



## KALAJOEN ALUEEN TAVOITEVERKKOSUUNNITELMA

Leväniemi Erno-Pekka

Opinnäytetyö  
Elokuu 2011  
Sähkötekniikan koulutusohjelma  
Sähkövoimatekniikan  
suuntautumisvaihtoehto  
Tampereen ammattikorkeakoulu

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Sähkötekniikan koulutusohjelma  
Sähkövoimatekniikan suuntautumisvaihtoehto

LEVÄNIEMI, ERNO: Kalajoen –alueen tavoiteverkkosuunnitelma

Opinnäytetyö 54 sivua

Syyskuu 2011

Kalajoen alueen sähköverkko on sähkönjakelun luotettavuuden kannalta haastava kohde. Kulutuksen sijoituessa lähes yksinomaan suurempien teiden varsille rannikon suuntaisesti ja Kalajoen molemmin puolin, myös sähköverkko on säteittäinen. Alueen ilmajohtoverkko aiheuttaa ikääntymisellään ja toisaalta myös yleistyvä voimakkaat sääilmiöt aiheuttavat kehittämistarpeen koko verkkoalueella.

Tavoiteverkkosuunnitelman tavoitteena on selvittää Kalajoen -alueen nykytila ja mahdollisia vaihtoehtoja alueen sähkönlaadun ja toimitusvarmuuden parantamiseksi. Tavoiteverkkosuunnitelman on tarkoitus myös selvittää tulevaisuudessa kasvavan kulutuksen sijoittumista verkkoalueelle.

Työssä esitettyjen suunnitelmien avulla pyritään luomaan suuntaviivat verkon saneeraustarpeelle ja kehitykselle, sekä priorisoimaan eri vaiheet tarpeiden mukaisesti. Suunnitelmat ovat yleisluontoisia hahmotelmia, eivätkä siksi sovellu käytettäväksi sellaisenaan, vaan jokainen toimenpide vaatii erillisen kohdesuunnittelun toteutusta varten.

Avainsanat: Tavoiteverkko, keskijänniteverkko, sähköverkon suunnittelu

## ABSTRACT

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

LEVÄNIEMI, ERNO: Kalajoki Area Target Network Plan

Bachelor's thesis 54 sivua  
September 2011

The electrical network of Kalajoki is challenging, when it comes to distribution reliability. Because almost all of the consumption of electricity is located near the highways along the coast line and along the Kalajoki river the network is star shaped. While the overhead wires are aging and storms are becoming more common, they together produce a demand of development in network.

The objective of the target network plan is to investigate the present state of the mid voltage network in Kalajoki area and to find out possibilities in ways to improve the quality and reliability of supply. Other objective of the target plan is to clarify the areas of the increasing power consumption

Plans presented in this thesis are to be guidelines for renewal works. They are also the different states of the evolution of the network on the way to the target network. The plans are only general drafts and are not to be executed as such. Every operation requires its own target plan for execution.

Keywords: target network, medium voltage network, Network planning

## Alkusanat

Tämä insinööriyö on tehty Vattenfall Verkko Oy:n toimeksiannosta. Kalajoen alueen tavoiteverkkosuunnitelma oli suunnittelupäällikkö Sauli Antilan ja Pohjanmaan tavoiteverkkosuunnittelija Kari Erkkilän ideoima hanke, joka päätettiin toteuttaa insinööriyönä keväällä 2011.

Työn ohjasi Tampereen ammattikorkeakoulun puolesta sähkötekniikan koulutuspäällikkö Jarkko Lehtonen ja Vattenfall Verkon puolesta suunnittelupäällikkö Sauli Antila. Työssä suurena apuna olivat Vattenfall Verkon strategisen suunnittelun tiimin sekä sähköasemat ja voimajohdot tiimin jäsenet.

Tampereella 2. syyskuuta 2011

Erno Leväniemi

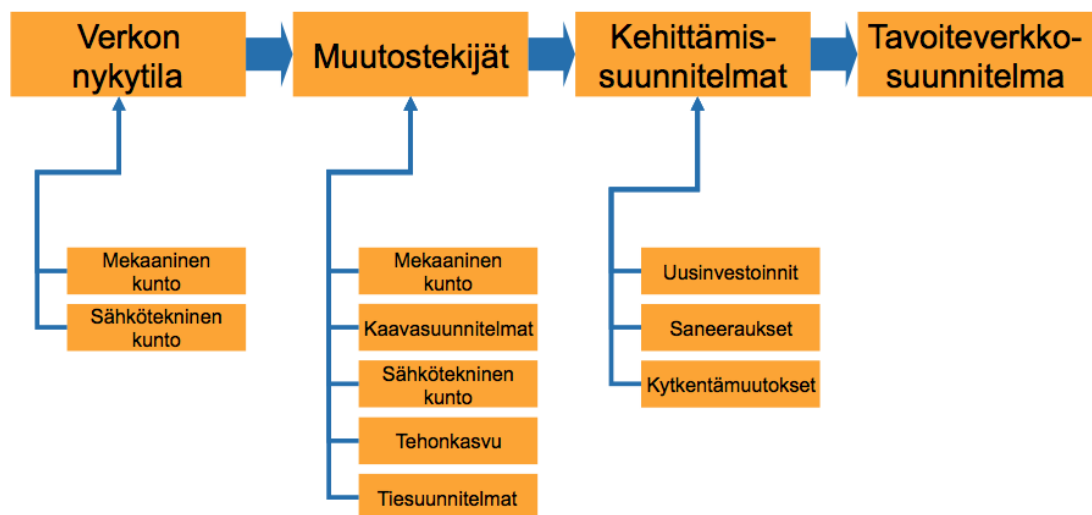
1	JOHDANTO.....	7
2	VATTENFALL.....	8
2.1	Vattenfall-konserni .....	8
2.2	Vattenfall Suomessa .....	8
2.3	Vattenfall Verkko Oy .....	9
2.4	Kalajoen Sähkö Oy .....	9
3	SÄHKÖVERKON SUUNNITTELU JA KUNNONHALLINTA .....	10
3.1	Suunnittelun perusteet .....	10
3.2	Verkonsuunnittelua ohjaavat tekijät .....	11
3.3	Verkonsuunnitteluun johtavat herätetekijät .....	11
3.4	Suunnitteluun käytetty ohjelmisto .....	12
3.4.1	Verkostolaskentasovellus (PSA) .....	12
3.4.2	Rakennusohjelmiasovellus (CPP) .....	13
3.4.3	Luotettavuusanalyysi (RNA & AM) .....	13
4	Verkon käyttö .....	14
5	KESKIJÄNNITEVERKON SUOJAUS.....	15
5.1	Suojauksen vaatimukset.....	15
5.2	Ylikuormitus- ja oikosulkusuojaus .....	16
5.2.1	Suojauksen parametointi.....	16
5.3	Maasulkusuojaus .....	16
5.3.1	Maasulkuvirran kompensointi.....	18
5.3.2	Maasulkurele .....	18
6	VERKON NYKYTILA .....	20
6.1	Verkon nykytilan määrittäminen.....	20
6.2	Sähköasemat.....	20
6.3	Keskijänniteverkko .....	22
6.3.1	Lähtö TYN 03 Pohjankylä.....	23
6.3.2	Lähtö TYN 04 Etelänkylä.....	23

6.3.3	Lähtö TYN 05 Alavieska.....	23
6.3.4	Lähtö ETK 05 Junnikkala .....	24
6.3.5	Lähtö ETK 06 Hiekkasärkät.....	24
6.3.6	Lähtö ETK 07 Tynkä.....	24
6.3.7	Lähtö ETK 08 Pohjankylä.....	24
6.3.8	Lähtö ETK 09 Rahjankylä.....	24
6.3.9	Lähtö ETK 10 Vasankari .....	25
6.4	Jakelumuuntamot .....	25
6.5	Varayhteydet.....	25
6.6	Pienjänniteverkko .....	26
7	MUUTOSTEKIJÄT .....	27
7.1	Kaava-alueet.....	27
7.1.1	Tuulipuistot.....	30
7.1.2	Matkailun kehittäminen.....	30
7.1.3	Teollisuuden ja kaupan kasvualueet .....	31
8	VERKON KEHITTÄMISSUUNNITELMAT .....	32
8.1	Keskijänniteverkon kehittäminen yleisesti.....	32
8.2	Kaapeloinnein tehtävät parannukset.....	33
8.2.1	Kaapelireitit .....	34
8.3	Kytkentämuutokset .....	35
8.4	Uuden keskijännitelähdön rakentaminen .....	35
8.5	Verkon suojauksen kehittäminen .....	37
8.6	Tehonkasvu .....	37
8.6.1	Tehonkasvu teollisuusalueilla.....	38
8.6.2	Tehonkasvu asuinalueilla .....	38
9	POHDINTA.....	40

## 1 JOHDANTO

Kalajoen tavoiteverkkosuunnitelman tarkoitus on määrittellä Kalajoen alueella olevan sähköverkon sähkötekniinen ja mekaaninen nykytila sekä tavoite, johon tähdätään suunnitelman loppuajankohtana. Kalajoen tavoiteverkkosuunnitelma rajataan kalajoen kunnan alueella sijaitsevien kahden sähköaseman syöttämän keskijänniteverkon mukaisesti.

Tavoiteverkkosuunnitelmassa määritellään verkon nykytila, erilaiset verkkoon ja sen käyttöön vaikuttavat muutostekijät ja toimenpiteet joiden avulla verkko on tavoitetasolla tavoiteverkkosuunnitelman päätepisteessä vuonna 2021. Tavoiteverkkosuunnitelman tarkoituksena on ainoastaan esittää mahdollisia suuntaviivoja ja ohjeita siitä, miten verkontavoitetila saavutetaan mahdollisimman kustannustehokkaasti. Tavoiteverkkosuunnitelman kulkua on havainnollistettu kuviossa 1. (



Kuvio 1 Tavoiteverkkosuunnitelman kulku ja siihen vaikuttavat tekijät

Tavoiteverkko suunnittelu etenee kuviossa 1 esitetyn tavan mukaisesti.

## 2 VATTENFALL

### 2.1 Vattenfall-konserni

Vattenfall-konserni on perustettu vuonna 1909 ja sen omistaa Ruotsin valtio. Kaikki Vattenfall-konsernin liiketoiminta perustuu energia-alalle: tuotantoon, siirtoon, jakeluun ja myyntiin. Vattenfall on Euroopan suurin energia-alan yhtiö ja sillä on toimintaa Ruotsissa, Saksassa, Alankomaissa, Suomessa, Tanskassa, Puolassa ja Yhdistyneessä kuningaskunnassa. Vattenfallin liikevaihto oli vuonna 2010 213,6 miljardia Ruotsin kruunua ja liikevoitto 29,9 miljoonaa Ruotsin kruunua. Vuoden 2010 lopussa Vattenfallin palveluksessa oli 38 179 työntekijää. (Vattenfall-konserni, 2011)

### 2.2 Vattenfall Suomessa

Vattenfall-konsernin toiminta Suomessa alkoi sähkömarkkinoiden vapautumisen aikaansaamana 1994, jolloin Suomeen perustettiin oma yhtiö Vattenfall Oy. Vuonna 1995 Vattenfall osti Lapuan Sähkön ja Hämeen Sähkön, sekä niiden omistamat jakeluverkot. Myöhemmin Vattenfall on hankkinut sähkö- ja lämpövoimaloita sekä siirtoverkkoja ympäri Suomea. Suomen Vattenfallin ja samalla Vattenfall Sähkömyynti Oy:n päätoimipaikka sijaitsee Helsingissä, Vattenfall Verkko Oy toimii Tampereella ja Vattenfall Lämpö Oy Hämeenlinnassa. Lisäksi pienempiä toimipisteitä on ympäri Suomea

Yhtiöiden toiminnot eli energian tuotanto, siirto ja myynti on järjestetty uudelleen sähkömarkkinalain mukaisesti eriyttämällä ne erillisiksi yhtiöiksi (Vattenfall Suomessa, 2011)



### 2.3 Vattenfall Verkko Oy

Vattenfall Verkko Oy (VFV) vastaa reilun 390 000 asiakkaan sähköverkkopalveluista Hämeessä, Pirkanmaalla, Keski-Suomessa ja Pohjanmaalla. VFV vastaa sähköverkon kunnossapidosta, uudistamisesta ja rakennuttamisesta yhdessä kumppaniyhtiöittensä kanssa. VFV hoitaa sähköverkon käyttöä ja kunnossapitoa vuorokauden ympäri. VFV:n päätoimipaikka ja käyttökeskus sijaitsevat Tampereella. Muita VFV:n toimipaikkoja on Oulaisissa, Lapualla, Jyväskylässä ja Viitasaarella.

### 2.4 Kalajoen Sähkö Oy

Kalajoen Sähkö Oy:llä on pitkä historia, vaikka se on pienen kunnan alueella sähkön jakelutoimintaa harjoittava yritys. Kalajoen Sähkö Osakeyhtiö perustettiin vuonna 1912. Sähkön tuotantoon hankittiin laitteita Helsinkiläiseltä Aatralta 26 000 markalla ja ensimmäinen voimalaitos perustettiin Pappilan maalle. Voimalaitos paloi 1914 ja rakennettiin uudelleen vuonna 1916. Sähkölaitos myytiin Kalajoen Sähkö-, saha- ja myllyosuuskunnalle vuonna 1919. Voimalaitos paloi toistamiseen vuonna 1922, minkä seurauksena sähkönjakelu siirtyi uudelleen Kalajoen Sähkö osakeyhtiölle. Samana vuonna rakennettiin uudelleen jakeluverkko, toiminut niin sanottu matalajänniteverkko.

Vuonna 1950 perustettiin Kalajokilaakson Sähkö Oy, jonka tarkoituksena oli hankkia sähköenergiaa valtakunnanverkosta koko jokilaakson alueen kunnille. 20 kilovoltin jakeluverkko myytiin Kalajokilaakson Sähkö Oy:lle. Vuonna 1980 yhtiön nimi muutettiin Kalajoen Sähkö Osakeyhtiöstä muotoon Kalajoen Sähkö Oy. Vuonna 1986 Kalajoen kunta ja Revon sähkö tulivat yhtiön osakkaiksi. Vuonna 1990 Kalajoen kunta luopui osakkeistaan ja yhtiö siirtyi lähes kokonaan Revon Sähkö Oy:n omistukseen. Vattenfall Oy osti Revon Sähkö Oy:n vuonna 1999 ja se yhdistettiin Vattenfall Verkko osakeyhtiöön vuonna 2002.

### 3 SÄHKÖVERKON SUUNNITTELU JA KUNNONHALLINTA

#### 3.1 Suunnittelun perusteet

Suunnittelun tehtävänä on suunnitella jakeluverkko siten, että verkon avulla luodaan yhteys sähkön tuottajien ja asiakkaiden välille. Hyvä sähköverkon-suunnittelu täyttää seuraavat ehdot:

Sähköenergian siirto on taloudellista, joka merkitsee sitä, että verkon rakentamiseen ei investoida tarpeellista enempää ja häviöt pidetään oikeassa suhteessa investointikustannuksiin nähden.

Verkon normaalit viat eivät saa aiheuttaa keskeytyksiä. Jakelun luotettavuudelle asetetut vaatimukset nousevat jatkuvasti ja siihen kiinnitetään runsaasti huomiota.

Verkon komponenttien oltava pitkäikäisiä ja luotettavia. Niiden on kestävä verkossa esiintyvät sähköiset ja mekaaniset rasitukset myös vikatilanteissa.

Sähkön siirto ja jakelu ei saa aiheuttaa vaaraa ihmisille tai omaisuudelle edes vikatilanteessa, eikä se saa kohtuuttomasti häiritä ympäristöä

(Aura ja Tonteri, 1993, 70.)

Sähköverkon suunnittelussa on pyrittävä näkemään mahdollisimman tarkasti ja pitkälle tulevaiuuteen sekä osattava ennakoida tulevia muutoksia suunniteltavan alueen tehontarpeessa. Tämä siksi, että sähköverkon rakennuksessa käytettävien primäärikomponenttien teknis-taloudelliset pitoiät ovat pitkiä n. 30 – 50 vuotta.

(Lakervi ja Partanen, 2008, 12.)

Verkon suunnittelun kaksi perusosa-alueita ovat lyhyelle n. 5 vuoden aikavälille tehtävät kohde- ja rakennussuunnitelmat sekä pidemmät 5 ... 20 vuoden päähän tehtävät yleis- ja kehittämissuunnitelmat.

Suunnitelmien tavoitteena on minimoida kustannukset, yhtälössä 1 esitetyn mallin mukaisesti.

$$\min \int_0^T (K_{\text{inv}}(t) + K_{\text{häv}}(t) + K_{\text{kesk}}(t) + K_{\text{kun}}(t)) \approx$$

$$\min \sum_{t=1}^T (K_{\text{inv}}(t) + K_{\text{häv}}(t) + K_{\text{kesk}}(t) + K_{\text{kun}}(t))$$

$K_{inv}(t)$	=investointikustannukset ajanhetkenä t
$K_{häv}(t)$	=häviökustannukset ajanhetkenä t
$K_{kesk}(t)$	=keskeytyskustannukset ajanhetkenä t
$K_{kun}(t)$	=kunnossapitokustannukset ajanhetkenä t
T	=suunnittlujakson pituus

(Lakervi ja Partanen, 2008, 63.)

Kohdesuunnittelun tavoitteena on mitoittaa jakelumuuntajat, keski- ja pienjännitejohtimet, sekä päättää investoinnin ajankohta. Maastonsuunnittelun tavoitteena on kohdesuunnitelman sijoittaminen maastoon sekä maankäyttöoikeuksista sopiminen maanomistajien kanssa. Rakennesuunnittelu, joka usein liitetään osin kohdesuunnitteluun ja osin maastonsuunnitteluun, kuuluu rakenteiden mitoittaminen sekä niiden lopullisen sijoituksen suunnittelu. Työsuunnittelussa määritetään resurssit ja työn aikataulut. Verkon kehittämissuunnitelmat toimivat ohjaavina suunnitelmina kohdesuunnittelussa ja niiden tarkoituksena on selvittää tarpeelliset investoinnit ja niiden toteuttamisajankohdat, jotta verkko täyttää sille asetetut vaatimukset koko ajanjaksolla. (Lakervi ja Partanen, 2008, 64.)

### 3.2 Verkonsuunnittelua ohjaavat tekijät

Verkonsuunnittelua ohjaa yleisesti voimassa olevat standardit, normistot, lait ja asetukset sekä viranomais määräykset

Näiden lisäksi verkkoyhtiöillä on omat määräykset ja ohjeet suunnitelmien tekemiseen ja käytettäville rakennustavoille, kuten esimerkiksi VFV:n kaikki keski-jänniteverkon saneeraus- ja uudiskohteet rakennetaan kaapeloimalla.

### 3.3 Verkonsuunnitteluun johtavat herätetekijät

Sähköverkon suunnittelutarve herää yleensä verkon mekaanisen tai sähkötekni- nisen kunnan ollessa heikko. Mekaanisia syitä ovat esimerkiksi pylväskannan

lahoisuus tai ympäristön aiheuttamat tekijät, kuten myrskyt ja puuston kasvu. Sähkötekniisiä syitä voivat olla esimerkiksi verkon kuormituksen kasvu ja toimitusvarmuus.

### 3.4 Suunnitteluun käytetty ohjelmisto

Suunnittelun apuvälineinä Vattenfall Oy:ssä käytetään Xpower-verkkotietojärjestelmää ja siihen sisältyviä sovelluksia. Xpower-ohjelmisto on suomalaisen Tekla Oyj:n kehittämä verkkotietojärjestelmä. Xpower on monipuolinen ja helposti muunneltavissa oleva ohjelmisto, jonka avulla koko verkon tiedot ominaisuuksista sijaintitietoihin, ovat koottuna yhteen paikkaan. Lisäksi Xpower-ohjelmiston avulla kaikki nämä tiedot ovat aina kaikkien niitä tarvitsevien käyttäjien käytettävissä ja muokattavissa. Tekla Xpower järjestelmässä on graafinen käyttöliittymä, joka mahdollistaa suunnitelmien piirtämisen komponenttikirjastoja apuna käyttäen suoraan kartalle. Tämä mahdollistaa tarkkojen laskelmien tekemisen jo suunnittelu vaiheessa, jolloin esimerkiksi samaan kohteeseen tehtyjen suunnitelmien eroja voidaan vertailla.

#### 3.4.1 Verkostolaskentasovellus (PSA)

Verkostolaskentasovelluksella voidaan laskea tekninen suorituskyky nykyisille ja suunnitelmakantaan tehdyille verkoille. Verkoille voidaan tehdä PSA-sovelluksen avulla tehonjako-, oikosulku- ja maasulkulaskenta. (Tekla Oyj, 2010) Verkostolaskentaa käytetään verkon sähköisen suorituskyvyn tarkastamiseen, kuten esimerkiksi muuntamosaneerauksen yhteydessä voidaan laskea sulakesuojauksen arvot ja mitoittaa valmiiksi sopivat sulakkeet pienjännitelähdöille.

### 3.4.2 Rakennusohjelmansovellus (CPP)

Xpower-ohjelmiston rakennusohjelmansovelluksella voidaan arvioida suunniteltujen projektien materiaali ja rakennuskustannuksia, tehdä alustavia budjettilaskelmia ja hallita rakennusmateriaalihankintaa (Tekla Oyj, 2010). Rakennusohjelmansovelluksella voidaan laskea esimerkiksi kaapelointityöstä aiheutuvat kustannukset muuntamon tontista aina kaapelin liittämiseen asti.

### 3.4.3 Luotettavuusanalyysi (RNA & AM)

Luotettavuusanalyysi huomioi verkoston sähkötekniikan ja mekaanisen tilan sekä sijainnin ja ympäristötekijät (Tekla Oyj, 2010). Luotettavuusanalyysin avulla voidaan arvioida verkossa tapahtuvien katkojen ja muiden vikojen mahdollisuutta, sekä niiden aiheuttamia kustannuksia. Analyysi voidaan tehdä suunnitteluvaiheessa olevalle verkolle, jolloin saadaan tietoa muutoksen tuomista vaikutuksista. Suunnittelija voi verrata erilaisten suunnitelmien vaikutuksia kustannuksiin ja luotettavuuteen. RNA&AM on täysin mukautettava sovellus, jonka parametrit jokainen laitos voi määrittää omien tarpeidensa ja arvioidensa mukaisiksi. (Tekla Oyj, 2010).

## 4 VERKON KÄYTTÖ

Sähköverkon käyttö on jokapäiväistä verkkoyhtiön harjoittamaa toimintaa. Käyttötoimenpiteillä tarkoitetaan jännitteiselle verkolle tehtäviä kytkentä, säätö-, ja seurantatoimenpiteitä. Verkon käyttötoiminnan tavoite on sähkön laadun, turvallisuuden, asiakaspalvelun ja taloudellisuuden ylläpito lyhyellä aikavälillä (sekunneista muutamiin kuukausiin). Käyttötoiminnassa korostuu vastuu turvallisuudesta ja käyttövarmuudesta. (Lakervi ja Partanen, 2008, 231.)

Vattenfall VerkkO Oy:ssä käytetään käytönvalvonnan apuvälineenä Xpower DMS käytönvalvontajärjestelmää, joka on yhdistetty SCADA kaukokäyttöjärjestelmään. SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) järjestelmän päätoimintoja ovat:

- tapahtumatietojen hallinta
- verkon kytkentätilanteen hallinta
- kauko-ohjaukset
- kaukomittaukset
- kaukoasettelut
- raportointi

(Lakervi ja Partanen, 2008, 235.)

Käytöntukijärjestelmän (KTJ) sovellukset ovat kytkentätilanteen ylläpito, verkon kuormituksen seuranta ja käytönsuunnittelu. Käytöntukijärjestelmä sisältää monipuolisia analyysi- ja päättelyominaisuuksia. Sen avulla voidaan paikantaa verkon vikapaikkoja ja nopeuttaa vianrajausta ja -korjausta.

(Lakervi ja Partanen, 2008, 236.)

## 5 KESKIJÄNNITEVERKON SUOJAUS

### 5.1 Suojauksen vaatimukset

Suomessa keskijänniteverkon suojauksessa on noudatettava sähköturvallisuusstandardeja. Esimerkiksi SFS 6001 standardissa on esitetty suurjänniteasennuksia koskevat standardit. Standardien avulla taataan verkon turvallisuus ja lisätään sen käyttövarmuutta. Minimivaatimuksia tehokkaammalla suojauksella sekä siihen liittyvällä automaatiolla voidaan usein paljonkin parantaa sähkönjakelun luotettavuutta. Keskijänniteverkon säteittäinen syöttötapa yksinkertaistaa selektiivisen suojauksen toteuttamista, kun taas tähtipistemaadoituksen ja nollajohtimen puuttuminen tekee maasulusta luonteeltaan oikosulusta poikkeavan vian, jonka tunnistaminen ja paikantaminen vaatii oman tekniikkansa. (Lakervi ja Partanen 2008, 176.)

Suojalaitteiden tehtävänä on torjua häiriöiden haittavaikutukset. Mitattavina suureina esiintyvät *ylivirrat, yli- tai alijännitteet, yli- tai alitaajuudet, vaaralliset kosketusjännitteet tai häiriöjännitteet*. Vikatilanteessa ilmiöt tapahtuvat niin nopeasti että suojalaitteiden on itsetoimisesti, ilman käyttöhenkilökunnan apua ja valvontaa.

Suojauksen on täytettävä seuraavat vaatimukset:

- sen on toimittava *selektiivisesti* niin että mahdollisimman pieni osa verkosta joutuu häiriötilanteessa pois käytöstä,
- sen on toimittava *nopeasti*, niin että häiriön aiheuttamat vahingot jäävät mahdollisimman pieniksi,
- sen on suojattava *aukottomasti* koko järjestelmää.
- sen on oltava yksinkertainen ja käyttövarma,
- se on *voitava koestaa* käytön aikana.

(Aura ja Tonteri, 1993, 167)

## 5.2 Ylikuormitus- ja oikosulkusuojaus

Keskijänniteverkossa oikosulku- ylikuormitussuojaus toteutetaan yleisimmin yhdistettynä. Suojauksen tavoitteena on ehkäistä oikosulkuvirran johdoille ja laitteille aiheuttamat lämpenemisvauriot sekä erottaa vioittunut johto-osa verkosta. (Lakervi ja Partanen 2008, 176.) Oikosulkusuojauksen on aina toimittava laukaisevasti, jotta verkko säilyy turvallisena myös vikatilanteessa. Ylivirtasuojauksen tarpeellisuus korostuu kaapeliverkossa, joka ei juurikaan siedä ylikuormaa. Kaapelien huono ylikuormituskestoisuus johtuu niiden hitaasta jäähtymisestä verrattuna ilmajohtoihin.

### 5.2.1 Suojauksen parametointi

Aikaselektiivisellä suojauksella tarkoitetaan kahden peräkkäisen suojalaitteen parametointia siten, että lähimpänä vikaa olevan katkaisijan toiminta-aika on lyhempi, kuin seuraavan suojausportaan havahtumisaika. Virtaselektiivisessä suojauksessa lähinnä vikaa olevan suojalaitteen virta-asettelu on pienempi, kuin seuraavan suojausportaan laukaisuasettelu. (Aura ja Tonteri 1993,167.)

## 5.3 Maasulkusuojaus

Maasta erotetussa verkossa vaiheen ja maan välistä eristysvikaa kutsutaan maasulkuksi. Maasulku voi tapahtua myös yhtäaikaisesti useamman vaiheen ja maan välillä. Mikäli viat ovat samalla kohdalla on kyseessä maa-oikosulku. Yksivaiheisen maasulun suojamaadoitettuun osaan aiheuttama maadoitusjännite ei saa aiheuttaa kytkinlaitoksessa eikä paikassa, missä ihmisiä usein oleskelee tai liikkuu, vaarallista kosketusjännitettä. Maadoitusjännite ei myöskään saa vaarantaa samaan maadoituselektrodiin maadoitetun tai lähellä sijaitsevan toisen laitteen eristystä. (SFS-6001 Liite Y.)

Tärkein yksittäinen syy maasulkusuojaukselle maasta erotetussa verkossa on suurten kosketusjännitteiden syntyminen maasulkuvirran aiheuttamana. Koske-



tusjännitteitä Keskijänniteverkon kosketusjännitesuojausta koskevat määräykset löytyvät SFS-6001 standardeista.

Maasulkuvirta maasta erotetussa verkossa on vikapaikan vikaresistanssin kautta maahan kulkeva virta. Suorassa maasulussa, jossa vikaresistanssin arvo on 0 voidaan maasulkuvirran itseisarvon suuruus voidaan laskea kaavalla (ABB TTT, 2000)

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

Missä  $C_0$  on verkon yhden vaiheen kapasitanssi  
 $U$  on verkon pääjännite  
 $\omega = 2\pi f$ .

Jos maasulun vikaresistanssi tunnetaan, maasulkuvirta voidaan laskea seuraavalla kaavalla (ABB TTT 2000)

$$I_{ef} = \frac{\sqrt{3} \cdot \omega \cdot C_0}{\sqrt{1 + (3 \cdot \omega \cdot C_0 \cdot R_f)^2}} \cdot U \quad (3)$$

Missä  $R_f$  on vikaresistanssi.

Viallisesta vaiheesta maahan kulkeva virran lisäksi myös taustaverkko syöttää maasulkuvirtaa. Taustaverkon syöttämä maasulkuvirta voidaan laskea seuraavalla kaavalla (ABB TTT, 2000)

$$\sum I_v = \frac{C_0 - C_{0j}}{C_0} \quad (4)$$

$C_0$  on suojattavan johdon yhden vaiheen maakapasitanssi  
 $C_{0j}$  on verkon yhden vaiheen maakapasitanssi.

Maasulkuvirta aiheuttaa verkolle epäsymmetriaa, jonka vaikutuksesta verkon tähtipisteen potentiaali muuttuu. Tähtipisteen jännite poikkeaa tällöin maan po-

tentiaalista, tätä jännitettä kutsutaan nollajännitteeksi. Nollajännitteen suuruus voidaan laskea kaavalla (ABB TTT, 2000)

$$U_0 = \frac{1}{3\omega C_0} \cdot R_f \quad (5)$$

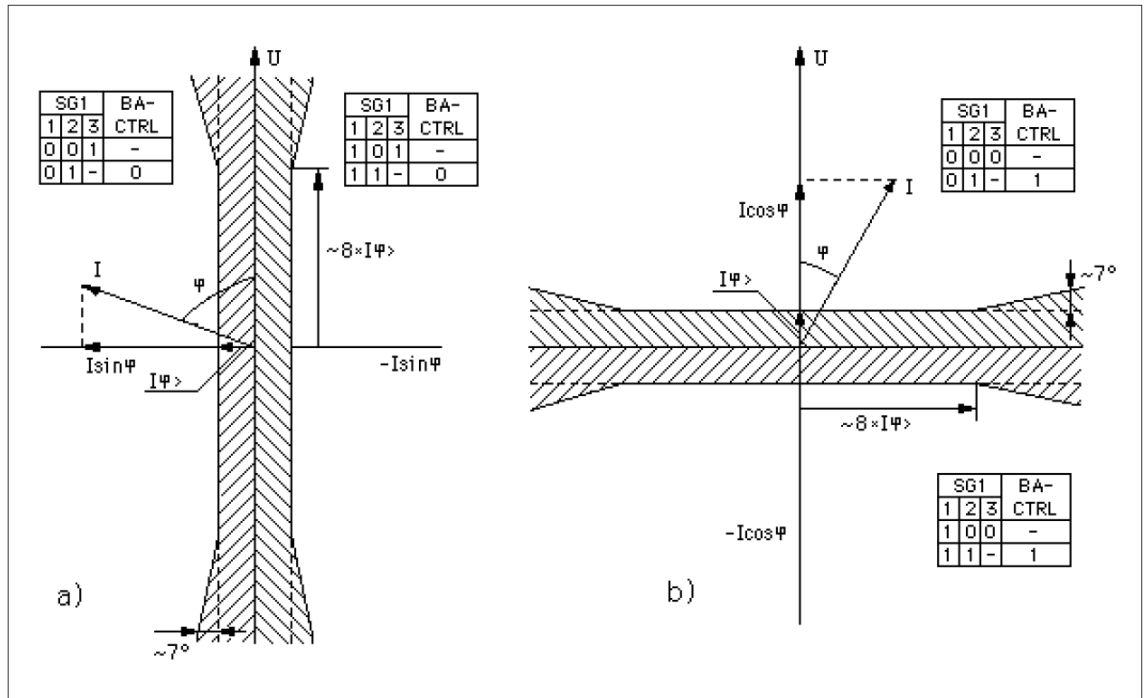
Maasulkutilanteista ongelmallisimpia ovat suuriresistanssiset.

### 5.3.1 Maasulkuvirran kompensointi

Maasulkuvirran suuruutta voidaan pienentää kytkemällä verkon päämuuntajan alajännitepuolen tähtipisteeseen verkon maakapasitansseja vastaava induktanssi eli ns. sammutuskuristin. Sammutuksen ansiosta verkossa tapahtuvat valokaarimaasulut sammuvat itsestään. Tämä johtuu siitä, että maakapasitanssien kautta kulkeva maasulkuvirta ja sammutuskuristimen läpi kulkeva maasulun kompensointivirta kumoavat toisensa, eikä vikavirta silloin jaksa ylläpitää valokaarta ja se sammuu. Sammutuksen ongelmana on johtopituuden muuttuessa, myös maakapasitanssin muuttuminen, jolloin myös induktanssiarvoa on muutettava samassa suhteessa. (Elovaara ja Haarala 2011, 210.) VFV käyttää verkossaan sekä hajautettua, että keskitettyä kompensointia. Kaikki VFV:n verkot eivät kuitenkaan ole kompensoituja, myös tässä työssä esiintyvä Tynkän aseman verkko on kompensoimaton.

### 5.3.2 Maasulkurele

Maasulkusuojaus voidaan toteuttaa suunnattuna releellä, joka mittaa suojatun verkon nollavirtaa ja -jännitettä, tai suuntaamattomana releellä, joka mittaa pelkästään verkon nollavirtaa. Suunnatulla maasulkusuojauksella puolestaan pystytään päättämään, millä sähköaseman lähdöllä vika on. Tämän ansiosta kaikille verkon käyttäjille ei maasulusta johtuen aiheudu keskeytystä, vaan viallinen lähtö voidaan erottaa terveestä verkosta.



Kuvio 2. Suunnatun maasulkureleen toimintakaracteristiikka maasta erotetussa  $I \sin \varphi$  ja sammutetussa verkossa  $I \cos \varphi$  (ABB TTT, 2000)

Suunnatun maasulkureleen havahtumisrajat on esitetty kuviossa 2. Kuviossa näkyvän virtaosoittimen kulma jännitteeseen nähden muuttuu, mikäli verkossa on maasulku. Suorassa maasulussa, jossa vikaresistanssin suuruus on 0 maadoitusimpedanssin kautta kulkeva maasulkuvirta on  $90^\circ$  vaihesiirrossa verkon pääjännitteeseen nähden. Virtavektorin ylittäessä asetteluarvon (kuvassa tiimalasin muotoinen alue) tapahtuu maasulkureleen havahtuminen. VFV käyttää sähköasemilla suunnattua maasulkusuojausta tai suunnattua ja suuntaamatonta suojausta.

## 6 VERKON NYKYTILA

### 6.1 Verkon nykytilan määrittäminen

Verkon nykytila voidaan määrittellä Xpower ohjelmiston RNA-työkalun avulla. Analyysityökalun avulla saadaan tietää verkon sähkötekniinen ja mekaaninen tila. Lisäksi verkon tilaa voidaan Xpower ohjelmiston avulla tarkastella myös tekemällä niin sanottuja finder- kyselyjä, kuten tässä työssä tehtiin muun muassa jakelumuuntajien kuormitusasteen selvittäminen.

### 6.2 Sähköasemat

Tavoiteverkkosuunnitelman kohdealueella on kaksi 110 / 20 kV sähköasemaa. ETELÄNKYLÄ sähköasema syöttää etelässä Hiekkasärkkien aluetta, Kalajoen keskustaajamaa ja pohjoisessa vasankarin suuntaa. TYNKÄ sähköasema syöttää etelässä Kalajoen molemmin puolin olevaa kulutusta. Etelänkylän sähköasema on noin 71% kuormassa ja Tynkän asema noin 12% kuormassa, joten sähköasemien kuormitettavuuksissa on edelleen varaa kuormituksen kasvuun.



Kuvio 3. Kalajoen sähköasemien sijainnit ja kytkentätilanne.

(Xpower master kannasta)

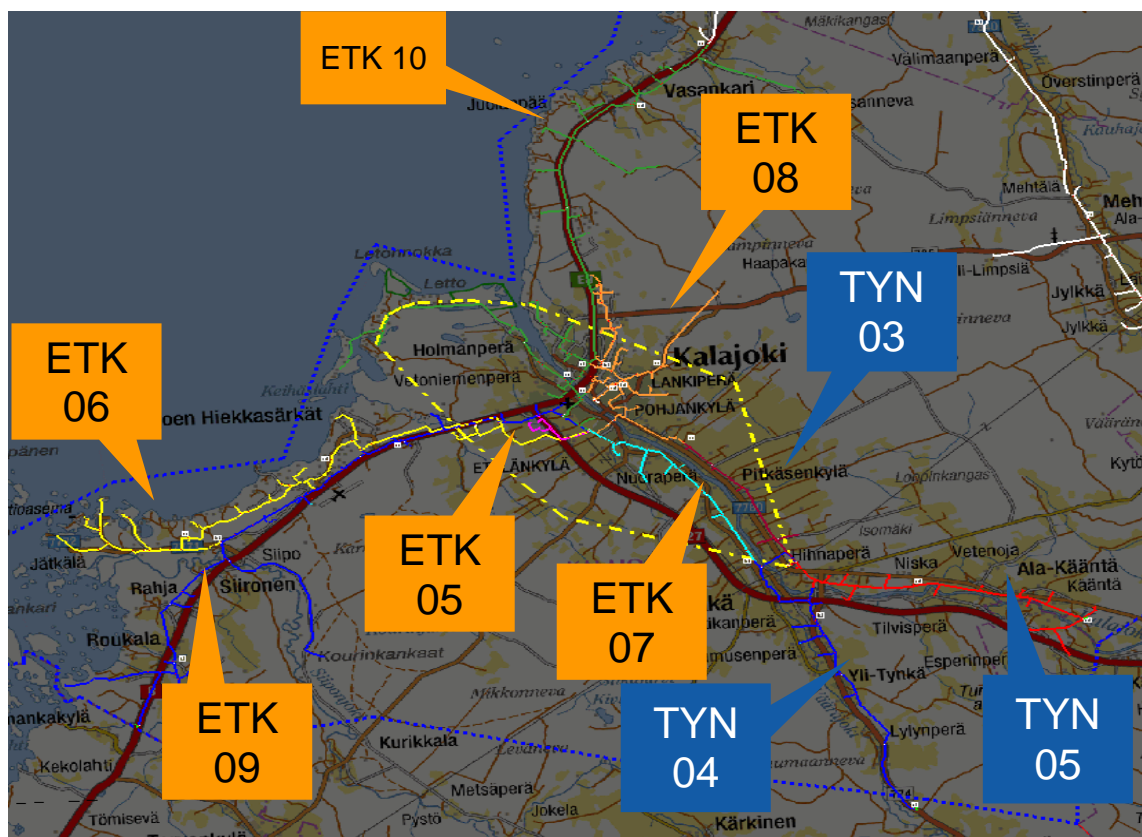
Etelänkylän sähköasema on rakennettu vuonna 1986. Sähköaseman keskijännitekiskosto on kaksikiskoinen duplex-kiskosto. Sähköasemalla on viisi keskijännitelähtöä, jotka kaikki ovat käytössä. Sähköaseman syöttämä verkkopituus on 91km, josta maakaapelia 17km ja PAS johtoa 17km. Sähköaseman syöttämän verkon kaapelointiaste on 18%. Sähköasemaa käytetään maasta erotettuna. Duplex- kiskoston etuna on sen laajennusmahdollisuudet purkamalla duplex- rakenne kahdeksi erilliseksi kiskoksi. Lisäksi Etelänkylän sähköaseman ulkokentällä on riittävästi tilaa toisen päämuuntajan lisäämiseksi. Asemalle on rakennettu sammutuslaitteisto vuonna 2010

Tynkän sähköasema on rakennettu vuonna 1951. Sähköaseman keskijännitekiskosto on yksikiskoinen ja asemalla on viisi keskijännitelähtöä. Lähdoistä käy-

tössä on neljä käytössä joista kolme toimii johtolähtöinä ja yhdessä on kondensaattori. Sähköaseman syöttämä verkkopituus on 34km, joka on lähes kokonaan avojohtoa. Asemalla ei ole sammutusta.

### 6.3 Keskijänniteverkko

Kalajoen alueen keskijänniteverkko on sähköteknisesti tarkasteltuna edelleen melko suorituskykyistä. Keskijänniteverkon ilmajohtojen mekaaninen kunto on iän myötä heikentynyt ja vaatii siksi toimenpiteitä jo lähitulevaisuudessa. Keskijänniteverkon nykyinen kytkentätilanne ja lähtöjen järjestely ovat tavoiteverkkosuunnittelun kannalta tarkasteltavia asioita. Nykyisin osa keskustaajamasta on samassa sähköasemalähdössä maaseudun ilmajohtoverkon kanssa, jonka vuoksi keskustaajaman alueen asiakkaille aiheutuu tarpeetonta haittaa. Tarkeimmat taulukkotiedot lähdoistä on esitetty liitteessä 1.



Kuvio 4. Suunnitelma-alueen kytkentätilanne. (Xpower master kannasta)

### 6.3.1 Lähtö TYN 03 Pohjankylä

KJ-lähdön pylväät ovat vanhoja ja heikkokuntoisia, useisiin lähdön pylväistä on asennettu kiipeämisen kieltävät nauhat. Lähdöllä on meneillään kaapelointitöitä koko lähdön matkalla. Kaapelointitöiden yhteydessä saneerataan kaikki lähdöllä olevat 8 muuntamo puistomuuntamoiksi. Lisäksi lähdön kuormitusta lisätään ottamalla sille jatkoksi Etelänkylän sähköaseman Pohjankylän lähdöltä kolme muuntopiiriä. Lisäksi lähtö toimii varasyöttöyhteytenä Etelänkylän sähköasemalle.

### 6.3.2 Lähtö TYN 04 Etelänkylä

KJ-lähdöllä on maatalous ja pientalokuormaa, Lähdön pylväät ovat huonokuntoisia. Lähtö toimii korvasyhteytenä Etelänkylän sähköasemalle ja Korpelan Voima Oy:n verkkoon. Varayhteyden kautta Korpelan Voimalle korvaustilanteessa syötettävät ja sieltä saatavat tehot on esitetty taulukossa 1 kappaleessa 6.4. Johtimien poikkipinnat ovat kuitenkin riittämättömät varsinkin Etelänkylän sähköaseman korvaustilanteessa. Etelänkylän ja Tynkän välistä yhteyttä joen eteläpuolella on alustavasti suunniteltu kaapeloitavaksi. Lähtö syöttää 17 muuntopiiriä.

### 6.3.3 Lähtö TYN 05 Alavieska

KJ-lähdöllä on vähäistä kuormaa, joka koostuu lähinnä maataloudesta ja pientaloista. Lähtö toimii varasyöttöyhteytenä Herrfors Nät-Verkko Oy Ab:n verkkoon. Varayhteyden kautta Herrforsin verkkoon korvaustilanteessa syötettävät ja sieltä saatavat tehot on esitetty taulukossa 1 kappaleessa 6.5.

#### 6.3.4 Lähtö ETK 05 Junnikkala

KJ-lähtö syöttää ainoastaan Meinalan teollisuusaluetta, jossa sijaitsee myös Junnikkalan saha. Lähdön alkuosalla olevat pylvääät ovat melko vanhoja, mutta loppuosa lähdöstä on hyväkuntoista PAS- ja maakaapeliverkkoa

#### 6.3.5 Lähtö ETK 06 Hiekkasärkät

Hiekkasärkkien lähtö syöttää Hiekkasärkkien matkailualueita ja Rahjan sataman aluetta. Suuri osa lähdön pylväistä on erittäin huonokuntoisia ja johtimet ovat poikkipinnoiltaan melko pieniä. Osaa lähdöstä on jo saneerattu PAS-johdoiksi.

#### 6.3.6 Lähtö ETK 07 Tynkä

KJ-lähdöllä on maatalous ja pientalokuormaa, Lähdön pylvääät ovat huonokuntoisia. Lähtö toimii korvausyhteytenä Tynkän sähköasemalle. Johtimien poikkipinnat ovat kuitenkin riittämättömät varsinkin Etelänkylän sähköaseman korvaustilanteessa. Etelänkylän ja Tynkän välistä yhteyttä joen eteläpuolella on alustavasti suunniteltu kaapeloitavaksi.

#### 6.3.7 Lähtö ETK 08 Pohjankylä

Pohjankylän lähtö syöttää Kalajoen keskustaajamaa. Lähtö on suurimmaksi osaksi avojohtoverkkoa, vaikka sijaitseekin taajama-alueella. Lähdön osa joka toimii korvausyhteytenä Tynkän sähköasemalle on kaapeloitu 2010. Lähdöllä on paljon asiakkaita ja se on suuressa noin 6MW:n kuormassa. Taajaman lisäksi lähtö syöttää Rahvon teollisuusaluetta, joka yksinään on n. 1MW.

#### 6.3.8 Lähtö ETK 09 Rahjankylä



Rahjankylän lähtö toimii varasyöttöyhteytenä Korpelan Voima Oy:n verkkoon. Varayhteyden kautta Korpelan Voimalle korvaustilanteessa syötettävät ja sieltä saatavat tehot on esitetty taulukossa 1 kappaleessa 6.4. Suuri osa lähdön pylväistä on vanhoja ja varsinkin linjan eteläpäässä sijaitsevan Rahjan kylän alueella on heikkokuntoisia pylväitä, jotka tulisi uusia.

#### 6.3.9 Lähtö ETK 10 Vasankari

Vasankarin lähtö on ehkä ongelmallisimmin Etelänkylän sähköaseman lähdoistä. Lähtö syöttää Holmanperän ja Plassin alueita, jotka ovat taajamaosia, Leton ja Vasankarin suuntia, jotka puolestaan ovat haja-asutusta. Näiden lisäksi lähdöllä syötetään Kalajoen sairaalaa. Molemmat sekä Leton että Vasankarin suunnat aiheuttavat jälleenkytkentöjä lähdölle. Suuri osa lähdön haja-asutusalueella kulkevista linjoista on uusittu. Plassin ja Holmanperän taajama-alueilla verkostorakenne on vanhentunutta ja vaatii saneerausta.

#### 6.4 Jakelumuuntamot

Kalajoen alueella on 233 muuntopiiriä, joiden muuntajakoneista 22 on 100-120% kuormituksessa. Lisäksi seitsemän muuntajakonetta on 120% tai sen ylitävässä kuormassa. Muuntajakoneen pitoaika on Tämän tarkastelun perusteella, myös sellaisissa kohteissa, joissa kaapelointia ei vielä suunnitella toteutettavaksi, saatetaan joutua vaihtamaan muuntajakoneita nimellisteholtaan suuremmiksi.

#### 6.5 Varayhteydet

Toisista verkkoalueista on yhteyksiä Kalajoen alueen verkkoon neljästä eri suunnasta. Pohjoisesta Vasankarin suunnasta on varasyöttöyhteys Etelänkylän sähköasemalle Pyhäjoen alueen verkosta, joka on VFV:n omaa verkkoaluetta.

Toinen Etelänkylän sähköasemalle tuleva varasyöttöyhteys on Rahjankylän lähdön kautta etelästä Korpelan Voima Oy:n verkkoon

Idässä Tynkän sähköasemalle on kaksi eri varayhteyttä. Ensimmäinen Alavieskan suunnasta Alavieskan lähdöllä Herrfors Nät-Verkko Oy Ab:n verkkoon. Toinen Tynkän sähköaseman varasyöttöyhteys on Etelänkylän lähdön kautta verkon eteläosasta Korpelan Voima Oy:n verkkoon.

Lisäksi Etelänkylän ja Tynkän sähköasemien välillä on kaksi mahdollista varasyöttöyhteyttä, yksi kummallakin puolella jokea.

Vieraiden verkkoyhtiöiden kanssa sovittujen varasyöttöyhteyksien anto ja otto-  
tehot on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Varasyöttöyhteyksien kautta saatavat tehot

Lähtö	Varasyöttöyhteys	Antoteho MW	Ottoteho MW
04 TYN_ETELÄNKYLÄ	Korpelan Voima Oy	2,0	1,0
05 TYN_ALAVIESKA	Herrfors Nät-Verkko Oy	2,0	2,0
09 ETK_RA HjANKYLÄ	Korpelan Voima Oy	0,5	2,0

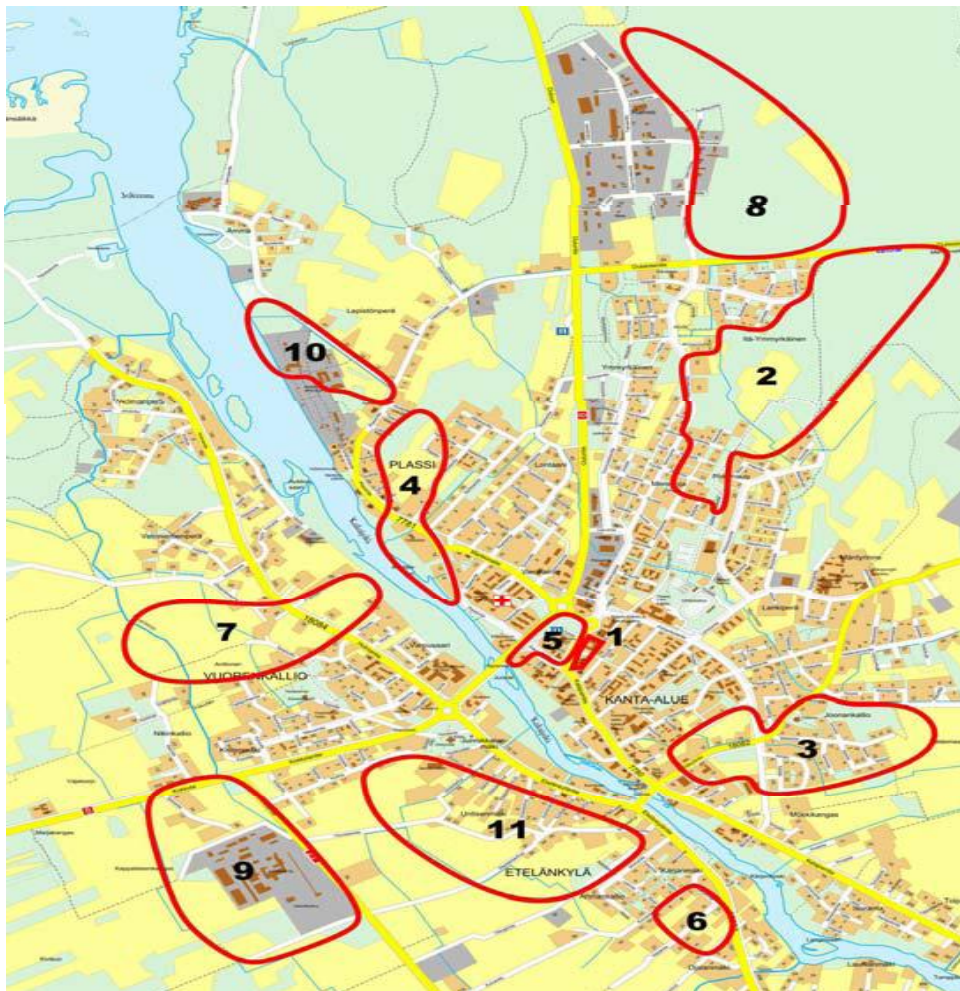
## 6.6 Pienjänniteverkko

Kalajoen alueen pienjänniteverkko on keskustaajamaa lukuun ottamatta lähes kokonaan kunnoltaan vaihtelevaa ilmajohtoverkkoa. Opinnäytetyön laajuus on rajattu jakelumuuntamoihin, joten pienjänniteverkkoa ei juurikaan huomioida, eikä suunnitelmia tehty pienjännitteen jakeluun. Olemassa olevan pienjänniteverkon maantieteellinen rakenne on kuitenkin huomioitu jakelumuuntamoiden suunnittelussa.

## 7 MUUTOSTEKIJÄT

### 7.1 Kaava-alueet

Kalajoen kunnan alueella on vireillä useita kaavahankkeita. Suurin osa kaavahankkeista koskee asutuksen tiivistämistä alueella. Kalajoen kunta on aikeissa kaavoittaa teollisuusalueita koskevia laajennuksia keskustan pohjois ja eteläpuolelle. Lisäksi keskustan alueelle on suunniteltu kaavoitettavaksi kauppakeskusta. Kirkonseudun asemakaavahankkeet on esitetty kuviossa 5 ja numeroidut hankkeet on selitetty taulukossa 2.



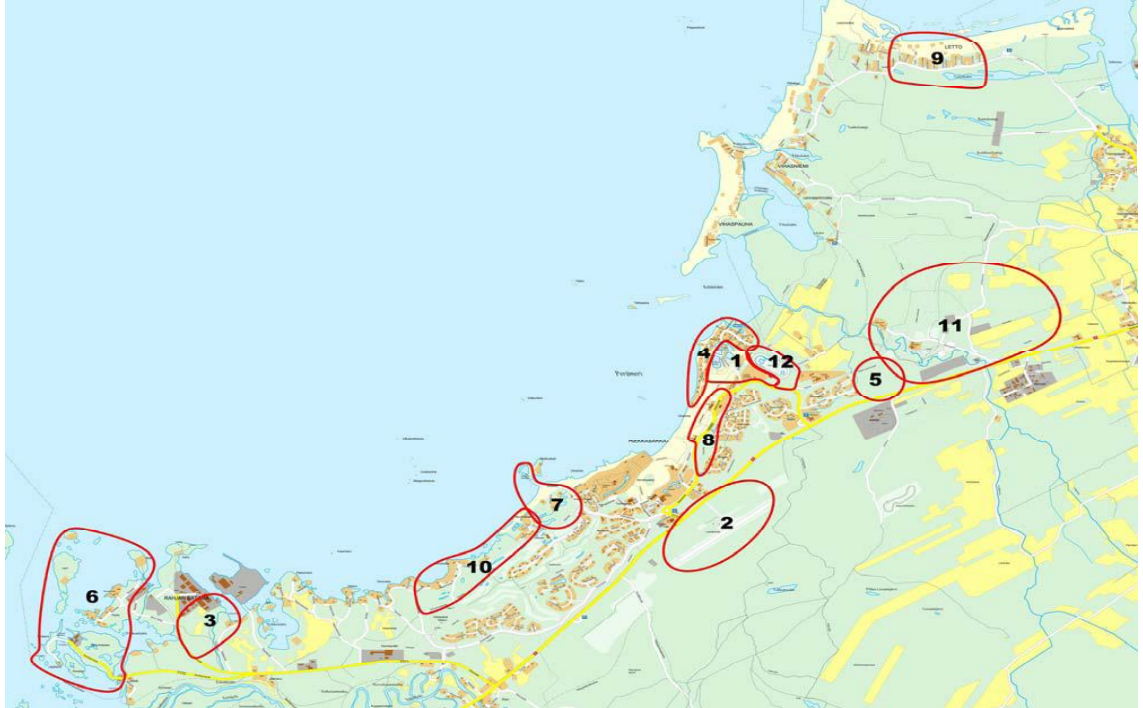
Kuvio 5. Kirkonseudun asemakaavahankkeet.

Taulukko 2. Kirkonseudun asemakaavahankkeiden selitys.

ALUE
1. Kauppajengi ja Koppeli – 2011
2. Kotipuisto - 2011
3. Hannila- Joonankallion alue - 2012
4. Plassi – 2012
5. Kauppakeskus – 2013
6. Kärjä - 2013
7. Vetoniemenperä - 2014
8. Rahvon teollisuusalueen laajennus - 2014
9. Saha-alue - 2015
10. Santaholma II - 2015
11. Etelänkylä - 2015

Hiekkasärkkien alueella voimassa olevat kaavahankkeet koskevat lähinnä vapaa-ajanasuntojen sekä majoituspalveluiden laajenemistarpeisiin vastaavia kaavasunnitelmia. Hiekkasärkkien alueen eteläpäässä sijaitsevan sataman alueelle on kunnan omien kaavoitusten lisäksi merkintä maakuntakaavassa, jossa satama-alueita on suunniteltu laajennettavaksi.

Hiekkasärkkien aluetta koskevat asemakaavahankkeet on esitetty kuviossa 6 ja numeroidut hankkeet on selitetty taulukossa 3.



Kuvio 6. Hiekkasärkkien alueen asemakaavahankkeet

Taulukko 3. Hiekkasärkkien alueen asemakaavahankkeiden selitys.

ALUE
1. Aurinkohiekat - 2011
2. Sun Areenan asemakaavoitus - 2011
3. Rahjan sataman laajennus - 2011
4. Tahkonkorvat - 2011
5. Tapionportin laajennus - 2012
6. Koninkarvo - 2012
7. Keskuskarin ranta - 2012
8. Matkailutien varsi - 2013
9. Leton pohjoisranta - 2013
10. Pikku-Keskuskarin ja Sonninnokan ranta-alue - 2014
11. Liikuntapuiston alue - 2014
12. Raviradan alue - 2015

Lähes kaikkien kaavahankkeiden merkitys tavoiteverkkosuunnitelman kannalta on jakeluverkon kehittäminen uusilla kaava-alueilla, sekä siirtoverkon kapasiteetin lisääminen sellaisilla alueilla, joilla kuormituksen kasvaminen edellyttää siirtoverkon kapasiteetin lisäämistä.

#### 7.1.1 Tuulipuistot

Kalajoen alueella on vireillä muutamia pieniä tuulivoimalahankkeita, jotka eivät ole varmistuneita, mutta mahdollisesti aiheuttavat keskijännitejakeluverkkoon saneeraustarpeita toteutuessaan. Kalajoen lähiseudulla on suunnitteilla kolme tuulipuistohanketta, jotka ovat tehoiltaan 30-150MW. Tehot ovat riittävän suuria, jotta ne voidaan kytkeä suoraan kantaverkkoon. Samasta syystä niiden vaikutus 20kV:n verkkoon on hyvin pieni ja siksi niiden merkitys tavoiteverkkosuunnitelman kannalta on vähäinen.

#### 7.1.2 Matkailun kehittäminen

Matkailun kehittäminen Kalajoen alueella on merkityksellinen seikka myös tavoiteverkkosuunnitelman kannalta, kun lisääntyvä kulutus pitää kyetä kattamaan. Matkailu on keskittynyt pääasiassa Kalajoen Hiekkasärkkien suunnalle, jossa on runsaasti loma-asuntoja sekä muita majoituspalveluita ja vapaa-ajanviettopaikkoja. Matkailun kehittämisen tavoitteena on matkailijamäärän ja kaupallisen majoituksen kaksinkertaistaminen vuoteen 2020 mennessä. Lisäksi kaavoituksella pyritään mahdollistamaan loma-asuntokapasiteetin kasvu (Kalajoen matkailun ideasuunnitelmat, 2011.) Sun Areena on suurin yksittäinen matkailun kehittämisen myötä verkon kuormitukseen vaikuttava tekijä. Sun Areenan tehon tarve ei ole vielä varmistunut, sillä areenalle on suunniteltu omaa tuotantoa kattamaan tekojään jäädyttämisessä tarvittavaa huipputehoa. Kuitenkin areenan tehon tarve on 1,5-3 MW.

### 7.1.3 Teollisuuden ja kaupan kasvualueet

Teollisuuden kasvu Kalajoen alueella on epävarmaa, mutta se on siitä huolimatta otettava huomioon tavoiteverkkosuunnitelmaa tehtäessä. Kalajoen lähistöllä on kolme varsinaista teollisuusaluetta, jotka ovat Rahvon ja Meinalan teollisuusalueet sekä Rahjan satama. Asemakaavasuunnitelmassa kaikki kolme teollisuusaluetta on päätetty kaavoitettavaksi kaksinkertaiseksi nykyiseen nähden. Teollisuuden kaksinkertaistuminen Kalajoella vuoteen 2020 mennessä on kuitenkin hyvin optimistinen näkemys.

Nykyisin Meinalan teollisuusalueelle on Etelänkylän sähköasemalta oma lähtö, jossa on vain teollisuuskuormaa. Lähdöllä on kapasiteettia kuormituksen kasvulle, eikä se vaadi välittömiä toimenpiteitä. Rahvon teollisuusalue on nykyisin Pohjankylän lähdöllä ja kuormittaa muutoinkin raskasta lähtöä noin yhden megawatin teholla. Nykyisen kytkentätilanteen muuttamista ja sen vaikutuksia on pohdittu kappaleessa 8.3.

Rahjan satamaan on suunniteltu rakennettavaksi kahta yhteensä 3 MW tuulivoimayksikköä. Lisäksi sataman aluetta on kaavoitettu laajennettavaksi etelään. Tuulivoimaloiden rakentaminen satamaan ei ole vahvistunut ja toimija on pyytänyt selvityksiä muilta verkkoalueilta mahdollisuuksista tuulivoiman rakentamiselle. Rahjan sataman tehonkasvua on pohdittu kappaleessa 8.6.1.

## 8 VERKON KEHITTÄMISSUUNNITELMAT

### 8.1 Keskijänniteverkon kehittäminen yleisesti

Keskijänniteverkko on pitoiältään hyvin pitkäaikainen ja siksi vaatii tarkkaa suunnittelua. Keskijänniteverkkoa voidaan joutua kehittämään useista erilaisista syistä ja useilla erilaisilla tavoilla. Erilaisia keskijänniteverkon kehittämistoimenpiteitä ovat:

- uuden sähköaseman rakentaminen
- sähköaseman poisto
- päämuuntajakapasiteetin lisäys
- uuden keskijännitelähdön rakentaminen
- varayhteyden rakentaminen
- olemassa olevan verkon saneeraus
- sammutus
- jännitteenkorotusmuuntajan käyttö
- kompensointikondensaattorin käyttö
- suoja-areleiden uusiminen
- kauko-ohjattavien erottimien rakentaminen
- verkkokatkaisijoiden rakentaminen
- raivaukset, tarkastukset, huollot
- ylijännitesuojien ja eläinsuojien käyttö
- releasetteluiden muutokset
- kytkentätilanteen muutokset

(Lakervi ja Partanen, 2008, 126.)

Muutamien verkon kehittämistoimenpiteiden hyödyllisiä vaikutuksia verkon kokeisiin keskeytyksiin on havainnollistettu taulukon 4 avulla.



Taulukko 4. Eri tekniikoiden vaikutus vikojen määriin ja kestoihin  
 (++) tilanne paranee merkittävästi, + tilanne paranee hieman,  
 - vähäinen tai ei vaikutusta)

	Pysyvien vikojen määrä		Pysyvien vikojen kesto	Työkeskeytykset/as	Jällekytkentöjen määrä/as
	Abso-luut-tisesti	kpl/as			
Uudet sähköasemat	-	++	+	-	++
Kaapelointi	++	++	-	-	++
PAS-johdot	+	+	-	-	+
Tien varteen rakentaminen	+	+	+	-	+
1000 V:n sähkönjakelu	+	++	-	-	++
Pylväskatkaisijat	-	++	-	-	++
Kauko-ohjattavat erottimet	-	-	++	-	-
Varayhteydet	-	-	++	++	-
Valvomoautomaatio	+	+	++	+	-
Maasulkuvirtojen sammutus	-	-	-	-	++
Varavoima	-	-	+	++	-
Yhteistyö	+	+	+	-	-

(Lakervi ja Partanen, 2008, 127.)

## 8.2 Kaapeloinnein tehtävät parannukset

VFV:n nykykäytännön mukaisesti kaikki verkostosaneeraukset tehdään maakaapelein. Tämä on osa VFV:n tavoitetta rakentaa, nykyisiä jatkuvasti yleistyviä äärimmäisiä, sääolosuhteita kestävä verkko. VFV on määritellyt toimitusvarmuuskriteerit omalle verkolleen. Verkkoa pyritään kehittämään siten, että kaikilla alueilla saavutetaan alueelliset tavoitetasot. Alueelliset tavoitetasot toimitusvarmuudelle on esitetty taulukossa 5.

Taulukko 5. Toimitusvarmuuskriteerien alueelliset tavoitetasot (sisäinen lähde)

### Alueelliset tavoitetasot

#### **Kaupunki**

- Keskeytysaika (h/a): enintään 1 tunti
- Lyhyet keskeytykset (kpl/a): ei lyhyitä katkoja

#### **Taajama**

- Keskeytysaika (h/a): enintään 3 tuntia
- Lyhyet keskeytykset (kpl/a): enintään 10 kpl

#### **Maaseutu**

- Keskeytysaika (h/a): enintään 6 tuntia
- Lyhyet keskeytykset (kpl/a): enintään 60 kpl

Kalajoen alueella suurin osa verkosta on niin sanotulla maaseutualueella ja vain Kalajoen kaupungin keskusta on taajama-alueita. Suurin osa kalajoen alueen jakeluverkosta on toteutettu ilmajohtona. Koko alueen kaapelointiaste on 13% ja keskustankin alueella vain 37%.

Kaapeloinneilla voidaan saavuttaa parannuksia toimitusvarmuuteen, mutta todelliseen parannukseen vaaditaan huomattavan suuria investointeja. Strategisesti tärkeitä kohteita, kuten rengasyhteyksiä, varasyöttöyhteyksiä ja vika-alttiita ajojohto-osuuksia kaapeloimalla saavutetaan tavoitetasot pienimmillä investointikustannuksilla..

#### 8.2.1 Kaapelireitit

Kaapeloitavien alueiden kaapelireittien suunnitteluun vaikuttivat suuresti olemassa olevien muuntopiirien ja muuntajien maantieteellinen sijainti, sillä joissakin kohteissa muuntopiirin pienjänniteverkko on jo ehditty kaapeloida kokonaan tai osittain.

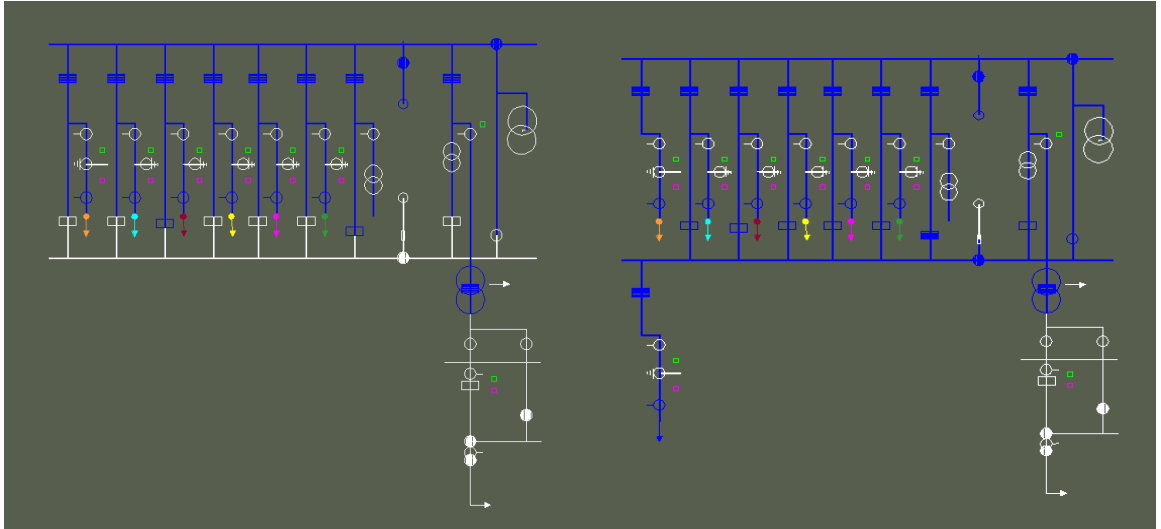
Kaapelireittejä on mietitty mahdollisten lähtöjen kuormitustilanteita tasoittavien verkon kytkentätilanteen muutosten kannalta. Kaapelireittejä suunniteltaessa pyrittiin mahdollisuuksien mukaan käyttämään kunnan omistamia alueita ja vällettiin kaapelireittien suunnittelua tonttien ja kallioisten alueiden läpi.

### 8.3 Kytkentämuutokset

Etelänkylän sähköaseman syöttämän verkon tehonjako on hyvin epätasainen ja painottuu voimakkaasti kolmen lähdön kohdalle. Keskustaajamaa ja sen itäpuolista verkkoa syöttävä Pohjankylän lähdöllä on suurin kuormitus ja paljon asiakkaita. Lyhyetkin vikakeskeytykset kasvattavat voimakkaasti lähdön toimitusvarmuustilastoja. Kytkentämuutoksilla voidaan helpottaa Pohjankylän lähdön tilannetta syöttämällä eteläistä osaa nykyisestä alueesta Tynkän aseman Pohjankylän lähdöllä. Etelänkylän asemalla olevan duplex kiskoston purkamisella voidaan asemalle lisätä lähtöjen määrää, jolloin Plassin alueelle voidaan suunnata uusi erillinen lähtö. Tämän lähdön avulla voidaan syöttää Pohjankylän läntistä osaa, jolloin jälleen vähennetään Pohjankylän lähdön kuormitusta. Samalla Vasankarin lähdöstä irrotetaan Plassin alue, jolloin Vasankarin lähdöllä olevien pitkien avojohto-osuuksien aiheuttamat jälleenkytkennät eivät enää häiritse taaajama-alueen verkkoa. Keskustan pohjoispuolella sijaitsevan Rahvon teollisuusalueen kuormituksen edelleen kasvaessa on syytä miettiä sen siirtämistä toiselle lähdölle, johon Plassin uusi lähtö on hyvä vaihtoehto.

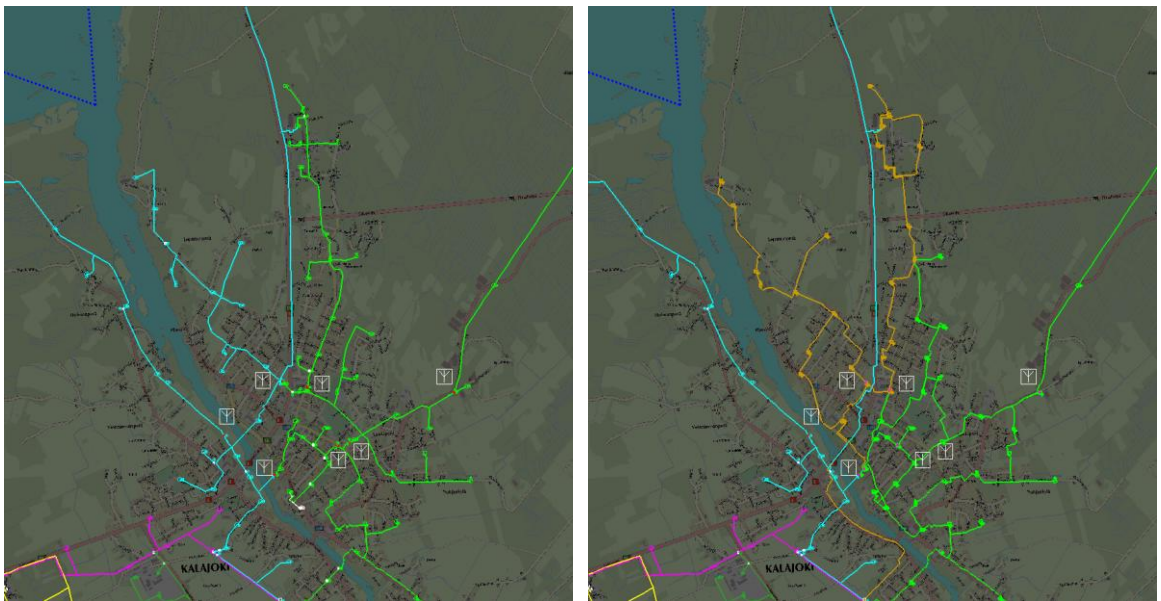
### 8.4 Uuden keskijännitelähdön rakentaminen

Etelänkylän sähköaseman duplex-kiskorakenteen ansiosta voidaan asemalla olevien keskijännitelähtöjen määrää lisätä helposti. Purkamalla duplex rakenne joltakin lähdöltä saadaan kaksi yksittäistä lähtöä, joissa kummassakin on kaikki tarvittavat suoja- ja mittalaitteet. Periaate lähdön jakamisesta on esitetty kuviossa 7.



Kuvio 7 Duplex kiskon jakaminen Xpower kaaviona

Suunnitelmassa jaetaan Vasankarin lähtö kahdeksi erilliseksi lähdeksi, jotka nimetään seuraavasti: J10 Vasankari ja J11 Plassi. Vasankarin lähtö syöttää edelleen Vasankarin ja Leton alueiden ilmajohtolähtöjä ja uudelle Plassin lähdölle kytketään Plassin ja Holmanperän taajama-alueet sekä osa Pohjankylän keskustaajamasta. Tarkempi kuvaus suunnitelmasta on esitetty liitteessä.



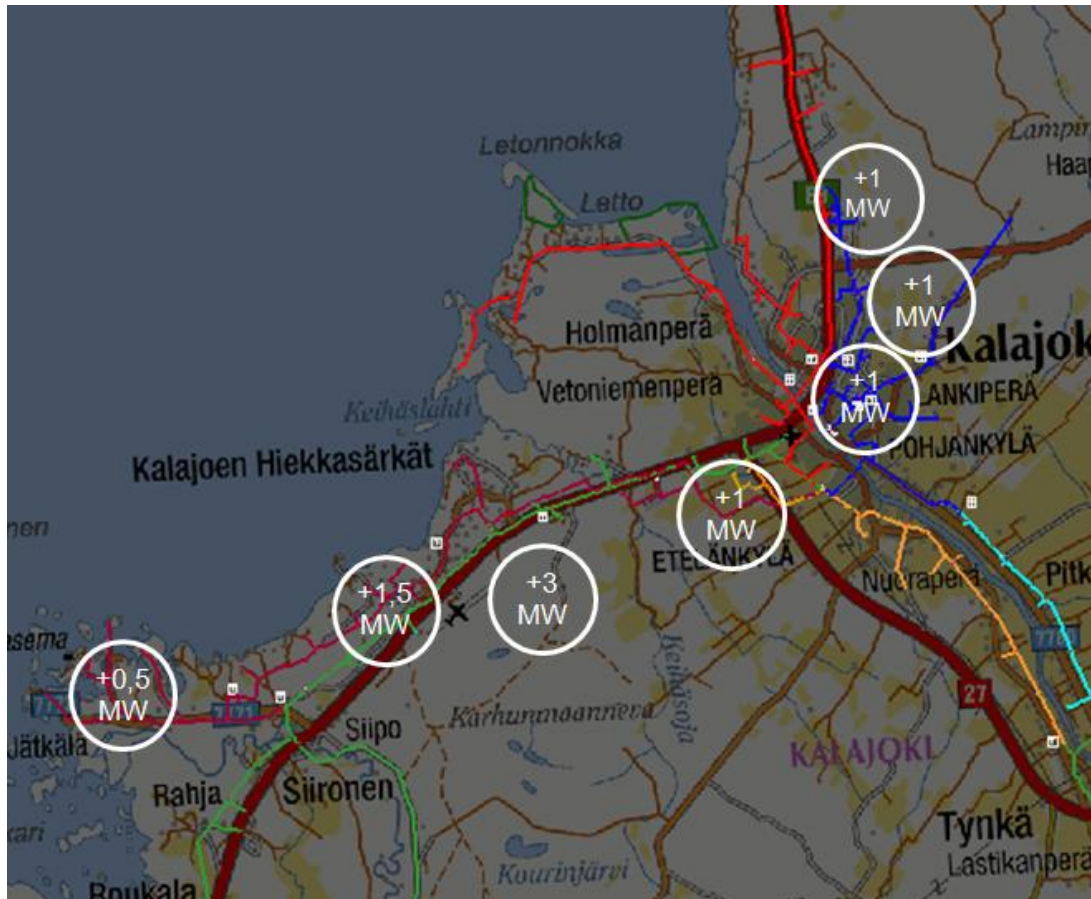
Kuvio 8 Vasankarin lähtö ennen vasemmalla ja jälkeen oikealla. Kuvissa turkosilla J10Vasankari ja oranssilla uusi lähtö J11Plassi.

## 8.5 Verkon suojauksen kehittäminen

Keskijännitejakeluverkon suojausta voidaan parantaa pienentämällä lähtöjen kuormituksia, jolloin luonnollisesti keskeytyksen kokevien asiakkaiden lukumäärä on pienempi. Lisäksi suojausta voidaan parantaa asentamalla verkkoon ns. keskitetty sammutus, tai hajautettua sammutusta. Hajautetulla sammutuksella tarkoitetaan kullekin johtolähdölle erikseen asennettavaa sammutusta. Sammutuskuristimet asennetaan yleensä joko keskitettynä sähköasemalle tai hajautettuna johtolähdöille. Mikäli hajautettu kompensointi mitoitetaan siten, että jokaisella johtolähdöllä on sitä itseään vastaava kompensointi, säätyy kompensointi automaattisesti johtolähdön kytkeytyessä irti. Hajautettua kompensointia käytetään yleensä kun kompensoitavan maasulkuvirran arvo on pieni, eli alle 15A. Etelänkylän sähköaseman syöttämä verkko on kompensoitu kootusti. Tynkän verkon kaapelointien yhteydessä johtolähtöjen maasulkuvirta kompensoidaan hajautetusti.

## 8.6 Tehonkasvu

Tehonkasvua Kalajoen alueella on pyritty huomioimaan kaavoitussuunnitelmien mukaisen kulutuspisteiden lisääntymisen perusteella, mikäli tietoa on ollut saatavissa. Osassa alueista tehonkasvua ei pystytty määrittelemään, sillä lisääntyvien liittymien määrää tai tyyppiä ei tiedetty eikä pystytty ennustamaan. Arvioidut tehonkasvut alueittain on esitetty karttapohjalla kuviossa 9.



Kuvio 9. Tehonkasvu alueittain.

#### 8.6.1 Tehonkasvu teollisuusalueilla

Teollisuuden tehonkasvua ei pystytä ennustamaan kovinkaan tarkasti, sillä kaavoitettavien alueiden kokoa ei ole määritely Kalajoen kaavoituskatsauksessa. Teollisuusalueiden tulevan tehontarpeen arvioidaan olevan noin kaksinkertainen nykyiseen nähden. Rahjan satama-alueelle suunnitella olevat tuulivoimalat ovat edelleen harkinnassa. Sataman toimintaa on suunniteltu laajennettavaksi ja satama-aluetta tullaan laajentamaan etelän suuntaan. Satama-alueen tehontarve on arvioitu tulevaisuudessa olevan noin yhden megawatin luokkaa.

#### 8.6.2 Tehonkasvu asuinalueilla

Suurin tehonkasvu tulee kaavasuunnitelmien toteutuessa olemaan kotipuiston alueella keskustaajaman pohjoispuolella. Kotipuiston alueelle on kaavoitettu

noin 70 pientalotonttia. Kotipuiston alueen tehon kasvun arvioitu suuruusluokka on noin yksi megawatti. Toinen tehon kasvun kannalta merkittävä asuinalue on Joonankallion alue, jolle on suunniteltu kaavoitettavaksi kerros- ja asuintaloja sekä liiketiloja. Yhdessä keskustaajaman tiivistymisen kanssa kaavasuunnitelmat aiheuttavat noin yhden megawatin tehontarpeen.

## 9 POHDINTA

Kalajoen alueen keskijännitejakeluverkko on kokonaisuudessaan melko vanhaa ja vaatii osin saneeraustoimenpiteitä. Sähköteknisesti verkko täyttää sille asetetut vaatimukset. Saneeraustarve syntyy lähinnä pylväskannan vanhenemisesta ja verkon säänkestävyyden aiheuttamista paineista.

Vertailuja varten tehtiin kokeilusuunnitelmia verkon eri osiin. Suunnitelmien avulla tutkittiin, minkälaiset toimenpiteet toisivat suurimman mahdollisen hyödyn, kun huomioidaan verkon kunnossapidon, investointien ja keskeytysten aiheuttamat kustannukset. Suunnitelmat on esitetty liitteissä 7 - 10.

Saneeraustoimenpiteinä alueen ilmajohtoja kannattaa korvata maakaapelein, alkaen tärkeimmistä osista, joissa on suurimmat asiakasmäärät. Tämä tukee Vattenfall Verkon strategiaa, johon kuuluu saneeraustöiden toteuttaminen maakaapeloinnin. Tämän lisäksi Kalajoen alueella maasto on monin paikoin ihanteellista kaapeleiden asentamiseksi auraamalla. Auraamalla asennettujen kaapelointien asennuskustannukset ovat huomattavasti pienempiä, kuin kaivamalla asennettujen.

Etelänkylän aseman duplex-kiskoston jakaminen ja uusien lähtöjen rakentaminen yhdessä kytkentämuutosten kanssa parantaa toimitusvarmuutta ja sähkölaatua suurella osalla asemien syöttämää verkkoa. Etelänkylän sähköaseman syöttämän Pohjankylän lähdön kuormitusta voidaan keventää siirtämällä muutamia muuntopiirejä Tynkän aseman syöttämään Pitkäsenkylän lähtöön. Lisäksi Pohjankylän lähdöltä voidaan siirtää kuormitusta uudelle Plassin lähdölle, joka tulee Vasankarin lähdön rinnalle ja syöttäisi Kalajoen taajaman läntisiä osia joen etelä- ja pohjoispuolella.

Tarkemmat suunnitelmat Kalajoen alueen sähköverkon kehittämisestä voidaan tehdä, kun tunnetaan tarkemmin esimerkiksi kaavoituksen vaikutukset ja päätökset tulevista tuulivoimaloista. Tavoiteverkkosuunnitelman avulla voidaan kui-



41 (54)

tenkin varautua tuleviin muutoksiin ja tarpeen tullen niihin voidaan reagoida nopeasti.

## LÄHTEET

Lakervi E. ja Partanen J. 2008. Sähkönjakelutekniikka. Helsinki: Otatieto.

Aura L. ja Tonteri A. 1993. Sähkölaitostekniikka. Helsinki: WSOY.

Elovaara J. ja Haarala L. 2011. Sähköverkot I Järjestelmätekniikka ja sähköverkon laskenta. Helsinki: Otatieto

Elovaara J. ja Haarala L. 2011. Sähköverkot II Verkon suunnittelu, järjestelmät ja laitteet. Helsinki: Otatieto

Verkostolaskenta. 2011 Tekla Oyj. Luettu 15.6.2011.

<http://www.tekla.com/fi/products/tekla-xpower/functionalities-for-electricity-distribution/planning/network-calculations/Pages/Default.aspx>

CPP-laskenta. 2011 Tekla Oyj. Luettu 15.6.2011.

<http://www.tekla.com/fi/products/tekla-xpower/functionalities-for-electricity-distribution/planning/construction-project-planning/Pages/Default.aspx>

RN-analyysi. 2011 Tekla Oyj. Luettu 15.6.2011.

<http://www.tekla.com/fi/products/tekla-xpower/functionalities-for-electricity-distribution/planning/reliability-analysis/Pages/Default.aspx>

Sisäinen Lähde. 2011. Vattenfall Verkko

Vattenfall konserni. 2011. Vattenfall. Luettu 10.7.2011.

<http://www.vattenfall.fi/fi/vattenfall-konserni.htm>

Vattenfall Suomessa. 2011. Vattenfall. Luettu 10.7.2011.

<http://www.vattenfall.fi/fi/vattenfall-suomessa.htm>

Vattenfall Verkko. 2011. Vattenfall. Luettu 10.7.2011.

<http://www.vattenfall.fi/fi/vattenfall-verkko.htm>

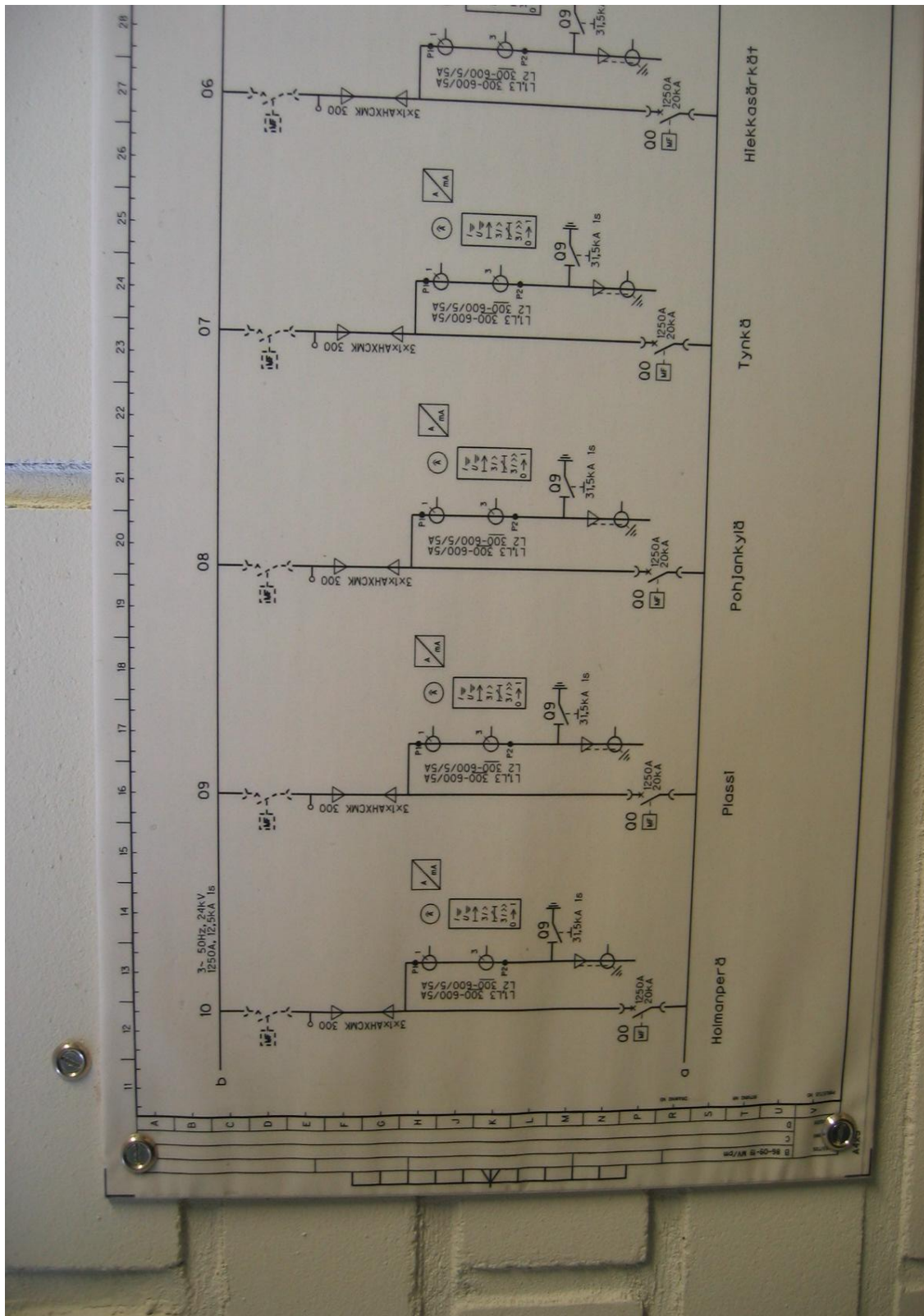
Taulukko 6 Lähtötiedot, Etelänkylä ja Tynkä

## ETELÄNKYLÄ

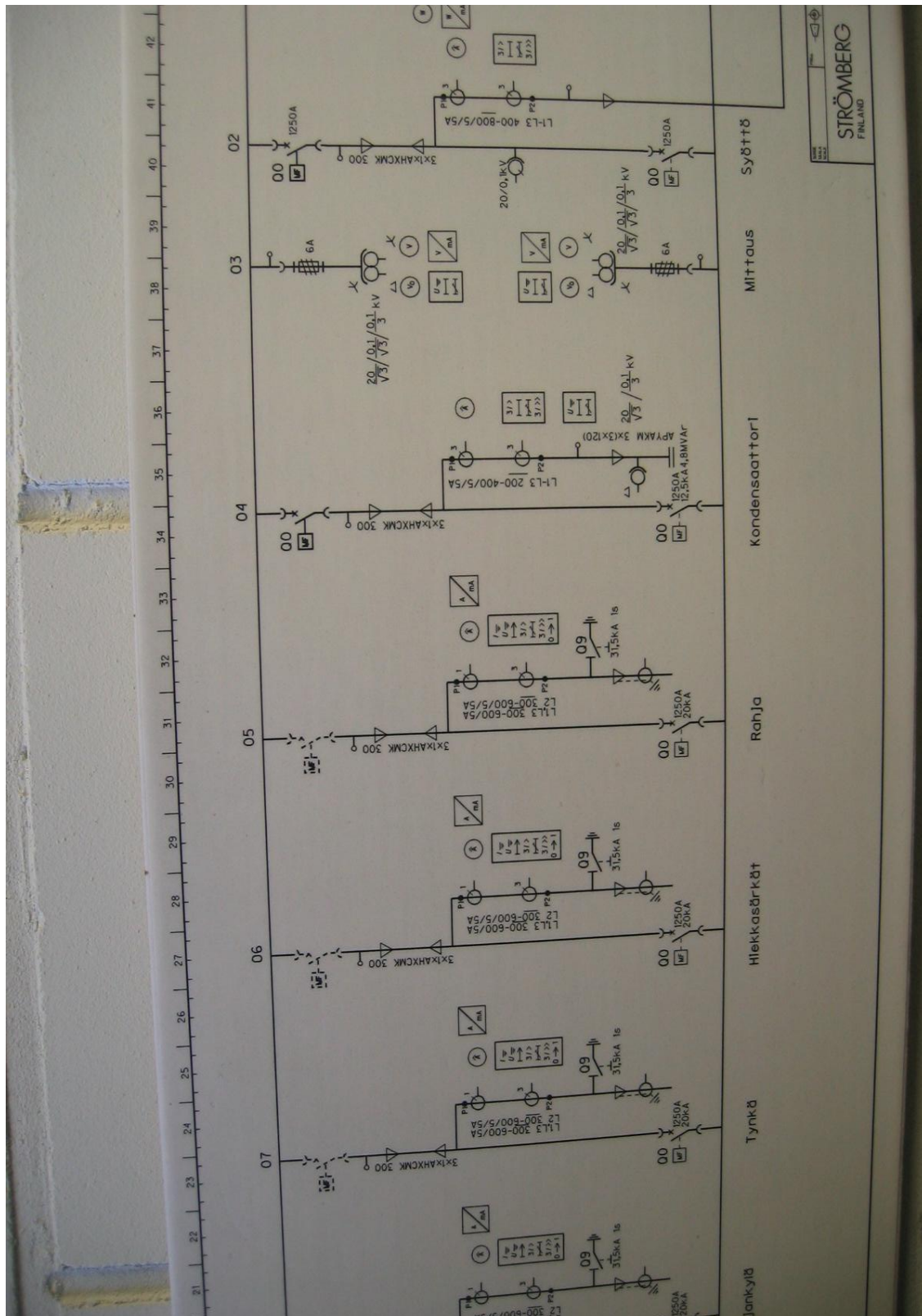
MASTER	Asiakkaita	Vikatunnit	PJK	AJK	CAIDI	SAIDI	SAIFI	Ph	Energiahäviö	K-aste (%)	Uh (%)	JK-kustannukset	Luotettavuuskust.	Työkeskeytyskust.	Vikakesk kust.	Luotettavuus	Teho
05 ETK_JUNNIKKALA	7	1,6	0,9	0,2	1,36	0,51	0,37	1,6	8,1	10	0,2	754	5962	2274	2934	2,01	2750
06 ETK_HIEKKÄSÄRKÄT	753	601,8	12	2,1	0,73	1,12	1,54	66,7	259,18	56	2,8	21579	52747	5633	25535	2,07	4683
07 ETK_TYNKÄ	246	107,7	4,4	0,8	1,26	0,77	0,61	1,9	4,43	11	0,3	1565	5034	1113	2357	1,7	1051
08 ETK_POHJANKYLÄ	1890	1056,7	13,1	2,3	0,62	0,93	1,5	59,4	184,93	58	1,8	37047	73304	8959	27298	2,31	7133
09 ETK_RAHAJANKYLÄ	679	1062,2	15,3	2,7	0,79	2,09	2,63	23,1	58,31	15	2,1	13654	38493	3834	21005	2,24	2766
10 ETK_VASANKARI	1471	1755,7	15,4	2,7	0,73	1,78	2,44	37,3	110,45	46	1,5	23762	58982	8100	27120	1,95	4287
YHTEENSÄ	5046	4585,8	61,2	10,8	5,49	7,19	9,1	189,9	625,4	32,7	8,6	98361	234522	29913	106248	12,28	22670

## TYNKÄ

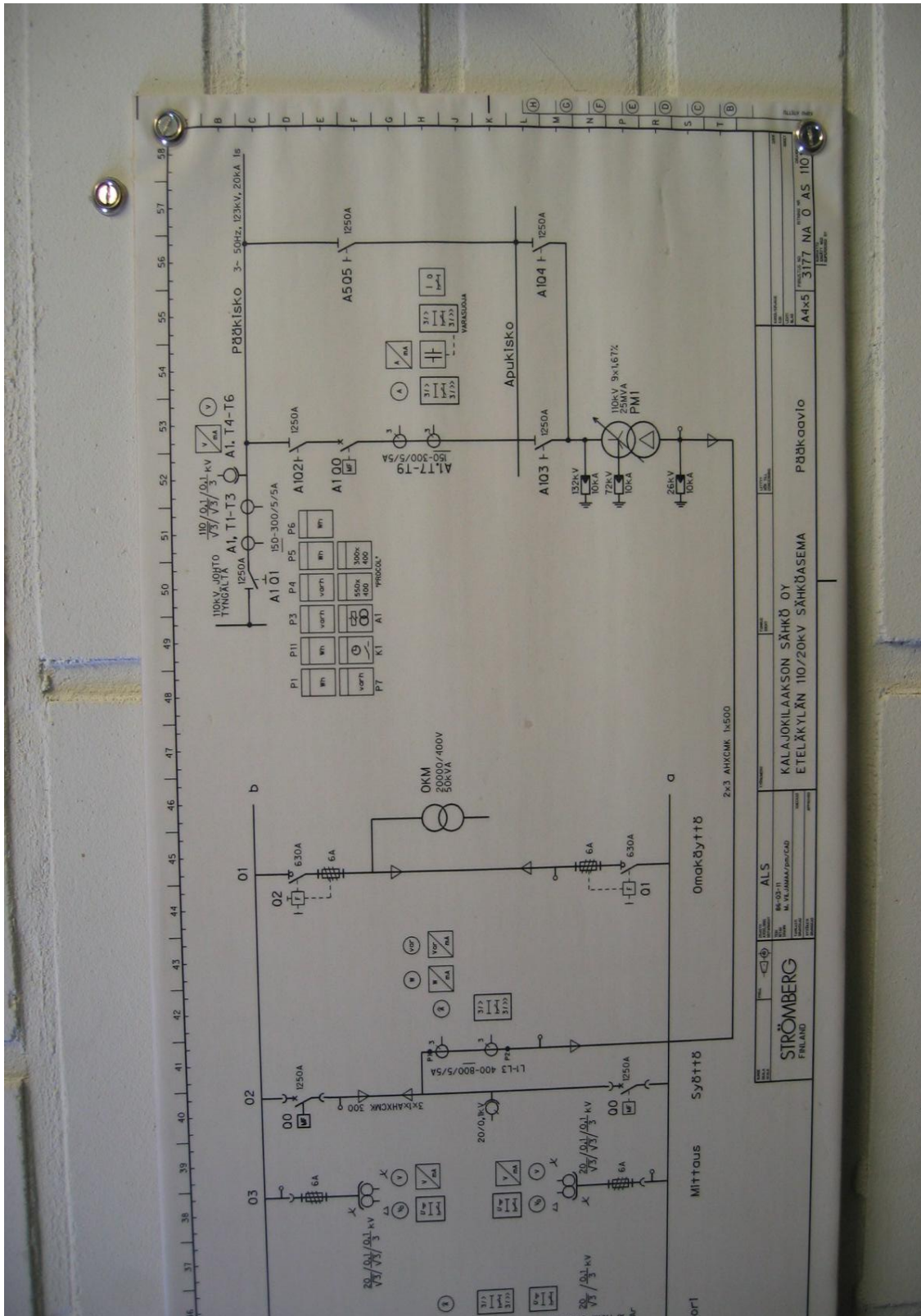
MASTER	Asiakkaita	Vikatunnit	PJK	AJK	CAIDI	SAIDI	SAIFI	Ph	Energiahäviö	K-aste (%)	Uh (%)	JK-kustannukset	Luotettavuuskust.	Työkeskeytyskust.	Vikakesk kust.	Luotettavuus	Teho
03 TYN_POHJANKYLÄ	150	55,2	2,8	0,5	1,3	0,69	0,53	0,8	1,65	6	0,2	606	2499	686	1207	1,34	621
04 TYN_ETELÄNKYLÄ	230	268,4	6,5	1,2	1,26	1,71	1,36	1,4	4,24	8	0,3	2205	9592	1672	5715	1,89	962
05 TYN_ALAVIESKA	197	345	6,2	1,1	1,59	2,69	1,69	0,9	1,57	6	0,3	1232	8040	1727	5082	1,7	630
YHTEENSÄ	577	668,6	15,5	2,7	4,14	5,09	3,58	3	7,46	20	0,8	4042	20131	4086	12004	4,93	2213



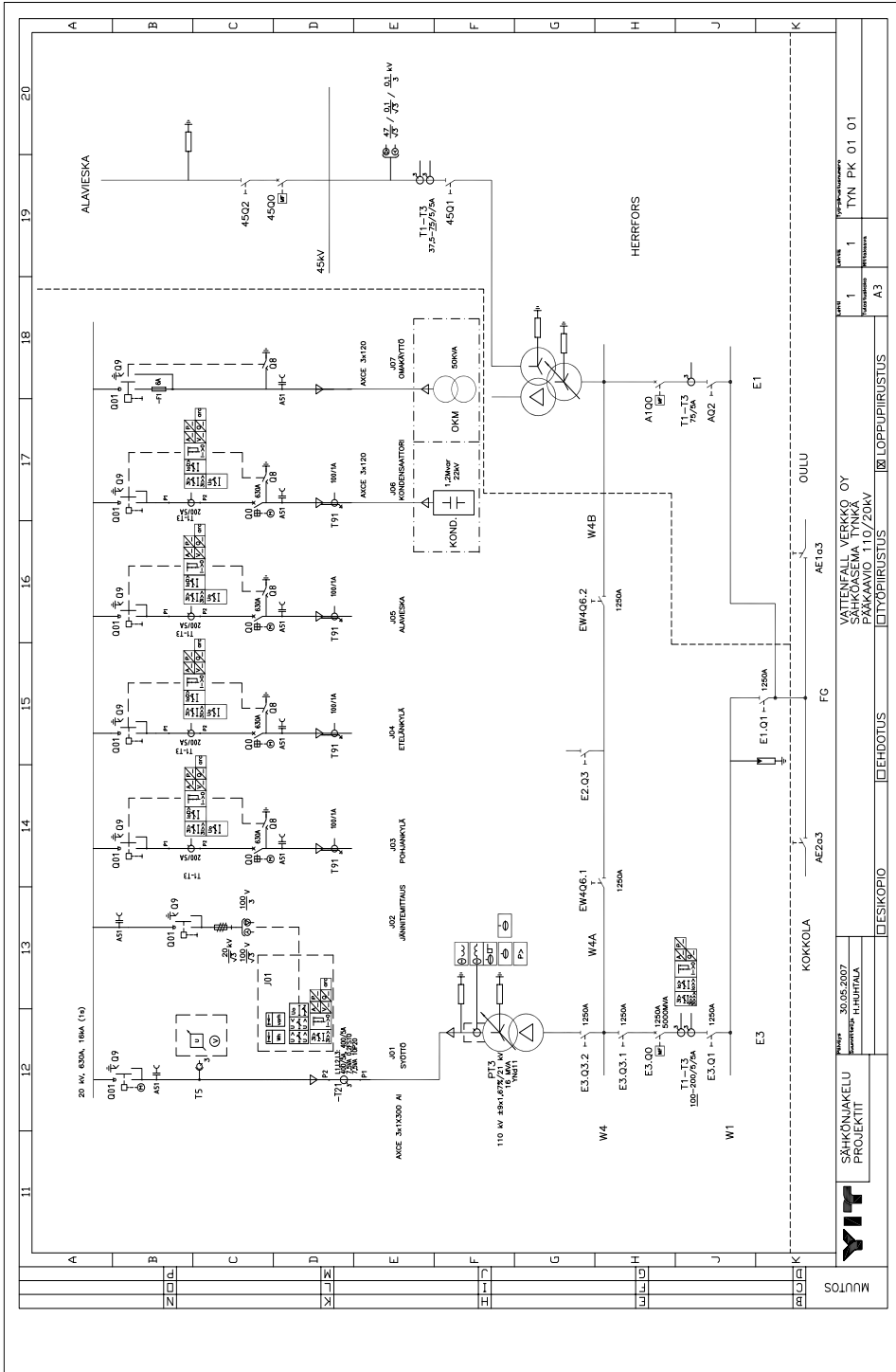
Kuva 1 Sähköaseman pääkaavio, Etelänkyliä osa 1



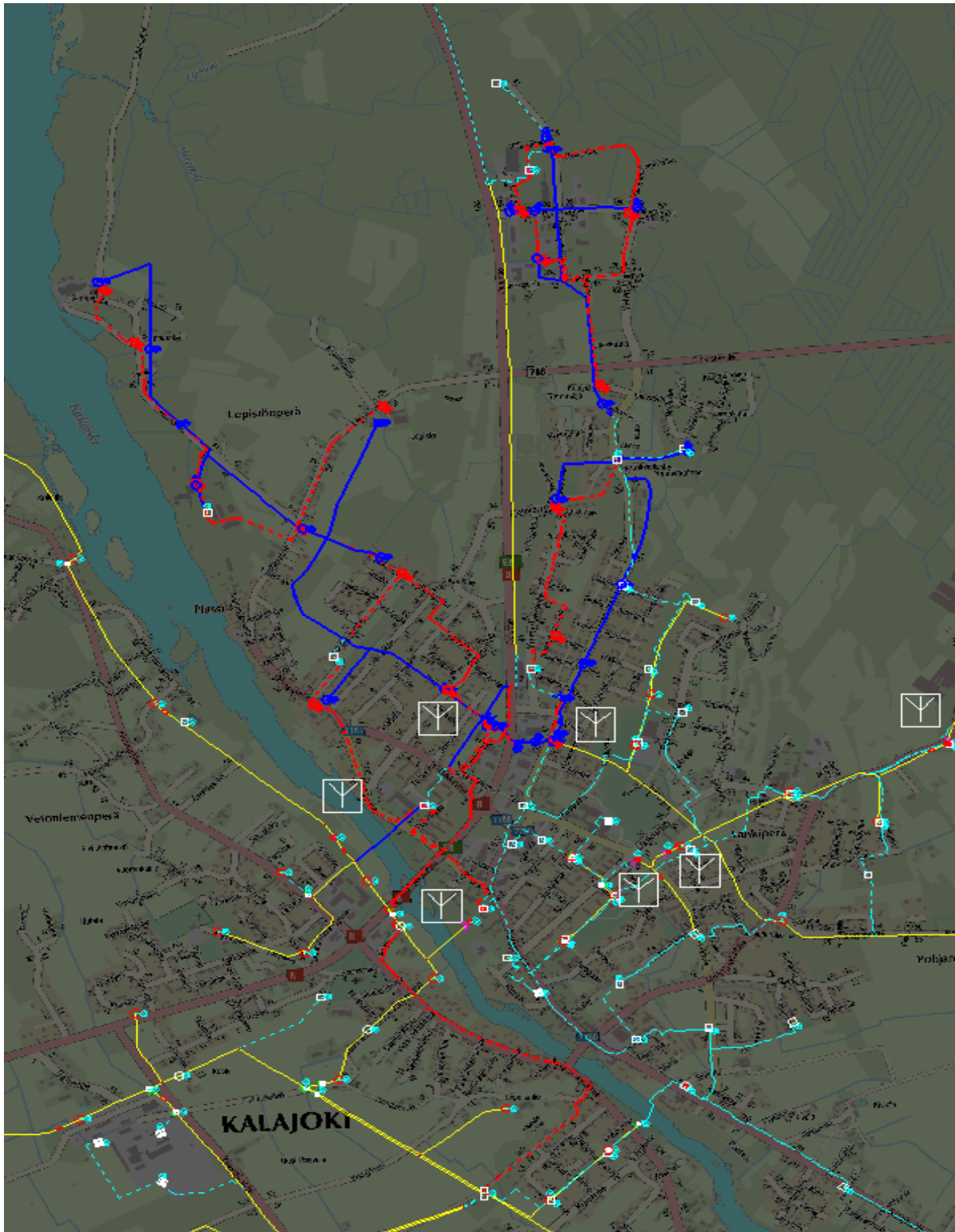
Kuva 2 Sähköaseman pääkaavio, Etelänylä osa 2



Kuva 3 Sähkösäntän pääkaavio, Etelänkylä osa 3

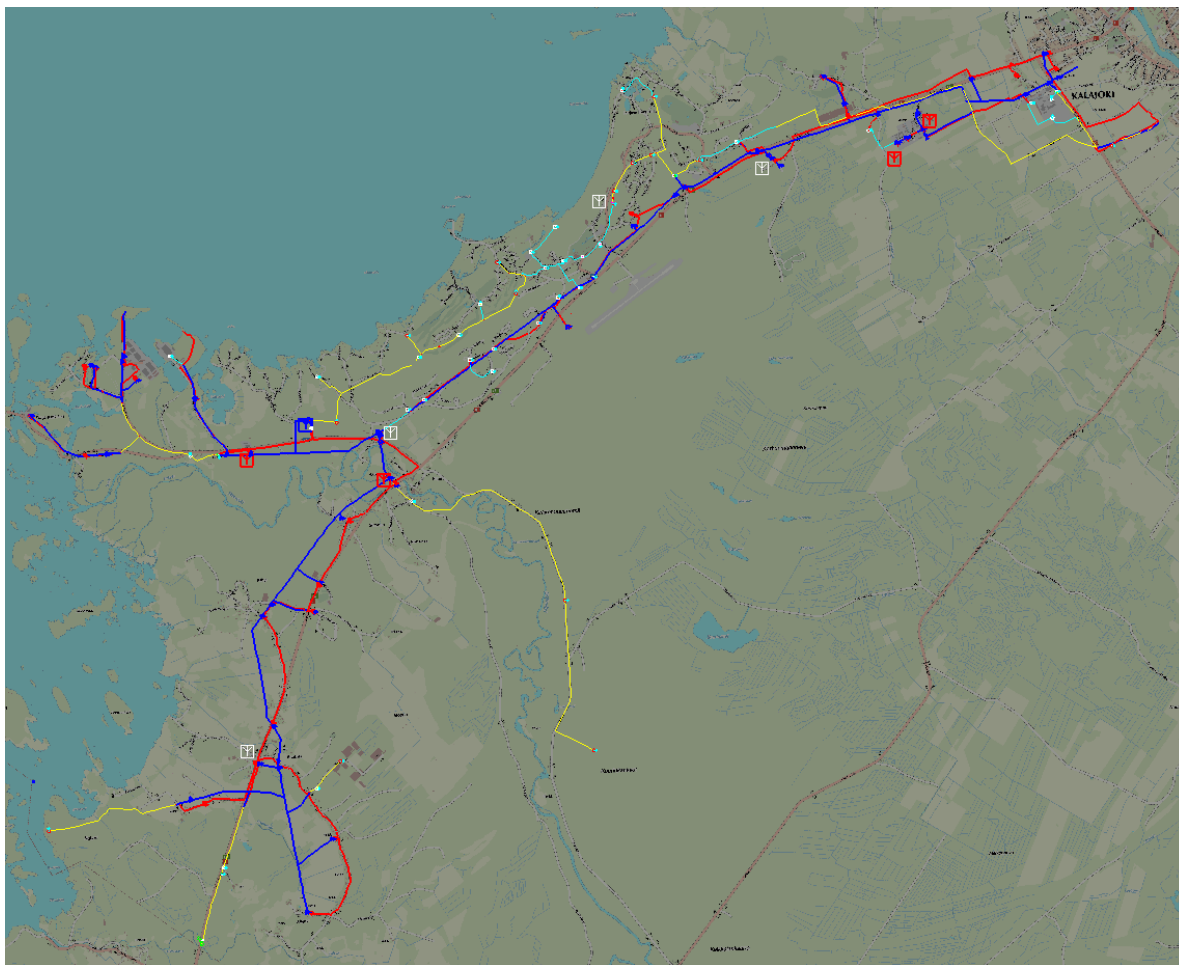


Kuvio 10 Sähköaseman pääkaavio, Tynkä

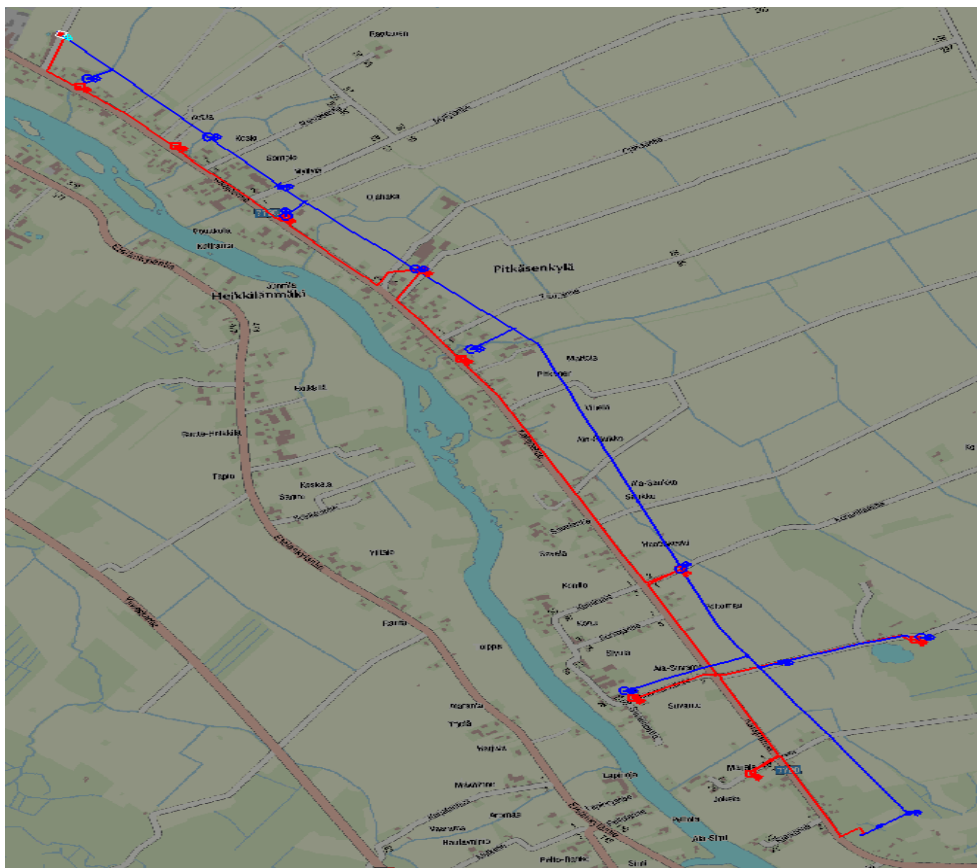


Kuvio 11 Keskustaajaman saneeraus kaapeloimalla. Kuviossa purettavat ilmajohdot on merkitty sinisellä ja rakennettavat kaapelireitit punaisella. Turkoosilla värillä on merkitty olemassa olevat kaapelireitit ja keltaisella ilmajohdot.

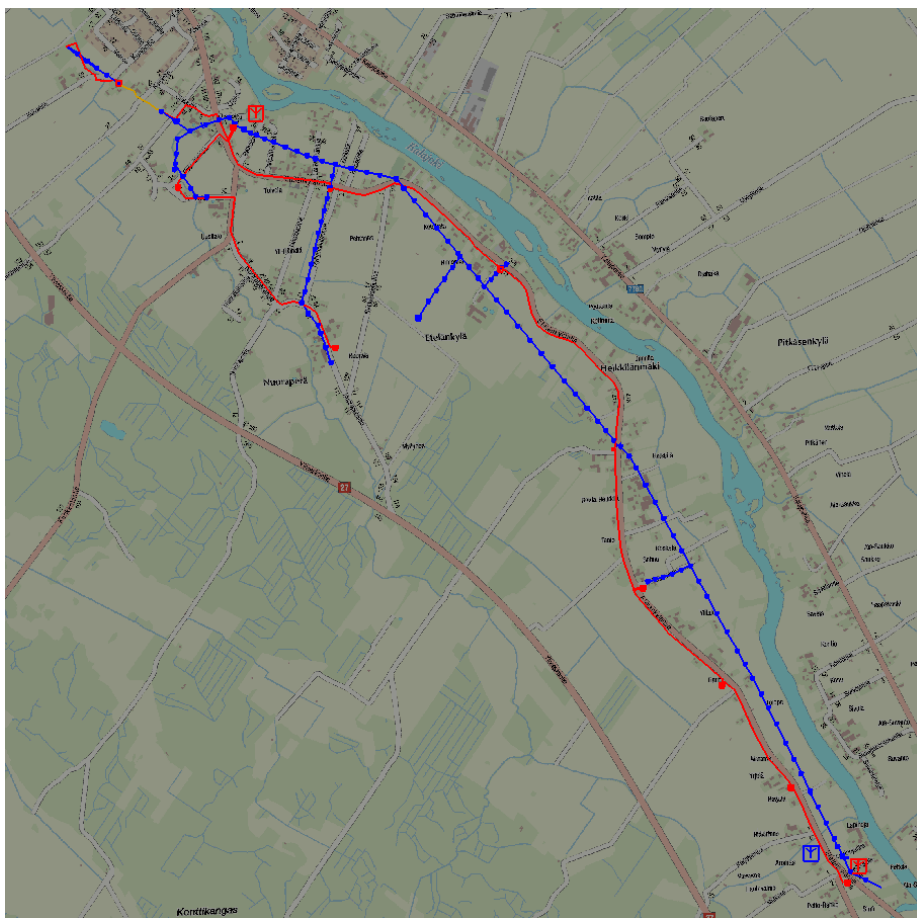




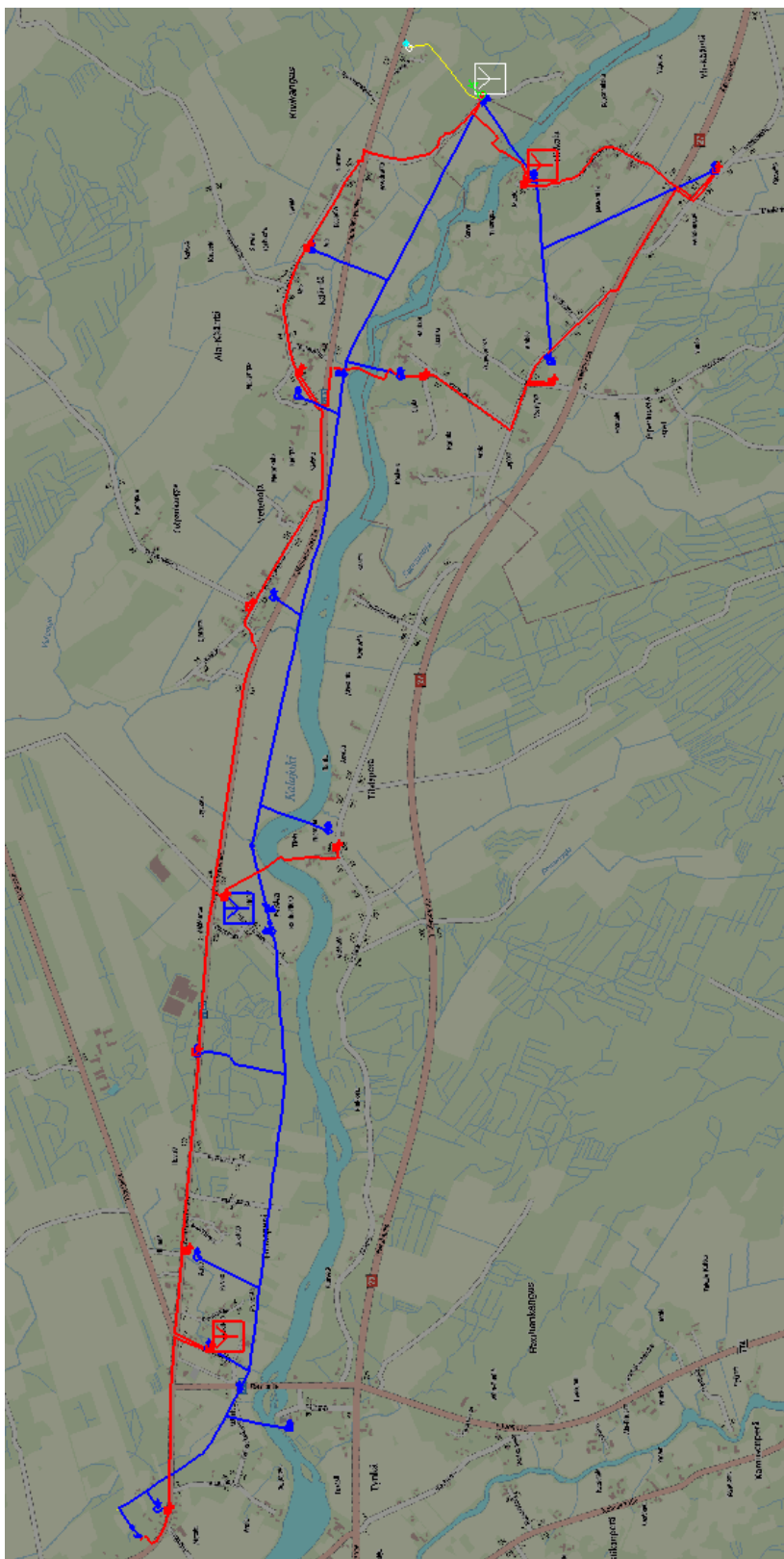
Kuvio 12 Hiekkasärkkien suunnan runkojohdon kaapelointi, sataman ja Rahjankylän suuntien kaapelointi.



Kuvio 13 Pitkäsenskyän kaapelointi



Kuvio 14 Etelänselän kaapelointi



Kuvio 15 Alavieskan suunnan kaapelointi ja rengasyhteys



Kuvio 16 Pylväät kuntoluokittain



Kuvio 17 KJ-pylväät asennusvuosittain

Taulukko 7 KJ-pylväät lahoisuuden mukaan

Pylväät lahoisuuden mukaan		
Lahoisuus	kpl	% kaikista
Terve	757	45,0
0-2mm	837	49,8
2-10mm	66	3,9
10-20mm	7	0,4
yli 20mm	14	0,8
yht.	1681	100