



# SÄHKÖISEN SUUNNITTELUN LAADUN MITTAAMINEN

Oula Nuutila

OPINNÄYTETYÖ  
Huhtikuu 2020

Sähkö- ja automaatiotekniikka  
Sähkövoimatekniikka

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Sähkö- ja automaatiotekniikka  
Sähkövoimatekniikka

NUUTTILA, OULA  
Sähköisen suunnittelun laadun mittaaminen

Opinnäytetyö 49 sivua, joista liitteitä 7 sivua  
Huhtikuu 2020

---

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Elenia Oy, joka on sähköverkkoyhtiö, joka toimii eri puolella Suomea. Työn taustana oli Elenia Oy:n sähköisten suunnitelmien laadun seurannan puuttuminen. Tämän perusteella opinnäytetyön tavoitteeksi asetettiin sähköisen suunnittelun laatumittariston rakentaminen. Työn tarkoitus oli kehittää laatumittaristo, jolla pystyttäisiin antamaan sähköiselle suunnitelmalle yksiselitteinen arvosana.

Opinnäytetyön teoriaosuus pyrkii kertomaan, kuinka vanhaa ilmajohtoverkon saneerausta suunnitellaan Elenia Oy:ssä. Ilmajohtoverkon saneeraus tapahtuu ensisijaisesti maakaapeloidulla keskijänniteverkkoa. Sen varrella olevat pienjänniteilmajohtoverkot saneerataan myös. Teoriaosuudessa kerrotaan myös laadusta käsitteenä ja kuinka sitä voidaan mitata.

Laatumittaristoa lähdettiin rakentamaan asiantuntijahaastatteluiden, sähköisen suunnittelun ja maastosuunnittelun kustannusten eroavaisuudesta tehdyn analyysin sekä oman sähköverkkosuunnittelijaharjoittelijana kerätyn kokemuksen perusteella. Haastateltavina henkilöinä olivat rakennuttaja, projektisuunnittelija sekä verkostosuunnittelijat. Sähköisen suunnittelun ja maastosuunnittelun kustannusten eroavaisuuksista oli tehty analyysityökalulla projektikohtainen yhteenveto, jota lähdettiin tarkastelemaan tarkemmin.

Laatumittaristo rakennettiin kuudesta eri mittarista, joita ovat muuntopiirin mitoitus, komponenttien käyttö, kustannusten mallintaminen, tavoiteverkon mukainen suunnittelu, PJ- topologia sekä tarketiedot. Näillä mittareilla pystytään seuraamaan suunnitelman teknistä ja taloudellista toteutusta. Arvosana-asteikko päätettiin siten, että jokaisesta mittarista annetaan joko arvosana yksi, kaksi tai nolla. Mittareilla on eri painoarvoja ja suunnitelman arvosana koostuu näiden yksittäisten mittarien arvosanoista. Suunnitelman arvosana olisi välillä nolla ja viisi. Arvosana nolla olla tarkoittaisi toteutuskelvotonta suunnitelmaa ja arvosana viisi laadukasta suunnitelmaa. Lopputuloksena saatiin alustava laatumittaristo sähköisen suunnitelmien laadun seurantaan, jota tullaan vielä jatkokehittämään käyttöön otettavaksi versioksi.

## ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Bachelor of electrical engineering  
Power electrical engineering

NUUTTILA OULA:  
Quality metrics of electrical grid plans

Bachelor's thesis 49 pages, appendices 7 pages  
April 2020

---

This thesis was commissioned by Elenia Ltd., an electricity network company that operates in multiple parts of Finland. Elenia Ltd. currently does not have a developed way to measure the quality of electrical grid plans. Therefore, the goal of this research was to develop quality metrics that can be used to give an unambiguous rating for these electrical plans.

The theory part of the thesis aims to tell how the renovation of the old overhead line network is done in Elenia Ltd. Medium voltage overhead lines are substituted primarily by underground cables, as well as low-voltage lines alongside. Furthermore, this section also explains quality as a concept and how it can be measured.

Quality metrics development for this research is based on expert interviews, the analysis of the difference between the costs of a project after electrical planning and after landscape planning and experience the writer has gained as an electrical planning trainee. The interviewees consisted of a construction manager, a project engineer and network engineers. A project-specific summary of the differences in the costs of electrical design and landscape design had been made with an analysis tool, which was further examined in more detail.

Quality metrics were built from six different meters, which are: the design of transformer circuits, the use of components in planning, cost modeling, understanding the outline of the final power grid, topology of low voltage grid and filling the components data that makes component individual. These indicators make it possible to monitor the technical and financial implementation of the plan. The grade was decided to be zero, one or two. The meters have different weights and the grade of the plan consists of the grades of these individual meters. The rating of the plan would be between zero and five. A rating of zero would mean an unworkable plan and a rating of five would be a high-quality plan. The result were preliminary quality metrics for quality of electrical plans, which will be further developed into a version to be used in for quality measurement of electrical planning.

---

Key words: power grid planning, quality metrics

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	7
2	YLEISTIETOA YRITYKSESTÄ JA TRIMBLE NIS -OHJELMISTOSTA.	8
	2.1 Elenia Oy .....	8
	2.2 Trimble NIS .....	9
3	SÄÄVARMAN SÄHKÖVERKON SUUNNITTELU .....	12
	3.1 Yleissuunnittelu .....	13
	3.2 Sähköinen suunnittelu .....	13
	3.2.1 Saneerauksen laajuuden määrittely .....	14
	3.2.2 Kaapelireittien piirto ja jakokaappien sijoittelu .....	14
	3.2.3 Muuntajakoneen ja kaapeleiden valinta.....	16
	3.2.4 Sähköisten arvojen täytyminen.....	17
	3.2.5 Kaivuukustannusten mallinnukset .....	22
	3.2.6 Tarketiedot .....	23
4	LAATU JA SEN MITTAAMINEN .....	26
	4.1 Laatu käsitteenä.....	26
	4.2 Laadun mittaaminen.....	26
5	MITTARISTON RAKENTAMINEN .....	28
	5.1 Haastattelut.....	28
	5.1.1 Verkostosuunnittelijoiden haastattelut .....	28
	5.1.2 Projektisuunnittelijan haastattelu .....	28
	5.1.3 Rakennuttajan haastattelu .....	29
	5.2 Power BI -analyysi vuoden 2019 projektien kustannuksista.....	30
6	MITTARISTON ESITTELY .....	33
	6.1 Muuntopiirin mitoitus .....	33
	6.2 Komponenttien käyttö .....	34
	6.3 Kustannusten mallinnus .....	35
	6.4 Tavoiteverkon mukainen suunnittelu.....	36
	6.5 PJ -topologia .....	37
	6.6 Tarketiedot .....	38
	6.7 Suunnitelman laatuarvosana.....	39
7	POHDINTA .....	40
	LÄHTEET .....	42
	LIITTEET .....	43
	Liite 1. Yksittäisten johtojen sallitut oikosulkusuojat sekä kuormitettavuudet ja sallitut ylikuormitussuojat eri asennustavoilla.	

Liite 2. Liittymisjohtojen sallitut kaapelikohtaiset ylikuormitussuojat eri tilanteissa. ....	44
Liite 3. Alitusten minimipituuksia .....	45
Liite 4. Sähköisen suunnittelun laatumittaristo .....	46

**ERITYISSANASTO**

Keskijänniteverkko	1 - 35 kilovoltin jakeluverkko.
Pienjänniteverkko	Alle 1000 voltin jakeluverkko.
Sähköliittymä/ liittymä	Kiinteistö, joka on liitetty sähköverkkoon.
TN- järjestelmä	Jakelujärjestelmä, jossa yksi piste on suoraan kytkettynä maahan ja jännitteelle alttiit osat on yhdistetty jakelujärjestelmän maadoituspisteeseen.
PEN- johdin	Yhdistetty suojamaadoitus- ja nollajohdin.
Uusi verkko	Uusi jakeluverkko, vanhan verkon korvaaminen tai muuntamon varokeytkimeltä lähtevä uusi pienjännite johto.
Vanha verkko	Olemassa oleva/ ennalleen jäävä jakeluverkko.
Runkojohto	Muuntamon ja jako- tai haaroituskaapin tai kaappien välinen johto tai ilmajohtoverkossa useampia liittymiä syöttävä johto.
Lähtösulake	Johdon syöttävällä puolella jakeluverkossa. muuntamolla tai jakokaapissa sijaitseva oikosululta (ja ylikuormitukselta) suojaavaa sulake.
Liittymisjohto	Kaapeli tai ilmajohto, jolla liittyjä tai liittyjät liitetään sähköverkkoon.
Master -tietokanta	Trimble NIS -järjestelmässä oleva verkkotieto nykyisestä keskijännite- ja pienjänniteverkosta.

## 1 JOHDANTO

Suomi sähköistettiin suurimmaksi osaksi 1950 – 1970 -luvun välimaastossa, kun ilmajohtoverkolla saatiin sähköt maaseudun kaukaisimpiin nurkkiin helposti ja tehokkaasti. Avojohtoverkkojen käyttöikä on noin 50 vuotta, joten suurin osa niistä on jo tiensä päässä ja tarvitsee saneerausta. Sähkömarkkinalain uudistus vuonna 2013 myös asetti sähköverkkoyhtiöille tiukkoja määräyksiä talouksille aiheutuvien sähkökatkojen pituuksista. Vuoteen 2028 mennessä lumikuormien tai myrskyjen aiheuttamat viat jakeluverkossa saisivat aiheuttaa enintään kuuden tunnin sähkönjakelu keskeytyksen asemakaava-alueella asuville ja asemakaava-alueen ulkopuolella olevien sähkönkäyttäjien keskeytys ei saisi ylittää 36 tuntia (Sähkömarkkinalaki 9.8.2013/ 588). Lain voimaantulo ja sähköverkon korkea ikä myötävaikuttivat sähköverkkojen saneerauksen tahdin kiihtymiseen.

Säävarman verkon rakentamiseen on eri tapoja ja sähköverkkoyhtiöt saavat valita itse tapansa rakentaa sähköverkkoa omalla alueellaan. Erityisesti metsäosuuksilla ilmajohtoverkko on hyvin altis vikaantumisille ja suurin vikatilanteiden aiheuttaja onkin linjan päälle taipunut tai katkennut puu. Tämän takia yksi tehokkaimmista rakennustavoista on saneerata nykyistä ilmajohtoverkkoa maakaapeliverkoksi, jotta se olisi suojassa mahdollisilta myrskyiltä ja lumikuormilta.

Opinnäytetyön tavoitteena on rakentaa laatumittaristo Elenia Oy:lle sähköisten suunnitelmien laadun seurantaan. Työn tarkoituksena on laatia mittaristo, jolla pystytään mittaamaan sähköisen suunnittelun eri osa-alueita. Mittareiden tuloksista tulisi saada vielä yksittäinen arvosana koko suunnitelmalle, joka kertoisi suunnitelman laadun. Mittaristoa lähdetään rakentamaan ensin asiantuntijahaastattelujen perusteella sekä sähköisen suunnittelun ja maastosuunnittelun kustannusten erosta kertovasta analyysistä.

## 2 YLEISTIETOA YRITYKSESTÄ JA TRIMBLE NIS -OHJELMISTOSTA

### 2.1 Elenia Oy

Elenia Oy on sähköverkkoyhtiö, joka aloitti toimintansa vuonna 2012 ostamalla Vattenfallin osuudet Suomen sähköverkko- ja lämpöpalveluista. Elenialla on noin 430 000 asiakasta ja jakelualueina toimivat Kanta- ja Päijät-Häme, Pirkanmaa, Keski-Suomi sekä Etelä- ja Pohjois-Pohjanmaa. Alla olevassa kuviossa 1 esitetty Elenian toiminta-alue karttamuodossa.



Kuvio 1. Elenia Oy toimikartta-alue (Elenia.fi)

Elenian sähköverkosta suurin osa sijaitsee maaseudulla ja vuonna 2009 koko sähköverkosta oli kaapeloitu vain 21 prosenttia. Vuoden 2009 alussa Elenia teki päätöksen rakentaa kaiken uudistettavan ja uuden sähköverkkonsa maakaapeloituna ja alkoi maksaa hyvitystä yli kuuden tunnin sähkökatkoksista. (Elenia.fi)

Elenian vanhan ilmajohtoverkon saneeraamista kutsutaan ”Elenia Säävarmaksi”. Elenia investoi sähköverkkoon ja verkkopalveluihin 145 miljoonaa euroa vuonna 2020 ja Säävarma-sähköverkkoa rakennetaan noin 3000 kilometriä vuosittain. Vuonna 2019 koko Elenian sähköverkon maakaapeloimisaste oli 45 prosenttia ja tavoitteena on, että vuoteen 2028 mennessä maakaapeloidun sähköverkon osuus olisi 75 prosenttia. (Elenia.fi)

## **2.2 Trimble NIS**

Elenialla on käytössä Trimble NIS ohjelmisto, joka on Trimble Oy:n kehittämä sähköverkkoyhtiöiden verkko-omaisuuden hallintaan tarkoitettu verkkotietojärjestelmä. Trimble NIS tukee sähköverkkoja, ja se on täydennettävissä ulkopuolisilla tietojärjestelmien tiedoilla, kuten materiaali- ja asiakastiedoilla. Ohjelmistoon sisältyviä sovelluksia ovat verkon suunnittelu ja rakentaminen, verkostolaskenta, omaisuudenhallinta, verkostoinvestointien hallinta sekä kunnossapito. (Trimble). Alla olevassa kuviossa 2 on esitetty Trimble NIS verkkotietojärjestelmän esimerkillinen yleiskuva.



KUVIO 2. Trimble NIS -verkkotietojärjestelmä (Trimble)

Verkostolaskennan avulla voidaan tehdä nykyisten ja suunniteltujen sähköverkkojen tekninen mitoitus, jonka avulla varmistetaan sähköisten vaatimusten täyttyminen verkon komponenteissa. Tehonjakolaskennan avulla voidaan päätellä kaapeleiden ja verkon muiden komponenttien oikeanlainen mitoitus. Oikosulku- ja maasulkulaskennalla tarkistetaan suojalaitteiden toimivuus mahdollisissa vika-tilanteissa. (Trimble)

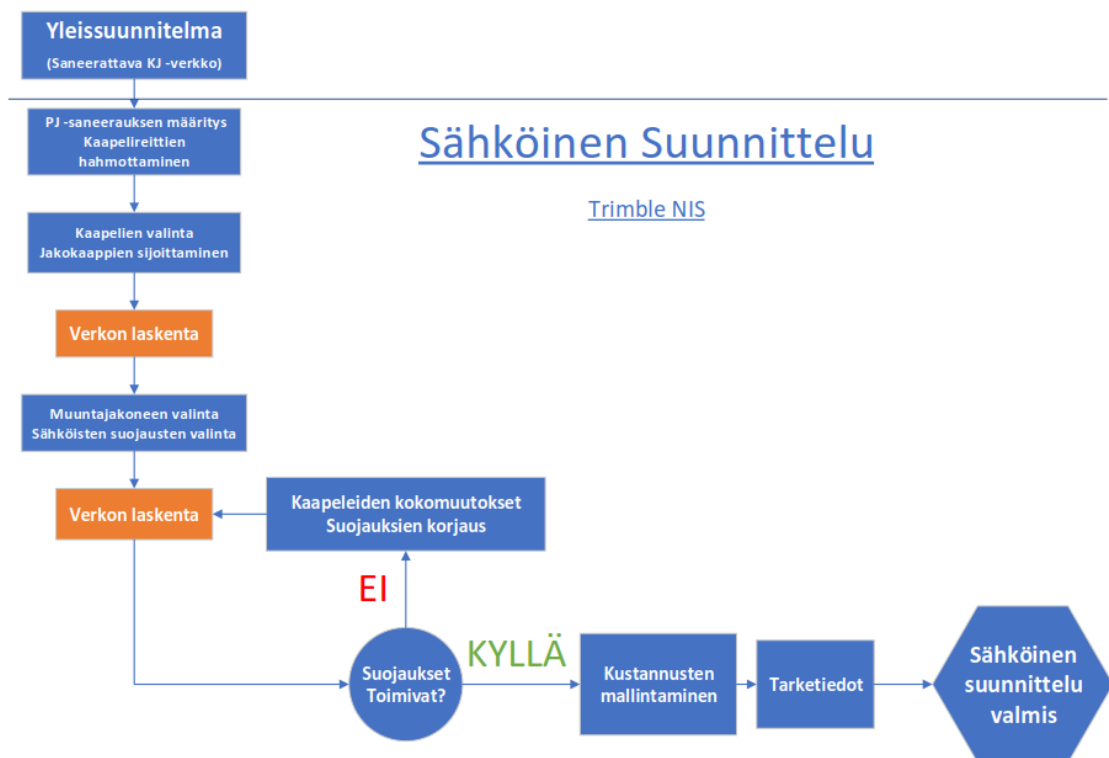
Verkon suunnittelu ja rakentaminen -sovellus tukee kaikkia mahdollisia verkon suunnittelun tasoja. Strategista pitkän tähtäimen suunnittelua tukee myös luotettavuuspohjainen verkostanalyysi, joka osaa simuloida vaihtoehtoja teknisestä, taloudellisesta ja luotettavuuden näkökulmista. Rakentamisvaiheessa sovelluksella pystytään hallitsemaan rakentamisen materiaaleja, toimenpiteitä sekä kustannuksia. Tiedot rakentamisesta pystytään luomaan automaattisesti sähköisistä suunnitelmista. (Trimble)

Sähköverkkojen analysointia voidaan tehdä omaisuudenhallinta-sovelluksella. Analysoimalla omaisuuden ominaisuustietoja, kuten esimerkiksi tilaa, kuntoa, sijaintia ja ikää, voidaan laskea omaisuuden nykyarvot ja jälleenhankinta-arvon kustannukset. Omaisuudenhallinnan välineiden avulla voidaan tehdä perusteltuja investointipäätöksiä. (Trimble)

Verkostoinvestointien hallinta -sovelluksella pystytään hallitsemaan ja seuraamaan verkostoinvestointien määrää projektien aikana. Tarvittavat tiedot, kuten budjetit sekä ennakoit ja toteutuneet kustannukset pystytään päivittämään automaattisesti, kun esimerkiksi verkostosuunnitelmia päivitetään. Sovelluksella voidaan myös analysoida investointien vaikutusta verkon jälleenhankinta-arvoon ja nykykäyttöarvoon omina tunnuslukuinaan. (Trimble)

### 3 SÄÄVARMAN SÄHKÖVERKON SUUNNITTELU

Maakaapeloidun verkon päätavoitteena on lähtökohtaisesti parantaa verkon toimintavarmuutta keskijänniteilmajohtoverkkoa (KJ) kaapeloimalla, koska yhden keskijännitelinjan sähköjakeluhäiriö saattaa aiheuttaa sähkökatkoja kymmenille pienjänniteverkon (PJ) perässä oleville talouksille. Saneerauksen reitillä ja sen läheisyydessä oleva pienjänniteilmajohtoverkko saneerataan samalla. Säävarman verkon suunnittelusta Trimble NIS -ympäristössä voidaan piirtää prosessikaavio helpottamaan suunnittelun elinkaaren ymmärtämistä. (Verkostosuunnittelijan haastattelu). Kuviossa 3 on esitetty sähköisen suunnittelun prosessi, kun saneerattava KJ -verkko on määritelty.



KUVIO 3. Sähköisen suunnittelun prosessikaavio

Saneerattavan KJ -verkon reittejä mukaillen voidaan alkaa hahmotella PJ -saneerauksen laajuutta sekä sen kaapelireittejä. Tämän jälkeen hahmotellaan pienjänniteverkon muoto ja haarautuminen jakokaappien avulla. Haarakohdat ja liittymät yhdistetään kaapelien avulla. Trimble NIS -verkonlaskennan avulla, yritys-

erehdys -menetelmällä (trial-and-error) pystytään simuloimaan verkon suojaukset ja kuormitukset siten, että ne toimivat standardin määrittelemällä tavalla. Kaapeleiden poikkipintaa ja eri sulakkeiden kokoa voidaan vaihtaa niin kauan, kunnes simulaatio ei anna enää virhettä suojauksien toimivuudesta. Verkon valmistamisen jälkeen hahmotellaan kustannuksia erilaisten kustannustyökalujen avulla. Suunnitelmalle lisätään vielä komponenttien yksilöivät tunnuksot, lähdön suunnat ja osoitteet. Näitä tietoja kutsutaan tarketiedoiksi. Tämän jälkeen suunnitelman pitäisi olla siinä tilassa, että se on valmis lähetettäväksi maastosuunnitteluun. (Verkostosuunnittelijan haastattelu)

### **3.1 Yleissuunnittelu**

Vuosittain valitaan kohteet joihin Elenia Säävarma -korvausinvestointiprojektit tehdään. Korvausinvestointikohteiden valinnan jälkeen kohteille tehdään yleissuunnitelmat alustavien kustannusten hahmottamista ja kohteiden hyväksyntää varten. Yleissuunnittelussa luodaan kuva siitä, mikä on verkon nykytilanne ja miltä lopullinen säävarmaverkko tulee näyttämään. (Verkostosuunnittelijan haastattelu)

Yleissuunnitelmassa investointitoille mitoitetaan ja suunnitellaan määrätyn alueen saneerattava keskijänniteverkko. Se pitää sisällään muuntamot, keskijännitekaapelit ja niiden alustavat reitit sekä hajautetun kompensoinnin mitoituksen. Pienjänniteverkkoa ei suunnitella yleissuunnitelmalla, mutta pienjänniteliittymien sijainnit tulee ottaa huomioon esimerkiksi muuntamoiden sijoittamisessa (Verkostosuunnittelijan haastattelu). Kaapelointireitteinä hajaseutualueilla suositaan teiden varsia ja peltojen reunoja. Taajamissa pääsääntöisesti verkko rakennetaan yleisten alueiden mm. katujen ja puistojen reunoille. (Lakervi, Partanen 2008, 143)

### **3.2 Sähköinen suunnittelu**

Piirretyn yleissuunnitelman pohjalta aletaan hahmotella pienjänniteverkkoa. Suunnittelu kohdistuu koko muuntopiiriin, jolloin pelkkä johtimien ja sähköisen suojauksen toimivuuden mitoittaminen ei riitä, vaan olisi tärkeää tarkastella myös verkon muotoa. (Lakervi, Partanen 2008, 163).

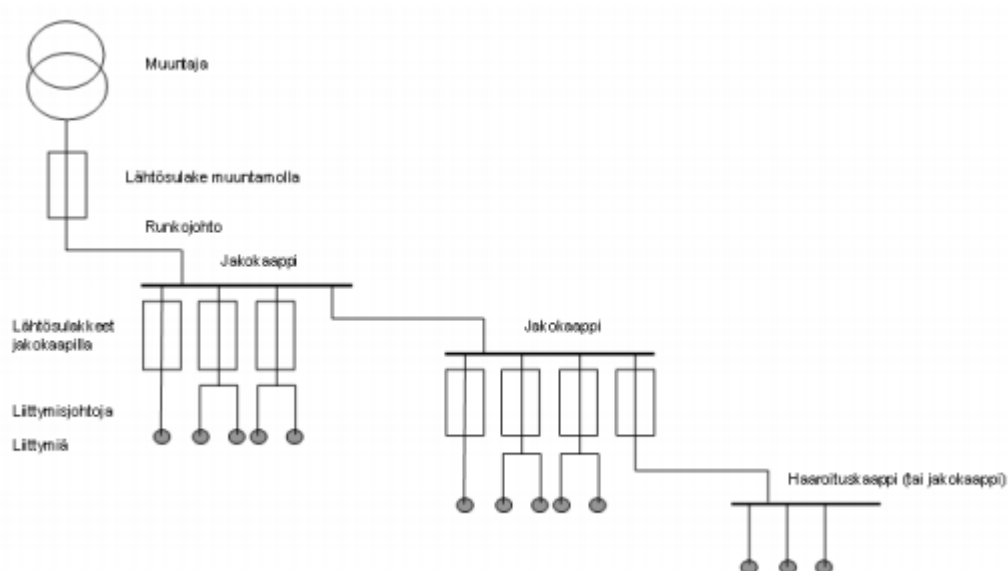
### 3.2.1 Saneerauksen laajuuden määrittely

PJ -verkko suunnitellaan saneerattavan KJ -verkon reittiä pitkin, koska säävarman verkon priorisointina on keskijänniteverkon kaapelointi. Kaikki KJ -kaapeli-reitin välittömässä läheisyydessä olevat liittymät tullaan kaapeloimaan samalla. Teknillistaloudellisesta näkökulmasta kaikkea erkanevaa pienjänniteverkkoa ei ole kuitenkaan järkevää saneerata, koska pienjänniteverkon viat kohdistuvat vain murto-osaan asiakkaista suurhäiriötilanteissa. (Verkostosuunnittelijan haastattelu)

Osa PJ -verkosta tullaan siis jättämään ilmajohtohaarojen perään. Tulevaisuudessa kaikki ilmajohtoverkot tullaan kuitenkin myös saneeraamaan, joten suunnittelijan tehtävänä on myös ajatella suunnittelua tavoiteverkon näkökulmasta. Maakaapeliverkon saneeraaminen on hankalaa ja kallista. Näin ollen kaivuureille on järkevää jättää varauksia tulevaisuuden varalle, jotta mahdollisilta reittien uudelleen avaamisilta voidaan välttyä. Tämä voidaan toteuttaa reitin varrella oleviin risteyskohtiin asennetuilla jakokaapeilla tai kaapeleilla, joista on helppo tulevaisuudessa jatkaa saneeraamista eri suuntaan. (Verkostosuunnittelijan haastattelu)

### 3.2.2 Kaapelireittien piirto ja jakokaappien sijoittelu

Kun saneerauksen suuruudesta on saatu jonkinlainen käsitys, voidaan alkaa hahmottaa kaapelireittejä ja jakokaappien paikkoja. Kaapelireittien piirtämisessä pyritään kytkemään kaikki saneerattavan PJ-verkon sähköliittymät uuteen rakennettavaan verkkoon. Ensiksi pitää ajatella verkon rakenne ja muoto. Kuviossa 4 on esitetty PJ -maakaapeliverkon topologiaperiaate, eli verkon muoto, hajaseutalueella.



KUVIO 4. Hajaseutualueen pienjännitemaakaapeliverkon topologianperiaate (Elenian pienjänniteverkon mitoitus ja sähköinen suojaus)

Maaseutuverkot rakennetaan kuvion 4 mukaisesti säteittäisiksi. Runkojohdot haarautuvat säteittäisesti jako- ja haaroituskaappien avulla liittymille. Jakokaappien väliin ei rakenneta mahdollista varasyöttöä, koska hajaseutualueilla eri muuntopiirien pienjänniteverkkojen välillä on usein laajoja asumattomia alueita ja mahdolliset häiriöt kohdistuvat pieneen asiakasmäärään. (Lakervi, Partanen 2008, 162)

Taajama-alueilla taas pienjänniteverkko muodostuu tiheäksi ja vierekkäiset muuntopiirit ovat lähellä toisiaan. Tällöin säteittäistein haarojen välisten yhdysjohtojen rakentaminen voi olla edullista, sillä etäisyydet ovat usein lyhyitä ja kuormitustiheydet suuria. Voi olla myös mahdollista rakentaa pienjänniteyhteyksiä eri muuntopiirien välillä, jotta muuntamovaurion aikana on mahdollista hoitaa sähkönjakelu myös naapurimuuntopiiriin. (Lakervi, Partanen 2008, 161 - 162)

Saneerattavan pienjänniteverkon runkokaapeli pyritään aina sijoittamaan jo valmiiksi piirrettyyn KJ -kaapelireitin kanssa samaan ojaan. Erkanevissa haaroissa kaapelointireittinä yritetään suosia KJ -kaapelireitin tavoin hajaseutualueilla teiden varsia ja peltojen reunoja. Taajamissa erkanevien haarojen reitti rakennetaan pääsääntöisesti yleisten alueiden mm. katujen ja puistojen reunoille. Samojen kaapelireittien käyttöä tulee hyödyntää mahdollisimman tehokkaasti ja mahdollisia tarpeettomia teiden alituksia ja taaksepäin suuntautuvaa topologiaa tulisi

yrittää välttää. Taaksepäin suuntautuva topologia tarkoittaa jakokaapista lähtevää kaapelia, jonka syöttösuunta on takaisin muuntamon suuntaan. Samansuuntaisia/ rinnakkaisia runkojohtoja ei haja-alueilla yleensä ole perusteltua toteuttaa ja taajamissakin verkko tulisi toteuttaa mahdollisimman selkeästi. Jakokaapit pyritään sijoittamaan liittymäryhmittymien keskeiseen kohtaan. (Elenian pienjänniteverkon mitoitus ja sähköinen suojaus)

Suomen sähköverkko on rakennettu TN -järjestelmän (Terra & Neutral) mukaisesti, jossa yksi piste on maadoitettu ja sähkölaitteiston jännitteelle alttiit osat on yhdistetty maadoituspisteeseen PEN -johtimella (Protective Earth & Neutral). Standardin mukaan TN -järjestelmällä toteutettujen jakeluverkkojen tähtipiste on maadoitettava verkon syöttöpisteestä tai korkeintaan 200 metrin päässä syöttöpisteestä sekä kaikkien 200 metriä ylittävien johtojen tai johtohaarojen loppupäässä tai enintään 200 metrin etäisyydeltä loppupäästä. (SFS 6000 2017, 243). Tästä tulee ns. 200 metrin sääntö. Käytännössä suunnitellessa verkkoa ei liittymälle menevä kaapeli saa pituudeltaan ylittää 200 metriä ilman lisämaadoitusta. Lisämaadoitus voidaan toteuttaa esimerkiksi rakentamalla jakokaappi pihapiiriin.

### **3.2.3 Muuntajakoneen ja kaapeleiden valinta**

Saneerattavan PJ -verkon kaapelireittien piirron jälkeen kannattaa suorittaa verkon kulutuksen simulointi, jotta pystytään valitsemaan muuntopiirille suuruusluokaltaan oikean kokoinen jakelumuuntaja. Muuntajakoneen mitoitus perustuu muuntopiirin liitettyjen liittymien kulutusdataan ja liittymäkokoihin. Muuntajakonetta ei kannata ylimitoitaa nykyisten kulutusdatan pohjalta, muuntajassa tapahtuvien tyhjäkäyntihäviöiden takia. Elenian ohjeistuksessa on esitetty pitämään muuntajakoneen kuormitus yli 40 prosentin jos mahdollista. Myöskään muuntajakoneen maksimikuormitusta ei saisi ylittää. Maksimikuormituksessa on hyvä huomioida myös puisto- ja pylväsmuuntamoiden eroavaisuus. Heikentyneen ilmanvaihdon vuoksi, puistomuuntamoiden muuntajien kuormitus on hyvä pidättää 80 prosentissa. Jakelumuuntaja vaikuttaa oleellisesti sähköisiin suojausten arvoihin, joten tehdessä tämä ensimmäiseksi, vältytään verkon alustavalta ylimitoitamiselta. (Elenian pienjänniteverkon mitoitus ja sähköinen suojaus)

Periaatteena kaapelien mitoituksena on, että pyritään valitsemaan johto, jonka vertailukelpoisiksi tehtyjen investointi- ja käyttökustannusten summa on mahdollisimman pieni (Lakervi, Partanen 2008.163-164). Elenialla käytettävien pienjännitemaakaapeleiden lajit sekä poikkipinnat on esitetty kuviossa 5.

<u>Maakaapelit:</u>	AXMK 4x25S	(AX25)
	AXMK 4x50S	(AX50)
	AXMK 4x95S	(AX95)
	AXMK 4x150S	(AX150)
	AXMK 4x240S	(AX240)

KUVIO 5. Elenialla käytössä olevat maakaapelit. (Elenian pienjänniteverkon mitoitus ja sähköinen suojaus)

Elenia käyttää alumiinisia AXMK-maakaapeleita ja eri kaapelikokoja on tällä hetkellä käytössä viisi. Kaapeleiden lajit ja poikkipinnat pysyvät samoina, mutta valmistajat ja toimittajat kilpailutetaan tasaisin väliajoin. (Verkostosuunnittelijan haastattelu)

Runkojohto mitoitetaan PJ -lähdon pituuden ja kuormitettavuuden mukaan. Lähtökohtaisesti haja-asutusalueella käytetään maksimissaan tyyppiä AX150 ja taa-jamakohteissa tyyppiä AX240. Jos suojausten täytyminen ja muuntopiirinkuormitus sitä vaativat, voi runkojohtoja laittaa myös rinnakkain. (Elenian pienjänniteverkon mitoitus ja sähköinen suojaus)

### 3.2.4 Sähköisten arvojen täytyminen

Muuntajakoneen ja kaapeleiden valitsemisen jälkeen on tarkasteltava johdon sijoituspaikan vaatimien teknillisten vaatimusten täytyminen. Näitä vaatimuksia ovat oikosulkukestoisuus, jännitteenalenema sekä standardin SFS 6000 vaatimukset syötön automaattisen poiskytkennän avulla toteutettavasta suojauksesta. (Lakervi, Partanen 2008, 164)

## Oikosulku- ja ylikuormitussuojaukset:

Elenian pienjänniteverkko suojataan gG -tyyppisillä sulakkeilla, jotka toimivat samaan aikaan oikosulku- ja ylikuormitussuojina. Ylikuormitussuojan päätehtävä on suojata johtoja liialliselta lämpiämiseltä, jonka kulkeva virta aiheuttaa. Oikosulkusuojan tarkoituksena on katkaista virran syöttö mahdollisessa yksivaiheisessa oikosulkutilanteessa tarpeeksi nopeasti. Tätä kutsutaan myös ensimmäiseksi nollausehdoksi (Leena Korpinen). Pääsääntöisesti suojaukset asetetaan aina sellaisiin kohtiin, joissa johtimen poikkipinta-ala pienenee tai ominaisuudet muuttuvat. Liitteessä yksi on esitetty yksittäisten johtojen sallitut oikosulku- ja ylikuormitussuojat sekä sallitut maksimaaliset kuormitukset eri asennustavoilla. Liitteessä kaksi on esitetty liittymisjohtojen sallitut ylikuormitussuojat eri asennustavoilla.

## Oikosulkuvirta:

Oikosululla tarkoitetaan jännitteellisten osien välistä johtavaa yhteyttä muun kuin sähkölähteen tai kuormituksen kautta (Leena Korpinen). Suojausten toimimisen kannalta tärkein arvo on yksivaiheinen oikosulkuvirta, joka on suoraan yhteydessä syötön automaattiseen poiskytkentään. Oikosulkuvirran laskeminen tapahtuu yleensä verkostolaskentaohjelmalla mutta yksivaiheisen oikosulkuvirran voi laskea myös yhtälöllä

$$I_{\min 1} = \frac{3 \cdot U_v}{\sqrt{(2R_m + R_{m0} + 3l(r_j + r_o))^2 + (2X_m + X_{m0} + l(2x_j + x_{j0} + 3x_0))^2}} \quad (1)$$

jossa  $U_v$  on vaihejännite,  $R_m$  on muuntajan oikosulkuresistanssi,  $X_m$  on muuntajan oikosulkureaktanssi,  $R_{m0}$  on muuntajan nollaresistanssi,  $X_{m0}$  on muuntajan nollareaktanssi,  $l$  on johdon pituus,  $r_j$  on vaihejohtimen resistanssi,  $x_j$  on vaihejohtimen reaktanssi,  $x_{j0}$  on vaihejohtimen nollareaktanssi,  $r_0$  on nollajohtimen resistanssi ja  $x_0$  on nollajohtimen reaktanssi. (Lakervi, Partanen 2008, 201 - 202)

Uusi verkko suunnitellaan siten, että liittymän vikasuojaus voidaan toteuttaa ylivirtasuojien avulla. Uudet muuntajalta lähtevät ryhmät tulee mitoittaa siten, että

päävarokkeet toimivat enintään viidessä sekunnissa. Tämän takia pienin oikosulkuvirran arvo esimerkiksi 25 A liittymällä tulisi olla vähintään 250 A. Jos pienintä oikosulkuvirran tasoa ei kuitenkaan pystytä kohtuullisesti saavuttamaan, vähintään 180 A oikosulkuvirta hyväksytään. (SFS 600-1-2 2017, 243)

Elenian ohjeistus mukaillee standardin määrittelemää oikosulkuvirtavaatimusta. Oikosulkuvirtasuojaus toteutetaan standardin mukaisesti niin, että runkojohdot suojataan taulukossa 1 esitetyn standardissa (SFS 600-1-2 2017, 242) sijaitsevan taulukon mukaisesti ja uudet liittymisjohdot suojataan n. 5 sekunnin säännön mukaan.

TAULUKKO 1. Pienin oikosulkuvirta ylivirtasuojan mitoitukseen

Ylivirtasuoja	Pieniin yksivaiheinen oikosulkuvirta jakeluverkossa
gG- tyyppin sulake. $I_N \leq 63 \text{ A}$	$2,5 \cdot I_N$
gG- tyyppin sulake. $I_N > 63 \text{ A}$	$3,0 \cdot I_N$

Elenian pienjänniteohjeessa on myös esitetty alla oleva taulukko 2, jossa on esitetty minimioikosulkuvirran arvoja liittymää suojaavaan pääsulakekokoon nähden.

TAULUKKO 2. Pienimmät mitoitusoikosulkuvirrat liittymän päävarokkeilla

Pääsulake (A)	Yksivaiheinen oikosulkuvirta liittymän päävarokkeella (Min./A)
3x25	250
3x35	250
3x50	250
3x63	320
3x80	425
3x100	580
3x125	715
3x160	950
3x200	1250
3x250	1650
3x315	2200
3x400	2840
3x500	3800
3x630	5100

Vähintään 180 A oikosulkuvirran arvo voidaan hyväksyä, jos 250 ampeerin saavuttaminen vaatii merkittäviä lisäkustannuksia saavutettuun hyötyyn nähden. Sekä jos olemassa olevalla liittymällä oikosulkuvirran arvo on alle 180 A, tällöin riittää, että oikosulkuvirta ei laske Master -tietokannan tilanteesta verkon saneerausissa. (Elenian pienjänniteverkon mitoitus ja sähköinen suojaus)

### Jännitteenalenema:

Virran kulku johtimessa aiheuttaa jännitteenaleneman. Jännitteenalenema on johdon alku- ja loppupään jännitteiden tehollisarvojen erotus. Jännitteenalenema esitetään yleensä suhteellisen jännitteenaleneman arvona, joka on jännitteenaleneman prosentuaalinen suhde nimellisjännitteeseen. Sähkönkäyttäjän näkökulmasta jännitteenalenema on ratkaisevin sähkön laatutekijä. Jännitetason aleneminen liian alhaiseksi saattaa haitata liittymän sähkölaitteiden toimintaa. (Lakervi, Partanen 2008. 38). Jännitteenaleneman laskeminen tapahtuu yleensä verkostolaskentaohjelmalla. Suhteellisen jännitteenaleneman saa verkostolaskentaohjelmistolla mutta sen voi myös laskea yhtälöllä

$$\Delta u = \frac{\Delta U}{U_n} \cdot 100 \% \quad (2)$$

jossa  $\Delta U$  on jännitteenalenema,  $\Delta u$  on suhteellinen jännitteenalenema ja  $U_n$  on nimellisjännite. (Lakervi, Partanen 2008. 39)

Standardi suosittelee, ettei jakelujännitealue normaaleissa käyttöolosuhteissa eroa järjestelmän nimellisjännitteestä enempää kuin  $\pm 10$  prosenttia. Kuitenkin Elenian ohjeistuksessa on määritelty tarkempia rajapintoja liittymän päässä tapahtuviin jännitteenalenemiin. Alla olevassa taulukossa 3 on esitetty Elenialla määritetyt raja-arvot.

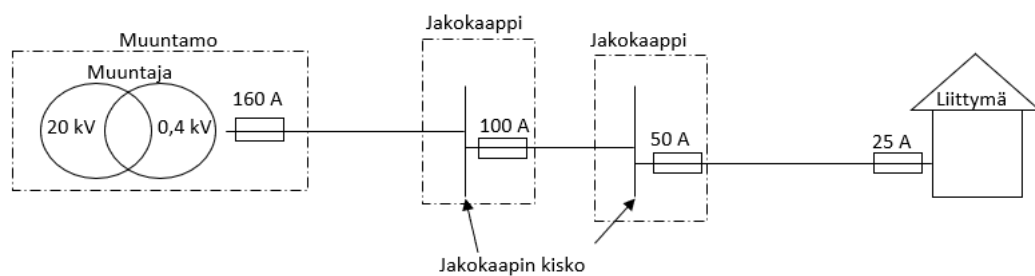
TAULUKKO 3. Suurimmat sallitut jännitteenalenemat

Selite	Jännitteenalenema liittymällä (%)
Uusi verkko	5,0
Vanha verkko	8,0

Uusi verkko tässä taulukossa tarkoittaa uutta rakennettua tai täysin saneerattua jakeluverkkoa. Esimerkiksi uudet asemakaavat tai Säävarma-suunnitelmilla täysin kaapeloidut liittymät. Vanha verkko tarkoittaa jo olemassa olevaa jakeluverkkoa. (Elenian pienjänniteverkon mitoitus ja sähköinen suojaus)

### Selektiivisyys:

Selektiivisyyden pyrkimys on rajoittaa sähköverkon vikatilanteen laajuutta porrastamalla sulakkeiden kokoa muuntamon varokkeelta aina liittymälle asti (Verkostosuunnittelijan haastattelu). Kuviossa 6 on esitetty esimerkki selektiivisestä suojauksesta.



KUVIO 6. Selektiivisen suojauksen esimerkki

Mitä suurempi porrastus eri sulakekokojen välillä on, sitä parempi selektiivisyys saadaan. Selektiivisyys on kuitenkin toissijainen tavoite, joka voidaan toteuttaa, mikäli verkko sallii suuremmat oikosulkusuojaukset ilman suurempia mitoitusmuutoksia (Elenian pienjänniteverkon mitoitus ja sähköinen suojaus).

### Trimble NIS verkon laskennan virheet:

Suunnitellessa muuntopiiriä Trimble NIS -ympäristössä, on helppoa simuloinnin avulla katsoa, toteutuvatko muuntopiirin sähköiset suojaukset. Verkon laskenta-toiminolla Trimble NIS esittää virheen mahdollisista sähköisten suojausten epätoteutumisista. Alla olevassa taulukossa 4 on esitetty, mitä kukin kirjain edustaa verkon laskennassa.

TAULUKKO 4. Trimble NIS -laskennan virhekuvaukset

Kirjain	Kuvas
A	Ensimmäinen nollausehto ei voimassa
B	Ensimmäinen nollausehto ei voimassa liittymän verkossa
C	Epäselektiivinen sulakekoko
D	Rinnankytkennän rakennevirhe
I	Liian pieni liittymän oikosulkuvirta
E	Sulake on suurempi kuin sallittu oikosulkusuoja
H	Liian hidas suojaus (5 sekuntia)

Näistä tärkeimmät huomioon otettavat virheet ovat ensimmäisen nollausehdon voimassaolo, liian pieni oikosulkuvirta sekä liian hidas suojaus. NIS katsoo vain suojausten nopeudesta viiden sekunnin säännön täyttymisen. Runkokaapeli-osuudet voivat olla tämän yli, kunhan ne täyttävät taulukossa 1 esitetyn oikosulkuvirran arvon. Jännitteenalenemaa ei Trimble NIS ota huomioon, joten se on tarkastettava manuaalisesti. (Verkostosuunnittelijan haastattelu)

### 3.2.5 Kaivuukustannusten mallinnukset

Trimble NIS -järjestelmässä voidaan mallintaa kaivuukustannuksia niin sanottujen CPP -reittien (Construction Project Planning) avulla, jotka piirretään kaapeli-reittien rinnalle. Eri ympäristöt tarvitsevat erilaiset reitit kustannusten mallintamiseen. Hankalammat ympäristöt vaativat enemmän työtä ja ovat tätä myöten kalliimpia toteuttaa. Oikean CPP -reitien käyttö tietyissä ympäristöissä näin ollen mallintaa projektin kaivuometrejä ja niistä syntyviä kustannuksia. Reiteille voi lisätä myös lisätoimenpiteitä, joita kaivuun yhteydessä voidaan tehdä.

Esimerkiksi teiden alitukselle on oma CPP -reittinsä. Alitus tehdään työntöpo-raustekniikalla, jolla pystytään alittamaan teitä, peltoja yms. rikkomatta maanpin-taa tai teiden rakenteita. Alitus tehdään erityisellä laitteistolla ja se on metrimää-räisesti huomattavasti kalliimpaa toteuttaa kuin normaali kaivuu. Lisäyksiköillä voidaan esimerkiksi simuloida, kuinka iso putki alitukseen asennetaan. Suurem-man putken käyttö on kalliimpaa verrattuna pienempään putkeen. (Verkosto-suunnittelijan haastattelu)

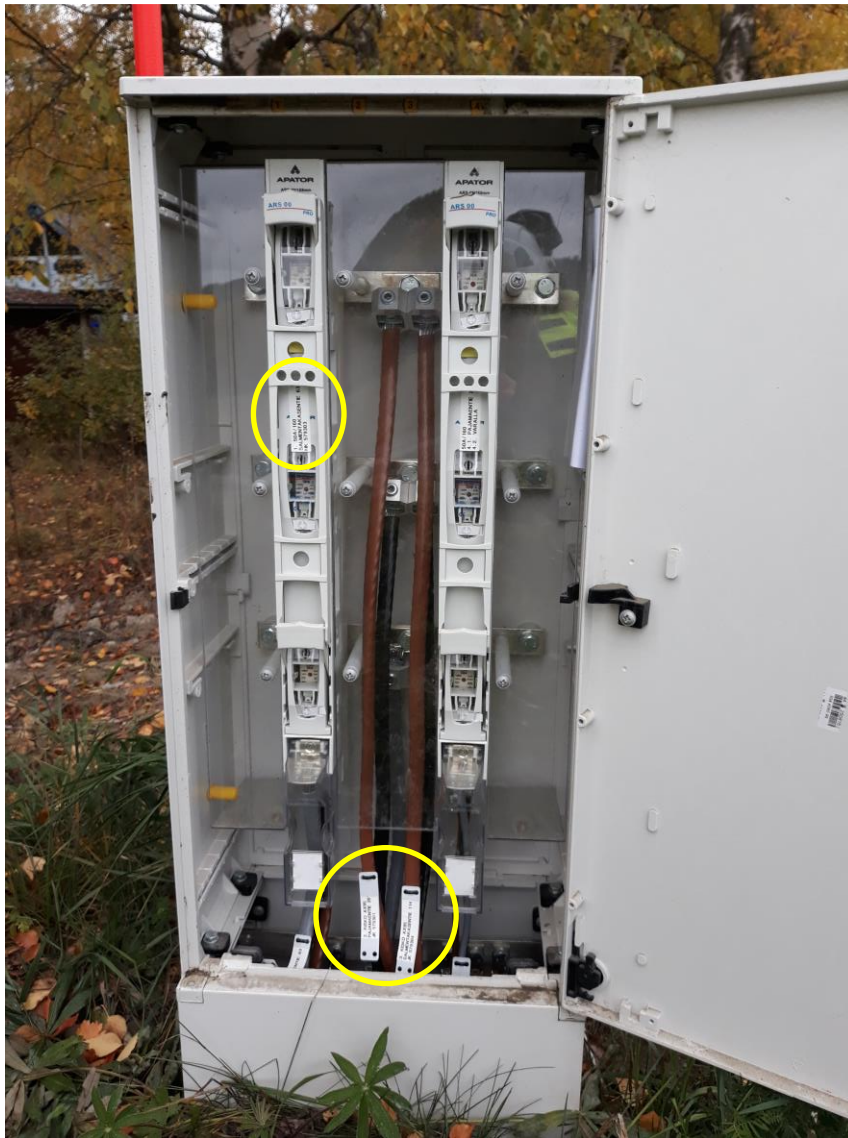
### **3.2.6 Tarketiedot**

Sähköiseen suunnitelmaan sisältyy myös tarketietojen asettaminen komponenteille. Tarketiedot tässä tapauksessa tarkoittavat tietoja, joilla pystytään yksilöimään ja paikantamaan muuntamot, erottimet, jakokaapit sekä liittymät. Jokaiselle komponentille laitetaan yksilöivä tunnus, jonka avulla NIS -ympäristössä sekä maastossa pystytään erottamaan eri jakokaapit ja muuntamot toisistaan. (Verkostosuunnittelijan haastattelu). Kuvassa 1 on esitetty jakokaappi maastossa



KUVA 1. Jakokaappi, johon ympyröity tunnus (Kuvannut Ella Lehtinen)

Jakokaapeissa ja muuntamon pienjännitekeskuksissa sijaitsevien lähtöjen suuntien nimeäminen on osa tarketietojen täyttämistä. Tämä auttaa asentajaa maastossa saamaan haluamansa lähdön jännitteettömäksi. Sama pätee muuntamoiden erottimien suuntien nimeämisissä keskijännitepuolella. (Verkostosuunnittelijan haastattelu). Kuvassa 2 on esitetty auki oleva jakokaappi.



KUVA 2. Auki oleva jakokaappi, jossa näkyy liimatut lähdönsuunnat (Kuvannut Ella Lehtinen)

Kuvassa on ympyröity lähdön suunnat. Varokeytkimien lähdön suunnat yleensä liimataan varokkeiden päälle. Kaikkiin kaapeleihin vielä merkataan lähdön suunnat sekä kaapelilaji ja koko.

## 4 LAATU JA SEN MITTAAMINEN

### 4.1 Laatu käsitteenä

Riippuen näkökulmasta, laadulla voi olla monta eri merkitystä. Yleisesti ajatellen laadulla tarkoitetaan asiakkaiden tarpeiden täyttämistä mahdollisimman kustannustehokkaasti. Yrityksen laadunkehittämiseen kuuluu myös oleellisesti suoritus-tason jatkuva parantaminen. Kehittämistarpeet voivat tulla joko omasta syste-maattisesta laatutyöstä tai ulkoisten vaikutteiden kautta. Laadun määritelmään kuuluu virheiden karsinta sekä se, että asiat suoritettaisiin vaatimusten mukai-sesti jo ensimmäisellä kerralla. (Lecklin 2002)

Laadulle on olemassa monta eri määrittelyä mutta eniten käytetty on ISO9000-laaturjärjestelmän standardin kuvaama virke: ”Laatu on aste, jolla joukko ominai-sia piirteitä täyttää vaatimukset”. Kuluttajat ei ole vain kiinnostuneet suunnittelijan pyrkimästä laatutasosta, vaan he ovat kiinnostuneempia siitä, että heidän saa-mansa tuotteet ovat laadullisesti yhteneviä. (Tricker, Sherring-Lucas, 2001, 1)

### 4.2 Laadun mittaaminen

”Ellei jotakin asiaa voida ilmaista numeroina, ei siitä tiedetä oikeastaan yhtään mitään” näin kertoo Deming, yksi laatualan asiantuntijoista. Menestyksekkäs toi-minta edellyttää jatkuvaa mittausta. Jos toimintaa ei mitata, sitä on myös vaikea alkaa kehittää. Ilman mittaamista ei pystytä edes sanomaan, säilyykö laadun taso samana vuodesta toiseen, vai onko se menossa huonompaan suuntaan. Mittaa-misen tulisi tapahtua prosessinomaisesti ja perusteena tulisi olla mittaussuunni-telma. (Laamanen, Laine, Pääkkönen, Vakkuri, Vallinoja & Väyrynen 1999, 7-9, 37-38.)

Mittarien valinnalla ja määrällä on suuri vaikutus siihen, miten mittaus tulee on-nistumaan. On tarkoin pohdittava, minkälaiset mittarit ovat hyviä tietyn asian mit-taamiseen sekä montako niitä tarvitaan, että tuloksia saadaan tarpeeksi ja niitä pystytään hyödyntämään. Mittausjärjestelmän kehittäminen on pitkä prosessi. Mittareiden ja mittaamistapojen suunnittelu on vielä suhteellisen helppoa, mutta

mittareiden toimeenpanoon ja tuloksien saamiseen kuluu kuitenkin yleensä paljon aikaa. Mittausjärjestelmän kehittäminen on prosessi, jossa opitaan pelkän mittaamisen lisäksi mitattavista kohteista. (Kankkunen, Matikainen & Lehtinen 2005, 19-26.)

## **5 MITTARISTON RAKENTAMINEN**

### **5.1 Haastattelut**

Asiantuntijahaastatteluissa haastateltavina olivat sähköisen suunnittelutiimin verkostosuunnittelijat, projektisuunnittelija sekä rakennuttaja. Verkostosuunnittelijoiden haastattelut tapahtuivat työn ohessa esitettävillä kysymyksillä. Kysymysten teemat ja laajuudet vaihtelivat tilanteittain. Rakennuttajan ja projektisuunnittelijan haastattelut tapahtuivat teemahaastattelumuodossa, joka tarkoittaa, että haastateltavalle oli annettu haastattelunaihe etukäteen (Näpäri. 2017). Haastateltaville oli annettu ennen haastatteluiden alkua aiheeksi kertoa heidän näkemyksestään sähköisten suunnitelmien puutteista ja korjattavista asioista, joita on esiintynyt heidän tarkastamissaan suunnitelmissa.

#### **5.1.1 Verkostosuunnittelijoiden haastattelut**

Verkostosuunnittelijoiden haastattelut tapahtuivat enimmäkseen työn ohessa esitettävillä kysymyksillä. Kysymysten tarkoituksena oli saada laajempi käsitys eri suunnittelijoiden näkökulmista erilaisiin suunnittelutilanteisiin sekä laajentaa omaa näkemystä laadukkaasta suunnittelusta.

Haastatteluista jäi todella laaja ja kattava kuva liittyen laadukkaaseen suunnitteluun eri tilanteissa. Huomattiin myös, että suunnittelu on suurimmaksi osaksi näkemyskohtaista työtä. Näkemykset vaihtelevat suunnittelijoiden kesken ja oma näkemys tulee osata perustella.

#### **5.1.2 Projektisuunnittelijan haastattelu**

Projektisuunnittelijan vastuulla Elenialla on olla urakoitsijoiden suunnittelun sekä Elenian projektipäälliköiden tukihenkilö. Yhtenä tehtävänä projektisuunnittelijalla on seurata urakoitsijoiden suunnittelua, sekä sähköisessä suunnittelussa että maastosuunnitteluvaiheessa, jotta sähköiset arvot ja projektin laajuus pysyvät oikealla tasolla. Haastattelu toteutettiin 13.10.2019 Elenian toimitiloissa Tampereen Sarankulman yksikössä. Haastateltava esitteli havaitsemiaan yleisiä

urakoitsijan tekemiä suunnitteluvirheitä esimerkin kautta Trimble NIS-järjestelmässä. Samalla häneltä kysyttiin kysymyksiä ja käytiin keskustelua virheiden yksityiskohdista.

Haastattelun tuloksena huomattiin komponenttien käytön ja suunnitelmien PJ-verkon saneerauksen laajuus olevan yleisimmät virheet suunnitelmissa. Komponenttien virheinä huomattiin mm. liian pienen jakokaapin laittaminen siihen asennettaviin kaapeleihin verrattuna sekä liian suuren kaapelin kytkeminen liian pieneen kytkinvarokkeeseen. Tällaisia virheitä on hankala huomata ilman tarkempaa tarkastelua, koska verkon suojausten simuloiminen onnistuu virheistä huolimatta. Pahimmassa tapauksessa virhe voi käydä ilmi esimerkiksi vasta kaapeleiden asentamisvaiheessa, kun huomataan maastossa rakennetun uuden jakokaapin olevan liian pieni.

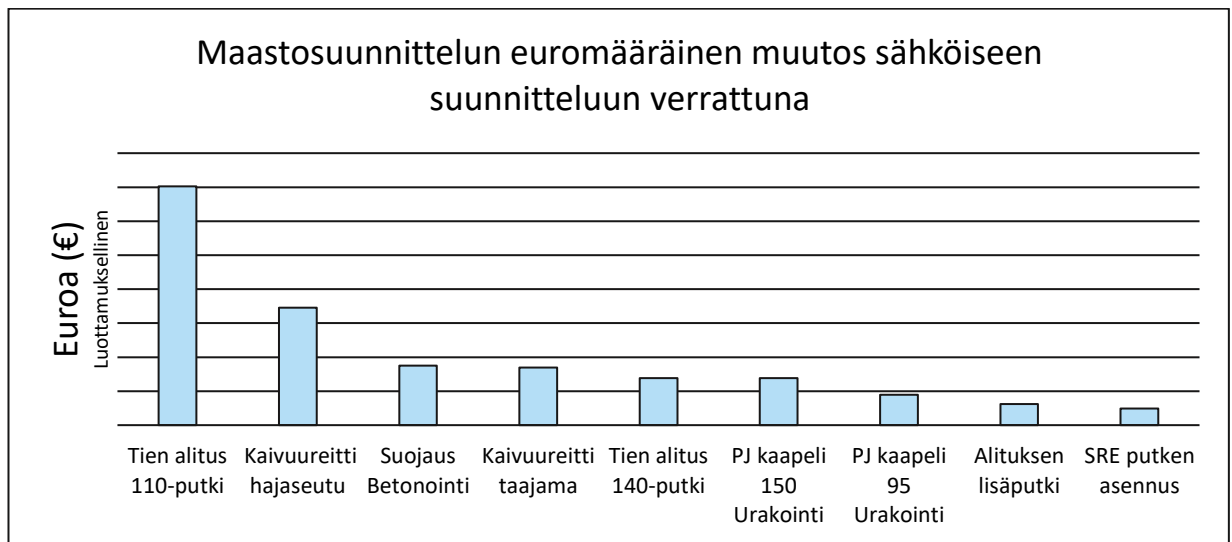
### **5.1.3 Rakennuttajan haastattelu**

Rakennuttajan tehtävänä Elenialla on sähköverkon rakentamisen ja kunnossapidon urakointipalveluiden hankinta. Haastattelu toteutettiin 23.9.2019 Elenian toimitiloissa Tampereen Sarankulman yksikössä teemahaastatteluna. Haastateltavalta kysyttiin ensin avoimia kysymyksiä liittyen Elenian sisäisesti tehtyjen suunnitelmien laatuun ja eri suunnitelmien laatu poikkeaa toisistaan. Tämän jälkeen rakennuttaja esitteli erinäisiä hänen kohtaamiaan yleisiä virheitä suunnitelmakohtaisesti.

Haastattelusta kävi ilmi, että suurin vaikutus sisäisesti suunniteltujen suunnitelmien laatuun oli CPP-reittien lisäyksiköiden käyttö. Rakennuttaja kävi läpi systemaattisesti monia kymmeniä eri lisäyksiköitä, joita oli käytetty joko väärällä tavalla, tai ei ollenkaan. Näiden lisäyksiköiden väärinkäyttö oli vääristänyt projektien työn määrää, joka on suoraan verrannollinen työn hintaan.

## 5.2 Power BI -analyysi vuoden 2019 projektien kustannuksista

Vuoden 2019 Säävarma -projekteista oli tehty Power BI -ohjelmistolla analyysi sähköisen suunnittelun ja maastosuunnittelun kustannusmuutoksista. Analyysistä pystyi projekti- ja urakoitsijakohtaisesti tarkastamaan, kuinka paljon yksikömäärät olivat muuttuneet sähköisen suunnittelun jälkeen. Analyysin tuloksista muodostettiin kaksi kaaviota yksinkertaistamaan havainnointia. Kaavioihin valittiin vain Elenian sisäisesti suunniteltuja suunnitelmia. Alla olevassa kuviossa 7 on esitetty maastosuunnittelun euromääräinen muutos sähköiseen suunnitteluun verrattuna.

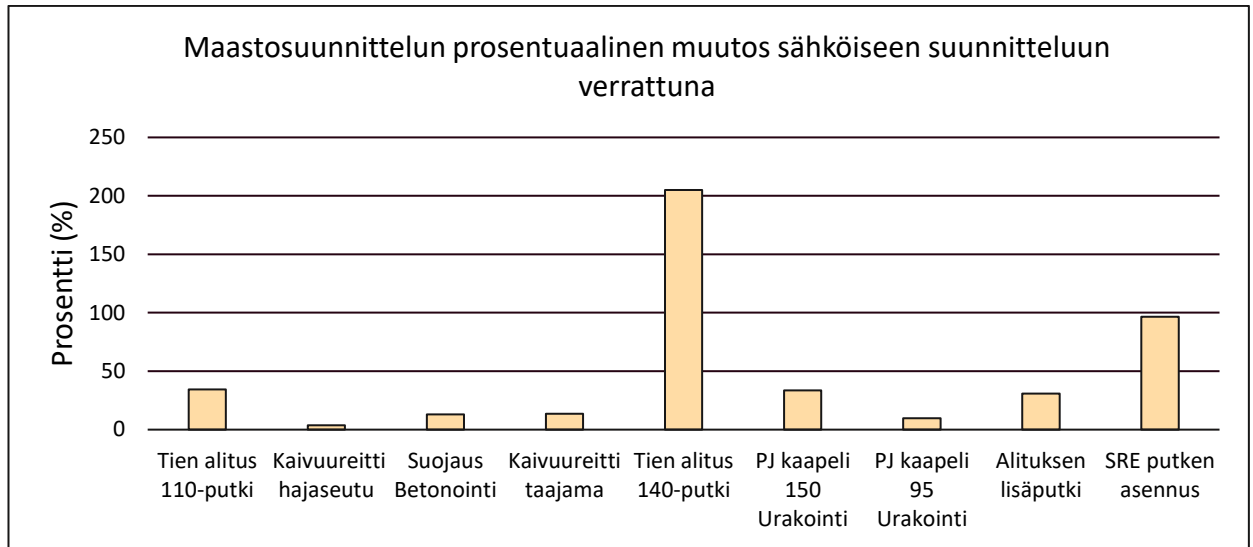


KUVIO 7. Euromääräinen muutos maasto- ja sähköisen suunnittelun välillä

Kuvioon valittiin yhdeksän suurinta muutoksen aiheuttanutta toimenpidettä. Kuvioista pystytään havaitsemaan kustannusten kasvun johtuvan suurimmaksi osaksi CPP -reittien suurenemisesta. Tien alitus pienemmällä putkella on aiheuttanut suurimman kustannusten kasvun. Toiseksi suurin kustannusten eroavaisuus oli kaivuureitti hajaseudulla. Betonointi, joka tarkoittaa kaapelin suojaamista betonilla esim. kallioisilla alueilla, on aiheuttanut kustannusten kasvua samassa suhteessa vaikeamman kaivuureitin ja PJ -kaapeleiden urakointikustannusten kanssa.

Kuvio 7 kertoo vain euromääräisiä lukuja. Esimerkiksi vuoden 2019 projekteista suurin osa sijaitsi haja-asutusalueilla, joten hajaseutu-reitin määrä oli jo valmiiksi suuri. Laadun kannalta oli tärkeää myös tarkastella muutosta prosentuaalisesta

näkökulmasta. Tämän takia analyysistä tehtiin alla oleva kuvio 8 maastosuunnittelun prosentuaalisesta muutoksesta sähköiseen suunnitteluun verrattuna.



KUVIO 8. Prosentuaalinen muutos maasto- ja sähköisen suunnittelun välillä

Kuviosta voidaan havaita, että vaikka tien alituksella pienemmällä putkella oli suurin vaikutus kustannusten nousuun, kasvoi se määrällisesti noin 30 prosenttia. 30 prosenttia on paljon mutta voidaan huomata suuremmalla putkella tehtävän alituksen prosentuaalisen muutoksen olevan paljon suurempi. Myös SRE -putken asennus, joka tarkoittaa kaapelin suojaamista todella vahvalla putkella, on kasvanut huomattavasti.

Ensimmäiseksi kysyttiin projektipäälliköiltä, oliko kustannusten nousuun luonnollisia syitä. Muutamilla projekteilla reitin kasvuun löytyikin selviä syitä mm. yhteiskaivuhankkeiden sekä dokumentaation puutteen takia. Esimerkiksi yhdellä projektilla dokumentaatio kertoi alueen pylväiden olleen 90- luvulla pystytettyjä sekä suhteellisen hyvässä kunnossa. Kuitenkin maastosuunnittelija oli huomannut, että suurin osa pylväistä olikin jo 60- luvulla pystytettyjä sekä olivat lahoja. Ne tultiin kaikki saneeraamaan.

Seuraavaksi tarkastelun alle otettiin yksittäiset projektit, joilla oli suurin kustannusten eroavaisuus. Maastosuunnittelu tehdään samalle Trimble NIS -suunnitelmalle kuin sähköinen suunnittelu, joten kopiota pelkästä sähköisistä suunnitelmista ei ollut. Tämän takia lopullista suunnitelmaa pystyttiin ainoastaan vertaamaan yleissuunnitelmaan, josta on tallennettu erillinen kopio. Tämän takia täysin

tarkkaa tarkastelua ei pystytty tekemään. Pystyttiin kuitenkin arviomaan oman kokemuksen perusteella, onko suurin muutos tapahtunut suunnitteluvirheiden takia vai onko projektin kustannusten nousuun jokin muu syy.

Tarkemmassa tarkastelussa havaittiin merkittävän osan teiden yksittäisistä alituksista kasvaneen muutamilla metreillä. Tämä selittäisi suurimmaksi osaksi juuri alituksista johtuneen kustannusten kasvun. Jos projektilla jokainen alitus on arvioitu muutamilla metreillä pieleen, siitä kasvaa nopeasti suurikin lisäkustannus. Liitteessä 3 on esitetty Elenialla ohjeistettuja alitusten minimipituuksia. Tämä ohjeistus on luotu vuonna 2015, jolloin suurin osa Säävarma -projekteista keskittyi taajama-alueisiin. Suunnitelmia tarkastellessa huomattiin alitusten olevan pidempiä kuin ohjeistuksessa annetut pituudet. Joissakin projekteissa huomattiin myös maastosuunnittelijan käyttäneen vierekkäisiä alitusyksiköitä. Oikea tyyli tähän olisi ollut käyttää ”lisäputken asennus tien alitukseen” lisäyksikköä. Ohjeistusta suuremman putken käyttämisestä alituksissa ei ole. Verkostosuunnittelijan on vain arvioitava, kuinka paljon eri kokoisia kaapeleita mahtuu putkeen. Yhdellä suunnitelmalla kaikki alitukset oli vaihdettu suuremmaksi putkeksi, joka selittää suuren prosentuaalisen piikin isomman putken käytössä.

Tarkempaa betonoinnin käytön ohjeistusta verkostosuunnittelijoilla ei ole käytössä. Ainoana työkaluna verkostosuunnittelijoilla on käytössään maaperäkartat, jossa mahdolliset kallioiset kohdat näkyvät. Verkostosuunnittelijoilta kysyessä betonoinnin osuus kallioisen maaperän kaapeloinnista vaihteli 25 ja 50 prosentin välillä. Suunnitelmien tarkemmassa tarkastelussa huomattiin kuitenkin maastossa käytetyn betonoinnin määrän olevan suurempi. Äärimmäisissä tapauksissa betonointia on jouduttu käyttämään koko maaperäkartan näyttämien kallioisten alueiden ylikin. Muutamilla projektien alueilla ei myöskään ole ollut käytössä maaperäkarttaa, joten siellä tapahtuneet betonoinnit ovat tulleet yllätyksenä ja kasvattaneet kustannuksia suuresti.

## 6 MITTARISTON ESITTELY

Elenian ohjeistuksen lisäksi mittareiden valintaan ovat vaikuttaneet haastattelut, Power BI -analyysi sekä oma kokemukseni verkostosuunnittelijaharjoittelijana. Mittaristo rakentuisi kuudesta mittarista, jonka avulla on tarkoitus mitata suunnitelman eri osa-alueita. Suunnitelmaa tultaisiin mittaamaan teknisen toteutuksen lisäksi taloudellisesta näkökulmasta. Mittareina toimisivat muuntopiirin mitoitus, komponenttien käyttö, kustannusten mallintaminen, tavoiteverkon mukainen suunnittelu, PJ -topologia sekä tarketiedot.

### 6.1 Muuntopiirin mitoitus

Muuntopiirin mitoitus yhtenä mittarina oli selvä. Mittarin tavoitteena olisi varmistaa suunnitelman teknillisten vaatimusten täyttymiset. Siihen on sisällytetty sähköisten suojausten täytyminen, muuntajakoneen valinta sekä mahdollisen ilmaan jäävän pienjänniteverkon erillinen suojaaminen. Alla olevassa taulukossa 5 on esitetty yhteenveto mittarista.

TAULUKKO 5. Muuntopiirin mitoitus -mittarin yhteenveto

<b>Mittari</b>	<b>Kuvaus</b>
Muuntopiirin mitoitus	Muuntopiiri on mitoitettu ja rakennettu siten, että se vastaa Elenian ohjeistuksen mallia. Arvosanaluokitus 0, 1 tai 2.
<b>Tarkistuskohde</b>	<b>Kuvaus</b>
Nollausehtovirhe	Muuntopiiri on mitoitettu siten, että nollausehtovirheitä ei esiinny.
Oikosulkuvirta	Suunnitelmalla toteutuu 5 sekunnin oikosulkuvirtavaatimus
Maadoitusarvon toteutuminen	Liittymiskaapelit ovat alle 200 metriä pitkiä.
Jännitteenalenema	Liittymien jännitteenalenemat ovat viitearvojen sisällä.
Oikosulku- ja ylikuormitussuojaus	Johtimet on suojattu oikeanlaisilla oikosulkuvirta- ja ylikuormitussuojauksilla.
Muuntajakoneen kuorma	Muuntopiirin muuntajakoneen kuorma on viitearvojen sisällä.
Ilmajohtoverkolle oma suojaus	Maastoon jäävä PJ -ilmajohtoverkko on suojattu omalla suojauksella.
Selektiivisyys	Suojausten selektiivisyys toteutuu.

Nollausehtovirheen ilmestymistä, oikosulkuvirran vaatimusten täyttymistä, oikosulku- ja ylikuormitussuojausten oikeanlaista valitsemista sekä alle 200 metrin liittymisjohdon säännön noudattamista on painotettu enemmän arvosana arvostelussa. Loputkin arvot ovat tärkeitä suunnittelun näkökulmasta mutteivat kuitenkaan yhtä kriittisiä suunnitelman maastossa toteuttamisen kannalta. Ajatuksena olisi, että jos yksikin näiden painotettujen tarkistuskohteiden vaatimuksista ei toteudu niin mittarin arvosana on suoraan nolla. Jos muiden tarkastuskohtien kuvauskentässä esitetyt vaatimukset ei toteudu, mutta painotettujen tarkistuskohteiden vaatimukset täyttyvät, tulisi mittarin arvosanaksi yksi. Jos kaikki tarkastuskohtien vaatimukset toteutuvat, olisi mittarin arvosana kaksi. Tarkistuskohteille, joille tarvitaan raja-arvoja, ehdotan käyttämään Elenian ohjeistuksessa määritetyjä arvoja. Nämä alakohdat pitäisi olla helposti tarkastettavissa, koska yksittäiset suunnittelijan näkemykset eivät saisi vaikuttaa raja-arvojen täyttymiseen.

## 6.2 Komponenttien käyttö

Komponenttien käyttö valittiin mittariksi projektisuunnittelijan haastattelun perusteella. Mittarin tavoite on varmistaa, että suunnitelman komponentit olisivat asennusvalmiita ilman muutoksia. Alla olevassa taulukossa 6 on esitetty yhteenveto mittarista.

TAULUKKO 6. Komponenttien käyttö -mittarin yhteenveto

<b>Mittari</b>	<b>Kuvaus</b>
Komponenttien käyttö	Suunnitelman komponentteja on käytetty siten, että suunnitelma voidaan toteuttaa ilman muutoksia. Arvosanalukitus 0 tai 2.
<b>Tarkistuskohte</b>	<b>Kuvaus</b>
Kytkimet	Kytкимиä on käytetty oikein.
Jakokaapit ja PJ -keskukset	Jakokaapit ja PJ -keskukset on päätetty siten, että niihin suunnitellut kytkimet mahtuvat maastossa.
Muuntamo	Suunnitelmalle laitettu muuntajakone mahtuu muuntamoon.
Muuntajakone	Muuntajakone on malliltaan sellainen, että sen voi tilata.

Mittarissa on esitetty esimerkillisiä alakohtia komponenteista. Nämä komponentit tulivat esiin haastattelun yhteydessä yleisimpinä virheinä. Suunnittelijan tulisi olla

tietoinen mm. miten eri komponentit asennetaan maastoon, kuinka paljon jakokaapeissa ja muuntamon PJ- keskuksissa on tilaa varokeytymiselle ja minkälaisia komponentteja Elenialla on käytössä.

Mittarin arvosanalukitus olisi joko nolla tai kaksi. Minkä tahansa komponentin väärinkäyttö asettaisi mittarin arvosanan nolnaan. Arvosanan kaksi saisi, jos kaikkia suunnitelman komponentteja olisi käytetty oikein.

### 6.3 Kustannusten mallinnus

Sähköinen suunnittelu on myös taloudellista toteutusta, joten tästä syystä kustannusten mallinnus valittiin yhdeksi mittariksi. Mittarin tarkoituksena on varmistaa suunnitelman mahdollisimman tarkka kustannuslaskelman toteutuminen, sekä pyrkiä vähentämään turhia kustannuksia. Alla olevassa taulukossa 7 on esitetty yhteenveto mittarista.

TAULUKKO 7. Kustannusten mallinnus -mittarin yhteenveto

<b>Mittari</b>	<b>Kuvaus</b>
Kustannusten mallinnus	Suunnitelmalla on pyritty olemaan kustannustehokas ja mallintamaan kustannuksia mahdollisimman tarkasti. Arvosanalukitus 0,1 tai 2.
<b>Tarkistuskohde</b>	<b>Kuvaus</b>
CPP -reittien käyttö	CPP- reittejä on käytetty todenmukaisesti.
Lisäyksiköt	Erikseen määritettyjä lisäyksiköitä on suunnitelmalla käytetty tarvittaessa.
PJ -saneerauksen laajuus	Pitkiä KJ- kaapelointireitiltä erkanevia PJ -saneerauksia on pyritty välttämään.
Samana kaapeloijan käyttö	Samana kaapelointireittejä on pyritty hyödyntämään mahdollisimman paljon.

Rakennuttajan haastattelun perusteella verkostosuunnittelijoiden suurimpana heikkoutena nähtiin CPP -reittien lisäyksiköiden käyttö. Projektisuunnittelijan haastattelussa kävi ilmi, että ulkoisesti tehtyjen suunnitelmien yksi yleinen virhe oli liiallinen PJ -verkon saneeraaminen. Myös Power BI -analyysistä voitiin huomata, että mahdollisista monista pienistä kustannusten aliarvioimisista voi kasvaa suuri eroavaisuus. Tämän takia mittarin alakohdiksi on valittu CPP -reittien käyttö, Lisäyksiköiden käyttö, PJ -verkon saneerauslaajuus ja samana kaapeloijan hyödyntäminen.

CPP -reittien käyttö on hyvä mutta haastava alakohta. CPP -reittien käyttö sähköisessä suunnittelussa on välillä arpapeliä, koska maastossa voi tilanne olla erilainen verrattuna karttaan. Tämän takia pitäisi olla jonkinlainen selvä ohjeistus kaikkien mahdollisten CPP -reittien käytöstä. Power BI -analyysin projektien tarkempien tarkastelujen aikana huomattiin, että esimerkiksi betonointien määrä vaihteli laajasti alueittain.

Tarkastajalle pitäisi olla selvä jokaisen mahdollisen lisäyksikön käyttö jokaisessa mahdollisessa tilanteessa, että voidaan tarkastaa suunnitelman laatua lisäyksiköistä. Verkostosuunnittelijoita täytyisi näin ollen perehdyttää lisää lisäyksiköiden käyttöön, koska suurinta osaa lisäyksiköistä ei käytetä usein.

PJ -saneerauksen laajuus on mittarina hyvä, koska tällaisten virheiden tekeminen voi kasvattaa kustannuksia huomattavasti. Kuitenkin suunnitteleminen on näkemyskohtaista ja saneerauksen syyt tulisi selvittää suunnittelijalta. Kuitenkin selvät KJ -reitiltä poikkeavat saneeraukset ovat helposti huomattavissa.

Arvosanalukituksessa olisi mahdollista mittarista antaa arvosanat nolla, yksi tai kaksi. Arvosanan nolla saisi, jos yli puolet tarkistuskohteiden kuvauskentissä esitetyistä vaatimuksista ei täytyisi. Arvosanan yksi saisi, jos yli puolet tarkistuskohteiden kuvauskentässä esitetyistä vaatimuksista täytyisivät. Arvosanan kaksi saisi, jos kaikki tarkistuskohteiden kuvauskentässä esitetyistä vaatimuksista täytyisivät.

#### **6.4 Tavoiteverkon mukainen suunnittelu**

Säävarman verkon päätavoite on saneerata keskijänniteverkko sekä sen varrella oleva pienjänniteverkko. Kuitenkin suunnittelijan tulisi aina ajatella tavoiteverkkoa, jossa kaikki ilmajohtoverkko on kaapeloitu. Tämän takia tavoiteverkon mukainen suunnittelu on otettu yhdeksi mittariksi. Alla olevassa taulukossa 8 on esitetty yhteenveto mittarista.

TAULUKKO 8. Tavoiteverkon mukainen suunnittelu -mittarin yhteenveto

Mittari	Kuvaus
Tavoiteverkon mukainen suunnittelu	Suunnittelussa on huomioitu tavoiteverkon tilanne mahdollisilla varauksilla. Arvosanalukitus 0 tai 2

Mahdolliset varaukset olisi hyvä laittaa silloin, kun kaapeliojia kaivetaan ensimmäistä kertaa. Suunnittelijan pitäisi pystyä hahmottamaan, minne varauksia on järkevä laittaa. Täysin turhia varauksia voidaankin pitää turhina kustannuksina ja tämän takia mittari voi olla vaikea arvostella.

Mittarin arvosanalukitus olisi joko nolla tai kaksi. Mittarin arvosana olisi nolla, jos mittarin kuvauskentässä esitetty vaatimus ei täyty. Mittarin arvosana olisi kaksi, jos mittarin kuvauskentässä esitetty vaatimus täyttyisi.

## 6.5 PJ -topologia

PJ -topologia -mittarin tarkoitus on varmistaa suunnitelman topologian rakentaminen sekä kustannusten hallitseminen topologian rakentamisessa. Siihen on sisällytetty mahdollisen liiallisen ja turhan taaksepäin suuntautuvan topologian välttäminen, jakokaappien sijoittaminen sekä turhien vierekkäisten runkokaapeleiden välttäminen. Alla olevassa taulukossa 9 on esitetty yhteenveto mittarista.

TAULUKKO 9. PJ -topologia -mittarin yhteenveto

Mittari	Kuvaus
PJ -topologia	Suunnitelman topologia on rakennettu mahdollisimman selvästi. Arvosanalukitus 0, 1 tai 2
Tarkistuskohde	Kuvaus
Taaksepäin suuntautuva topologia	Liiallista ja turhaa taaksepäin suuntautuvaa topologiaa on pyritty välttämään.
Jakokaappien sijainti	Jakokaapit on sijoitettu topologian kannalta sopiviin paikkoihin.
Vierekkäiset runkokaapelit	Suunnitelmalla on pyritty välttämään pitkiä matkoja vierekkäisiä runkokaapeleita.

Taaksepäin suuntautuvaa topologiaa ei pystytä täysin välttämään koskaan. Se on yhteydessä jakokaappien sijoittamiseen sekä suunnittelijan omaan näkemykseen verkon topologiasta. Kuitenkin selvä liiallinen ja turha taaksepäin suuntau-

tuva topologia on helppo huomata. Jakokaappien sijoittamiseen on Elenialla olemassa ohjeistuksia, vaikka suunnittelijan omat näkemykset myös vaikuttavat sijoittamiseen. Turhat vierekkäiset runkokaapelit pitäisi olla helposti havaittavissa. Mittarin arvosana voi olla hankala arvioida, koska yksittäisen suunnittelijan näkemykset vaikuttavat verkon topologiaan.

Arvosanalukituksessa olisi mahdollista mittarista antaa arvosanat nolla, yksi tai kaksi. Arvosanan nolla saisi, jos yli puolet tarkistuskohteiden kuvauskentässä esitetyistä vaatimuksista ei täytyisi. Arvosanan yksi saisi, jos yli puolet tarkistuskohdeiden kuvauskentässä esitetyistä vaatimuksista täytyisivät. Arvosanan kaksi saisi, jos kaikki tarkistuskohteiden kuvauskentässä esitetyistä vaatimuksista täytyisivät.

## 6.6 Tarketiedot

Tarketiedot ovat tärkeitä jo pelkän turvallisuuden kannalta. Tästä syystä niiden sisällyttäminen suunnitelman laatuun oli selvää. Tarketiedot otettiin omaksi mittariin, koska niitä oli vaikea sisällyttää järkevästi toiseen mittariin. Mittarin alakohtiin on sisällytetty tunnus, osoite sekä lähdön suunta. Alla olevassa taulukossa 10 on esitetty yhteenveto mittarista.

TAULUKKO 10. Tarketiedot -mittarin yhteenveto

<b>Mittari</b>	<b>Kuvaus</b>
Tarketiedot	Komponenteille on annettu tarvittavat tarketiedot. Arvosanalukitus 0, 1 tai 2
<b>Tarkistuskohte</b>	<b>Kuvaus</b>
Tunnus	Yksilöivä tunnus on annettu niitä tarvitseville komponenteille.
Osoite	Sijaintitietoa kuvaava osoite on annettu niitä tarvitseville komponenteille.
Lähdön suunta	Komponenttien lähdön suuntien nimet ovat Elenian ohjeistuksen mukaiset.

Tarketiedoista on tehty oma ohjeistus Elenialla ja näitä tulisi noudattaa. Kuitenkin verkostosuunnittelijoiden haastattelujen perusteella huomattiin ohjeiden olevan välillä sekavia. Tärkeintä alustavasti on aina suunnittelussa kuitenkin se, että tarketiedot on edes täytetty. Ne tullaan tarkastamaan vielä useampaan otteeseen

dokumentoinnin tarkastuksessa, ennen kuin uusi verkko ajetaan Master -tietokantaan. Mittari on mielestäni hyvä yksinkertaisuudessaan, koska tarketiedoille on selvät ohjeistukset, joita tulee noudattaa.

Arvosanalukituksessa olisi mahdollista mittarista antaa arvosanat nolla, yksi tai kaksi. Arvosanan nolla saisi, jos mitään tarketietoja ei ole täytetty. Arvosanan yksi saisi, jos joitain tarketietoja puuttuisi. Arvosanan kaksi saisi, jos kaikki vaaditut tarketiedot on täytetty.

## 6.7 Suunnitelman laatuarvosana

Kaikkien mittareiden arvosanoista muodostuu suunnitelmalle oma laatuarvosana. Pääajatuksena on, että suunnitelma olisi toteutuskelpoinen. Tämän takia muuntopiirin mitoitus sekä komponenttien käyttö -mittareilla olisi suurin painoarvo. Muut ovat myös tärkeitä mittareita, mutta ne eivät vaikuta suoraan suunnitelman toteutuskelpoisuuteen.

Arvosana-asteikkona ehdotan käyttämään yksinkertaista 0 – 5 asteikkoa. Alla olevassa taulukossa 11 on esitetty arvosana ja sen tarkoitus.

TAULUKKO 11. Suunnitelman arvosana-asteikko esimerkki

Arvosana	Kuvaus
0	Suunnitelma toteutuskelvoton
2	Suunnitelma palautettu toteutuskelpoisena
3	Suunnitelma toteutuskelpoinen mutta puutteellinen
5	Suunnitelma hyvä

Arvosana nolla tarkoittaisi toteutuskelvotonta suunnitelmaa. Arvosanan nolla saisi, jos jokin painotettujen mittarien arvosanoista olisi nolla tai yli puolet muiden mittarien arvosanoista olisivat nollia. Tämän jälkeen suunnitelma tulisi palauttaa suunnittelijalle, joka korjaisi suunnitelman. Kun suunnitelma tulee takaisin ja on toteutuskelpoinen, suunnitelman arvosana olisi kaksi. Arvosana kolme annettaisiin suunnitelmalle, jos suunnitelma olisi toteutuskelpoinen, mutta jokin mittareista saisi arvosanan nolla tai yli puolet mittareista saisi arvosanan yksi. Tämän jälkeen suunnitelma menisi palautukseen mutta sen arvosana ei tippuisi kolmea pienemmäksi. Arvosana viisi annetaan suunnitelmalle, jos minkään mittarin arvosana ei olisi nolla ja yli puolet mittareista ovat saaneet arvosanan kaksi.

## 7 POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteeksi asetettiin rakentaa laatumittaristo, jolla pystyttäisiin seuraamaan sähköisen suunnittelun laatua Elenia Oy:ssä. Opinnäytetyön tuloksena syntyi sille tavoitteeksi tehty mittaristo, joka on esitetty liitteessä 4. Mittaristo perustuu työssä kerättyyn teoriaan, haastatteluihin, Power Bi -analyysiin ja omaan kokemukseen verkostosuunnittelijaharjoittelijana. Mittariston tarkoituksena on pyrkiä saamaan laatuarvosana yksittäiselle sähköiselle suunnitelmalle.

Mittariston rakentaminen alkoi jo harjoitteluajanani, jolloin keräsin tietoa eri verkostosuunnittelijoiden näkemyksistä. Vastausten myötä tuli ilmi, että monet ohjeistukset, joita verkostosuunnittelijoilla on käytössä, ovat joko sähköposteilla lähetetty tai vaikeasti löydettävissä. Myös joistakin asioista, kuten CPP -reittien lisäyksiköiden käytöstä, ei ole minkäänlaista selvää ohjeistusta. Havaitsin myös suunnittelun olevan hyvin näkemyskohtaista, joten joidenkin asioiden mittaaminen voi koitua hankalaksi.

Mittariston rakentamista jatkettiin asiantuntijahaastatteluilla. Haastateltavina olivat projektisuunnittelija ja rakennuttaja. Haastattelut onnistuivat mielestäni hyvin ja sain haastateltavilta tietoa heidän havaitsemistaan suunnittelupuutteista. Laatueroavaisuudet Elenian sisäisesti ja ulkopuolisesti tehtyjen suunnitelmien välillä olivat kiehtovia. Elenian sisällä suurimmaksi laatupuutetekijäksi huomattiin CPP -reittien lisäyksiköiden käyttö. Elenian ulkopuolella tehtyjen suunnitelmien suurimmat laatupuutteet huomattiin liittyvän PJ -verkon saneerauslaajuuteen sekä Trimble NIS -komponenttien käyttöön. Mittaristoon pystyttiin näiden perusteella lisäämään mittareita liittyen kaikkiin laatupuutos havainnoiteihin.

Seuraavaksi tarkasteltiin 2019 vuoden projektien sähköisen suunnittelun ja maastosuunnittelun kustannusmuutoksista tehtyä analyysia. Sähköisiä suunnitelmia ja maastossa tarkennettuja suunnitelmia ei voitu verrata suoraan keskenään, koska kopiota sähköisistä suunnitelmista ei ollut. Analyysin yleiskuvasta pystyttiin kuitenkin jo päättelemään CPP -reittien käytön olleen suurin kustannusmuutoksien syy. Tästä saatiin mittaristoon mittari kustannusten oikealmaisista mallintamisista.

Mittaristoon saatiin kerättyä kuusi eri mittaria, jotka mittaavat kattavasti suunnitelman eri osa-alueita. Suunnitelmaa tulnaisiin mittamaan teknillisistä sekä taloudellisista näkökulmista. Jotkin mittarit ovat helposti tarkastettavia, koska niillä on jo valmiiksi selviä ohjeistuksia Elenialla ja standardissa. Loppujen mittarien tarkastaminen voi tuottaa hankaluuksia suunnittelijakohtaisten näkemuserojen takia. Mittarien arvosanat saataisiin alakohtien vaatimusten täyttymisistä ja suunnitelman laatuarvosanaan vaikuttaisi yksittäisten mittarien arvosanat.

Tutkimuksen tulokset vastasivat melko pitkälti jo valmiiksi ajateltuja mittareita mutta ne antoivat laajempaa käsitystä koko suunnittelutyöstä. Opinnäytetyönä tehty mittaristo on vasta alustavassa vaiheessa ja sitä tullaan jatkokehittämään Elenialla sisäisesti. Olen itse kehitystiimissä ja toivon laatumittariston olevan pilottikäytössä vuoden 2020 loppuun mennessä. Lisäksi toivon opinnäytetyön teoria osuuden säävarman verkon rakentamisesta olevan avuksi uusien verkosto-suunnittelijaharjoittelijoiden perehdytyksessä.

## LÄHTEET

Elenia Oy. Elenia Oy:n verkkosivut. Elenian säävarman tarina. Luettu 07.12.2019. [https://www.elenia.fi/sahko/saavarma\\_tarina](https://www.elenia.fi/sahko/saavarma_tarina)

Kankkunen, Matikainen & Lehtinen 2005. Mittareilla menestykseen

Laamanen & Laine & Pääkkönen & Vakkuri & Vallinoja & Väyrynen. 1999. Mittaamisen parantaminen. Helsinki Laatu keskus (Edita).

Lakervi, Partanen. 2008. Sähkönjakelutekniikka.

Lecklin, Olli. 2002. Laatu yrityksen menestystekijänä.

Leena Korpinen. Vikatilanteet. Luettu 29.3.2020. <http://www.leenakorpinen.fi/archive/sahkoverkko/vikatilanteet.pdf>

Leena Korpinen. Sähköturvallisuus. Luettu 29.3.2020. [http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt\\_opus/7sahkoturvallisuus.pdf](http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/7sahkoturvallisuus.pdf)

Liisa Näpäri. 2017. Haastattelun lajityypit. Luettu 29.2.2020. <https://spoken.fi/2180/>

Trimble Energy & Public Administration. Trimble NIS. Luettu 28.2.2020. <https://utilities.trimble.fi/trimble-nis-sahkoverkoille.html>

Power BI. Microsoft. Versio 2.65.5313.1562 64-bit. 2020.

SFS 6000. 2017. Pienjännitesähköasennukset osa 1-2: Erikoistilojen ja täydentävät vaatimukset. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS.

Sähkömarkkinalaki 9.8.2013/ 588

Tricker, Sherring-Lucas. 2001. ISO 9001:200 in Brief

Ville Syväälä. 2016. Pienjänniteverkon mitoitus ja sähköinen suojaus.

## LIITTEET

Liite 1. Yksittäisten johtojen sallitut oikosulkusuoja- ja kuormitettavuudet ja sallitut ylikuormitussuojat eri asennustavoilla.

Kaapeli	Asennus- tapa	Sallittu kuorma $I_{max}$	Runkojohdon ylikuormitus- suoja	Runkojohdon oikosulku- suoja	Asennus- tapa	Liittymis- johdon ylikuormitus- suoja	Liittymis- johdon oikosulku- suoja	Ylikuormitus- suoja asennustapa A - G	Ylikuormitus- suoja asennustapa D
AX16	D	78	63	125	C	50	100	35	63
AX25	D	100	80	160	C	63	125	50	80
AX35	D	125	100	200	C	80	160	50	100
AX50	D	150	125	250	C	100	200	63	125
AX70	D	185	160	315	C	125	250	80	160
AX95	D	220	200	400	C	160	315	100	160
AX120	D	255	250	500	C	160	400	125	200
AX150	D	280	250	630	C	200	500	125	250
AX185	D	330	315	800	C	250	630	160	250
AX240	D	375	315	1000	C	250	800	160	315
AX300	D	430	400	1250	C	315	1000	200	315
AMC16	D	78	63	100	C	50	100	35	63
AMC25	D	100	80	100	C	63	100	50	80
AMC35	D	125	100	100	C	80	100	50	100
AMC50	D	150	125	125	C	100	100	63	125
AMC70	D	185	160	200	C	125	160	80	160
AMC95	D	220	200	250	C	160	200	100	160
AMC120	D	255	250	315	C	160	250	125	200
AMC150	D	280	250	315	C	200	250	125	250
AMC185	D	330	315	400	C	250	315	160	250
AMC240	D	375	315	400	C	250	315	160	315
AMC300	D	430	400	630	C	315	400	200	315
AM16	E	70	63	100	E	63	100	-	-
AM25	E	90	80	125	E	80	125	-	-
AM35	E	115	100	160	E	100	160	-	-
AM50	E	140	125	200	E	125	200	-	-
AM70	E	180	160	250	E	160	250	-	-
AM95	E	210	160	315	E	160	315	-	-
AM120	E	250	200	315	E	200	315	-	-
MC6	D	57	50	63	C	25	63	25	50
MC10	D	77	63	100	C	50	100	35	63
MC16	D	100	80	125	C	63	125	50	80
MC25	D	130	100	125	C	80	125	63	100
MC35	D	160	125	125	C	100	125	80	125
MC50	D	190	160	200	C	125	160	80	160
MC70	D	240	200	250	C	160	200	100	200
MC95	D	285	250	315	C	200	315	125	250
MC120	D	325	315	400	C	250	315	160	250
MC150	D	370	315	400	C	250	315	160	315
MC185	D	420	400	500	C	315	400	200	315
MC240	D	480	400	630	C	315	500	250	400
MMJ6	C	43	35	63	C	25	63	25	-
MMJ10	C	60	50	100	C	50	100	35	-
MMJ16	C	80	63	125	C	63	125	50	-
MMJ25	C	102	80	160	C	80	160	63	-
MMJ35	C	126	100	200	C	100	200	80	-
MMJ50	C	153	125	250	C	125	250	80	-

Liite 2. Liittymisjohtojen sallitut kaapelikohtaiset ylikuormitussuojat eri tilanteissa.

Kaapeleita vierekkäin kpl	Kaapeli	Liittymisjohdon kaapelikohtainen ylikuormitussuoja A (gG) vierekkäisillä kaapeleilla. Vierekkäisten kaapeleiden mitoitusarvot kattavat sekä putkettoman, että putkellisen asennuksen (huonoin mitoitus, etäisyydet joko kaapeleiden tai putkien välillä).												
		Sallittu kuorma $I_{max}$	1		2		3		4		5		6	
		D (maa)	D (maa)	D (putki)	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
Vierekkäisten etäisyys mm					0	0	250> ≥70	0	250> ≥70	0	250> ≥70	0	250> ≥70	
AX16	78	63	50	50										
AX25	100	80	63	63										
AX35	125	100	80	80										
AX50	150	125	100	100										
AX70	185	160	125	125										
AX95	220	160	125	125										
AX120	255	200	160	160										
AX150	280	250	200	160	160	160	125	160	125	125	125	125	125	
AX185	330	250	250	200	160	200	160	160	160	160	160	160	160	
AX240	375	315	250	250	200	200	200	200	160	200	160	200	200	
AX300	430	315	250	250	250	250	200	250	200	200	200	200	200	
AMC16	78	63	50	50										
AMC25	100	80	63	63										
AMC35	125	100	80	80										
AMC50	150	125	100	100										
AMC70	185	160	125	125										
AMC95	220	160	160	125										
AMC120	255	200	160	125										
AMC150	280	250	200	160	160	160	125	160	125	125	125	125	125	
AMC185	330	250	250	200	160	200	160	160	160	160	160	160	160	
AMC240	375	315	250	250	200	200	200	200	160	200	160	200	200	
AMC300	430	315	315	250	250	250	200	250	200	200	200	200	200	
MC6	57	50	25	25										
MC10	77	63	50	50										
MC16	100	80	63	63										
MC25	130	100	80	80										
MC35	160	125	100	100										
MC50	190	160	125	125										
MC70	240	200	160	160										
MC95	285	250	200	160										
MC120	325	250	250	200										
MC150	370	315	250	250	200	200	200	200	160	200	160	200	200	
MC185	420	315	315	250	250	250	200	200	200	200	200	200	200	
MC240	480	400	315	315	250	250	250	250	250	250	200	250	250	

#### Referenssi-asennustavat

Yleistötystä

<b>A</b>	Kaapeli lämpöeristettyyn seinään upotetussa putkessa
<b>B</b>	Kaapeli pintaan (esim. seinälle) asennetussa putkessa
<b>C</b>	Kaapeli suoraan puuseinällä
<b>D</b>	Kaapeli maassa
<b>E</b>	Monijohdinkaapeli vapaasti ilmassa
<b>F</b>	Yksijohdinkaapelit vapaasti ilmassa kiinni toisissaan
<b>G</b>	Yksijohdinkaapelit vapaasti ilmassa erillään toisistaan

### Liite 3. Alitusten minimipituuksia

Hei,

Ohessa yhteistyöpäivässä sovitut alitusmäärät ja menetelmät. Näitä käytetään tästä eteenpäin ja päivitetään käyttökokemusten perusteella tarpeen mukaan.

#### - Moottoritiet

- Suuntaporaus, teräsputki, alituspituus yleensä yli 50 metriä
- Varottava pohjavesisuojaus ym., joista löytyy tietoa ELY –keskuksen web – sivuilta
- Alituspaikka on hyvä varmistaa etukäteen maastokatselmuksella esim. projektivastaavan kanssa

#### - Muut valtatiet (tienumerot: 1-39)

- Suuntapora, teräsputki jos tierakenteessa louhetta
- 20-40 metriä, tierakenne huomioitava tapauskohtaisesti (esim. leveämmät risteysalueet), tien ulkoluiskasta +1 metriä on ELY –luvan ehtona

#### - Kantatiet (tienumerot: 40-99)

- Tunkkaus, jos louherakenne niin suuntaporaus ja teräsputki
- 25 metriä

#### - Seututiet (tienumerot: 100-999)

- Tunkkaus
- 20 metriä

#### - Yhdystiet (tienumerot: 1000-1999)

- Tunkkaus
- 20 metriä

#### - Erikseen numeroidut kadut (40001-49999)

- Tunkkaus
- 15 metriä

#### - Asuntokadut

- Tunkkaus, jos ahtaat paikat, niin kaivu + asfaltointi
- 10 metriä

#### - Kevyen liikenteenväylät

- Tunkkaus
- 6 metriä

Lisäksi kaikkien suurjännitejohtojen ( $\geq 110$  kV) alituskohdissa kaapelit tulee asentaa putkeen. VR vaatii tuplaputituksen sähköistetyin junaradan alituskohdissa käytettäessä Wiski –tyypin kaapelia.

## Liite 4. Sähköisen suunnittelun laatumittaristo

1(4)

Mittari	Kuvaus	Arvosana
Muuntopiirin mitoitus	Muuntopiiri on mitoitettu ja rakennettu siten, että se vastaa Elenian ohjeistuksen mallia. Arvosanalukitus 0, 1 tai 2.	

Tarkistuskohte	Kuvaus	Kyllä/ Ei
Nollausehtovirhe*	Muuntopiiri on mitoitettu siten, että nollausehtovirheitä ei esiinny.	
Oikosulkuvirta*	Suunnitelmalla toteutuu 5 sekunnin oikosulkuvirtavaatimus	
Maadoitusarvon toteutuminen*	Liittymiskaapelit ovat alle 200 metriä pitkiä.	
Jännitteenalenema	Liittymien jännitteenalenemat ovat viitearvojen sisällä.	
Oikosulku- ja ylikuormitussuojaus*	Johtimet on suojattu oikeanlaisilla oikosulkuvirta- ja ylikuormitussuojauksilla.	
Muuntajakoneen kuorma	Muuntopiirin muuntajakoneen kuorma on viitearvojen sisällä.	
Ilmajohtoverkolle oma suojaus	Maastoon jäävä PJ -ilmajohtoverkko on suojattu omalla suojauksella.	
Selektiivisyys	Suojausten selektiivisyys toteutuu.	

(\* = Vastaus "ei" laittaa päämittarin arvosanan suoraan nollassi)

Jos kaikki vastaukset "kyllä" niin mittarin arvosana 2

Jos yksikin vastaus "ei" mittarin arvosana 1

Jos enemmän kuin yksi "ei" vastaus mittarin arvosana 0

2(4)

Mittari	Kuvaus	Arvosana
Komponenttien käyttö	Suunnitelman komponentteja käytetty siten, että suunnitelma voidaan toteuttaa ilman muutoksia. Arvosanalukitus 0 tai 2.	

Tarkistuskohde	Kuvaus	Kyllä/ Ei
Kytkimet*	Kytкимиä on käytetty oikein.	
Jakokaapit ja PJ -keskukset*	Jakokaapit ja PJ- keskukset on päätetty siten, että niihin ajatellut kytkimet mahtuvat maastossa.	
Muuntamo*	Suunnitelmalle laitettu muuntajakone mahtuu muuntamoon.	
Muuntajakone*	Muuntajakone on malliltaan sellainen, että sen voi tilata.	

Jos kaikki vastaukset "kyllä" niin mittarin arvosana 2

Jos yksikin vastaus "ei" mittarin arvosana 0

Mittari	Kuvaus	Arvosana
Kustannusten mallinnus	Suunnitelmalla pyritty olemaan kustannustehokas ja mallintamaan kustannuksia mahdollisimman tarkasti. Arvosanalukitus 0,1 tai 2.	

Tarkistuskohde	Kuvaus	Kyllä/ Ei
CPP -reittien käyttö	CPP- reittejä on käytetty todenmukaisesti.	
Lisäyksiköt	Erikseen määritettyjä lisäyksiköitä on suunnitelmalla käytetty tarvittaessa.	
PJ -saneerauksen laajuus	Pitkiä KJ- kaapelointireitiltä erkanevia PJ -saneerauksia on pyritty välttämään.	
Samana ojan käyttö	Samoja kaapelointireittejä on pyritty hyödyntämään mahdollisimman paljon.	

Jos kaikki vastaukset "kyllä" mittarin arvosana 2

Jos yksikin vastaus "ei" mittarin arvosana 1

Jos puolet tai enemmän vastauksista "ei" arvosana 0

3(4)

Mittari	Kuvaus	Arvosana
Tavoiteverkon mukainen suunnittelu	Suunnittelussa on huomioitu tavoiteverkon tilanne mahdollisilla varauksilla. Arvosanalukitus 0 tai 2	

Mittari	Kuvaus	Arvosana
PJ -topologia	Suunnitelman topologia on rakennettu mahdollisimman selvästi Arvosanalukitus 0, 1 tai 2	

Tarkistuskohte	Kuvaus	Kyllä/ Ei
Taaksepäin suuntautuva topologia	Liiallista ja turhaa taaksepäin suuntautuvaa topologiaa on pyritty välttämään.	
Jakokaappien sijainti	Jakokaapit on sijoitettu topologian kannalta sopiviin paikkoihin.	
Vierekkäiset runkokaapelit	Suunnitelmalla on pyritty välttämään pitkiä matkoja vierekkäisiä runkokaapeleita.	

Jos kaikki vastaukset "kyllä" niin mittarin arvosana 2

Jos yksikin vastaus "ei" mittarin arvosana 1

Jos puolet tai enemmän vastauksista "ei" arvosana 0

Mittari	Kuvaus	Arvosana
Tartetiedot	Komponenteille on annettu tarvittavat tartetiedot. Arvosana 0, 1 tai 2	

Tarkistuskohte	Kuvaus	Kyllä/ Ei
Tunnus	Yksilöivä tunnus on annettu niitä tarvitseville komponenteille.	
Osoite	Sijaintitietoa kuvaava osoite on annettu niitä tarvitseville komponenteille.	
Lähdön suunta	Komponenttien lähdön suuntien nimet ovat Elenian ohjeistuksen mukaiset.	

Jos kaikki vastaukset "kyllä" niin mittarin arvosana 2

Jos yksikin vastaus "ei" mittarin arvosana 1

Jos puolet tai enemmän vastauksista "ei" arvosana 0

4(4)

Mittari	Arvosana
Muuntopiirin mitoitus*	
Komponenttien käyttö*	
Kustannusten mallinnus	
Tavoiteverkon mukainen suunnittelu	
PJ -topologia	
Tartetiedot	

(\* = Jos mittarilla arvosana 0, niin suunnitelma toteutuskelvoton)

Suunnitelman laatuarvosana

Suunnitelman arvosana-asteikko	
Arvosana	Kuvaus
0	Suunnitelma toteutuskelvoton
2	Suunnitelma palautettu toteutuskelpoisena
3	Suunnitelma toteutuskelpoinen mutta puutteellinen
5	Suunnitelma hyvä