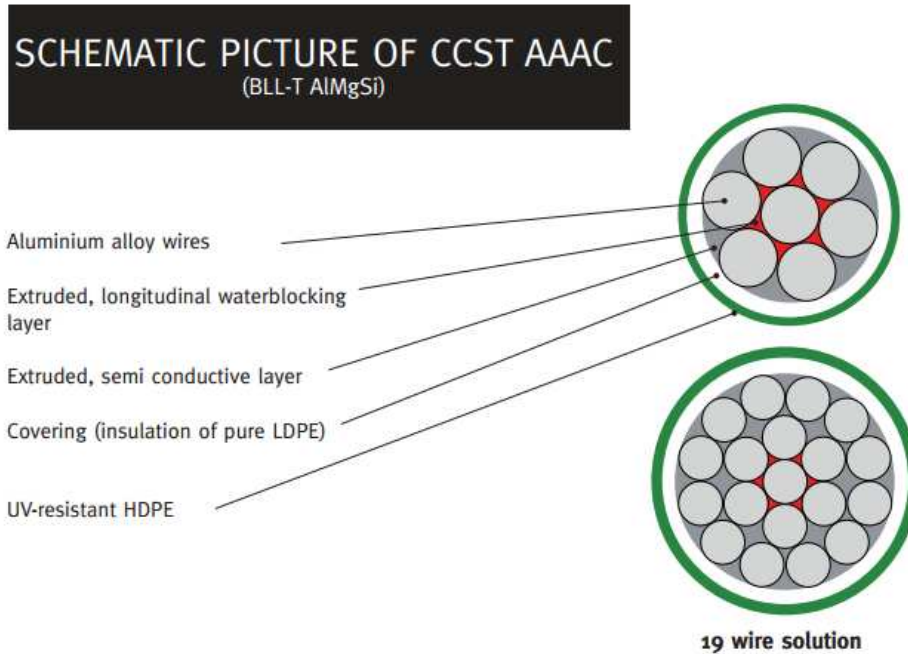
**Taulukko 9. Keskeytyskustannukset kaksoisjohdon myötä Savukoski lähdöllä.**

Vyöhyke	Odott. [€]	Suunn. [€]	Yht. [€]
K1	7	1	8
K2	136	22	158
K3	8906	5756	14662
K4	655	182	837
K5	141	81	222
<b>Yht. [€]</b>			<b>15887</b>
<b>Ero normaaliin [€]</b>			<b>-541</b>

Kaksoisjohdon tuoma hyöty Savukoski ja Perälä lähdöllä on yhteensä **1130 € + 541 € = 1671 €**.

## AL132-, BLL-T157- ja Raven-johtojen ominaisuudet

### BLL-T157-johdon ominaisuudet /3/



#### Delivery lengths and weights

Designation	E-number	Standard length m/drum	Standard drum size	Weight incl drum tot kg	Length without joint m/drum	Aluminium weight conductor kg/km
CCST 50 – AL7 W 24kV		1500	K11	400	6000	140
CCST 70 – AL7 W 24kV		1500	K12	510	5400	190
CCST 99 – AL7 W 24kV	E-0620124	1000	K11	450	4200	271
CCST 157 – AL7 W 24kV	E-0620164	1000	K12	660	2800	430
CCST 241 – AL7 W 24kV	E-0620224	1000	K14	940	2000	654

#### Dimensions

Designation	Strand design	Thickness of covering nominal mm	Thickness of covering min mm	Dia over covering min mm	Dia over covering max mm
CCST 50 – AL7 W 24kV	3,08	2,3	2,0	14,2	15,2
CCST 70 – AL7 W 24kV	3,57	2,3	2,0	15,7	16,7
CCST 99 – AL7 W 24kV	4,25	2,3	2,0	17,8	18,8
CCST 157 – AL7 W 24kV	3,26	2,3	2,0	21,3	22,3
CCST 241 – AL7 W 24kV	4,02	2,3	2,0	25,1	26,1

#### Temperatures

	Max continuous Temperature (°C)	Short circuit Temperature (°C)
CCSX	90	250
CCST	70	200

## CCST AAC (BLL-T AlMgSi)

Crosssection	50	70	99	157	241	mm
Lay up of conductor	7x3,08	7x3,57	7x4,25	19x3,26	19x4,02	
Conductor diameter, bare conductor, nom	9,2	10,7	12,8	16,3	20,1	mm
Inner semiconductive layer, thickness, nom	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	mm
Inner PE covering, thickness, nom	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	mm
Outer UV-resist. HDPE-covering, thickness, nom	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	mm
Diameter over covering, min - max	14,2 - 15,2	15,7 - 16,7	17,8 - 18,8	21,3 - 22,3	25,1 - 26,1	mm
Weight, nom	221	279	379	575	829	kg/km
Rated operating voltage	24	24	24	24	24	kV
DC-resistance at 20°C, maximum	0,633	0,434	0,305	0,193	0,127	ohm/ km
Resistance temp. coefficient	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	/°C
Reactance, estimated value	0,33	0,31	0,30	0,29	0,28	ohm/ km
Per phase capacitance, estimated value	12	12	12	12	12	nF/km
Phase earth capacitance, estimated value	4	4	4	4	4	nF/km
Inductance, phase distance 0,3 m	0,762	0,762	0,762	0,762	0,762	mH/km
Lightening impulse withstand strength of HDPE layer	100	100	100	100	100	kV
Operating temperature, maximum	70	70	70	70	70	°C
Max load(IEC 1597), cond.temp 70 °C, air temp. 20 °C, wind speed 0,5	226	281	354	416	542	A
Max short circuit current, 1 sec, +50°C » +250°C	4,5	6,65	8,5	15,3	23,0	kA
Tensile strength of conductor, minimum	13,9	18,6	25,3	43,7	61,6	kN
Aluminium alloy	AlMgSi	AlMgSi	AlMgSi	AlMgSi	AlMgSi	
Linear expansion coefficient	23 10 <sup>-6</sup>	23 10 <sup>-6</sup>	23 10 <sup>-6</sup>	23 10 <sup>-6</sup>	23 10 <sup>-6</sup>	/°C
Permissible elongation, creep	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	%
Module of elasticity after load (estimated values)	67	67	67	64	64	kN/ mm

## AL132-johdon ominaisuudet /13/



AAC

FI

**Alumiinijohdin****KÄYTTÖ**

Avojohtimena sähköenergiansiirtolinjoissa.

Johtimen suurin sallittu lämpötila:

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

**RAKENNE**

Kerrattu alumiinijohdin

**STANDARDIT**

SFS 5701  
IEC 61089  
EN 50182



<i>Tuotteen nimi</i>	AAC 107	AAC 132	AAC 201	AAC 346	AAC 638	AAC 1095
<i>Tuotteen IEC:n mukainen nimitys</i>	107-A1-7	132-A1-19	201-A1-19	346-A1-37	638-A1-61	1095-A1-61
<i>Tuotteen EN:n mukainen nimitys</i>	107-AL1	132-AL1	201-AL1	346-AL1	638-AL1	1095-AL1
EAN-numero (SSTL-numero) 64 100+	01 202 50-3	01 202 52-7	01 202 55-8	01 202 58-9	01 202 61-9	01 202 64-0
Tullikoodi	76 05 11 00					
<b>RAKENNETIETOJA</b>						
Lankalukumäärä	7	19	19	37	61	61
Lankahalkaisija mm	4,42	2,97	3,67	3,45	3,65	4,78
Johtimen halkaisija mm	13,3	14,9	18,4	24,2	32,9	43,0
Poikkipinta mm <sup>2</sup>	107	132	201	346	638	1095
Johtimen massa (4) kg/km	294	362	553	954	1763	3024
<b>TOIMITUSTIETOJA</b>						
Vakiotoimituspituus m	2100	2100	1800	1250	1400	800
Toimituskela	13G	15G	15G	K18	K22	K22
Massa (1) kaapeli+kela kg	725	910	1150	1420	2880	2830
<b>MEKAANISIA ARVOJA</b>						
Johtimen nimellinen murtolujuus kN	17,2	22,4	32,2	57,1	102	175
Johtimen alkukimmomoduli N/mm <sup>2</sup>	41 000	36 000	36 000	31 000	28 000	28 000
Johtimen loppukimmomoduli N/mm <sup>2</sup>	60 000	59 000	59 000	58 000	57 000	57 000
Johtimen lämpöpiteneäkerroin 1/K	23,0 x 10 <sup>-6</sup>	23,0 x 10 <sup>-6</sup>	23,0 x 10 <sup>-6</sup>	23,0 x 10 <sup>-6</sup>	23,0 x 10 <sup>-6</sup>	23,0 x 10 <sup>-6</sup>
<b>SAHKÖISIA ARVOJA (2)</b>						
Johtimen tasavirtaresistanssi (4) johdin 20°C Ω/km	0,267	0,219	0,143	0,0833	0,0453	0,0264
<b>KUORMITETTAVUUS (2)</b>						
Ilmassa johdin 80°C A	435	495	645	920	1340	1830
<b>TERMINEN OIKOSULKUKESTOISUUS (2)</b>						
Suurin sallittu 1 sekunnin oikosulkuvirta (3) kA	9,6	11,8	18,0	30,9	57,0	97,8

(1) Likiarvo

(2) Katso taulukkoarvojen lähtöolettamukset kappaleesta Yleistä tuotetietoa.

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

(4) Standardin mukaan laskettu nimellisarvo

## Raven-johdon ominaisuudet /13/



ACSR

FI

### Teräsvahvisteinen alumiinijohdin

#### KÄYTTÖ

Avojohtimena sähköenergiansiirtolinjoissa.

Johtimen suurin sallittu lämpötila:

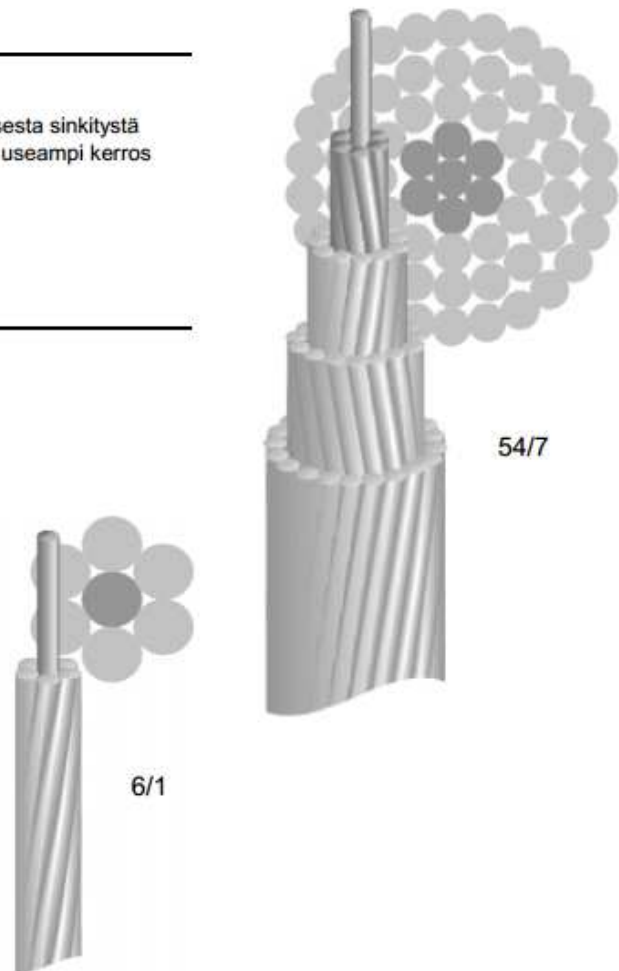
- jatkuvassa käytössä: 80 °C
- vikatilanteessa 200 °C  
(kesto enintään 5 s)

#### RAKENNE

Johdin koostuu yksi- tai muttamalankaisesta sinkitystä teräsydäimestä, jonka päällä on yksi tai useampi kerros alumiinilankoja,

#### STANDARDIT

SFS 5701  
IEC 61089  
EN 50182



Tuotteen nimi		ACSR 34/6 Sparrow	ACSR 54/9 Raven	ACSR 85/14 Pigeon	ACSR 305/39 Duck	ACSR 565/72 Flinch
Tuotteen IEC:n mukainen nimitys		34- A1/S1A- 6/1	54- A1/S1A- 6/1	85- A1/S1A- 6/1	305- A1/S1A- 54/7	565- A1/S1A- 54/19
Tuotteen EN:n mukainen nimitys		34- AL1/6- ST1A	54- AL1/9- ST1A	85- AL1/14- ST1A	305- AL1/39- ST1A	565- AL1/72- ST1A
EAN-numero	(SSTL-numero) 64 100+	01 202 02-2	01 202 05-3	01 202 09-1	01 202 21-3	01 202 24-4
Tullikoodi		76 14 10 00				
<b>RAKENNETIETOJA</b>						
Alumiini	lankalukumäärä	6	6	6	54	54
	lankahalkaisija mm	2,68	3,37	4,25	2,68	3,65
	poikkipinta mm <sup>2</sup>	33,8	53,5	85,1	305	565
	massa (5) kg/km	93	147	234	842	1562
Teräs	lankalukumäärä	1	1	1	7	19
	lankahalkaisija mm	2,68	3,37	4,25	2,68	2,19
	poikkipinta mm <sup>2</sup>	5,64	8,92	14,2	39,5	71,6
	massa (5) kg/km	44	69	110	309	561
Johdin	lankalukumäärä	7	7	7	61	73
	halkaisija mm	8,04	10,1	12,8	24,1	32,9
	poikkipinta mm <sup>2</sup>	39,5	62,4	99,3	344	637
	massa (5) kg/km	137	216	344	1151	2123
<b>TOIMITUSTIETOJA</b>						
Vakiotoimituspituus	m	2500	2200	2000	2500	1400
Toimituskela		9FV	11GV	11GV	K22	K22
Massa (1)	kaapeli+kela kg	395	560	775	3290	3380
<b>MEKAANISIA ARVOJA</b>						
Johtimen nimellinen murtolujuus	kN	12,2	18,6	29,2	96,8	174
Johtimen alkukimmomoduli	N/mm <sup>2</sup>	64 000	64 000	64 000	50 000	46 000
Johtimen loppukimmomoduli	N/mm <sup>2</sup>	78 000	78 000	78 000	67 000	63 000
Johtimen lämpöpiteneäkerroin	1/K	19,2 x 10 <sup>-6</sup>	19,2 x 10 <sup>-6</sup>	19,2 x 10 <sup>-6</sup>	19,3 x 10 <sup>-6</sup>	19,3 x 10 <sup>-6</sup>
<b>SÄHKÖISIÄ ARVOJA (2)</b>						
Johtimen tasavirtaresistanssi (3) (5)	johdin 20°C Ω/km	0,848	0,536	0,337	0,0949	0,0512
<b>KUORMITETTAVUUS (2)</b>						
Ilmassa	johdin 80°C A	210	280	360	845	1250
<b>TERMINEN OIKOSULKUKESTOISUUS (2)</b>						
Suurin sallittu 1 sekunnin oikosulkuvirta (4)	kA	3,7	5,8	9,2	32,5	60,1

(1) Likiarvo

(2) Katso taulukkoarvojen lähtöoletukset kappaleesta Yleistä tuotetietoa.

(3) Teräksen osuus johtimen resistanssia laskettaessa on jätetty huomioon ottamatta.

(4) Johtimen lämpötila on ennen oikosulkua 40°C ja oikosulun päättyessä 200°C.

(5) Standardin mukaan laskettu nimellisarvo.



## Ilmajohtojen ja maakaapelien johtotietoja /21/

Johdin	Vaiheresistanssi (DC)		Vaihe-reaktanssi	Maakapasitanssi	Käyttökapasitanssi	Suurin sallittu kuormitusvirta	Suurin sallittu 1 s oikosulkuvirta		Jäähtymisaikavakio
	Rv						Xv	Cm	
	+20 °C 1)	+40 °C 2)	Ω/ km 3)	μF/km 4)	μF/km 3)	A 5)	kA T1-liittimet	kA T2-liittimet	min
Cu 16	1,14	1,23	0,412	0,0061	0,0088	145	2,2	2,3	3
Cu 25	0,718	0,774	0,398	0,0061	0,0092	195	3,5	3,7	4
Cu 35	0,526	0,567	0,387	0,0061	0,0094	240	4,8	5,1	5
Cu 50	0,365	0,394	0,377	0,0061	0,0097	305	6,9	7,3	7
Cu 70	0,266	0,287	0,365	0,0061	0,010	370	9,5	10,1	9
Cu 95	0,195	0,210	0,355	0,0061	0,010	465	13,1	13,8	11
Cu 120	0,150	0,162	0,348	0,0061	0,011	535	17,1	18	13
Al 25	1,16	1,25	0,397	0,0061	0,0092	170	2,1	-	3
Al 40	0,725	0,783	0,382	0,0061	0,0095	230	3,5	-	4
Al 62	0,459	0,496	0,368	0,0061	0,0099	305	5,6	-	6
Al 99	0,288	0,311	0,354	0,0061	0,010	415	8,7	-	8
Al 132	0,218	0,236	0,344	0,0061	0,011	495	11,6	-	10
Al 178	0,162	0,175	0,335	0,0061	0,011	600	15,6	-	13
Al 201	0,143	0,155	0,331	0,0061	0,011	645	17,7	-	15
AlMgSi 25	1,37	1,48	0,397	0,0061	0,0092	155	2,5	-	3
AlMgSi 40	0,834	0,901	0,382	0,0061	0,0095	210	3,5	3,7	4
AlMgSi 62	0,527	0,569	0,368	0,0061	0,0099	285	5,5	5,8	6
AlMgSi 99	0,332	0,359	0,354	0,0061	0,010	390	8,8	9,3	8
AlMgSi 132	0,251	0,271	0,344	0,0061	0,011	460	11,7	12,4	10
AlMgSi 178	0,188	0,203	0,335	0,0061	0,011	560	15,8	16,7	13
AlMgSi/Fe 21/4 Fersemal	1,56	1,68	0,398	0,0061	0,0092	145	1,9	2	3
AlMgSi/Fe 106/25	0,317	0,343	0,344	0,0061	0,011	400	9,4	9,9	10
Al/Fe 7/9 Bantam	4,31	4,66	0,413	0,0061	0,0088	80	0,6	0,7	2
Al 11/14 Magpic	2,71	2,93	0,397	0,0061	0,0092	110	1,1	1,2	3
Al/Fe 21/4 Swan	1,35	1,46	0,398	0,0061	0,0092	155	2	2,1	3
Al/Fe 34/6 Sparrow	0,847	0,915	0,383	0,0061	0,0095	210	3,2	3,3	4
Al/Fe 42/25 Savo	0,682	0,737	0,365	0,0061	0,010	250	4	4,2	7
Al/Fe 54/9 Raven	0,535	0,578	0,368	0,0061	0,010	280	5,1	5,3	6
Al/Fe 75/14 Loviisa	0,380	0,411	0,357	0,0061	0,010	335	7,1	7,5	9
Al/Fe 85/14 Pigeon	0,337	0,364	0,354	0,0061	0,010	360	8	8,4	9
Al/Fe 89/52 Dotterel	0,323	0,349	0,342	0,0061	0,011	400	8,4	8,8	13
Al/Fe 93/39 Imatra	0,310	0,335	0,344	0,0061	0,011	405	8,7	9,2	12
Al/Fe 106/25 Suursavo	0,279	0,301	0,344	0,0061	0,011	430	10	10,5	10
Al/Fe 108/23 Vaasa	0,266	0,287	0,344	0,0061	0,011	420	10	10,5	10
Al/Fe 148/68 Kuopio	0,196	0,212	0,328	0,0061	0,011	550	13,9	14,6	16
Al/Fe 152/25 Ostrich	0,190	0,205	0,335	0,0061	0,011	550	14,3	15	15
Al/Fe 305/39 Duck	0,095	0,103	0,314	0,0061	0,012	845	28,7	30,2	22

Huomautukset 1) 2) 3) 4) ja 5), katso seuraava sivu.

Johdin	Vaiheresistanssi (DC)		Vaihe-reaktanssi	Maakapasitanssi	Käyttökapasitanssi	Suurin sallittu kuormitusvirta	Suurin sallittu 1 s oikosulkuvirta		Jäähtymisaikavakio
	Rv Ω/ km						Xv Ω/ km	Cm μF/km	
	+20 °C 1)	+40 °C 2)	3)	4)	3)	5)	T1-liittimet	T2-liittimet	
PAS 35	0,986	1,065	0,324	0,005	0,011	200	-	3,2	7
PAS 50	0,720	0,778	0,312	0,005	0,012	245	-	4,3	8
PAS 70	0,493	0,533	0,302	0,005	0,012	310	-	6,4	10
PAS 95	0,363	0,392	0,292	0,005	0,013	370	-	8,6	13
PAS 120	0,288	0,311	0,284	0,005	0,013	430	-	11	15
PAS 150	0,236	0,255	0,277	0,005	0,013	485	-	13,5	18
PAS 185	0,188	0,203	0,270	0,005	0,014	560	-	17	20
20 kV RIIPPUJOHDOT									
SAMKA 3x70	0,446	0,482	0,140	0,21	0,21	180	5	5	42
SAMKA 3x120	0,256	0,277	0,130	0,25	0,25	250	8,5	8,5	60
SAMKA 3x185	0,168	0,182	0,120	0,30	0,30	310	13	13	65
SAMI 3x67	0,428	0,462	0,272	-	-	250	6	6	20
SAMI 3x107	0,268	0,290	0,257	-	-	378	9,7	9,7	20
SAXKA 3x70	0,446	0,482	0,140	0,18	0,18	235	5,7	6,7	42
SAXKA 3x120	0,256	0,277	0,130	0,23	0,23	330	9,8	11,4	60
SAXKA 3x185	0,168	0,182	0,120	0,26	0,26	425	15	17,5	65
AHMCMKK 3x16	1,89	2,04	0,147	0,12	0,12	60	0,94	0,94	18
AHMCMKK 3x25	1,21	1,31	0,135	0,14	0,14	78	1,46	1,46	20
AHMCMKK 3x35	0,867	0,937	0,129	0,15	0,15	96	2,05	2,05	25
AHMCMKK 3x50	0,608	0,657	0,119	0,17	0,17	117	2,9	2,9	30
AHMCMKK 3x70	0,435	0,470	0,116	0,18	0,18	144	4,1	4,1	35
AHMCMKK 3x95	0,322	0,348	0,110	0,20	0,20	171	5,6	5,6	55

Johdin	Vaiheresistanssi		Vaihe- reaktanssi	Maakapa- sitanssi	Käyttökä- pasitanssi	Suurin sallittu kuormitusvirta		Suurin sallittu 1 s oikosulkuvirta		Jäähdytys- aikavakio	Maasulku- virta
	Rv Ω/ km					Cm μF/km	Ck μF/km	In A	Ik kA		
	+20 °C 1)	+40 °C 2)	ilmaassa 3)	maassa 4)	T1-liittimet					T2-liittimet	5)
AHMCMK 3x70	0,444	0,480	0,116	0,18	0,18	150	170	5,4	5,4	35	2,1
AHMCMK 3x120	0,254	0,274	0,107	0,21	0,21	200	225	9,1	9,1	55	2,4
AHMCMK 3x185	0,165	0,178	0,097	0,24	0,24	265	285	14,1	14,1	80	2,7
AHMCMK 3x300	0,103	0,111	0,091	0,28	0,28	350	375	22,1	22,1	105	3,2
AHMDMK 3x70	0,446	0,482	0,127	0,18	0,18	150	170	5,4	5,4	30	2,1
AHMDMK 3x120	0,256	0,277	0,111	0,21	0,21	200	225	9,1	9,1	50	2,4
AHMDMK 3x185	0,169	0,183	0,100	0,24	0,24	265	285	14,1	14,1	75	2,7
AHMDMK 3x300	0,105	0,113	0,101	0,28	0,28	350	375	22,1	22,1	100	3,2
AHXAMK-W 3x70	0,446	0,482	0,138	0,18	0,18	235	200	5,7	6,7	42	2,1
AHXAMK-W 3x120	0,256	0,277	0,129	0,23	0,23	325	265	9,8	11,4	47	2,6
AHXAMK-W 3x185	0,169	0,183	0,119	0,26	0,26	425	330	15	17,5	53	3,0
AHXAMK-W 3x240 + 70	0,130	0,140	0,116	0,30	0,30	510	375	19,4	22,6	60	3,4
AHXAMK-W 3x300	0,106	0,115	0,113	0,32	0,32	565	435	24,2	28,2	65	3,7
AHXCMK 3x1x70	0,456	0,493	0,190	0,18	0,18	255	215	5,7	6,7	25	2,1
AHXCMK 3x1x120	0,266	0,287	0,180	0,23	0,23	350	280	9,8	11,4	30	2,6
AHXCMK 3x1x185	0,184	0,199	0,172	0,26	0,26	440	350	15	17,5	35	3,0
AHXCMK 3x1x300	0,120	0,130	0,163	0,32	0,32	580	440	24,2	28,2	44	3,7
AHXCMK 3x1x500	0,088	0,095	0,157	0,39	0,39	755	550	40,3	47	55	4,5
AHXCMK 3x1x800	0,073	0,079	0,154	0,49	0,49	950	650	63,9	74,4	67	5,6
AHXCMKM 3x70	0,446	0,482	0,132	0,18	0,18	190	175	5,7	6,7	45	2,1
AHXCMKM 3x120	0,256	0,277	0,121	0,23	0,23	265	230	9,8	11,4	65	2,6
AHXCMKM 3x185	0,169	0,183	0,114	0,26	0,26	340	290	15	17,5	84	3,0
AHXCMKM 3x300	0,106	0,115	0,107	0,32	0,32	460	380	24,2	28,2	90	3,7
APYAKMM 3x25	1,21	1,31	0,145	0,20	0,20	85	94	2,3	2,5	18	2,3
APYAKMM 3x35	0,876	0,947	0,138	0,22	0,22	105	115	3,3	3,7	20	2,5
APYAKMM 3x50	0,649	0,701	0,131	0,25	0,25	125	140	4,6	5,25	25	2,9
APYAKMM 3x70	0,451	0,487	0,124	0,29	0,29	155	170	6,5	7,3	30	3,3
APYAKMM 3x95	0,329	0,356	0,118	0,32	0,32	190	205	8,7	9,9	40	3,7
APYAKMM 3x120	0,262	0,283	0,115	0,35	0,35	210	225	11	12,5	50	4,0
APYAKMM 3x150	0,216	0,233	0,111	0,38	0,38	240	255	13,7	15,6	60	4,3
APYAKMM 3x185	0,175	0,189	0,107	0,41	0,41	270	290	16,9	19,2	65	4,7
APYAKMM 3x240	0,138	0,149	0,104	0,45	0,45	315	335	21,9	24,8	80	5,1
APYAKMM 3x300	0,114	0,123	0,101	0,49	0,49	360	375	27,3	31	90	5,6