

Tomi Hokkanen

VAAJAKOSKEN SÄHKÖVERKON  
SELVITYSTYÖ  
JÄRVI-SUOMEN ENERGIA OY:LLE

Opinnäytetyö  
Sähkötekniikan koulutusohjelma


Toukokuu 2010




**MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU**

Mikkeli University of Applied Sciences

## KUVAILULEHTI

 <p><b>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU</b> Mikkeli University of Applied Sciences</p>	<b>Opinnäytetyön päivämäärä</b>				
<b>Tekijä(t)</b>  Tomi Hokkanen	<b>Koulutusohjelma ja suuntautuminen</b>  Sähkötekniikan koulutusohjelma, suuntautuminen sähkövoimatekniikka				
<b>Nimeke</b>  Vaajakosken sähköverkon selvitystyö Järvi-Suomen Energia Oy:lle					
<b>Tiivistelmä</b>  Suur-Savon Sähkö Oy:n omistama Vaajakosken alueen sähköverkko on aikanaan rakennettu paikallisen vesivoimalaitoksen ympärille. Sähköverkkoa on ajan saatossa uudistettu, mutta alueelta löytyy silti yli 50 vuotta vanhaa tekniikkaa. Työssä pyrin selvittämään alueen nykyisen sähköverkon tilan, ja niitä muutoksia mitä sinne on tulevaisuudessa tarvetta tehdä.  Työni teoriaosuudessa käsittelen sähköverkkojen suunnitteluprosessia ja suunnittelussa huomioitavia asioita. Sähkönjakelun luotettavuus on yksi tämän päivän tärkeimmistä suunnittelukriteereistä. Luon työssäni katsauksen sähkönjakelun luotettavuutta parantaviin tekniikoihin, sekä siihen kuinka luotettavuutta nykyään valvotaan.  Omassa suunnittelu osuudessani päähuomio keskittyy Varassaaren ylittävien keskijänniteilmajohtojen saneeraukseen. Keskeinen tavoite keskijänniteverkkojen saneerauksessa on saada suurin osa jäljellä olevista ilmajohtoista maakaapeleiksi. Työssäni tutkin myös Vaajakosken alueen läpi menevän valtatie 4:n parannussuunnitelmien vaikutusta sähköverkkoon, ja voitaisiinko teitä hyödyntää keskijänniteverkon kaapeloinnissa.  Osassa alueen sähköverkkoa on käytössä 3 kV:n jännitetaso. Harvinaisen jännitetason käyttö tuo omia ongelmiaan sähköverkon käyttöön ja suunnitteluun. Työssäni teen suunnitelman 3 kV:n korvaamisesta 20 kV:lla.  Suunnitelman toteutukseen käytän nykyaikaisia verkkotietojärjestelmiä. Uuden toimitusvarmuuskriteeristön toteutumisia uudessa ja vanhassa verkossa tutkin LuoVa-laskennalla.  Työn tuloksena esitän kehittämissuositusten alueen keskijänniteverkon saneeraukseen.					
<b>Asiasanat (avainsanat)</b>					
<b>Sivumäärä</b>  41	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"><b>Kieli</b></td> <td style="width: 50%;"><b>URN</b></td> </tr> <tr> <td>Suomi</td> <td></td> </tr> </table>	<b>Kieli</b>	<b>URN</b>	Suomi	
<b>Kieli</b>	<b>URN</b>				
Suomi					
<b>Huomautus (huomautukset liitteistä)</b>					
<b>Ohjaavan opettajan nimi</b>  Juha Korpijärvi	<b>Opinnäytetyön toimeksiantaja</b>  Järvi-Suomen Energia Oy				

## DESCRIPTION

 <p><b>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU</b> Mikkeli University of Applied Sciences</p>		<b>Date of the bachelor's thesis</b>	
<b>Author(s)</b> Tomi Hokkanen		<b>Degree programme and option</b> Degree programme in Electrical engineering Bachelor of Electrical engineering	
<b>Name of the bachelor's thesis</b> Exploratory work of Vaajakoski distribution grid for Järvi-Suomen Energia Oy			
<b>Abstract</b> <p>The purpose of this thesis was to examine condition of electrical distribution grid in Vaajakoski. The grid has been built around the local hydropower station. Repairs have been to network but there are still over 50-year-old components in the grid. In this thesis I sort out current status of the network and what should be done to maintain the network.</p> <p>The theory part of my thesis deals with the planning process of electrical distribution grid. I found out what things should be paid attention to in the planning process. Nowadays reliability of distribution is one of the most important planning criterions. The thesis examines how reliability of distribution can be improved and how reliability is controlled by authorities.</p> <p>In my own planning process I made plans about how current medium voltage overhead lines could be replaced with cables. Main focus is on overhead lines that go over Varassaari area. There are plans for renovations for the highway in the Vaajakoski area. In my theses I found out how road renovations will affect the electrical network. I also consider how the road structures could be utilized in the cabling process.</p> <p>In some parts of network there is 3 kV voltage level. This rare voltage level brings many difficulties for the grid maintenance and planning. In my thesis I make a plan about how 3 kV voltage level could be replaced with 20 kV voltage level.</p> <p>Main tools in my planning process are modern network information systems. I will also use new LuoVa software in my planning process.</p> <p>As a result, I have a proposal how medium voltage distribution grid could be renovated.</p>			
<b>Subject headings, (keywords)</b>			
<b>Pages</b> 41	<b>Language</b> Finnish	<b>URN</b>	
<b>Remarks, notes on appendices</b>			
<b>Tutor</b> Juha Korpijärvi		<b>Bachelor's thesis assigned by</b> Järvi-Suomen Energia Oy	

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	1
2	TOIMEKSIANTAJAN ESITTELY.....	1
3	KESKIJÄNNITEVERKON YLEISSUUNNITTELU.....	2
3.1	Suunnitelman rakenne .....	3
3.1.1	Nykytilan selvitys .....	4
3.1.2	Sähkönjakelulle asetettavat tavoitteet.....	4
3.1.3	Toimenpide-ehdotuksen teko.....	6
4	SÄHKÖNJAKELUN LUOTETTAVUUDEN PARANTAMINEN .....	6
4.1	Verkostostrategia .....	7
4.2	Toimitusvarmuuskriteeristö.....	7
4.3	Luotettavuuslaskenta .....	8
4.4	Käyttövarmuutta parantavia tekniikoita .....	9
4.4.1	Kaapelointi.....	9
4.4.2	Päällystetty avojohto (PAS).....	10
4.4.3	Maastokatkaisija .....	10
5	VERKKOTIETOJÄRJESTELMÄT .....	10
5.1	PowerGrid.....	11
5.2	Luova .....	11
6	VAAJAKOSKEN ALUEEN VERKOSTON NYKYTILA.....	12
6.1	Voimalaitos.....	12
6.2	Keskijänniteverkon rakenne .....	13
6.3	Sähköasema .....	14
6.3.1	Johtolähdöt.....	15
6.4	Varassaaren alue .....	18
6.5	3 kV: 5302 Naulatehdas – 5301 Ammattikoulu .....	21
6.6	Dokumentoinnin virheet .....	24
6.6.1	Virhe: Voimalaitoksen kaaviokuva.....	24
6.6.2	Virhe: Naulatehtaan muuntamon kaaviokuva.....	24
6.7	Vt4 vaikutukset verkostoon .....	27
7	KEHITETTÄVÄT KOHTEET JA KORJAUSEHDOTUKSET.....	29
7.1	Keskijänniteverkon kaapelointi .....	29

7.1.1	Varassaaren ylittävien johtojen saneeraus .....	29
7.1.2	Muuntamo 6107 Sotkunlahti.....	31
7.1.3	Tölskän ilmajohto-osuus.....	32
7.2	3kV:n verkon korvaaminen 20 kV:lla .....	34
7.2.1	Varassaari.....	34
7.2.2	Naulatehdas .....	35
8	KUSTANNUSLASKELMA.....	36
8.1	Purettava verkko .....	36
8.2	Rakennettava verkko .....	37
9	LUOVALASKENTA.....	38
10	PÄÄTÄNTÄ .....	39
	LÄHTEET.....	41

## **1 JOHDANTO**

Opinnäytetyöni tavoitteena on tehdä yleissuunnitelma Vaajakosken alueen keskijännitesähköverkosta Järvi-Suomen Energia Oy:n verkostosuunnittelun avuksi. Suur-Savon Sähkö Oy omistaa Vaajakosken alueella vesivoimalaitoksen ja sähköverkon, joka syöttää sähköä pääosin vanhoihin teollisuuskiinteistöihin. Alueen keskijänniteverkko on vanhimmillaan yli 50 vuotta vanhaa ja alkaa olla käyttöikänsä lopussa.

Työni ensimmäisessä vaiheessa selvitän verkoston nykytilan ja tarkastan samalla saatavilla olevan dokumentoinnin todenmukaisuuden. Nykytilan selvityksessä käytän apunani verkkotietojärjestelmiä ja muuta verkostosta saatavaa dokumentointia sekä käyn tutustumassa alueeseen paikan päällä. Nykytilan määrittämisen perusteella teen selvityksen kehitettävistä kohteista. Kehittämistarpeiden perusteella tehdään verkoston kehittämisehdotus. Ensisijainen tavoite on korvata mahdollisimman suuri osa keskijänniteilmajohdoista maakaapeleilla.

Vaajakosken alueen läpi kulkevaan valtatie neljään on suunnitteilla parannustöitä tulevaisuudessa. Sähköverkon suunnitelmassa pyrin selvittämään mahdollisuuksien mukaan Vt4:n muutosten vaikutuksia ja hyödyntämistä sähköratkaisuissa.

Oman erityispiirteensä tähän työhön antaa osassa alueen sähköverkkoa käytössä oleva 3 kV:n jännitetaso. Työssä tutkin kuinka 3 kV:n jännitetason voisi korvata 20 kV:lla. Merkittävimmät muutokset tulevat olemaan Varassaaren alueen sähköverkossa.

## **2 TOIMEKSIANTAJAN ESITTELY**

Suur-Savon Sähkö Oy on energiayhtiö, joka on huolehtinut yli 60 vuoden ajan Järvi-Suomen alueen energian hankinnasta, tuotannosta ja jakelusta. Vuonna 1946 perustetulla yhtiöllä on ollut suuri merkitys Päijänteen itäpuolisen alueen sähköistyksessä.

Suur-Savon Sähkö yhtiöiden toiminnot on jaettu viiteen liiketoiminta-alueeseen vuoden 1995 toteutetun uudelleen organisoinnin seurauksena. Suur-Savon Sähkö Oy on konsernin emoyhtiö, johon kuuluu sähkö-, lämpö- ja konsernipalvelut. /5./ Se omistaa

valtaosan konsernin omaisuudesta johon kuuluu sähkö- ja lämpöverkot sekä toimitilat ja muut kiinteistöt.

Järvi-Suomen Energia Oy on Suur-Savon Sähkö Oy:n tytäryhtiö ja varsinainen työni toimeksiantaja. Se huolehtii emoyhtiöltä vuokratusta verkosta, jonka jakelupiiriin kuuluu lähes 100 000 taloutta. Verkkoyhtiönä se vastaa yli 25 000 kilometrin mittaisen sähköverkokoston suunnittelusta, rakennuttamisesta, käytöstä ja kunnossapidosta. Järvi-Suomen Energia Oy sopii myös sähköliittymien kaupat toimialueellaan.

Suur-Savon Sähkötyö Oy on konsernin verkoston rakentamisesta ja korjaustoimista vastaava yritys. Se on asiakkaille näkyvin osa konsernia. Suur-Savon Sähkötyö Oy:n pääasiakas on Järvi-Suomen Energia Oy.

Lisäksi konserniin kuuluvat Etelä-Savon Vesi Oy, Järvi-Suomen Vesi Oy, Kerienergia Oy, Punkavoima Oy ja Hartolan Lämpö Oy. /4./



**KUVA 1. Konsernin rakenne /4/**

### **3 KESKIJÄNNITEVERKON YLEISSUUNNITTELU**

Sähkönjakelun tavoitteena on siirtää sähköenergiaa tuotantolaitoksista kuluttajille mahdollisimman tehokkaasti ja luotettavasti. Teknisesti tämä olisi helposti toteutettavissa, mutta koska toiminnan on oltava myös taloudellista, joudutaan tehokkuudessa

tyytymään tiettyyn tasoon. Tehokkuuden, luotettavuuden ja taloudellisuuden lisäksi jakeluverkkojen on täytettävä turvallisuusvaatimukset.

Sähköverkkojen suunnittelussa tavoitteena on ylläpitää ja kehittää verkostoa vastaamaan sähköenergiatarpeita. Sähkönjakeluverkkojen komponenttien teknistaloudelliset käyttöajat ovat yleensä pitkiä, jopa 30–50 vuotta /1/. Tämän takia suunnittelussa on otettava huomioon tulevaisuuden energiatarve. Tulevaisuuden sähkönkulutusta on kuitenkin vaikea tarkasti ennustaa, joten suunnitelmia ja sähköverkon tilaa pitää seurata koko sen käyttöajan ajan. Sähkönkulutus on nykyisin yleensä kasvusuuntaista, mutta joillain alueilla kulutus voi myös pienentyä ja kulutuspaikat vaihtaa paikkaa. Nämä yhdessä yleistyneen kaapelointitekniikan kanssa tekevät suunnittelutehtävästä erittäin haasteellista.

Pienjänniteverkot voidaan yleensä rakentaa kerralla suunnitteluajanjakson loppuhetken kuormitusten ja reunaehtojen mukaisiksi. Keskijänniteverkkojen rakentamisessa joudutaan tilannetta pohtimaan laajemmin. Yksikkökustannuksiltaan keskijänniteverkon rakentaminen on kallista. Koska verkkoon tehdyt investoinnit vaikuttavat voimakkaasti myös muiden verkoston osien kehitystarpeeseen, joudutaan keskijänniteverkkojen rakentamisessa pohtimaan mitä, missä ja milloin kehitetään. /1./

Nykyisin keskijänniteverkkojen suunnittelu keskittyy olemassa olevan verkon saneeraus- ja laajennus- ja täysin uusien keskijänniteverkkojen rakentamiseen on pääosin loppunut. /1./

### **3.1 Suunnitelman rakenne**

Yleissuunnitelman toteutus voidaan jakaa karkeasti kolmeen osaan:

1. Verkoston nykyhetken sähköisen ja mekaanisen tilan selvitys
2. Suunniteltavalle kohteelle asetettavat tavoitteet
3. Toimenpide-ehdotuksen teko.



### 3.1.1 Nykytilan selvitys

Suunniteltavan verkon lähtötietojen kunnollinen tunteminen helpottaa yleissuunnittelua monin tavoin. Kun alkutilanne ja tavoiteverkko tiedetään, voidaan helpommin arvioida verkon vahvistuksesta koituvia kustannuksia. Olennaisia asioita nykytilan selvityksessä on selvittää mm. verkon vikavirtasuojauksen ja muiden suojausmääräysten toteutuminen, teho- ja energiahäviöt, jännitteenalenemat ja komponenttien mekaaninen kunto. /3./

Vikavirtojen arvot on syytä selvittää verkoston turvallisuuden kannalta. Verkko- ja päämuuntajätiedoilla voidaan laskea verkon eri osien oikosulku- ja maasulkuvirrat. Oikosulkulaskennassa on syytä huomioida pitkät johtohaarat. Niissä oikosulkuvirta voi olla niin heikko, ettei suojaus toimi. /3./

Taloudellisuuden kannalta verkostosta kannattaa selvittää teho- ja energiahäviöt. Edellä mainitut ovat riippuvaisia verkon kuormituksesta. Kuormituksesta riippuvainen on myös jännitteenalenema. /3./

Verkon mekaanisen kunnan selvittäminen on olennaista nykytilanselvityksessä. Esimerkiksi, jos pylvästys on rakenteellisesti heikko, joudutaan verkko saneeraamaan vaikka se muutoin täyttäisi vaaditut arvot.

### 3.1.2 Sähkönjakelulle asetettavat tavoitteet

Keskeinen tavoite sähkönjakelussa on taloudellisuus. Tämä tarkoittaa että kokonaiskustannukset pyritään minimoimaan. Sähkönjakelussa syntyviä kustannuksia ovat investointi-, häviö-, keskeytys- ja ylläpitokustannukset. Suunnitteluvaiheessa tavoitteena on löytää ratkaisu jolla kokonaiskustannukset pitkällä aikavälillä ovat mahdollisimman pienet. Matemaattisesti tilanne voidaan esittää seuraavalla kaavalla.

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

$K_{inv}(t)$  =investointikustannukset ajanhetkenä  $t$

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

Lähde: /2/.

Taloudellisuutta rajoittavat muut sähköverkolle asetettavat tavoitteet ja tekniset reunaehdot. Näitä ovat johtimien terminen kestoisuus ja oikosulkukestoisuus, verkoissa sallittavat jännitteenalenemat, käyttövarmuusvaatimukset, vikavirtasuojauksen toimivuus sekä sähköturvallisuussäännösten täytyminen.

Verkostokomponenttien elinikään vaikuttavat voimakkaasti niiden terminen kuormitus. Sähköturvallisuuteen liittyvissä määräyksissä on ohjeet johtojen suurimmista sallituista kuormituksista erityyppisissä asennusolosuhteissa. Kuormitusrajoja on syytä noudattaa tarkasti. Johtimien eliniän lyhenemisen lisäksi kuormitusrajan ylitys voi esimerkiksi aiheuttaa sisäasennuksissa tulipalovaaran. Kuormitusrajat on muistettava ottaa huomioon myös varasyöttötilanteissa, jolloin osassa verkkoa voi siirtyä normaalia suurempia tehoja.

Viranomaiset asettavat omat määräyksensä sähkönjakelun turvallisuudelle. Tärkeimpiä näistä ovat kosketusjännitesuojaukseen ja oikosulkukestoisuuteen liittyvät määräykset sekä maasulkusuojausvaatimukset. Turvallisuuteen liittyvät määräykset asettavat suunnittelulle tiukimmat vaadittavat rajat.

Jännitteenaleneman määrittelyssä noudatetaan Suomessa sähkön laatustandardia SFS-EN 50190 ja alan itsensä määrittämiä ohjeita. Normaalisissa käyttötilanteissa vaihejännitteen ei tulisi vaihdella asiakkaan ja sähköyhtiön liittymiskohdassa enempää kuin 230 V +6/-10 % eli suurin vaihteluväli on 207–244 V. /2./

Sähkönjakelun luotettavuuden arvostuksen kasvu on lisännyt käyttövarmuuden merkitystä suunnittelussa. Käyttövarmuuteen vaikuttavat erilaiset sähköntoimituksessa esiintyvät keskeytykset. Keskeytykset voidaan jakaa suunniteltuihin ja häiriökeskeytyksiin. Keskeytyksistä aiheutuvia haittoja voidaan kuvata numeerisesti KAH-arvoilla. Luotettavuus liittyy osittain myös taloudellisuuteen, koska esimerkiksi pitkistä katkoista verkonhaltijan on maksettava sähkökäyttäjälle hyvitystä.

Verkoston nykytilan selvitystä helpottavat nykyiset verkkotietojärjestelmät joihin on tallennettu verkoston tiedot. Verkkotietojärjestelmillä voidaan luoda verkkokartta jossa näkyvät johtoreitit ja verkon tiedot. Verkkotietojärjestelmät pystyvät suorittamaan hetkessä monimutkaisia verkostolaskelmia joiden käsin laskeminen veisi paljon aikaa.

### **3.1.3 Toimenpide-ehdotuksen teko**

Suunnittelun kolmannessa vaiheessa tehdään toimenpide-ehdotus korjattaville kohteille. Useampaa vaihtoehtoa vertaillessa on huomioitava että jokaisen vaihtoehdon on täytettävä jakeluverkolle asetettavat vaatimukset. Lisäksi pitää vertailla eri vaihtoehtojen kustannuksia. Vaihtoehdoista valitaan vaatimusten täyttävä ja kustannuksiltaan sopiva vaihtoehto.

## **4 SÄHKÖNJAKELUN LUOTETTAVUUDEN PARANTAMINEN**

Sähkönjakelun luotettavuus muodostuu verkon käyttövarmuudesta ja verkon luotettavuudesta. Sähköverkon käyttövarmuus kuvaa verkolle asetettujen toiminnallisuuksien toteutettavuutta, eli järjestelmän käytettävyyttä. Sähköverkon luotettavuus kuvaa näiden toiminnallisuuksien toteutumisen todennäköisyyttä, eli järjestelmän toimintavarmuutta. /10./

Sähkönjakeluverkon käyttövarmuutta voidaan parantaa sekä verkkoteknisin että organisatorisin toimin. Sähkönjakeluverkon luotettavuuden parantaminen puolestaan edellyttää joko verkostoinvestointeja tai kunnossapidon lisäämistä. Karkeasti jakaen voidaan ajatella, että verkon luotettavuus paranee vikojen määrää pienentämällä ja käyttövarmuus paranee vikojen vaikutusalueen tehokkaalla rajauksella. /10./

Verkon luotettavuutta parannetaan esimerkiksi vaihtamalla ilmajohtoja maakaapeleiksi, siirtämällä johtoja pois metsäisiltä alueilta teiden varsille sekä korvaamalla avojohdot päällystetyillä johdoilla. Verkon käyttövarmuutta voidaan edellisten toimien lisäksi parantaa edelleen lisäämällä verkoston automaatiota, lisäämällä rengasyhteyksiä, lisäämällä suojausalueita sekä tehostamalla vianrajaus- ja korjausorganisaation toimintaa. /10./

## 4.1 Verkostostrategia

Suur-Savon Sähkössä on tehty verkostostrategia vuoteen 2030 asti. Tärkein tavoite strategiassa on parantaa sähkönjakelun luotettavuutta mahdollisimman kustannustehokkaasti. Strategian tarkastelujakso vuoteen 2030 saakka on voimakasta vanhenevan verkon saneerauksen aikaa. Vuoteen 2030 mennessä keskijänniteverkosta on uusittava suurin osa. /11./

Strategian tavoitteena on käyttää olemassa oleva pylvästys pitoajan loppuun saakka. Yksittäisten huonokuntoisten pylväiden pitoaikaa jatketaan juuritukemalla tai uusimalla ne käytetyillä pylväillä. Tällä hetkellä verkon uusiminen on ajankohtaista, jos kolmannes pylväistä on huonokuntoisia. /11./

Rakenneratkaisuissa jakeluverkoja siirretään yhä enemmän ilmajohtotekniikasta kaapelitekniikkaan ja johtoreittejä siirretään tienvarsiin ja uusiin kulutuskeskittyymiin. Keskijänniteverkon rakenne toteutetaan siten, että se sisältää rengassyöttömahdollisuuksia erityisesti jos käytetään kaapelitekniikkaa. Taajamien keskijänniteverkko uudistetaan kaapeliratkaisuun. Haja-asutusalueelle keskijänniteverkon kaapelointiin ja päällystetyn johdon käyttöön vaikuttaa johtolähdön teho ja sijainti. Haja-asutusalueella keskijänniteverkko on pääsääntöisesti ilmajohtoa. /11./

## 4.2 Toimitusvarmuuskriteeristö

Tulevaisuuden jakeluverkon suunnitteluperusteiksi ja verkonkehittämisen työkaluksi on kehitetty toimitusvarmuuskriteeristö. Niiden pohjalta verkkoyhtiöt voivat laatia omat asiakaslupauksensa. Toimitusvarmuuskriteeristössä määritellään kuinka pitkät kokonaiskeskeytysajat ja kuinka paljon lyhyitä keskeytyksiä (< 3min) sähkönjakeluverkossa saa olla vuodessa. Jakeluverkolla tarkoitetaan tässä yhteydessä sähköasemien, keskijänniteverkkojen ja pienjänniteverkkojen muodostamaa kokonaisuutta. Siirtymäajaksi kriteeristön käyttöönottoon on suunniteltu aikaväliä 2012–2020. Kriteeristön tavoitearvot koskevat vuotta 2020. /9./

Lappeenrannan teknillisen yliopiston LUT Energia laitos ja Tampereen teknillisen yliopiston Sähköenergiatekniikan laitos ovat tehneet tutkimustyön Energiateollisuus ry:n tilaamaan ”Sähkönjakelun toimitusvarmuuden kriteeristö ja tavoitetasot” -

projektiin. Tutkimustyön tuloksena on annettu ehdotus toimitusvarmuuskriteeristöksi. Seuraavassa on esitetty ehdotuksessa määritellyt tavoitetasot ja aluejaot.

Kriteeristö pohjautuu aluejaotteluun. Alueita ovat city, taajama ja maaseutu. Asiakkaat määritellään kuuluvaksi johonkin näistä kolmesta alueesta. Alueiden määrittelyyn käytetään CLC- aineistoa. CLC (Corine Land Cover) -aineisto kuvaa Suomen maankäyttöä ja maanpeitettä. Toimitusvarmuuskriteeristön tavoitetasot city-, taajama- ja maaseutualueilla on esitetty taulukossa 1.

**TAULUKKO 1 Toimitusvarmuuskriteeristö /10/**

Alue	City	Taajama	Maaseutu
Kokonaiskeskeytysaika	Enintään 1 h/a	Enintään 3 h/a	Enintään 6 h/a
Lyhyiden keskeytysten (<3min) määrä	Ei lyhyitä katkoja	Enintään 10 kpl/a	Enintään 60 kpl/a

Tavoitetasoja käytettäessä verkoston suunnittelukriteereinä periaatteena on käyttää kolmen vuoden aikajaksoa, jolloin sallittaisiin yksi tavoitearvojen ylitys. Tämän perusteella erityisen vaikean yksittäisen vian tai laajan suurhäiriön aiheuttama pitkä keskeytys on sallittu kerran kolmessa vuodessa yksittäisen asiakkaan näkökulmasta, mutta normaalin tilanteen mukaiset tapahtumat eivät yksittäisen asiakkaan näkökulmasta saa johtaa tavoitearvojen ylittymiseen. Esimerkiksi jakelumuuntajan vauriosta aiheutuu usein yli 3 tuntia kestävä keskeytys, mutta tällainen tilanne tapahtuu normaalisti harvoin samalle asiakkaalle. /10./

### 4.3 Luotettavuuslaskenta

Edellä mainitun toimitusvarmuuskriteeristön asettamien vaatimusten toteutumista voidaan seurata verkkoyhtiöiden tilastoista joissa näkyvät asiakaskohtaiset keskeytysmäärät ja -ajat. Nykyisillä luotettavuuslaskentaohjelmilla voidaan kuitenkin tehdä vastaavanlaisia tilastointeja niin vanhoille kuin suunniteltavillekin verkoille. Näillä ohjelmilla on mahdollista tarkastella asiakas- ja muuntopiirikohtaisia keskimääräisiä keskeytysmääriä ja -aikoja. Laskelmia voidaan myös vertailla toteutuneisiin tilastoihin.

Seuraavassa esiteltävät kansainvälisesti yleisesti käytössä olevat IEEE 1366–2001 standardin mukaiset tunnusluvut luovat luetettavuuslaskennan perustan. Nämä tunnusluvut ovat:

- SAIFI (System Average Interruption Frequency Index), keskeytysten keskimääräinen lukumäärä tietyllä aikavälillä
- SAIDI (System Average Interruption Duration Index), keskeytysten keskimääräinen yhteenlaskettu kestoaika tietyllä aikavälillä
- CAIDI (Customer Average Interruption Duration Index), keskeytysten keskipituus tietyllä aikavälillä
- MAIFI (Momentary Average Interruption Frequency Index), lyhyiden < 3 min. toimitus katkojen keskimääräinen määrä/asiakas,a

Nämä tunnusluvut ovat käytössä laajalti ympäri maailman. /10./

#### **4.4 Käyttövarmuutta parantavia tekniikoita**

Tässä työssä huomio kiinnittyy erityisesti Vaajakosken alueen vanhojen keskijännite-ilmajohtojen saneeraukseen. Verkostostrategian mukaisesti päätavoitteena on korvata kaikki Vaajakosken alueen kj-ilmajohtot maakaapeleilla. Seuraavassa tutustutaan kuitenkin myös muutamiin muihin käyttövarmuutta parantaviin tekniikoihin joita mahdollisesti voidaan hyödyntää alueen saneerauksessa.

##### **4.4.1 Kaapelointi**

Kaapeloinnilla voidaan yleensä parantaa verkon käyttövarmuutta. Vikataajuus pienenee käyttäessä kaapelointia. Ohimeneviä vikoja kaapeliverkossa ei yleensä esiinny. Vikojen tarkka paikallistaminen ja korjaaminen sen sijaan hidastuvat. Pitkien korjausaikojen takia kaapeliverkoissa on huomioitava varasyöttöyhteydet. Kaapeloinnin muunneltavuus on hankalampaa ja kalliimpaa kuin ilmajohtoverkkojen. /2./

Sähköteknisesti maakaapeleissa on huomioitava niiden ilmajohtoihin verrattuna suurempi kapasitanssi pituusyksikköä kohden. Tällä on vaikutusta verkon loistehotaseeseen. Lisäksi se saattaa vaikeuttaa erottimien käyttöä tyhjäkäyvässäkin kaapeliverkossa. Suuremman maakapasitanssin merkittävin haittavaikutus on kasvavat maasulkuvir-

rat. Kaapeliverkossa esiintyvät maasulkuvirrat voivat olla suuruusluokaltaan 50-kertaisia verrattuna yhtä laajaan avojohtoverkkoon. /3./

#### **4.4.2 Päälystetty avojohto (PAS)**

Keskijänniteverkoissa on käytössä päälystettyjä avojohtoja, ns. PAS-johtoja. PAS-johtimissa eristettä on johtimen pinnalla sen verran, että johtimien hetkellinen kosketus toisiinsa ei aiheuta läpilyöntiä. Vastaavasti puu voi nojata johtimelle useita päiviä tekemättä vikaa. Eristysrakenteen takia avojohdon vaiheväli voi olla tavallista ilmajohtoa pienempi, jolloin voidaan käyttää normaalia kapeampaa johtokatua. Johdolle lentävät risut tai linnut eivät yleensä aiheuta vikoja, joten käyttövarmuus on avojohtoa parempi.

PAS-johdolle kaatunut tai taipunut puu voi aiheuttaa vaaratilanteen. Eristeen takia taipunut puu aiheuttaa ajan myötä suuri-impedanssisen maasulun, jota maasulun suojalaitteet eivät helposti havaitse. Askel ja kosketusjännitteet voivat kuitenkin olla hengenvaarallisella tasolla vikapaikan lähellä. Normaaliin avojohtoon verrattuna PAS-johdot ovat investointikustannuksiltaan noin 30 % kalliimpia. /10./

#### **4.4.3 Maastokatkaisija**

Maastoon sijoitettavalla katkaisijalla voidaan parantaa verkon käyttövarmuutta lisäämällä suojausalueiden määrää. Vikojen määrä ja kokonaiskesto vähenee yksittäisen sähkökäyttäjän näkökulmasta. Maastokatkaisijalla saavutettavat hyödyt riippuvat katkaisijan perässä olevan verkon pituudesta ja katkaisijaa ennen olevien asiakkaiden määrästä ja tyypistä. Ennen katkaisijaa oleville asiakkaille ei aiheudu keskeytystä katkaisijan takana tapahtuvissa vioissa. /10./

## **5 VERKKOTIETOJÄRJESTELMÄT**

Tätä työtä tehdessä tärkeimmät työkaluni ovat verkkotietojärjestelmät. Verkkotietojärjestelmä on välttämätön työkalu sähköverkkoliiketoiminnassa. Verkkotietojärjestelmä helpottaa verkon suunnittelua ja ylläpitoa. Sitä käytetään verkkoyhtiössä päivittäin.

Verkkotietojärjestelmien päätoimintoja ovat verkkotietojen hallinta, suunnittelu, laskenta, tilastointi ja raportointi.

Nykyiset verkkotietojärjestelmät ovat graafisia tietokantaperusteisia järjestelmiä. Järjestelmän tietokantaan on tallennettu verkon sijaintitiedot sekä komponenttien tekniset ja taloudelliset tiedot. Tietokantaan tallennetuista verkon tiedoista voidaan luoda graafinen esitys maastokarttapohjalle.

Verkkoyhtiöt joutuvat keräämään, tuottamaan ja varastoimaan paljon tietoa. Yhtiöllä on myös käytössään useita eri järjestelmiä joihin tieto on tallennettu. Usein näiden eri järjestelmien on pystyttävä kommunikoimaan keskenään.

## **5.1 PowerGrid**

PowerGrid (PG) on Tieto Oy:n (entinen TietoEnator) valmistama verkkotietojärjestelmä joka on laajasti käytössä suomalaisissa verkkoyhtiöissä. Järvi-Suomen Energia Oy on käyttänyt tätä järjestelmää vuodesta 2004 lähtien. Ohjelman rakenne koostuu useista moduuleista, joista voidaan koota verkkoyhtiöille yksilöllisten tarpeiden mukainen paketti. Verkkoyhtiöiden olemassa olevia järjestelmiä voidaan myös hyödyntää järjestelmiä integroimalla. PowerGrid sisältää työkalut mm. suunnitteluun, dokumentointiin, maastosuunnitteluun, kunnonhallintaan, sopimustenhallintaan sekä verkon laskentaan ja raportointiin. Järjestelmä perustuu Smallworldin kehittämään GIS-järjestelmään, joka mahdollistaa karttojen käytön verkon suunnittelussa ja hallinnassa.

/7./

Työssäni käytin PowerGrid verkkotietojärjestelmää verkostanalyysiin. Järjestelmän avulla selvitin verkoston tehonjakautumiset, jännitteenalenemat, ylikuormitukset sekä oiko- ja maasulkulaskennat.

## **5.2 Luova**

PG:llä ja vastaavilla verkkotietojärjestelmillä ei pystytä arviomaan suunnitteluvaiheessa jakeluverkon luetettavuutta. Luetettavuusvaatimuksien kiristyessä on kuitenkin entistä tärkeämpää, että verkkoyhtiöt voivat arvioida suunniteltavien verkkojen luotettavuutta. Vuonna 2002 käynnistettiin useiden verkkoyhtiöiden ja tietojärjestelmätoi-



mittajien yhteistyöllä tutkimusprojekti, jonka tavoitteena oli kehittää ohjelmistosovellus luotettavuuspohjaiseen verkostanalyysiin. Projektin tuloksena syntyi LuoVa-prototyypiohjelmisto (Luotettavuuspohjainen verkostanalyysi). LuoVan tärkeimpiä toimintoja ovat vikataajuusmallien parametointi, luotettavuus- ja kuoppalaskenta sekä tulosten esittäminen graafisessa muodossa. /6./

JSE:llä on käytössään Tieto Finland Oy:n kehittämä PowerGrid RAT LuoVa-ohjelma. RAT toimii Esri Finlandin ArcMap ohjelman sisällä.

## 6 VAAJAKOSKEN ALUEEN VERKOSTON NYKYTILA

Vaajakosken alueen sähköverkko on maantieteellisesti irrallaan muusta Suur-Savon Sähkön verkosta. Tämä näkyy hyvin kuvassa 2 olevassa kartassa. Suur-Savon Sähkön toimialueen rajat näkyvät kartassa violetilla viivalla. Sähköverkkoa alueella on kaikkiaan 21,1 km.



**KUVA 2 Vaajakosken maantieteellinen sijainti /12/**

### 6.1 Voimalaitos

Suur-Savon Sähkö Oy osti Vaajakosken vesivoimalaitoksen SOK:lta vuonna 1984. Kauppa mahdollisti yhtiön oman sähköntuotannon aloittamisen. 1940-luvun alussa

rakennettu Vaajakosken vesivoimalaitos sijaitsee Leppäveden ja Päijänteen välisessä Naiskoskessa. Voimalaitoksen sähköteho on noin 3,5 MW ja vuosienergiatuotanto on noin 20 000 MWh. Harvinaiseksi voimalaitoksen tekee sen suuri vedenottokapasiteetti verrattuna veden matalaan korkeuseroon. Korkeusero on parhaimmillaan vain kaksi metriä. Vastaavanlaisia voimalaitoksia on Suomessa vain neljä kappaletta.

Voimalaitoksen koneistot ja patoluukut on automatisoitu 1990-luvun alussa. Samalla on tehty perusparannustöitä joista tärkeimpiä olivat 3 kV ja 20 kV kojeistojen uusinta sekä omakäyttö- ja tasasähköjärjestelmiin tehdyt muutokset ja lisäykset. /5./



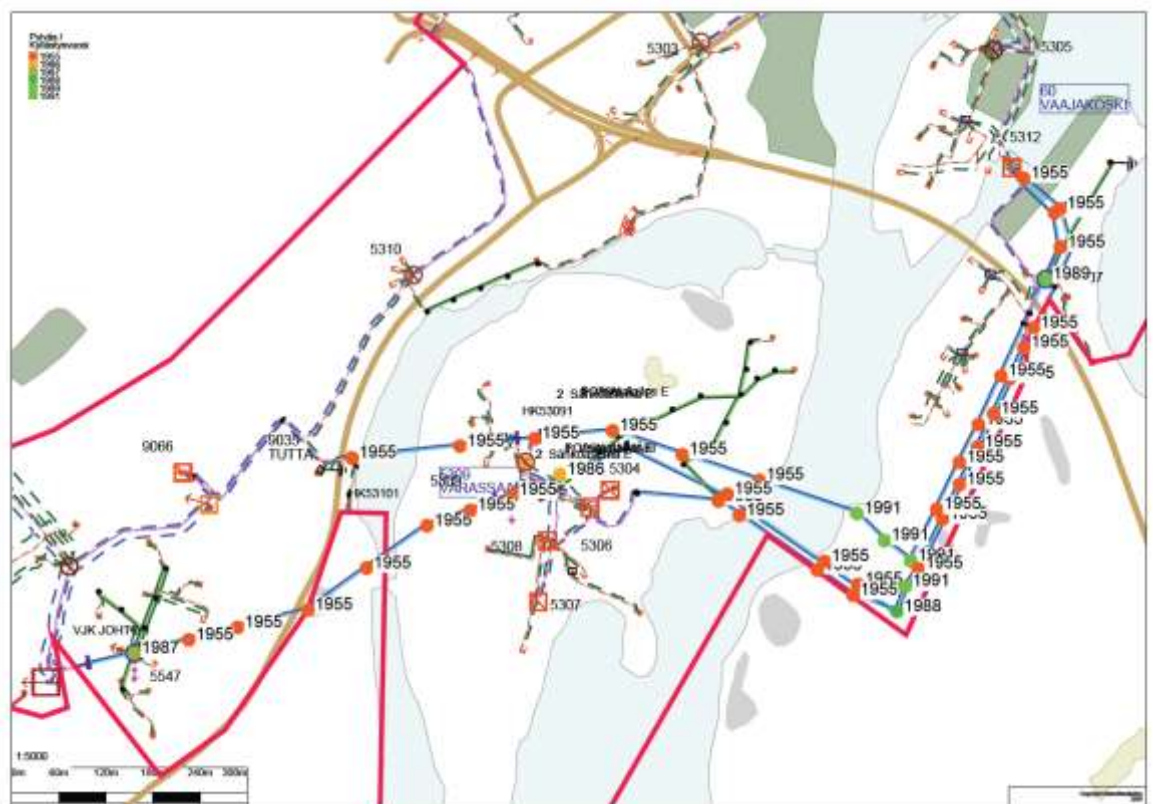
**KUVA 3 Vesivoimalaitos /13/**

## **6.2 Keskijänniteverkon rakenne**

Jakelualueen 20kV:n keskijännitejohtojen kokonaispituus on noin 7,7 km ja pienjännitejohtojen noin 11,6 km. Keskijänniteverkosta maakaapeleita on noin 4,3 km ja ilmajohtoja 3,3 km. Pienjänniteverkosta maakaapeleita on noin 9,7 km ja ilmajohtoja noin 1,9 km. Alueella käytössä olevan 3 kV jännitetason kokonaispituus on noin 1,8 km. Tämän 3 kV:n korvaamista muilla järjestelmillä käsittelen myöhemmin tässä työssä.

Alueella on 20 muuntamoita, joista kaksi on puistomuuntamoita, kolme pylväsmuuntamoita ja viisi tornimuuntamoita. Lisäksi kahdeksan muuntamoita sijaitsee kiinteistöjen sisällä. Asiakkaiden omistamia muuntamoita on kaksi. Liittymiä alueella on 217 kpl.

Kuvassa 4 on teemakartta pylväiden kyllästysvuosista. Kartassa näkyy ainoastaan niiden pylväiden kyllästysvuosi joiden tiedot on kerätty ja tallennettu järjestelmään. Esimerkiksi naulatehtaan alueen pylväiden kyllästysvuosia ei ole tiedossa. Kuvasta nähdään että suurin osa pylväistä on kyllästetty vuonna 1955. Alueen pylvästys on täten jo yli 55 vuotta vanhaa. 20 kV:n ilmajohtorakenteiden teknis-taloudellinen pitoaika on noin 30–45 vuotta /2/. Voidaan siis todeta että keskijänniteverkko on ylittänyt teknis-taloudellisen pitoajan. Puupylväiden käyttöikä voi hyvissä olosuhteissa olla jopa yli 60 vuotta. Käyttöikään vaikuttavat käytetty kyllästysaine ja maa-aines johon pylväs on asennettu.



**KUVA 4. Pylväiden kyllästysvuodet teemakarttana /12/**

### 6.3 Sähköasema

Sähköasema sijaitsee alueen lounaisreunassa. Asemaa syötetään yhdellä etelän suunnasta tulevalla 110 kV johtohaaralla. Asemalle tulee myös 20 kV:n syöttö voimalaitokselta. Päämuuntajana toimii yksi 16 MVA muuntaja. Asemalla on viisi 20 kV:n johtolähtöä, joista yksi on edellä mainittu yhteys voimalaitokselle. Lisäksi yksi lähdöstä on varalla.



**Kuva 5 Sähköasemalla on yksi 16kVA:n muuntaja. KytKentäkentällä on varattu tilaa toiselle päämuuntajalle.**

### 6.3.1 Johtolähdöt

Seuraavissa kohdissa käsitellään tarkemmin käytössä olevia neljää johtolähtöä.

#### *Lähtö 1*

Johtolähtö yksi on yhteys sähköaseman ja voimalaitoksen välillä. Johtolähdöllä on muuntamot 5547 Kalarintie ja 5313 Vesisoimalaitos. Muuntamoilla ei ole maastokatkaisijoita. Johto kulkee lyhyen matkan maakaapelina sähköaseman lähellä ja nousee ilmajohtoksi Sahatien kohdalla. Ilmajohtona on Pigeon, ja johdon reitti kulkee Varassaaren ja Hupelin kautta voimalaitoksen itäpuolelle. Varassaassa johdolla on Poikkalanmäen erotinasema. Erotinaseman kautta on mahdollista syöttää Varassaassa olevaan 20/3 kV:n sähköasemaan.

#### *Lähtö 2*

Johtolähtö kaksi kulkee Varassaaren kautta voimalaitokselle. Johtoreitti kulkee maakaapelina Sammallahten teollisuusalueella syöttäen muuntamoita 5311 Sammallahti 2 ja 9066 Kalustetehdas. Muuntamoilla 5211 ja 9066 ei ole maastokatkaisijoita. Haapaniementien kohdalla johto nousee ilmajohtoksi ylittäen vesistön. Varassaassa lähtö syöttää viittä muuntamoita, joista neljässä käytetään 3 kV:n jännitettä. Johdolla on



Poikkalan erotinasema, josta menee syöttö Varassaassa olevaan 20/3 kV:n sähköasemaan. Varassaaren 3 kV:n verkkoa käsitellään tarkemmin kohdassa 6.4. Ilmajohto jatkuu Hupelin kautta voimalaitoksen itäpuolelle. Hupelissa johtolähtö syöttää muuntamo 6107 Sotkulahti. Muuntamolla 6107 ei ole maastokatkaisijaa. Johtolähdöllä on kaikkiaan kahdeksan jakelumuuntajaa.



**KUVA 6 Varaslahden ylittävä kj-johto lähdöllä 2 /13/**

### *Lähtö 3*

Johtolähtö kolme syöttää alueen pohjoisempia jakelumuuntajia. Johtoreitti kulkee Sammallahden teollisuusalueen läpi ja jatkuu Tölskän suuntaan. Kontisientien kohdalla johto nousee ilmaan ja kulkee junaradan yli Pigeon-ilmajohdolla. Johto muuttuu takaisin maakaapeliksi muuntamolla 6583 ja kulkee Naissaaren kautta voimalaitoksen länsipuolelle. Johtolähdöllä on kymmenen jakelumuuntajaa. Ilmajohto-osuuden pylväistä ei ole kyllästysvuositietoja.

Muuntamolla 5300 Tölskä on mahdollista saada varayhteys Vattenfall Verkko Oy:n keskijänniteverkkoon. Varayhteyttä varten muuntamossa on erotin jolla verkot voidaan yhdistää. PG:ssä olevassa Tölskän muuntamon kaaviokuvassa näkyy varayhteyttä varten oleva erotin, mutta erottimen nimi ei näy suoraan kaaviosta. Selkeyden

vuoksi olisi hyvä jos erottimen nimi näkyisi suoraan kaaviokuvasta. Muuntamorakennuksessa on myös muita Vattenfall Verkko Oy:n pj- ja kj-laitteita.

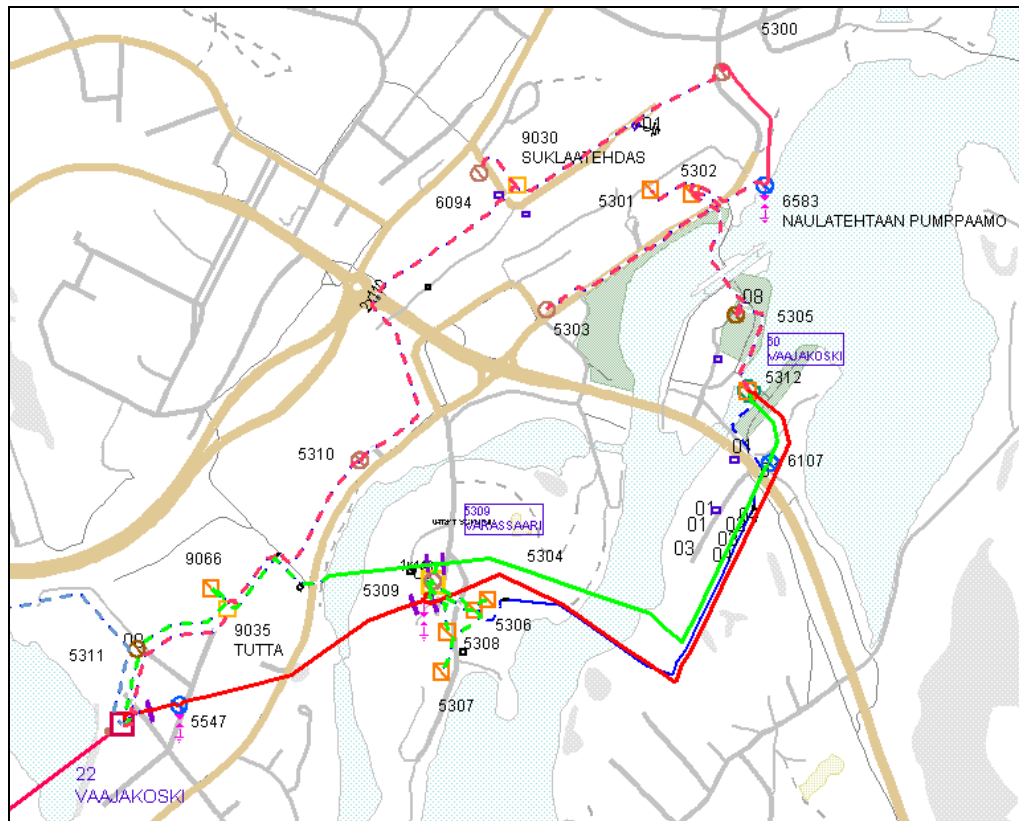


**Kuva 7 Tölskän muuntamossa on erotin jolla saadaan tarvittaessa varayhteys Vattenfall Verkko Oy:n (aikaisemmin Keski-Suomen Valo Oy) kanssa /14/**

#### *Lähtö4*

Johtolähtöä neljä käytetään varayhteytenä Järvi-Suomen Energia Oy:n ja Vattenfall Verkko Oy:n (aikaisemmin Keski-Suomen Valo Oy) verkkojen välillä varayhteytenä häiriö- ja huoltotilanteissa.

Kuvassa 8 on esitetty keskijänniteverkon kytkentätilanne. Johtolähtö yksi on kuvattu punaisena, johtolähtö kaksi vihreänä, johtolähtö kolme violettina ja johtolähtö neljä vaalean sinisenä. Varassaaren ja voimalaitoksen välinen 3 kV:n johto on kuvassa sinisenä. Muut 3 kV:n johdot näkyvät kuvassa keskijännitejohtoina. Maakaapelit ovat kuvattu katkoviihvalla ja ilmajohdot ovat kuvattu kiinteällä viivalla.



**KUVA 8. Nykyinen keskijänniteverkon kytkentä tilanne /12/**

**TAULUKKO 2 Sähköaseman lähtöjen tietoja /12/**

Lähtö	Tunnus	Teho (MW)	Vuosienergia (MWh)	Muuntamoja	Pituus
Johto 1	2207	0,10	391	2	1912 m
Johto 2	2206	1,74	2083	8	3740 m
Johto 3	2205	2,75	2 201	10	3870 m
Johto4	2204	Käytössä ainoastaan vika- ja korjaustilanteissa.			

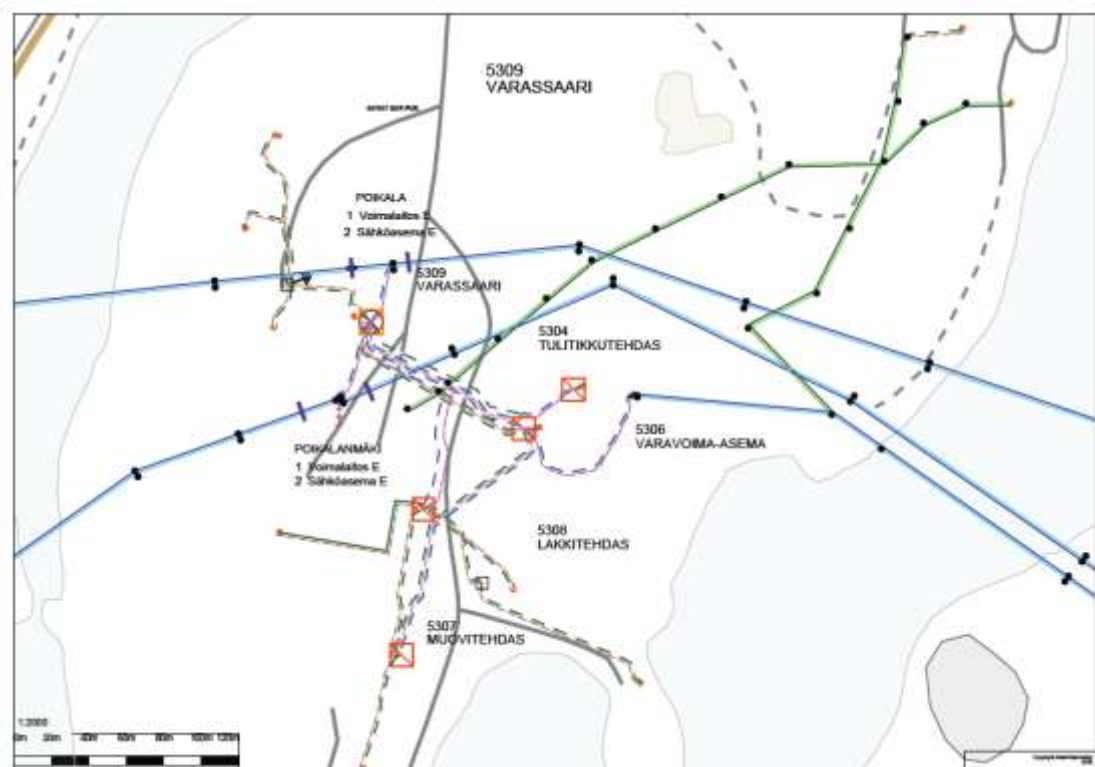
#### 6.4 Varassaaren alue

Varassaaren alueella on sähköasema jossa 20 kV muunnetaan 3 kV:iin. Asema kytkinlaitteineen ja päämuuntajineen sijaitsee vanhassa tiilirakennuksessa. Tiilirakennus sähkölaitteistoinen on historiallinen suojelukohde. Sähköasemalla on yksi 2 MVA päämuuntaja. Sähköasemalla on myös yksi 20/0,4 kV:n jakelumuuntaja (5309 Varassaari). Sähköasemaa voidaan syöttää molemmilla Varassaaren ylittävillä keskijännitejohtoilla. Normaalisissa kytkentätiloissa syöttö otetaan johtolähdöltä kaksi.

Kuvassa 5 näkyvät kj- ja pj-johdot Varassaassa. Muuntamoiden välillä olevat pj-varayhteydet on esitetty taulukossa 3. Varassaaren muuntopiirien saneerausta suunniteltaessa tulee pohtia tarvitaanko muuntamoiden välillä varayhteyksiä jos muuntamoille on mahdollista saada rengassyöttöyhteys.

**TAULUKKO 3 Pj-varayhteydet Varassaassa /12/**

Varayhteys	Johtolaatu
5309 Varassaari – 5306 Varavoima-asema	AMC120
5309 Varassaari – 5306 Varavoima-asema	PL25
5306 Varavoima-asema – 5307 Muovitehdas	PL35
5308 Lakkitehdas – 5307 Muovitehdas	AP70



**KUVA 9. Varassaaren verkko /12/**

Varassaaren 20/0,4kV:n sähköasemalta lähtee kolme katkaisijalla suojattua 3 kV:n lähtöä. Lisäksi jokaiselle 3 kV:n muuntamolla on asennettu katkaisija ennen muuntajaa. Muuntamolle 5306 tulee voimalaitoksen kautta 3 kV:n yhteys, joka näkyy kuvassa 4 sinisenä. Muuntamolle 5307 Muovitehdas tulee syöttö muuntamon 5306 Varavoima-asema kautta. Varavoima-asemalla on 3 kV:n kytkinlaitteisto, jossa jokainen



lähtö on varustettu maastokatkaisijalla ja erottimella. Varavoima-asmalla sijaitsee vanha dieselgeneraattori. Generaattorilla on syötetty apuenergiaa pysähdyksissä olevan vesivoimalaitoksen käynnistystoimintoihin. Lisäksi sillä on voitu syöttää Varassaaren 3 kV:n muuntamoita. Vesivoimalaitos voidaan nykyään käynnistää ilman varavoimakonetta. Todennäköisyys että generaattoria tarvittaisiin voimalaitoksen ylösajoon on äärimmäisen pieni. Tällaisessa tilanteessa harvoin käytettävän dieselmoottorin käynnistys olisi hidasta. Laitteisto on kuitenkin historiallisesti arvokas ja se kannattaakin säilyttää hyväkuntoisena.



**Kuva 10 Varavoima-asmalla sijaitseva vanha dieselgeneraattori /14/**

Taulukossa 4 on esitetty Varassaaren 3 kV:n muuntopiirien muuntaja, kulutus, kuormitusaste ja liittymätietoja. Tiedoista voidaan huomata että alueella on useita vajaalla kuormituksella käyviä muuntajia. Muuntajien määrää ja kuormitusten jakamista kannattaa pohtia saneerausta suunniteltaessa.

**TAULUKKO 4 Varassaaren muuntopiirien tietoja /12/**

Tunnus	Un1/Un2	Muuntaja	Kulutustiedot	Kuormitusaste	Liittymät
5304	3/0,4 kV	500 kVA	242,4 MWh	22,6 %	1
5306	3/0,4 kV	450 kVA	22,4 MWh	2,1 %	3
5307	3/0,4 kV	500 kVA	493,5 MWh	34,5 %	2
5308	3/0,4 kV	800 kVA	727,5 MWh	26,9 %	4
5309	20/0,4 kV	500 kVA	78,2 MWh	6,1 %	4

**6.5 3 kV: 5302 Naulatehdas – 5301 Ammattikoulu**

Varassaaren lisäksi 3 kV-jännitetaso on käytössä myös muuntamoiden 5302 Naulatehdas ja 5301 Ammattikoulu välillä. Muuntamot sijaitsevat sisällä vanhassa teollisuuskiinteistössä.

**KUVA 11 Vanha Naulatehtaan kiinteistö /13/**

Naulatehtaan muuntamossa on yksi 1600 kVA:n 20/0,4 kV:n muuntaja. Lisäksi muuntamossa on yksi 1000 kVA:n 3/0,4 kV:n muuntaja. Naulatehtaan 1600 kVA:n ”päämuuntajan” läpi kulkee sen omien 0,4 kV:n kuluttajien kuormien lisäksi myös Ammattikoulun muuntopiirin kuluttajien kuormat. Keskijännitesyöttö tulee ensiksi ”tavalliselle” muuntajalle, jolla jännitetaso pudotetaan 20 kV:sta 0,4 kV:iin. Pienjännite nostetaan tämän jälkeen 3 kV:n toisen muuntajan avulla. Sähkö siirtyy kaapelia pitkin rakennuksen sisällä muuntamolle 5301, jossa 3 kV:n jännite pudotetaan takaisin 0,4 kV:iin.

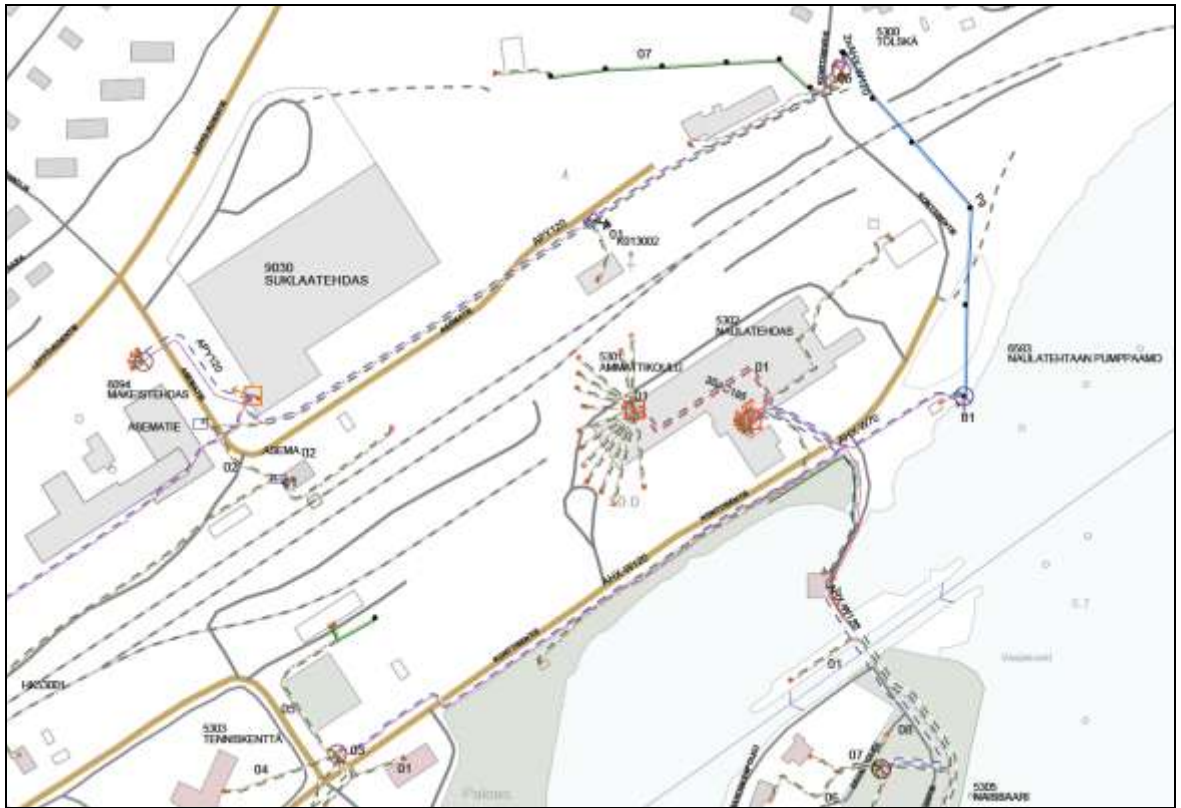


**Kuva 12 Naulatehtaan muuntajat. Vasemman oven takana on 1600 kVA:n 20/0,4 kV:n muuntaja ja oikeanpuoleisen oven takana on 1000 kVA:n 3/0,4 kV:n muuntaja. /14/**

Pg:ssä Naulatehtaan muuntajien kytkennät on dokumentoitu väärin. Asiaa käsitellään tarkemmin kohdassa 6.6.2.

Naulatehtaan muuntamossa on keskijännitekytkentäkiskosto, jossa on kolme käytössä olevaa lähtöä. Lisäksi kiskostossa on kolme lähtöä tyhjänä. Jokaisella lähdöllä on oma erottimensa. 20 kV:n muuntajan edessä on katkaisija. Ammattikoululle menevän 3 kV:n lähtö on myös suojattu katkaisijalla.

Keskijänniteverkko jatkuu Naulatehtaalta voimalaitoksen suuntaan muuntamolle 5305 Naissaari ja lisäksi yksi haara lähtee muuntamolle 5303 Tenniskenttä. Tenniskentän muuntamolle on aikaisemmin mennyt 3 kV:n yhteys Naulatehtaan muuntamolta. Tämä yhteys on kuitenkin muutettu 20 kV:n jännitteelle.



**KUVA 13. Nykyinen 3kV jakelujärjestelmä Naulatehtaalla /13/**

Kuvassa 13 on esitetty Naulatehtaan alueen pj- ja kj-verkko. Kiinteistön sisällä menevä 3 kV:n kaapeli näkyy kuvassa punaisena. Viuhkamaisesti piirretyt pj-johdot Ammattikoulun ja Naulatehtaan muuntamoilla kuvaavat asiakkaiden liittymiskaapeleita.

Taulukossa 5 on esitetty Naulatehtaan ja Ammattikoulun muuntamoiden tietoja. Tiedoista voidaan havaita että kulutukseen nähden muuntajat ovat hieman ylimitoitettuja.

**TAULUKKO 5 Naulatehtaan ja Ammattikoulun muuntajien tietoja /12/**

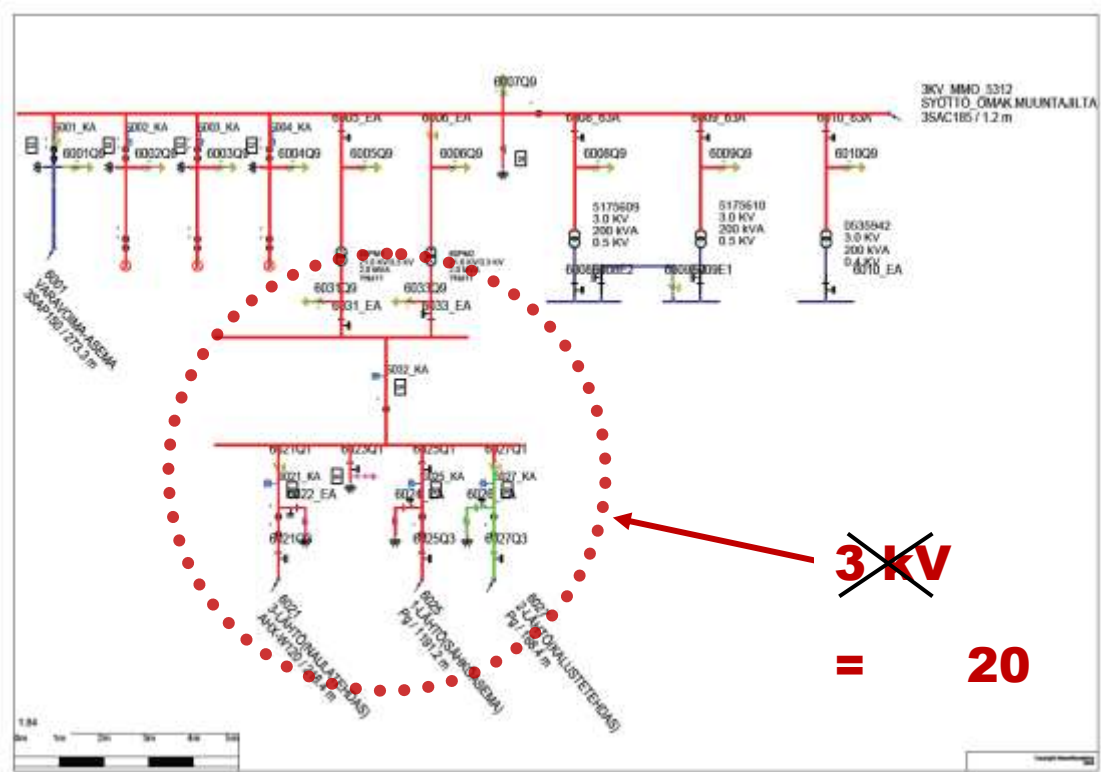
Tunnus	Un1/Un2	Muuntaja	Kulutustiedot	Kuormitusaste	Liittymät
5302	20/0,4 kV	1600 kVA	485,2 MWh	48,1 %	20
5301	3/0,4 kV	500 kVA	139,1 MWh	14,1 %	13

## 6.6 Dokumentoinnin virheet

Verkosto on dokumentoitu PG-verkkotietojärjestelmään. Alueella käytetyn 3kV jännitetason dokumentointi ei kaikilta osin vastaa verkon todellista tilaa. Virheistä johtuen esimerkiksi verkostolaskenta ei toimi oikein.

### 6.6.1 Virhe: Voimalaitoksen kaaviokuva

Voimalaitoksen kaaviokuvassa (kuvassa 14) päämuuntajien ylä- että alajännitepuolen kiskostot on molemmat dokumentoitu 3 kV:n jännitteelle. Sähköasemalle, Kalustetehtaalle ja Naulatehtaalle lähtevien syöttöjen käyttöjännite on kuitenkin todellisuudessa 20 kV päämuuntajan jälkeen. Kaaviokuvassa käyttöjännite on kuitenkin 3 kV. Karttakuvassa lähtöjen jännitetiedot ovat oikein. KytKentä voimalaitoksen kaaviokuvassa on dokumentoitu oikein.

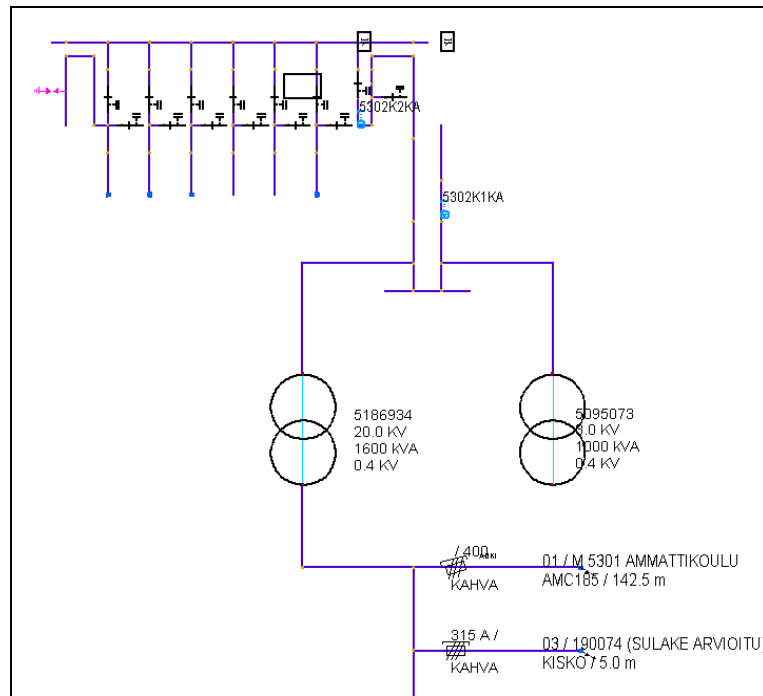


KUVA 14. Voimalaitoksen kaaviokuva /12/

### 6.6.2 Virhe: Naulatehtaan muuntamon kaaviokuva

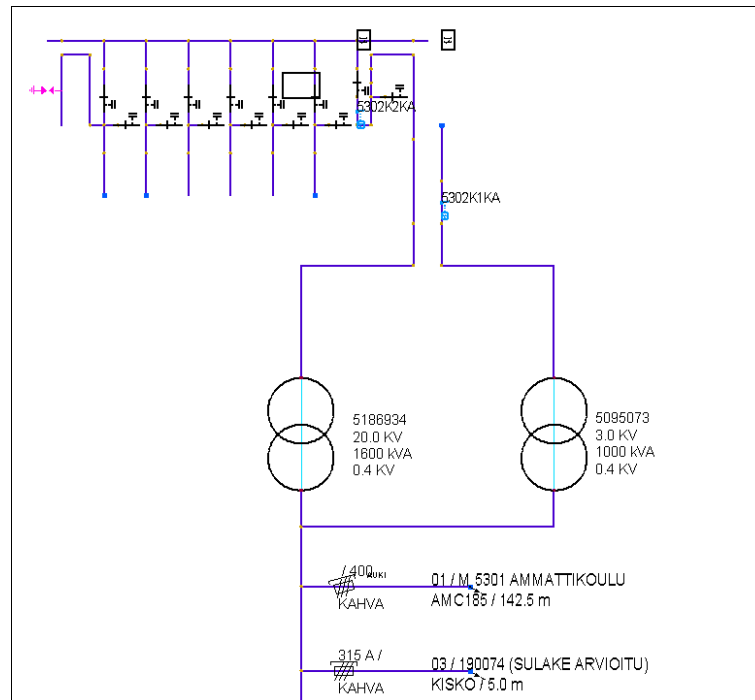
Kuten kohdassa 6.5 käsiteltiin, on naulatehtaan muuntamolla kaksi muuntajaa, 20/0,4 kV ja 3/0,4 kV. Keskijännite muunnetaan ensiksi pienjännitteeksi, jonka jälkeen pien-

jännite nostetaan 3 kV:iin. Pg:hen tämä on kuitenkin ollut ongelmallista dokumentoida. Pg ei jostain syystä laske muuntosuhdetta jossa ensiöjännite on suurempi kuin toisiojännite. Ilmeisesti tästä johtuen kaaviokuvaan on dokumentoitu kuvan 15 mukaisesti. Kaaviossa näkyy molemmat muuntajat, mutta niiden ensiöpuolet on kytketty yhteen. Muuntamolle 5302 Ammattikoulu lähtee kaavion mukaan 3 kV:n sijasta 20 kV:a.



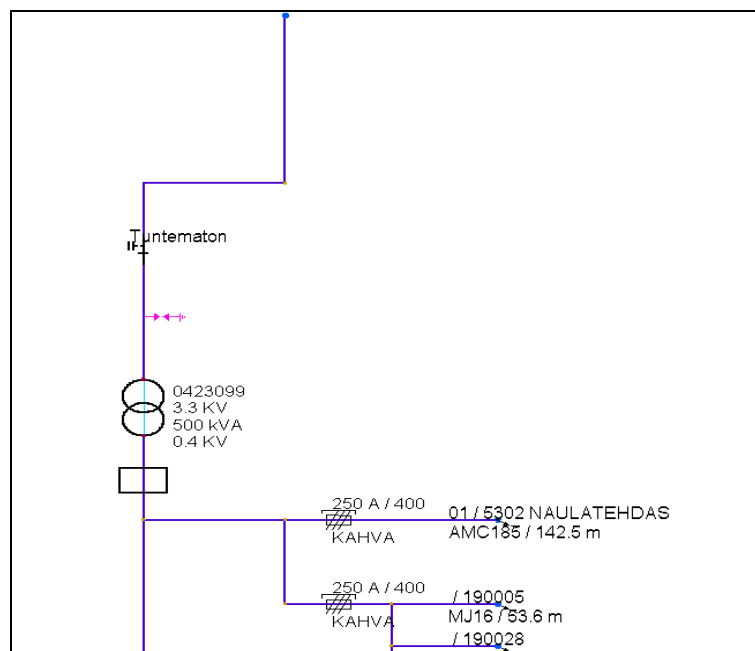
**KUVA 15 Naulatehtaan kaaviokuva /12/**

Kuvassa 16 on esitetty todellista kytkentää vastaava Naulatehtaan muuntamon kaaviokuva. Pg:n verkostolaskenta ei kuitenkaan laske muuntosuhdetta pienjännitteestä suurempaan jännitteeseen. Tällöin laskenta keskeytyy Naulatehtaan muuntamolle ja Ammattikoululle menevä verkko jää laskennasta pois.



**KUVA 16 Naulatehtaan todellista kytkentää vastaava kaaviokuva /12/**

Muuntamon 5302 kaaviokuva on dokumentoitu oikein. Muuntosuhde menee kuitenkin tälläkin muuntajalla väärin, koska Naulatehtaan muuntamolta tulee laskennassa 20 kV:a. Tällöin laskenta antaa kuluttajille meneväksi jännitteeksi n. 1500 V:a, joka ei luonnollisesti ole todellinen tilanne.



**KUVA 17 Ammattikoulun muuntamon kaaviokuva /12/**



## 6.7 Vt4 vaikutukset verkostoon

Valtatie 4 eli Nelostie on Suomen halki Helsingistä Lahden, Jyväskylän, Oulun ja Rovaniemen kautta Utsjoelle johtava valtatie. Tie on yksi tärkeimmistä päätieyhteyksistä Suomessa ja pääyhteys Etelä- ja Pohjois-Suomen välillä. Tien pituus on 1 295 kilometriä ja se on Suomen pisin valtatie.

Vaajakosken kohdalla nelostiehen yhtyvät valtatiet 9, 13 ja 23. Tie kulkee Vaajakosken keskustan läpi kohti Jyväskylän keskustaa. Vaajakosken keskustassa on tällä hetkellä kiertoliittymä, joka on nelostien pahin pullonkaula. Alueen tieverkoston parantamiseksi on käyty keskustelua jo vuosikymmeniä.

Tämän opinnäytetyön tekovaiheessa on käynnissä suunnitelmat nelostien parantamiseksi Vaajakosken kohdalla. Suunnitelmissa on meneillään YVA-ohjelma, jossa arvioidaan eri tie vaihtoehtoja. Arvioitavia vaihtoehtoja valtatien parantamiseksi on neljä.

Ensimmäisessä vaihtoehdossa uusi tie sijoitettaisiin pääosin nykyisen tien maastokäytävään. Tällä vaihtoehdolla olisi vähäiset vaikutukset sähköverkkostoon.

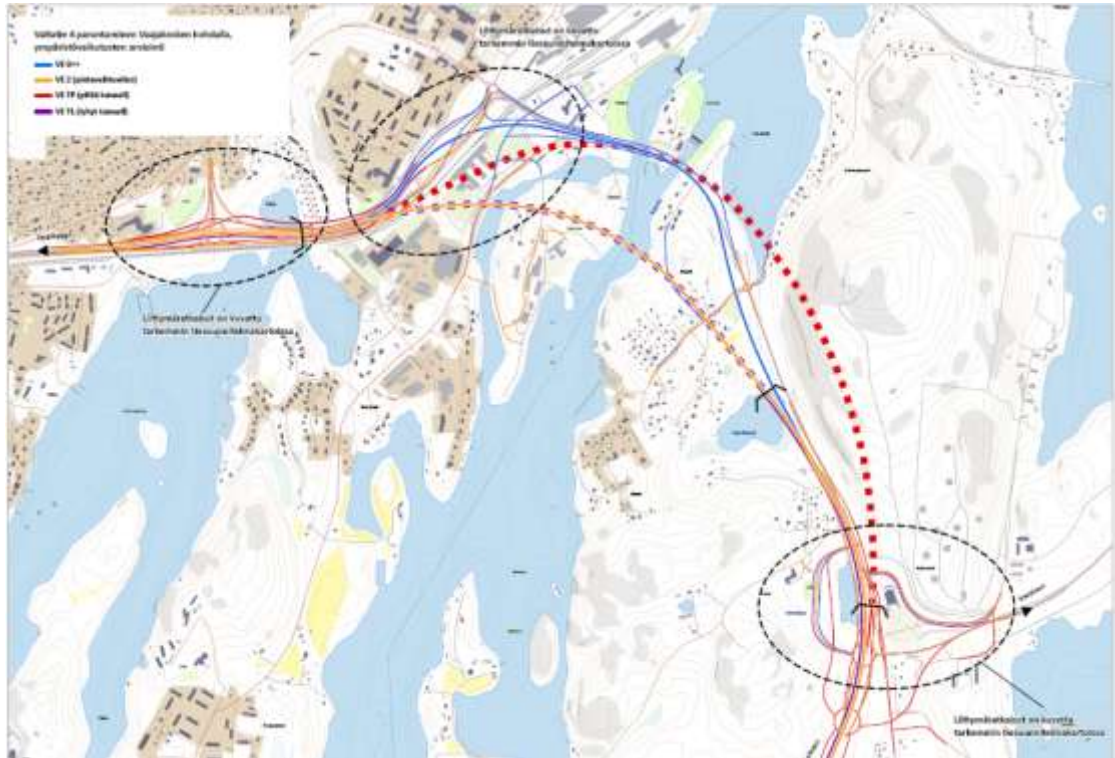
Kahdessa vaihtoehdossa on esitetty tunneli ratkaisua, joissa valtatie kulkisi maan alla Vaajakosken kohdalla. Tällä ratkaisulla ei olisi vaikutuksia sähköverkkostoon.

Neljännessä vaihtoehdossa on esitetty ratkaisua jossa rakennettaisiin täysin uusi tie, joka kulkisi Hupelista Varassaaren kautta Haapalahteen. Tällä vaihtoehdolla olisi suurimmat vaikutukset erityisesti Varassaaren sähköverkkoon.

Vaihtoehdon neljä toteutuessa voitaisiin Varassaaren sähköverkon saneeraus toteuttaa tien rakentamisen yhteydessä. Nykyiset keskijänniteilmajohdot olisivat osittain uuden tien tiellä. Tiehankkeessa rakennettaisiin uudet vesistö sillat sekä Varassaaren länsi-että itäpuolelle. Keskijännitejohtojen kaapeloinnissa voitaisiin hyödyntää siltarakenteita. Kaapelireitit voitaisiin sijoittaa siten että ne seuraisivat tien kulkureittiä.

Kuvassa 18 on Keski-Suomen ELY-keskuksen YVA-ohjelmassa tutkittavat tievaihtoehdot. Vaihtoehto VE 0++ on nykyisen tien sijoitettava versio, VE 2 on Varassaaren kautta kulkeva versio ja VE TP ja VE TL ovat tunneli vaihtoehtoja.





**KUVA 18 YVA:ssa tutkittavat luonnokset /8/**

Varassaaren tiestöön on mahdollisesti tulossa myös muita muutoksia valtatie kehityksen yhteydessä. Näistä muutoksista ei kuitenkaan ole vielä tarkkaa tietoa saatavilla tiehankeen ollessa vasta yleissuunnitteluvaiheessa.

Opinnäytetyötä tehdessäni keväällä 2011, tiehankeen osalta ei ole vielä päätetty mikä vaihtoehdoista toteutetaan. Tämän takia alueen sähköverkkojen suunnitelmassa kannattaa jättää ”pelivaraa” muutoksia varten. Vaihtoehdolla neljä olisi kuitenkin suurimmat vaikutukset sähköverkkoon, joten tekemissäni suunnitelmissa lähtökohtana on että Vaajakoskelle rakennetaan uusi Varassaaren ylittävä tieosuus.

## **7 KEHITETTÄVÄT KOHTEET JA KORJausehdotukset**

Seuraavassa esitän korjausehdotuksen alueelta löytämieni kehitettävien asioiden parantamiseksi.

### **7.1 Keskijänniteverkon kaapelointi**

Keskeisin kehityskohde Vaajakosken alueella on vanhan keskijänniteilmajohtoverkon saneeraus. Suur-Savon Sähkö Oy:n verkostostrategian tavoitteena on parantaa taajamien sähkönjakelun käyttövarmuutta maakaapeloinnilla. Vaajakosken alueen sähköverkoston saneerauksen ensisijainen tavoite on täten kaapeloida kaikki keskijännitejohdot. Verkon nykytilan selvityksessä havaittiin että alueen keskijänniteverkosta suurin osa on maakaapelia. Keskijänniteilmajohtoa on jäljellä 3,3 km. Valtaosa jäljellä olevista ilmajohdoista kulkee Varassaaren yli. Kaikki jäljellä olevat ilmajohdot ovat Pigeonia.

#### **7.1.1 Varassaaren ylittävien johtojen saneeraus**

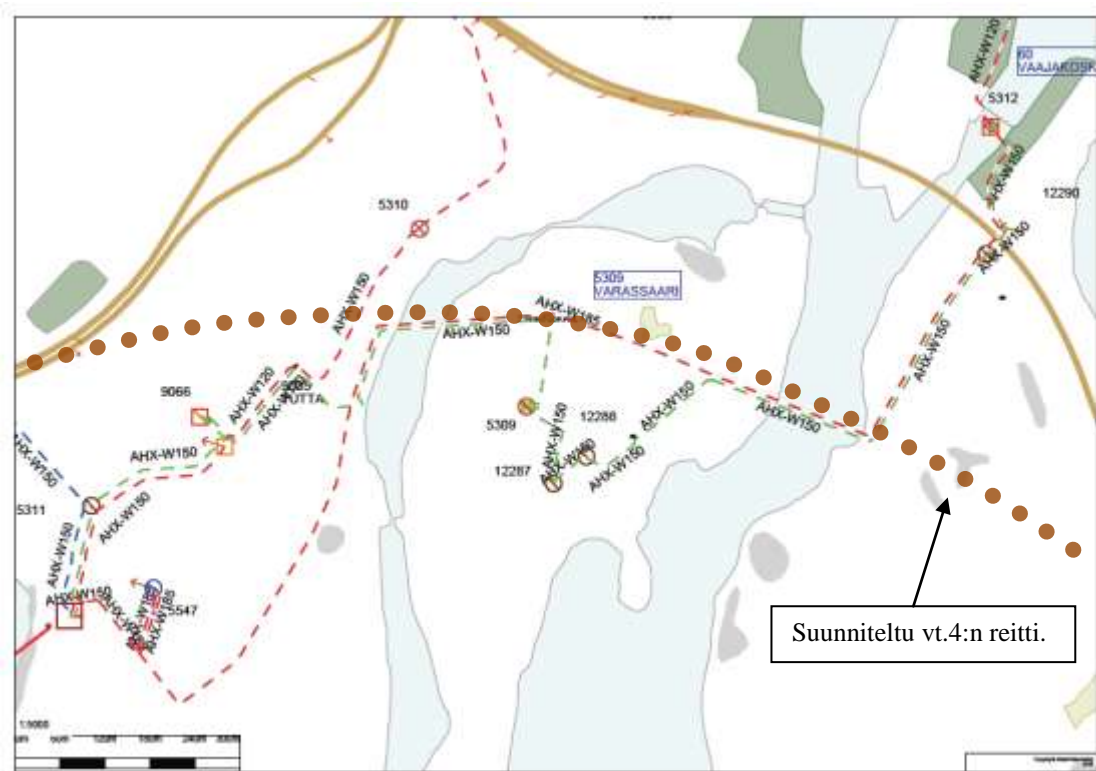
Nykytilan selvityksessä havaittiin että Varassaaren keskijänniteverkon pylvästys oli pääosin vuodelta 1955. Pylvästys on jo nyt hyvin iäkästä, joten saneeraus tarve on tulossa lähitulevaisuudessa. Metsässä kulkevan ilmajohto-osuuden suuri vika-alttius lisää saneerauksen tarvetta.

Vaajakosken alueen läpikulkevan valtatie neljän parannussuunnitelmissa on esitetty vaihtoehtoa jossa rakennettaisiin uusi Varassaaren ylittävä ohitustie. Jos tämä tie vaihtoehto tulee toteutettavaksi, voitaisiin kaapeloinnissa hyödyntää tiepohjia ja siltarakenteita vesistöylityksissä.

Kaapelireittien suunnittelussa tavoitteena on seurata nykyisiä tieväyliä ja mahdollisen uuden Varassaaren kautta kulkevan ohitustien reittejä. Varassaareissa uusi verkko pyritään toteuttamaan siten, että alueen muuntopiireille saadaan rengassyöttö yhteys, jolloin parannetaan verkon luotettavuutta.

## Lähtö 1

Uudessa verkossa sähköaseman ja voimalaitoksen välinen yhteys kaapeloidaan. Kaapelina käytetään AHXAMKPJ 185 kaapelia. Kaapelointi alkaa sähköaseman lähellä Sahatien kohdalla, jossa nykyinen johto muuttuu ilmajohtoksi. Kaapelireitti seuraa Sahatietä ja kiertää puistomuuntamoksi muutetulle muuntamolle 5547 Kalarintietä pitkin. Sahatieltä johtoreitti lähtee seuraamaan Haapaniementietä ja etenee kohti suunniteltua ohitustietä. Vesistön ylityksissä hyödynnettäisiin siltarakenteita. Varassaaren ylitys tapahtuisi ohitustien reittiä noudattaen. Hupelissa kaapelireitti kulkisi Siperianpolkua pitkin kohti voimalaitosta. Nykyisen Vaajakoskentie alituksen jälkeen kaapelireitti kulkisi Liisanpolkua pitkin voimalaitokselle. Kuvassa 19 on esitetty kj-verkon kytkentä saneerauksen jälkeen. Kuvitteellinen Varassaaren ylittävä ohitustie on kuvattu kartassa pistekatkoviivalla.



**KUVA 19. Kj-verkko saneerauksen jälkeen Varassaarella /12/**

## Lähtö 2

Myös varassaaren muuntopiirejä syöttävä johto-osa kaapeloidaan uudessa verkossa. Kaapelina käytetään AHXAMKPJ 150 kaapelia. Kaapelointi alkaa Haapaniemen koh-

dalla paikasta, jossa nykyinen johto muuttuu ilmajohdoksi. Kaapelireitti noudattaa edellä kerrotun sähköaseman ja voimalaitoksen välistä reittiä Varassaareen. Varassaaressa kaapelireitti kiertää uusien muuntamoiden kautta, jolloin ne saavat rengasyhteyden. Voimalaitosta kohti edetessä kaapelireitti yhtyy jälleen sähköaseman ja voimalaitoksen välisen kaapelin reittiin. Ennen voimalaitosta johdolla on Vaajakoskientien eteläpuolelle siirretty muuntamo 6107 Sotkulahti.

### 7.1.2 Muuntamo 6107 Sotkulahti

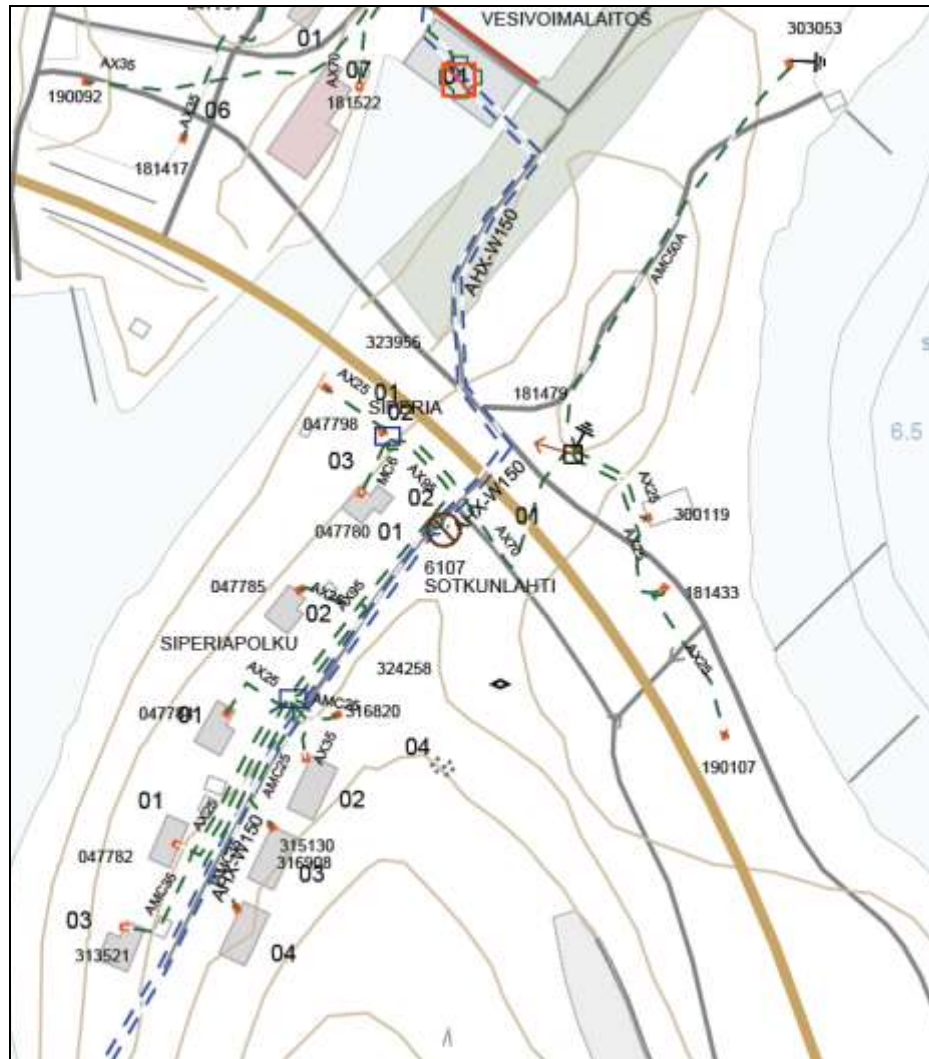
Muuntamo 6107 Sotkulahti sijaitsee tällä hetkellä Vaajakoskientien pohjoispuolella. Muuntopiirin kulutus keskittyy kuitenkin tien eteläpuoliselle asuinalueelle. Nykyinen pylväsmuuntamo kannattaa kj-ilmajohtojen saneerauksen yhteydessä siirtää lähemmäs suurempaa kulutusta. Samalla muuntamotyyppi vaihdetaan puistomuuntamoksi.



**KUVA 20 Uusi muuntamon paikka Siperianpolun varressa /13/**

Uusi muuntamon paikka sijaitsee Siperianpolun alkupäässä lähellä Vaajakoskientietä. Siperian jakokaapilta Siperianpolun jakokaapille lähtevä AXMK 95 kaapeli katkaistaan ja päät jatketaan uudelle muuntamolle, jolloin muuntamolta saadaan omat lähdöt Siperian ja Siperianpolun jakokaapeille. Vanhan muuntamon tilalle tulee haaroituskaappi, johon tulee syöttö Siperian jakokaapilta vanhalla AXMK 70 kaapelilla. Uima-

rannalle menevä ilmajohto korvataan AMCMK 50 maakaapelilla, joka aurataan Sal-  
tuntien reunaan.



**KUVA 21** Sotkunlahden muuntopiiri saneerauksen jälkeen /12/

### 7.1.3 Tölskän ilmajohto-osuus

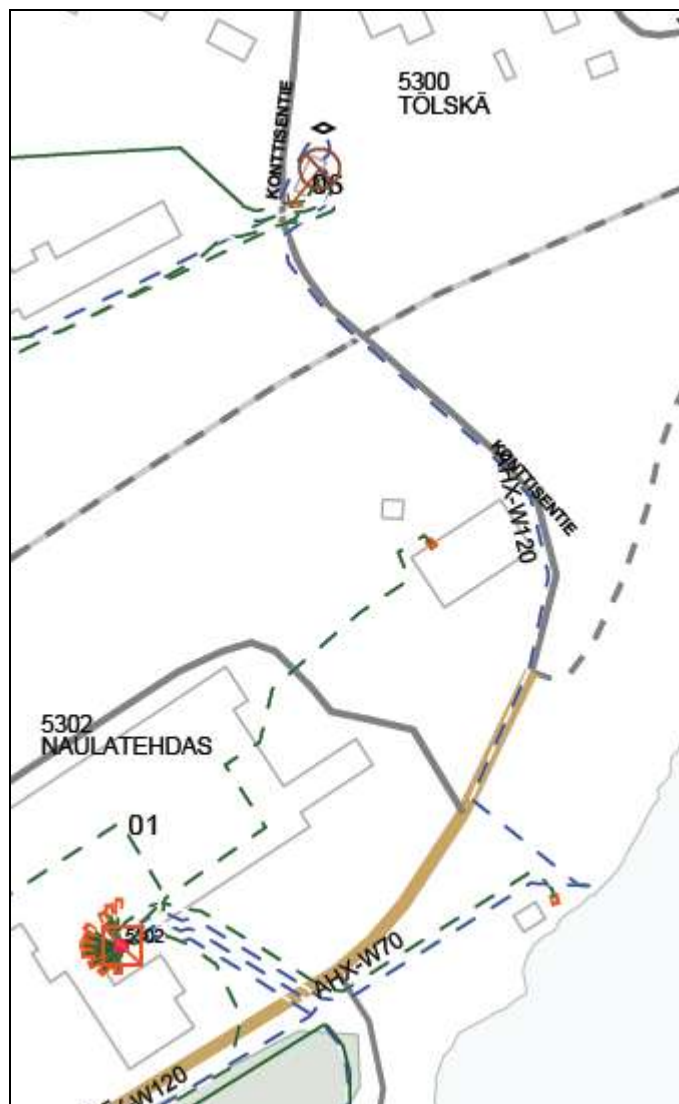
Alueen koillisnurkassa on noin 260 m pitkä ilmajohto-osuus muuntamoiden 5300 ja 6583 välillä. Tältä ilmajohto-osuudelta ei ole PG:ssä pylväiden kyllästysvuositietoja, joten johto osan vanhenemisesta johtuvaa saneeraustarvetta on vaikea arvioida. Maastokäynnillä havaittiin että ilmajohto-osuus on rakenteellisesti hyvässä kunnossa, ja johtoaukko on raivattu, joten välitöntä korjaustarvetta ei tällä verkon osalla ole. Ilmajohto-osuus on lähdöllä 3 ainoa kaapeloimaton kohde, ja vika-alttiuden takia tämä ilmajohto-osuus vaikuttaa Tölskän alueen sähkönjakelun luotettavuuteen.



Käyttövarmuutta voidaan parantaa kaapeloimalla koko ilmajohto-osuus tai vaihtamalla nykyinen ilmajohto PAS-ilmajohdoksi. Johto-osuuden kaapelointia hankaloittaa rautatie jonka nykyinen ilmajohto ylittää. Rautatien kohdalla on jyrkät kalliot, jotka tekevät rautatien alituksen käytännössä mahdottomaksi. Rautatien ylittää kapea ajosilta, jonka rakenteisiin voidaan asentaa kaapelia suojaava putki. Muutoin kaapeli kaivettaisiin Kontisentieen laitaan.

PAS-ilmajohtoa käyttäen joudutaan nykyisiin pylväisiin vaihtamaan orsirakenteet.

Kuvassa 22 on esitetty suunnitelma ilmajohto-osuuden kaapeloinnista ja muuntamon 6583 korvaamisesta pj-syötöllä Naulatehtaan muuntamolta.



**KUVA 22. Tölskän ilmajohto-osuus kaapeloituna /12/**

Naulatehtaan lähellä on muuntamo 6583 joka on rakennettu pumppaamoa varten. Kulutus tällä muuntamolla on pientä, joten ilmajohdon saneerauksen yhteydessä kannattaa muuntamo korvata pienjännitesyötöllä muuntamolta 5302.

## **7.2 3kV:n verkon korvaaminen 20 kV:lla**

Seuraavassa esitän ehdotuksen 3 kV:n jännitetason korvaamisesta Varassaareissa ja Naulatehtassa.

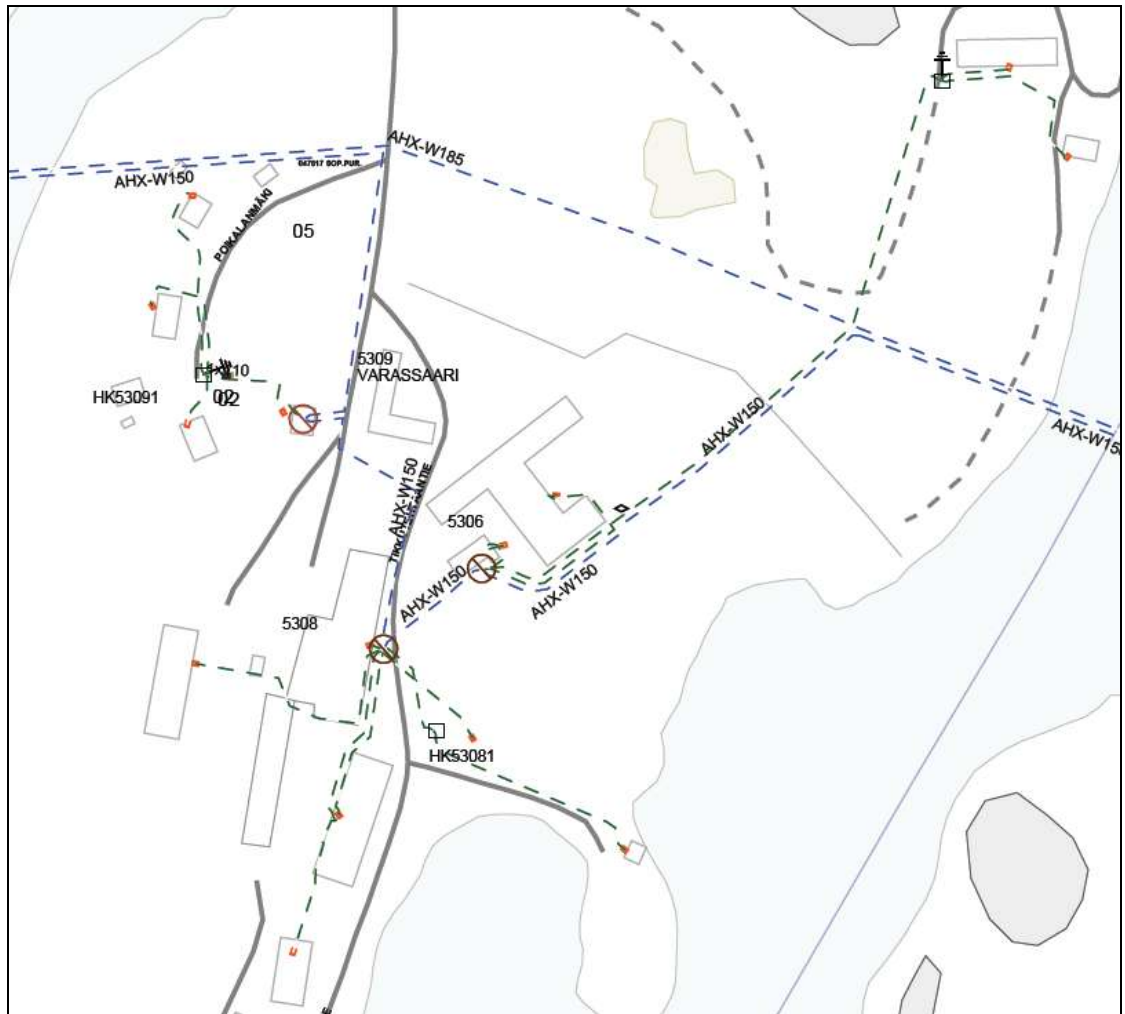
### **7.2.1 Varassaari**

Varassaareissa käytetyn 3 kV:n verkon korvaaminen 20 kV:lla on yksi alueen keskeisimmistä kehityskohteista. Jännitetason muutoksen seurauksena joudutaan kaikki 3kV:n johdot ja muuntajat vaihtamaan. Samalla kannattaa määrittää tarvittavien muuntajien määrä.

Käyttövarmuuden parantamiseksi uusille muuntamoille Varassaareissa kannattaa keskijänniteverkon kaapelointi toteuttaa siten että muuntamot saavat rengassyöttöyhteyden. Tämä parantaa verkon käyttövarmuutta vika- ja korjaustilanteissa.

Uudessa verkossa Varassaareen jää jäljelle 3 jakelumuuntajaa. Saareissa olevan 20/3 kV:n sähköaseman kojeistot jäävät saneerauksen jälkeen tarpeettomiksi. Sähköaseman rakennukseen jää ainoastaan yksi jakelumuuntaja (5309). Tämä jakelumuuntajan jakelupiiri ei muutu, eli se syöttää edelleen samoille kuluttajille kuin alkuperäisessä verkossa. Nykyinen muuntaja on teholtaan 500 kVA:a. Vuosikulutus muuntopiirissä on kuitenkin ollut ainoastaan 78,2 MWh. Pg:n verkostolaskenta antaa kuormitusasteeksi 6,1 %. Kuormitukseen nähden riittäisi 200 kVA:n muuntaja, mutta muuntajaa ei pelkän alhaisen kuormituksen takia kannata vaihtaa tässä yhteydessä.

Saaren neljä 3 kV:n muuntamot korvataan kahdella uudella 20 kV:n puistomuuntamolla. Tulitikkutehtaan ja Varavoima-aseman muuntajat korvataan yhdellä 315 kVA:n muuntajalla. Lakkitehtaan ja Muovitehtaan muuntajat korvataan yhdellä 800 kVA:n muuntajalla. Palokunnan harjoitustiloille ja Liekkilän kiinteistölle menevä ilmajohto puretaan, ja tilalle vedetään uusi AMCMK 95 maakaapeli.



**KUVA 23. Varassaari saneerauksen jälkeen /12/**

Taulukosta 6 nähdään että uusien muuntopiirien muuntajilla päästään hivenen parempaan kuormitusasteeseen.

**Taulukko 6 Varassaaren uusien 20/0,4kV:n muuntopiirien tietoja /12/**

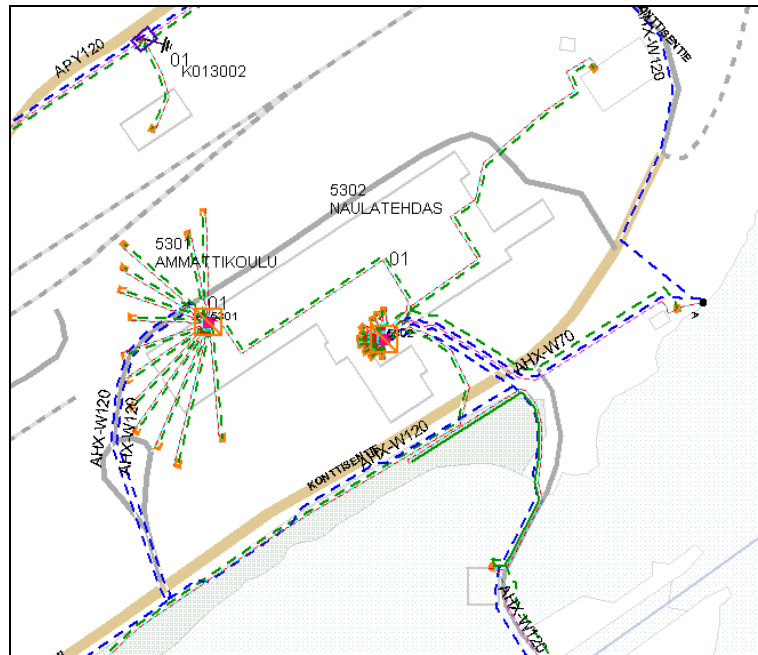
Muuntopiiri	Muuntaja	Kulutustiedot	Kuormitusaste	Liittymät
5306	500 kVA	264,9 MWh	23,8 %	4
5308	800 kVA	1221,0 MWh	44,5 %	6
5309 (ei muutosta)	500 kVA	78,2 MWh	6,1 %	4

### 7.2.2 Naulatehdas

Kuten Varassaarella myös vanhassa Naulatehtaan kiinteistössä käytetty 3 kV:n välijännitteen korvaaminen 20 kV:lla on tulevaisuuden korjaus- ja saneerauskohde. Nykyinen 3 kV:n kaapeli kulkee kiinteistön sisällä. Uusi 20 kV:n kaapeli kannattaa kui-



tenkin tuoda Naulatehtaan ja Tenniskentän väliseltä johdolta. 3 kV:n muuntaja korvataan 20 kV:n muuntajalla. Uuden muuntamon teho on 200 kVA ja kuormitusaste on 34,7 %.



**KUVA 24** Naulatehtaan ja Ammattikoulun muuntajat saneerauksen jälkeen /12/

## 8 KUSTANNUSLASKELMA

Hankeen kustannusten arviointiin käytin Excel-taulukkoa, johon on tallennettu eri verkostokomponenttien rakentamis- ja purkukustannukset. Tällä tavoin voidaan arvioida hankkeesta koituvia kustannuksia. Tarkempi kustannuslaskelma kannattaa tehdä siinä vaiheessa kun tiedetään valtatie 4:n parantamiseksi toteutettava suunnitelma.

### 8.1 Purettava verkko

Purkukustannukset muodostuvat pääosin purettavista kj-ilmajohdoista ja Varassaaren 3 kV:n muuntamoista.

**Taulukko 7 Purkukustannukset**

Komponentti	Määrä	Yksikköhinta, €	Purkukustannus, €
Pigeon	3,3 km	3 858	12 731
Amka	0,8 km	3 234	2 587
Muuntamo	5 kpl	1 007	5 032
<b>Yhteensä €</b>			<b>20 350</b>

**8.2 Rakennettava verkko**

Valtaosan uuden verkon rakentamiskustannuksista muodostuvat 20 kV:n maakaapelit. Muuntamoista ja muuntajista koituvat kustannukset ovat seuraavaksi suurimmat. Kaapelien kaivusta koituvat kustannuksia on vaikea arvioida tarkasti, koska tiehankkeesta koituvia kaivutöitä ei tiedetä vielä tässä vaiheessa.

**Taulukko 8 Uuden verkon kustannukset**

Komponentti	Kustannus, €
Puistomuuntamo	108 680
Muuntajat	31 950
20 kV maakaapelit	225 181
0,4 kV maakaapelit	22 233
Kaapelien kaivu	92 235
<b>Yhteensä €</b>	<b>480 279</b>

Kaikkienensa hankkeen kokonaiskustannus on noin puoli miljoonaa euroa. Kustannus arvioissa ei ole huomioitu purettavista materiaaleista saatavia poistoja. Purettava materiaali on kuitenkin yli 30 vuotta vanhaa, joten sillä ei ole merkittävää arvoa kustannuksia arvioidessa.

## 9 LUOVALASKENTA

Verkon saneerauksen vaikutuksia sähkönjakelun luotettavuuteen määriteltiin LuoVa-verkkotietojärjestelmällä. LuoVa laskennassa keskityttiin tutkimaan kaapeloinnin vaikutuksia keskeytysaikoihin. Uusien muuntamoiden vaikutusta ei otettu laskennassa huomioon.

Nykyinen sähköverkko oli dokumentoitu ArcGis-verkkotietojärjestelmään. Työn nopeuttamiseksi uusia johtoreittejä ei piirretty LuoVa-laskentaa varten, vaan nykyiset ilmajohtot muutettiin maakaapeleiksi. Tulosten kannalta tarkalla kaapelireitillä ei ole tässä tapauksessa merkitystä, koska kaapelipituuden erot tarkasti määritellyn reitin ja ilmajohtoverkon tilalle muutetun kaapelin välillä ovat pienet. JSE:n käyttämässä LuoVa-laskennassa ei ole määritelty kaapelien ympäristötietoja, jolloin tämänkään suhteen tarkalla kaapelireitillä ei ole väliä.

PG RAT -verkostoaalyysi on mahdollista muokata kunkin komponenttityypin vikataajuuteen vaikuttavia parametreja. Parametreja muuttamalla voidaan korjata LuoVa-laskennasta saatavia tuloksia vastaamaan todellisia vikataajuuksia.

LuoVa laskennasta saadaan monia sähkönjakelun luotettavuutta ja kustannuksia kuvaavia tuloksia. Seuraavassa on vertailtu nykyisen ja saneeratun verkon laskentatuloksia.

**TAULUKKO 9 LuoVa tulokset /15/**

		YhtKesk	Kunpito	KAHkesk	KAHkuop	MaxEpak	JKkes	SAIFI	SAIDI
		<i>kEUR/v</i>	<i>kEUR/v</i>	<i>kEUR/v</i>	<i>kEUR/v</i>	<i>h/v</i>	<i>kpl/v</i>	<i>V+H</i>	<i>V+H</i>
Johto 1	VANHA	0,4	2,4	0,8	0,1	0,8	3	0,24	0,39
	UUSI	0,2	2,1	0,3	0,1	0,4	1	0,14	0,21
	muutos	-0,2	-0,3	-0,5	0	-0,4	-2	-0,1	-0,18
Johto 2	VANHA	0,5	6	7,3	1	0,7	5	0,3	0,48
	UUSI	0,4	5,7	5,3	1	0,5	3	0,23	0,35
	muutos	-0,1	-0,3	-2	0	-0,2	-2	-0,07	-0,13
Johto 3	VANHA	0,5	6,4	5,2	1,5	0,6	6	0,34	0,46
	UUSI	0,5	6,3	5	1,2	0,6	6	0,33	0,44
	muutos	0	-0,1	-0,2	-0,3	0	0	-0,01	-0,02

Tuloksista voidaan nähdä että nykyisenkin verkon keskeytysajat ja -määrät ovat pieniä. Keskeytysten keskimääräisen yhteenlasketun ajan (SAIDI) jäädessä alle yhden tunnin, täyttyy toimitusvarmuuskriteeristön city-alueen vaatimus tältä osalta jo nykyisessä verkossa. Keskeytysten keskimääräistä lukumäärä tietyllä aikavälillä kuvaavasta SAIFI arvosta nähdään kaikkien keskeytysten lukumäärä. Tässä arvossa on siis mukana niin pitkät kuin lyhyetkin katkot. Toimitusvarmuuskriteeristön lyhyiden katkojen määrää ei voida täten määrittellä tästä arvosta.

Yleisesti LuoVa-laskennasta voidaan todeta että erot vanhan ja kaapeloidun verkon tuloksissa eivät ole merkittäviä, koska kaapeloitavien ilmajohtojen määrä tutkittavalla alueella on pieni (alle 4 km). Tulokset kuitenkin osoittavat että kaapelointi parantaa laskennasta saatavia tuloksia ja että kaapeloinnilla voidaan parantaa sähkönjakelun luotettavuutta Vaajakosken alueella.

## **10 PÄÄTÄNTÄ**

Työn tavoitteena oli tehdä yleissuunnitelma Vaajakosken alueen keskijännitesähköverkosta. Työn teki haasteelliseksi, mutta myös kiinnostavaksi alueen monipuolinen sähkönjakelutekniikka voimalaitoksineen ja eri jännitetasoineen.

Merkittävin saneeraus kohde alueella on Varassaaren ylittävät keskijänniteilmajohdot. Jo entuudestaan oli tiedossa että Varassaaren ylittävien ilmajohtojen pylvästyks on käyttöikänsä lopussa. Nämä johto-osuudet ovat tärkeässä asemassa alueen sähkönjakelussa. Toinen johdoista toimii yhteytenä sähköaseman ja voimalaitoksen välillä. Toisella johdoista hoidetaan Varassaaren sähkönjakelu. Ilmajohtojen saneeraus on syytä toteuttaa lähitulevaisuudessa. Nykyisen verkostostrategian mukaisesti ja toimitusvarmuuskriteeristön vaatimusten toteuttamiseksi, alueen ilmajohdot kannattaa saneerauksen yhteydessä muuttaa maakaapeleiksi. Kaapeloinnissa kannattaa hyödyntää mahdollisuuksien mukaan nykyistä ja tulevaa tieverkostoa.

Valtatie neljän parantamiseksi Vaajakosken kohdalla esitetyistä vaihtoehtoista ei ollut vielä valittu toteutettavaa vaihtoehtoa tätä työtä tehdessä. Tästä johtuen tekemiäni esisuunnitelmia joudutaan tarkentamaan siinä vaiheessa kun tiedetään tarkkaan kaikki valtatiestä koituvat muutokset.

3 kV:n jakelutekniikka on pääsääntöisesti hyväkuntoista, mutta jännitteelle soveltuvi-  
en laitteiden saatavuus voi vikatilanteissa aiheuttaa suurtakin haittaa ja pitkittää viko-  
jen korjausta. Esimerkiksi 3 kV:n muuntajia ei tätä työtä tehdessä ollut yhtiön varas-  
toissa. 3 kV:n jännitettä käyttävät muuntamot kannattaa saneerausessa muuttaa 20  
kV:n jännitteelle.

Kaikkia työhön asetettuja tavoitteita ei saavutettu. Esimerkiksi ongelmana olevan ve-  
sivoimalaitoksen generaattorien tehojen oikeinmukaisuuden selvitys PG:n verkosto-  
laskennassa jäi toteutumatta. Myöskään Naulatehtaan verkostolaskentaa ei saatu toi-  
mimaan halutulla tavalla.

Henkilökohtaisesti opin työssä paljon uutta sähköverkkojen suunnittelusta. Uusina  
asioina opin mm. toimitusvarmuuskriteeristöön liittyviä asioita sekä sähkön jakelun  
luotettavuutta ja taloudellisuutta kuvaavia tunnuslukuja. Työtä olisi varmasti helpotta-  
nut parempi kokemus sähköverkkojen suunnittelusta sekä alueen jakeluverkon parem-  
pi aikaisempi tuntemus.

## LÄHTEET

- /1/ Elovaara, Jarmo 2001. Sähkölaitostekniikan perusteet. Helsinki: Otatietao
- /2/ Lakervi, Erkki 2008. Sähkönjakelutekniikka. Helsinki: Otatietao
- /3/ Lakervi, Erkki 1996. Sähkönjakeluverkkojen suunnittelu. Helsinki: Otatietao
- /4/ Suur-Savon Sähkö Oy yrityksen verkkosivut, [www.sssoy.fi](http://www.sssoy.fi)
- /5/ Turunen, Harri 1996. Elämisen laatua energiasta, Suur-Savon Sähkö Oy. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy
- /6/ Vierimaa, Henri 2007. Verkkotietojärjestelmän kehitystarpeet yleissuunnittelun näkökulmasta. Helsingin teknillinen korkeakoulu. Sähkö- ja tietoliikennetekniikan osasto. Diplomityö
- /7/ PowerGrid käyttöohje. Suur-Savon Sähkö Oy:n intranet
- /8/ Liikenneviraston verkkosivut, [www.liikennevirasto.fi](http://www.liikennevirasto.fi)
- /9/ PowerPoint-esitys: Sähkönjakelun toimintavarmuuskriteeristö ja tavoitetasot. Ohjausryhmän kokous, muistio 10.2.2010.
- /10/ Sähkönjakelun toimitusvarmuuden kriteeristö ja tavoitetasot. Lappeenrannan teknillinen yliopisto ja Tampereen teknillinen yliopisto 2010. Tutkimusraportti.
- /11/ Suur-Savon Sähkö –yhtiöt, Verkostostrategia 2030
- /12/ PowerGrid verkkotietojärjestelmä. Vaajakosken saneeraus suunnitelma 2011
- /13/ Google Street View palvelu. Käytetty 15.4.2011
- /14/ Hokkanen, Tomi 2011. Valokuvia Vaajakoskelta 11.4.2011
- /15/ ArcMap verkkotietojärjestelmä. Vaajakosken LuoVa-laskenta 2011

