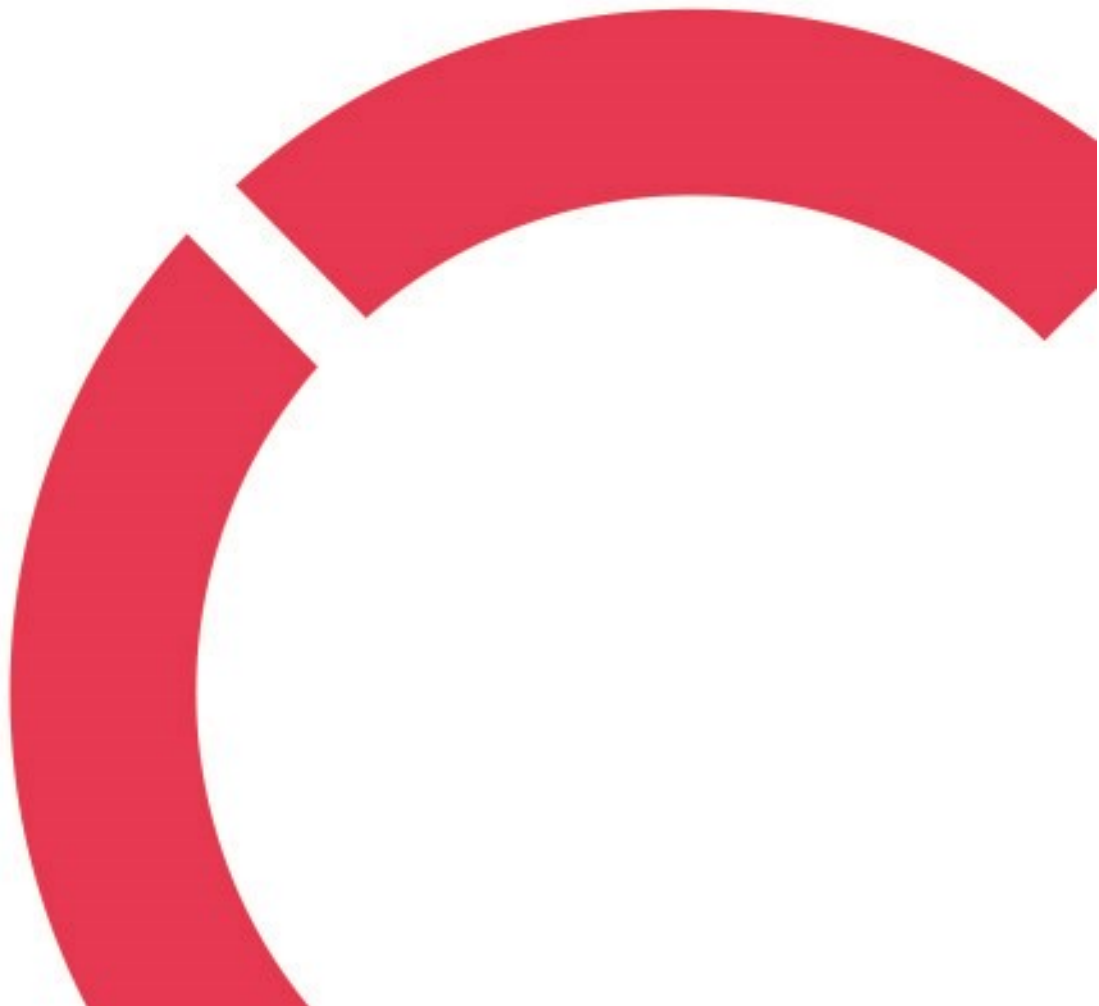


**Jere Herrala**

**SÄHKÖVERKON RAKENTAMINEN**  
**Sähköverkon saneeraus ilmajohdoista maakaapeleiksi**

**Opinnäytetyö**  
**CENTRIA-AMMATTIKORKEAKOULU**  
**Sähkö- ja automaatiotekniikan insinööri**  
**Marraskuu 2023**



<b>Centria-ammattikorkeakoulu</b>	<b>Aika</b> Marraskuu 2023	<b>Tekijä/tekijät</b> Jere Herrala
<b>Koulutus</b> Sähkö- ja automaatiotekniikan insinööri		<input checked="" type="checkbox"/> AMK <input type="checkbox"/> YAMK
<b>Työn nimi</b> SÄHKÖVERKON RAKENTAMINEN. Sähköverkon saneeraus ilmajohdoista maakaapeliksi		
<b>Työn ohjaaja</b> Kari Saaranen		<b>Sivumäärä</b> 32
<b>Työelämäohjaaja</b> Petri Seppälä		
<p>Tämä opinnäytetyö tehtiin Vakka-Suomen Voima Oy:n Vertek Oy:ltä tilaamasta Uudessakaupungissa sijaitsevien Pyhämaan ja Raulion kylien välille suoritetusta sähköverkon saneeraus projektista. Tavoitteena oli parantaa sähkön toimitusvarmuutta asiakkaille tällä alueella. Projektin etenemistä seurattiin viikoittaisilla työmaakäynneillä sekä työntekijöiden ja alirukoitsijoiden täyttämistä raporteista koko työmaan keston ajan. Samalla tarkasteltiin mitä vaatimuksia ja ohjeistuksia Vakka-Suomen Voiman sähköverkon rakentamiseen liittyy. Työ toteutettiin suunnitellusti ja aikataulussa tilaajan ohjeiden mukaisesti ilman tapaturmia ja reklamaatioita tilaajalta.</p>		
<b>Asiasanat</b> Maakaapelointi, sähköverkko, sähköverkon rakentaminen, sähköverkon saneeraus		

**ABSTRACT**

<b>Centria University of Applied Sciences</b>	<b>Date</b> November 2023	<b>Author</b> Jere Herrala
<b>Degree programme</b> Bachelor of electrical and automation engineering		
<b>Name of thesis</b> CONSTRUCTION OF THE ELECTRICITY NETWORK. Refurbishment of the electricity network from overhead lines to underground cable		
<b>Centria supervisor</b> Kari Saaranen	<b>Pages</b> 32	
<b>Instructor representing commissioning institution or company</b> Petri Seppälä		
<p>This thesis was made from a power grid renovation project commissioned by Vakka-Suomen Voima Oy from Vertek Oy between the villages of Pyhämaa and Raulio, located in Uusikaupunki. The aim was to improve the reliability of electricity supply to customers in this area. The progress of the project was monitored through weekly site visits and reports completed by employees and subcontractors throughout the duration of the site. At the same time, the requirements and instructions related to the construction of the Vakka-Suomen Voima electricity network were examined. The work was carried out as planned and on time in accordance with the client's instructions without accidents and complaints from the client.</p>		
<b>Key words</b> Electricity network construction, power grid, power grid renovation, underground cabling		

## **KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY**

**kV**

Kilovoltti

**A**

Ampeeri

**kVA**

Kilovolttiampeeri

**PEN-johdin**

Samanaikaisesti suojamaadoitus ja nollajohdin

**KJ**

Keskijännite (Jännite, jonka nimellinen tehollisarvo on  $1 \text{ kV} \leq U_n \leq 36 \text{ kV}$ )

**PJ**

Pienjännite (Jännite, jonka nimellinen tehollisarvo on  $U_n < 1 \text{ kV}$ )

**TIIVISTELMÄ**  
**ABSTRACT**  
**KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY**  
**SISÄLLYS**

<b>1 JOHDANTO</b> .....	<b>1</b>
<b>2 KONSERNI JA YRITYS</b> .....	<b>2</b>
2.1 Vertek Oy .....	2
2.2 Työturvallisuus Vertekissä .....	2
<b>3 TYÖN TAUSTA</b> .....	<b>4</b>
<b>4 RAULIO-PYHÄMAA MAAKAPELOINTIPROJEKTI</b> .....	<b>5</b>
4.1 Tarvikkeet .....	5
4.1.1 20- ja 0,4 kilovoltin maakaapelit .....	5
4.1.2 Puistomuuntamot .....	8
4.1.3 0,4 kilovoltin jakokaapit .....	11
4.1.4 20- ja 0,4 kilovoltin maakaapelipäätteet ja jatkokset .....	12
4.1.5 Talovaroke- ja haaroituskotelot .....	14
4.2 Maastosuunnittelu .....	14
4.3 Maanrakennustyöt .....	17
4.4 KytKentätyöt .....	19
4.5 Käyttöönnotto .....	23
4.6 Purkutyöt .....	26
4.7 Dokumentointi .....	28
<b>5 TULOKSET</b> .....	<b>30</b>
<b>6 POHDINTA</b> .....	<b>31</b>
<b>LÄHTEET</b> .....	<b>32</b>
<b>KUVIOT</b>	
KUVIO 1. JT-Erotuskohta (Headpower) .....	22
<b>KUVAT</b>	
KUVA 1. AHXAMK-W (Reka a.) .....	5
KUVA 2. AXMK (Reka b.) .....	7
KUVA 3. KKM Power Petersén kelallinen 110 kVA:n muuntajakone .....	8
KUVA 4. Rakennekuva 3+1 (Salo 2019) .....	9
KUVA 5. Muuntajaerotin ja KJ-sulakkeet .....	10
KUVA 6. M1288 RAULIO KJ-kaavio .....	10
KUVA 7. UTU PJ-jakelukeskus .....	11
KUVA 8. 20kV:n maakaapelipääte .....	13
KUVA 9. Trimble NIS-jännitelaskenta M1288 .....	15
KUVA 10. Trimble NIS-oikosulkuvirtalaskenta M1288 .....	16
KUVA 11. Kaapelikaivanto (Headpower) .....	17
KUVA 12. Puistomuuntamon korotettu kevytperustus, routimaton maa (Headpower) .....	19
KUVA 13. Jakokaappi RAULIO-muuntopiirissä .....	26

KUVA 14. NIS -dokumentointi .....	29
-----------------------------------	----

**TAULUKOT**

TAULUKKO 1. Kuvan 1 AHXAMK-W-kerrokset .....	6
TAULUKKO 2. AHXAMK-W Teknisiä tietoja.....	6
TAULUKKO 3. Kuvan 2 AXMK kaapelin kerrokset .....	7
TAULUKKO 4. AXMK Teknisiä tietoja .....	7
TAULUKKO 5. Kaapelien suojaus poikkeustilanteissa.....	18

## 1 JOHDANTO

Tässä insinööriyössä tarkastellaan Vakka-Suomen Voiman Vertekiltä tilaamaa sähköverkon saneerausprojektia Uudenkaupungin Pyhämaan seudulla ja perehdytään Vakka-Suomen Voiman sähköverkon maakaapelointiprojektien toteutukseen, vaatimuksiin sekä ohjeistuksiin yleisellä tasolla. Projektin tavoitteena oli saneerata vanhaa 20- ja 0,4 kV:n ilmajohtoverkkoa säävarmaksi maakaapeliverkoksi vuosina 2022–2023 tilaajan ohjeiden mukaan, kustannustehokkaasti, turvallisesti ja laadukkaasti. Vakka-Suomen Puhelin asennutti myös työn yhteydessä valokuitukaapeleita samoihin kaivantoihin. Vakka-Suomen Voima saneeraa systemaattisesti vuosittain vanhoja sääilmiöille alttiita ilmajohtoja säävarmoiksi maakaapeleiksi alueellaan. Raulio-Pyhämaa projektin tarkoituksena oli saneerata vika-herkkää ja vanhaa ilmalinjaa maakaapeliksi sekä parantaa 20 kV:n verkon verkostoautomaatiikkaa, joka auttaa mahdollisen vian rajauksessa.

## **2 VAKKA-SUOMEN VOIMA KONSERNI JA YRITYS**

VSV-konserni koostuu yhtiöistä, joilla on kaikilla oma voimakas historiansa. VSV:n toiminnan alusta on jo yli 100 vuotta, kun sähkönjakelu Uudessakaupungissa aloitettiin vuonna 1909. Nykyään VSV:n sähkönjakelualue on yhdeksän eri kunnan alueella Varsinais-Suomessa ja Satakunnassa. Laitilan sähkön ja Uudenkaupungin energialaitoksen yhdistyessä vuonna 1993 syntyi nykyinen Vakka-Suomen Voima. Rauman Energia ja Vakka-Suomen Voima omistavat yhdessä asennus- ja urakointikonsernin Vertek Oy:n ja alueverkkoyhtiön Satavakka Oy:n. (VSV.)

### **2.1 Vertek Oy**

Vertek-konserniin kuuluu Vertek Oy, joka pääasiassa rakentaa, kunnossapitää ja korjaa kunnille, teollisuudelle sekä usealle verkkoyhtiölle valaistus-, sisäasennus-, sähkönjakelu- ja tietoliikenneverkkoja. Vertek Oy:n tytäryhtiö Vertek Sähköpalvelu Oy taas työskentelee enemmän tehtaiden ja yksityisten tilaajien sähkö- ja televerkkojen parissa kunnossapitäen, huoltaen ja rakentaen niitä.

Toimin Vertek Oy:ssä projektipäällikkönä sähköosastolla Uudenkaupungin yksikössä. Työhöni kuuluu vastata yksikön töiden toteuttamisesta ja tuloksesta. Toimin myös esihenkilönä 11 työntekijälle, joiden tehtäväkuvat vaihtelevat verkostoasentajasta kaapelinäyttöön ja suunnitteluun.

### **2.2 Työturvallisuus Vertek Oy:ssä**

Vertekissä työturvallisuus tulee ensimmäisenä. Tavoitteena on nolla työtapaturmaa, ja kaikilla työntekijöillä on oikeus ja velvollisuus kieltäytyä vaaralliseksi toteamastaan työstä. Ennen töiden suorittamiseen ryhtymistä työntekijöiden on tehtävä riskien arviointi. VSV-konsernissa käytetään Teams-ohjelmaa, jonne jaetaan sähkötyöturvallisuuteen liittyvää aineistoa kaikkien konsernin työntekijöiden nähtävälle luettavaksi. Isoimmista työkohteista tehdään erillinen työmaaperehdytys kaikille kyseiselle työmaalle töihin osallistuville. Maanrakentajille jaetaan vielä erillinen ohjeisto, joka on myös heidän sopimustensa liitteenä. (Tuominen 2023.)



Kaikki työntekijät perehdytetään työhönsä ja perehdytyksen suorittaa työntekijän lähiesihenkilö. Perehdytyksessä perehdytään mm. turvallisuussuunnitelma, sähkötyöturvallisuusohjeet, kohteen erityispiirteet, työmaaorganisaatio, työn suunnitelmat ja esitellään työmaan työnaikainen sähköturvallisuuden valvoja sekä tilaajan yhteyshenkilöt. (Tuominen 2023.)

### 3 TYÖN TAUSTA

Sähköverkkoa maakaapeloidaan, jotta Energiaviraston asettamat toimitusvarmuus asetukset saadaan täytettyä. Sähköverkon käyttöikä on myös monessa kohtaa tullut tiensä päähän. Nykyinen sähkömarkkinalaki verkon säävarmaksi saattamisesta laadittiin 2010-luvun alun myrskyjen jälkeen. Muita saavutettavia etuja sähköverkon maakaapeloinnilla ovat kunnossapitokustannusten pieneneminen sekä vanhojen pylväiden poistuminen pelloilta ja metsistä, mikä vapauttaa vanhat johtokadut metsäkäyttöön. (Katunpää 2023.)

2010-luvun alkupuolella myrskyjen aiheuttamat isot ja pitkäkestoiset sähkönjakeluverkon viat saivat yhteiskunnan ja sähkönkäyttäjät vaatimaan tehokkaita ja nopeita toimia toimitusvarmuuden sekä sähkönjakelun parantamiseksi. Tämän takia lisättiin sähkömarkkinalakiin toimitusvarmuustavoitteet, ja näiden toteuttamiseen sähkönjakeluyhtiöiltä vaaditaan suuria investointeja. Energiavirasto on tehnyt valvontamenetelmiinsä muutoksia, jotka pyrkivät vastaamaan tähän, eli antaa mahdollisuus lainsäädännön asettamien tavoitteiden toteutumiselle. (Energiavirasto 2020.)

Vuosina 2021 ja 2022 keskeytysajat olivat VSV:llä ennätysellisen lyhyitä. Maakaapelien pitoajaksi on määritetty 50 vuotta, vaikka käyttöikä usein on vieläkin pidempi. Vanhoja maakaapeleita uusitaan lähinnä yhteistyöprojekteissa kaupunkien tie- tai vesijohtotöissä. Kaapelit, joita uusitaan, ovat yleensä 1960- tai 1970-luvulta. (Katunpää 2023.)

## 4 RAULIO-PYHÄMAA MAAKAPELOINTIPROJEKTI

Vakka-Suomen Voiman Raulio-Pyhämaa maakaapelointiprojektilla vanhat 0,4- ja 20 kV:n ilmajohtot saneerattiin maakaapeliksi Uudessakaupungissa Raulion kylästä - Pyhämaan kylään saakka, ja tavoitteena rakentaa uutta säävarmaa sähköverkkoa useita kilometrejä ja uusia puistomuuntamoita haja-asutusalueelle. Raulio-Pyhämaa kaapeloinnin työt aloitettiin alkuvuodesta 2022 Raulion kylästä, josta työt etenivät kohti Pyhämaan kylää vuoden 2022 aikana. Rakentamisen työt valmistuivat saman vuoden joulukuussa.

### 4.1 Tarvikkeet

Raulio-Pyhämaan kaltaisissa maakaapelointiprojekteissa käytetään monenlaisia tarvikkeita eri jännitetasoilla. 20- ja 0,4 kV:n maakaapelit ovat rakenteeltaan hyvin erilaisia, samoin kuin kaapelipäätteet ja jatkokset. Eri jännitetasojen haaroituspisteet ovat myös hyvin erilaisia. Puistomuuntamot toimivat 20 kV:n sähköjakelunverkon haaroitus- ja erotuspisteinä, kun taas kaapelinjakokaapit tekevät tämän 0,4 kV:n verkossa. Asiakkaiden liittymille menevien 0,4 kV:n maakaapelien päihin asennetaan yleensä joko päävarokekotelo, haaroituskotelo tai jatkos riippuen siitä, millä tavalla sähköverkkoon liitännä on ennen tehty.

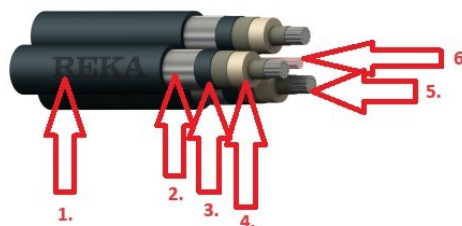
#### 4.1.1 20- ja 0,4 kilovoltin maakaapelit

Projektissa 20 kV:n keskijännitekaapeleina käytettiin Rekan AHXAMK-W 3x95+25 Cu-kaapelia. Kaapelin teknisistä tiedoista (TAULUKKO 1) ilmenee, että kaapeli on muovipäällysteinen ja se sisältää useita suojakerroksia ennen alumiinijohdinta.

AHXAMK-W 12/20 (24) kV 3-johdin

Keskijännitekaapeli

12/20 (24) kV



KUVA 1. AHXAMK-W (Reka a.)

TAULUKKO 1. Kuvan 1 AHXAMK-W-kerrokset

Kerros	Nimi	Materiaali
1.	Ulkovaippa	Polyeteenimuovi
2.	Metallinen kosketussuoja	Polyeteenilaminoitu alumiinifolio
3.	Hohtosuoja	Puolijohtava ristosilloitettu polyeteeni
4.	Eriste	Ristosilloitettu polyeteeni
5.	Johdin	Alumiini
6.	Maadoitusjohdin	Kupari

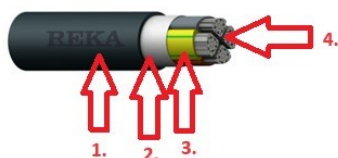
AHXAMK-W (KUVA 1) on kiinteisiin ulkoasennuksiin käytettävä keskijännitekaapeli. Kaapelin voi asentaa myös auraamalla maahan. Kaapeli on täysin vesitiivis ja sitä voi käyttää myös jatkuvasti kosteissa ympäristöissä sekä soveltuvissa kohdissa sisävesistöjä. Kaapelin asennus tulee suorittaa kansallisten määräysten ja asetusten mukaan. Kaapelissa ei ole halogeenia, mutta se on palosuojaamaton. CPR-luokitusta kaapelilla ei ole. (Reka a.)

TAULUKKO 2. AHXAMK-W Teknisiä tietoja

<b>Tekniset tiedot, AHXAMK-W 3x95+25 Cu</b>	
Vaipatun osajohtimen nimellishalkaisija mm	31
Kaapelin ulkohalkaisija mm	65
Paino kg/km	2816
<b>Vaihejohtimen AC-resistanssi, kosketussuoja kytkettynä molemmista päistä</b>	
Johtimen lämpötila 40°C Ω/km	0,346
<b>Sähköisiä arvoja</b>	
Laskennallinen kapasitanssi μF/km	0,2
Laskennallinen varausvirta pääjännitteellä A/km	0,7
Laskennallinen maasulkuvirta pääjännitteellä A/km	2,2
<b>Kuormitettavuus, kaapelit maassa (15°C ja 1 K.m/W), asennussyvyys 0,7 m</b>	
Kolmiossa, johdin 65°C, kosketussuoja kytketty A	235
<b>Suurin terminen oikosulkuvirta 1 s aikana</b>	
Vaihe (alku 90 °C, loppu 250 °C) kA	8,9

0,4 kV:n pienjännitekaapeleina projektissa käytettiin Rekan 4-johtimisia AXMK-maakaapeleita. Toisin kuin keskijännitekaapeleilla, pienjännitekaapeleita käytettiin useaa eri kokoa. Tämä johtuu niiden erilaisista tehonsiirtokyvyistä ja suojausten vaatimuksista. Vakka-Suomen Voima mitoittaa projektien kaapelit Trimble NIS -ohjelmiston laskennan avulla (KUVA 7).

AXMK  
Alumiinivoimakaapeli  
0,6/1 (1,2) kV



KUVA 2. AXMK (Reka b.)

TAULUKKO 3. Kuvan 2 AXMK kaapelin kerrokset

Kerros	Nimi	Materiaali
1.	Ulkovaippa	UV-Suojattu PVC-sekoite
2.	Välikerros	Muovinauha
3.	Eriste	UV-suojattu ristosilloitettu polyeteeni PEX
4.	Johdin	Alumiini

AXMK (KUVA 2) on alumiinivoimakaapeli, jota voidaan käyttää kiinteissä sisä- ja ulkoasennuksissa. Kaapelin voi asentaa suoraan maahan. Kaapelissa on UV-suojatut vaippa- ja eristemateriaalit. Kaapelin asennus tulee suorittaa kansallisten määräysten, asetusten ja asennusohjeiden mukaan. Kaapeli ei levitä paloa. (Reka b.)

Yleisin projektissa käytössä ollut 0,4 kV:n maakaapeli oli AXMK4x95. Kaapelin nimessä numero 4 kertoo johtimien määrän ja numero 95 johtimien nimellispoikkipinta-alan millimetreissä. Kaapelin teknisistä tiedoista (TAULUKKO 4) ilmenee, että ulkoisen muovivaipan lisäksi johtimet ovat myös muovieristeisiä ennen alumiinijohdinta.

TAULUKKO 4. AXMK Teknisiä tietoja

Tekniset tiedot, AXMK 4x95 S	
Kaapelin ulkohalkaisija mm	32
Paino kg/km	1492
Vaihejohtimen DC-resistanssi	
Maksimi DC resistanssi, johdin 20°C Ω/km	0,32
Sähköisiä arvoja	
Laskennallinen kapasitanssi μF/km	0,29
Laskennallinen induktanssi mH/km	0,27
Kuormitettavuus, kaapelit maassa (15°C ja 1 K.m/W), asennussyvyys 0,7 m	
Kaapelit maassa, johdin 65 °C A	220
Suurin terminen oikosulkuvirta 1 s aikana	
Vaihe (alku 90 °C, loppu 250 °C) kA	9

#### 4.1.2 Puistomuuntamot

Puistomuuntamoita ja muuntajakoneita oli projektissa monia erilaisia sekä eri kokoisia. Suurin osa projektin puistomuuntamoista oli UTU Oy:n valmistamia, värisävyiltään RAL7024-harmaa. Tässä insinööriyössä tarkastellaan projektissa rakennetun puistomuuntamon M1288 RAULIO rakennetta, muuntajakonetta, maasulkuvirran kompensointia sekä 20kV:n suojausjärjestelmää. M1288 RAULIO-puistomuuntamona käytettiin UTU:n UM- 24 L 3+1-mallista ilmaeristeistä muuntajakoppia (KUVA 4).

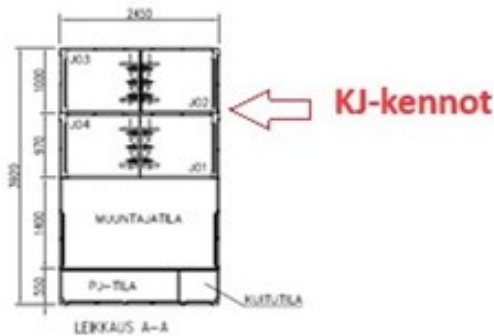
Muuntajatilaan on mahdollista asentaa maksimissaan 1000 kVA:n muuntajakone. Muuntajatilaan asennetaan ruostumattomasta teräksestä tehty öljynkeruallas, joka on mitoitettu maksimikokoisen muuntajan öljymäärän mukaan. Öljynkeruallas integroidaan muuntamoon ns. kelluvana osana, ja tämän takia mm. muuntajakoneen paino ei pääse rasittamaan muuntamon rakenteita. (UTU.)

M1288 RAULIO:n muuntajakoneena toimi maasulkuvirtaa kompensoiva KKM Powerin Petersén kelallinen muuntajakone (KUVA 3). Muuntajakoneen ensiöpuolen mitoitussjännite on 20,5 kV ja toisipuolen mitoitussjännite on 410 V. Mitoitusteholtaan kone on 100 kVA.



KUVA 3. KKM Power Petersén kelallinen 110 kVA:n muuntajakone

Maakaapeloidun verkon maasulkuvirta kasvaa 2–3 A/km. VSV:llä on strategiaksi valittu sellainen tapa, että pitkillä johtolähdöillä maasulkuvirtaa pyritään kompensoimaan siellä, missä sitä muodostuu. Lisäksi VSV:n sähköasemille on asennettu keskitetyt maasulkuvirran kompensointilaitteistot. Petersén kelallinen muuntajakone muuntaa jännitetasoa ja kompensoi maasulkuvirtaa. Kustannushyötynä on, että ei tarvita erillistä muuntamokoppia maasulkuvirran kompensoinnille. (Katunpää 2023.)



KUVA 4. Rakennekuva 3+1 (Salo 2019)

Keskijännitejakelu voidaan toteuttaa muuntamoissa eri valmistajien erottimilla sisältäen joko maadoitusveitset tai maadoituspallo. Muuntamoihin voidaan asentaa myös erillinen moduulikojeisto asiakkaan tarpeet huomioiden. (UTU.)

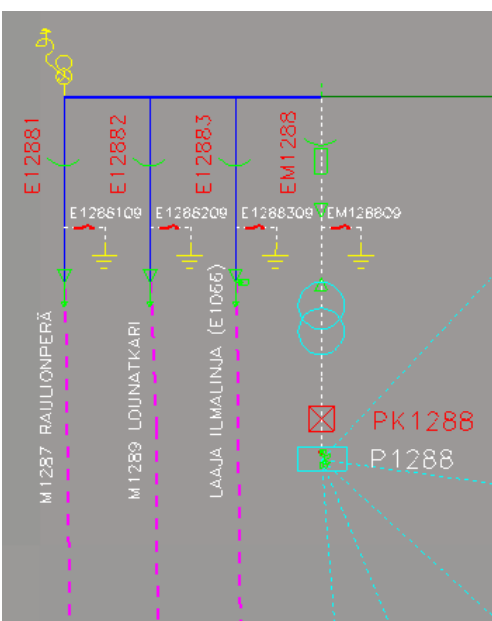
Eroittimet varustetaan aina myös maadoituserottimilla, jotka ovat erikseen ohjattavia. Maadoituserottimen ja erottimen välillä olevan mekaanisen lukituksen lisäksi, erottimet varustetaan erillisellä turvamekanismeilla. Huolimatta siitä, onko mekaaninen lukitus vaurioitunut, tämä mekanismi estää maadoituserottimen ja erottimen virheellisen ohjauksen. (UTU.)

M1288 RAULIO -muuntamolla oli käytössä ilmaeristeiset käsierottimet (KUVA 8) kaikilla kolmella 20 kV:n kaapelilähdöllä sekä muuntajaerottimella jokaista erotinta kohti oli myös maadoituserotin. Muuntajaerottimen kennoon (KUVA 5) lisäksi asennettiin 10 A:n KJ-sulakkeet suojaamaan muuntajakonetta vikavirralla.



KUVA 5. Muuntajaerotin ja KJ-sulakkeet

Muuntamot toimivat myös 20 kV:n sähköverkon haaroituspisteinä. Muuntamoiden 20 kV:n kytkentäkaavioiden (KUVA 6) noudattaminen ja dokumentointi kaapelien asennuksessa on erittäin tärkeää. Kaapelin kytkeminen eri kennoon kuin mihin se on suunniteltu ja sen dokumentoimatta jättäminen voi aiheuttaa vaaratilanteen 20 kV:n verkkoa ohjattaessa.



KUVA 6. M1288 RAULIO KJ-kaavio



Pienjännitejakelun pääkytkimeksi voidaan muuntamalla asentaa siihen hyväksytyt jonovarokeytkin oikosulkuveitsillä (2000 A:iin saakka) tai koteloitu kuormakytkin. Pienjännitekisko on eristetty ja se voidaan tehdä monen eri jonovarokeytkinvalmistajan tuotteistolle sopivaksi (KUVA 7). Pienjännitetilassa on omakäyttökeskus, mittausristikko sekä valaistus. Omakäyttökeskus toteutetaan asiakkaan tarpeet huomioiden. (UTU.)



KUVA 7. UTU PJ-jakelukeskus

Projektin kaikissa muuntamoissa käytettiin Hagerin valmistamia jonovarokeytkimiä pienjännitejakelun liitännöissä. Jonovarokkeiden maksimi nimellinen käyttöjännite on 1000 V, ja mitoitusvirroiltaan jonovarokkeita oli 160 A:sta – 400 A:iin. Kaapelin suojaukseen jonovarokeytkimiin asennettiin eri kokoisia NH-tyypin kahvasulakkeita eri nimellisvirroilla vastaamaan sähköverkon tarpeisiin.

#### 4.1.3 0,4 kilovoltin jakokaapit

Kaikki kaapeloinnissa asennetut 0,4 kV:n pienjänniteverkon jakokaapit olivat ABB:n Kabeldon CDC-jakokaappeja. Kokoluokka vaihteli CDC420-CDC460-mallien välillä, ja leveydeltään nämä jakokaapit ovat 350 mm-850 mm. Jakokaappien kiskojen nimellisvirta on 400A ja nimellisjännite 400 V.

Kabeldon-kaapelinjakokaapit on suunniteltu nimenomaan ulkokäyttöön ja ne on tehty kestävämmän kaikenlaisia ympäristöolosuhteita. Jakokaapit ovat kuumasinkittyjä, ja sen lisäksi maanalaiset osat vahvistetaan polymeeripinnoitteella, joka takaa todella kestävä korroosiosuojauksen. Ulkoisten iskujen kestävyys on testattu -50 asteessa standardin IEC 61439 mukaisesti. (ABB.)

Jonovarokeytkiminä jakokaappeihin asennettiin ABB:n SLD-sarjan jonovarokkeita. Jonovarokkeiden koko valittiin niiden mitoitettun jatkuvan virran sekä niihin kytkettävien kaapelien kokojen perusteella. Projektissa käytettiin SLD-sarjan SLD000, SLD00, SLD1 ja SLD2-jonovarokeytkimille. Pienimmän projektissa käytetyn jonovarokeytkimen SLD000 mitoitettu jatkuva virta on 100 A, terminen mitoituskestovirta 6,1 kA ja kytkettävän kaapelin poikki-pinta-ala 2,5 mm<sup>2</sup>-95 mm<sup>2</sup>. Isoimman projektissa käytetyn jonovarokeytkimen eli SLD2:n mitoitettu jatkuva virta on 400 A, terminen mitoituskestovirta 16,2 kA ja kytkettävän kaapelin sallittu poikki pinta-ala 50 mm<sup>2</sup>-300 mm<sup>2</sup>. SLD-sarjan kytkimen loppuosan numerointi kertoo myös sen, minkä kokoisen NH-sarjan sulakkeen kytkimeen voi asentaa.

#### **4.1.4 20- ja 0,4 kilovoltin maakaapelipäätteet ja jatkokset**

20 kV:n maakaapelipäätteitä asennettiin projektissa useita. Suurimassa osassa muuntamoiden 20 kV:n maakaapelilähtöjen kaapelipäätteinä käytettiin Enston-kylmäkutisteisia ulkopäätteitä (KUVA 8). Päätteet ovat ruuviliitännäisiä ja nimellisjännitteeltään (U<sub>0</sub>/U) 12,7/22kV.



KUVA 8. 20kV:n maakaapelipääte

Poikkeuksena yhdelle muuntamolle asennettiin 20 kV:n kaapelilähtöjen päihin kulmapistokepäätteet, koska muuntamolla oli käytössä kierrätyskojeisto, eli huollon kautta uudelleen käyttöön otettu SF6-suojakaasua sisältävä kojeisto. Tämä kyseisen kojeiston kaapeliliitännät vaativat C-kartiolla varustetun kosketussuojatun kulmapistokepäänteen asennuksen. Projektissa käytettyjen Enston-kulmapistokepäänteen nimellisjännite on 12,7/22 kV ja nimellisvirta 630 A.

20 kV:n maakaapelijatkoina toimivat Enston-hybridikutistejatkot. Jatko on siksi hybridi, että siinä joudutaan liekillä kutistamaan päälliskutiste. Lukuun ottamatta päälliskutistetta jatkoksen voi tehdä täysin ilman tulta. Jatko on ruuviholkkiliitännäinen.

Pienjännitekaapelien päihin kaapelijakokaapeilla, pylväillä ja muuntamoilla kutistettiin Enston-haarotussuojat. Enston-tuotteita käytettiin myös pienjännitekaapelijatkoissa, ja pienjännitejatkossa liitännä tapahtui myös ruuviholkillä.

#### 4.1.5 Talovaroke- ja haaroituskotelot

Talovarokekoteloina projektissa käytettiin Enston SK180.25 -kotelo. Kotelo on pölyn ja roiskeen kestävä IP44-luokiteltu muovikotelo, joka sisältää 3x25 A-sulakkeet. Koteloida asennettiin toimimaan useisiin kohteisiin, joissa koteloida olevat sulakkeet toimivat kaapeloinnin jälkeen kuluttajan uusina pääsulakkeina. Koteloon kytkettävissä olevan kaapelin johtimen poikkipinta-ala sulakkeiden etupuolelle on 10–50 mm<sup>2</sup> alumiini- tai kuparikaapelilla ja sulakkeiden jälkeen 2,5–50 mm<sup>2</sup>:n kuparikaapelilla. Sulakkeiden etupuolelle kytketään sähköverkosta tuleva syöttökaapeli ja sulakkeiden jälkeen kiinteistöä syöttävä kiinteistönomistajan kaapeli.

Haaroituskoteloida asennettiin liittymien päissä usein talovarokekotelon lisäksi kuluttajan seinälle, jotta liitäntä kiinteistön vanhaan sähköverkkoon voidaan suorittaa helposti. Haaroituskoteloina käytettiin Enston SK175 -muovikotelo, jolla on myös IP44-luokitus.

#### 4.2 Maastosuunnittelu

Kaapelointiprojektin tekninen toteutus alkoi maastosuunnittelulla urakkasopimuksen teon jälkeen. Maastosuunnittelija hoitaa lupaprosessit maanomistajien ja viranomaisten kanssa. Suunnittelija sopii käytettävät kaapelireitit, muuntamoiden ja jakokaappien paikat sekä suunnittelee käytännönratkaisut maastossa, jotta verkkoyhtiön tilaama suunnitelma voidaan toteuttaa kustannustehokkaasti ja halutulla tavalla. Työkarttojen ja työkuvien tekeminen kuuluu myös maastosuunnittelijan töihin.

Maastosuunnittelijan apuna materiaalin käsittelyssä sekä suunnitelman muokkauksessa toimi Trimble NIS -verkkotietojärjestelmä, jonne verkkoyhtiö tekee suunnitelmansa. Trimble NIS -verkkotietojärjestelmässä tehdään myös verkon laskenta (KUVA 9) ja (KUVA 10), jonka perusteella mitoitetaan verkon komponentit. Maastosuunnittelijan työhön kuuluu myös tarkistaa laskenta tekemiensä reittimuutosten jälkeen. Tämä vaatii maastosuunnittelijalta ymmärrystä laskettavista arvoista ja siitä mitä, niiden tulisi olla.

## TULOKSET PJ-JOHTO-OSILLE

Alkusuolman tunnus	Loppusuolman tunnus	Johtolaji	KUORMITUS						JÄNNITE			HUOM							
			Pit (m)	Etäis (m)	Sulake (A)	I R-aste (A)	Ph (%)	Aika (kW/km)	U (V)	Un (%)	Aika (\$/10kW)	Urk	A	B	C	D	E	F	G
LÄHTÖ : VSV 100 KKM POWER 5011																			
VIIMEISIMMÄN LASKENNAN TULOKSET																			
2	3	MMO-KISKO-OS	1	1	800	33	2	0.0	2558	228	0.8	2558	0.4						
3	4	0	MMO-KISKO-OS	1	2	800	33	2	0.0	2558	228	0.8	2558	0.4					
LÄHTÖ : 1																			
4	1	5	AKI50	7	9	63	20	7	0.3	2235	228	0.8	2558	0.4					
5	6	V1291-1.1-	AKI85	274	283	63	20	6	0.2	2235	227	1.2	259	0.7					
6	V1291-1.2-	7	AKI85	1	284	63	20	6	0.2	2235	227	1.2	259	0.7					
7	8		AM50	97	381	63	9	6	0.2	830	227	1.2	2558	1.2					
8	9		AM50	110	491	63	8	5	0.1	830	227	1.4	2435	1.7					
9	10		AM50	83	574	25	4	3	0.0	1212	227	1.4	2435	2.1					G
10	11		AM50	32	606	25	4	3	0.0	1212	227	1.4	2435	2.2					G
11	12		AM16	13	619	25	4	6	0.1	1212	227	1.4	2435	2.4					G
12	13	54208250	MMJ10	1	620	25	4	8	0.1	1212	227	1.4	2435	2.4					G
9	14	54209640	AKI6	73	564	25	6	8	0.2	2460	226	1.7	2435	2.6					G
8	15		AM35	32	413	25	5	5	0.1	708	227	1.3	2558	1.4					G
15	16	54209426	MMJ10	1	414	25	5	9	0.2	708	227	1.3	2558	1.4					G
7	17		AX50	61	345	25	18	12	0.6	259	227	1.4	259	1.0					G
17	18	55200717	AX25	113	458	25	18	18	1.1	259	224	2.4	259	1.9					G
LÄHTÖ : 2																			
4	2	19	AKI85	30	32	63	24	7	0.3	2006	228	0.8	1904	0.4					
19	20		AKI85	74	106	63	24	7	0.3	2006	228	0.9	1904	0.5					
20	21		AKI85	243	349	63	24	7	0.3	2006	227	1.3	1904	0.8					
21	22		AM35	97	446	35	19	16	1.0	1804	225	2.0	1806	1.4					
22	23	54196688	MMJ10	1	447	35	19	32	2.0	1804	225	2.1	1806	1.4					G
21	24		AM35	150	459	63	18	16	0.9	2661	225	2.3	2661	1.8					
24	25		AM35	57	556	63	15	13	0.6	502	224	2.6	2661	2.2					
25	26		AM35	207	763	63	12	11	0.4	2112	223	3.1	2112	3.5					
26	27		AM35	110	873	25	10	9	0.3	1515	222	3.5	2112	4.3					G
27	28	54192498	AMC16	29	902	25	10	13	0.5	1515	221	3.7	2112	4.7					G
26	29		AM16	40	803	25	8	11	0.4	501	222	3.3	502	4.1					G
29	30	54192484	MC10	23	826	25	8	10	0.3	501	222	3.4	502	4.4					G
25	31		AM35	115	671	63	9	7	0.2	155	223	2.8	2661	2.9					
31	32		AM35	43	714	25	9	7	0.2	155	223	2.9	2661	3.2					G
32	33	54193664	MMJ10	2	716	25	9	14	0.4	155	223	3.0	2661	3.2					G
31	34		AM70	86	757	25	1	1	0.0	1210	223	2.8	2661	3.2					G
34	35		AM70	191	948	25	1	1	0.0	1210	223	2.8	2661	3.9					G
35	36	54192544	AX25	59	1007	25	1	1	0.0	1210	223	2.8	2661	4.3					G
24	37		AM16	58	557	25	8	11	0.4	2413	224	2.7	2661	2.6					G
37	38	54195482	MMJ10	1	558	25	8	13	0.4	2413	224	2.7	2661	2.6					G
21	39		AM25	110	459	63	0	0	0.0		227	1.3	1904	1.5					
LÄHTÖ : 4																			
4	4	40	AX50	30	32	25	11	7	0.2	1512	228	0.8	2558	0.5					G
40	41	54199288	AX50	109	141	25	11	7	0.2	1512	228	0.8	2558	0.9					
LÄHTÖ : 5																			
4	5	42	AX50	29	31	25	5	3	0.1	510	228	0.8	2558	0.5					G
42	43	55190290	AX50	165	196	25	5	3	0.1	510	228	0.8	2558	1.2					G
LÄHTÖ : 6																			
4	6	44	AX50	483	485	25	11	8	0.2	1149	226	1.9	1149	2.4					G
44	45	55192981	AKI6	33	518	25	11	15	0.7	1149	225	2.2	1149	2.8					G
Huomautuskoodien selitykset																			
A - I > verkko sulake				E - Sulake > johdon sallittu ylikuormitussuoja															
B - I > liittymän sulake				F - Rinnanlytketty johto-osuus															
C - Epäselektiivinen sulakekoko				G - Liittymisjohto															
D - Rinnanlytkennän rakennevirhe				H - I > taloudellinen rajavirta															

KUVA 9. Trimble NIS kuormitus- ja suojauslaskenta M1288

T U L O K S E T P J - J O H T O - O S I L L E																				
Alkusoelman tunnus	Loppusolmun tunnus	Johtolaji	Pit (m)	Etäis (m)	Ik3 (A)	Ik1 (A)	SulA (A)	Sull (A)	Ikmin /In	Aika (s)	H U O M A B C D E F G H I									
L Ä H T Ö : VSV 100 KKM POWER S011																				
VIIMEISIMMÄN LASKENNAN TULOKSET																				
2	3																			
3	4	0																		
L Ä H T Ö : 1																				
4	1	5																		
5	6	V1291-1.1-	AK185	7	9	3101	2791	63	63	39.9	0.0									
6	7	V1291-1.2-	AK185	274	283	3054	1288	63	63	20.4	0.0									
7	8		AM50	1	284	1961	1285	63	63	20.4	0.0	C								
8	9		AM50	97	381	1958	794	63	63	12.6	0.0									
9	10		AM50	110	491	1354	544	63	63	8.6	0.0									
10	11		AM50	83	574	981	438	63	63	6.9	0.0	G								
11	12		AM16	32	606	908	407	63	63	6.5	0.0	G								
12	13	54208250	MMJ10	13	619	756	376	63	63	6.0	0.0	G								
13	14	54209640	AK16	1	620	703	374	63	63	5.9	0.0	C								
14	15		AM35	73	564	981	328	63	63	5.2	1.9	G								
15	16	54209426	MMJ10	32	413	1354	673	63	63	10.7	0.0	G								
16	17		AX50	1	414	1183	666	63	63	10.6	0.0	G								
17	18	55200717	AX25	61	345	1958	931	63	63	14.8	0.0	G								
L Ä H T Ö : 2																				
18	19		AX185	113	458	1600	448	63	63	7.1	0.0	G								
19	20		AX185	30	32	3101	2568	63	63	38.2	0.0									
20	21		AX185	74	106	2929	2004	63	63	31.8	0.0									
21	22		AM35	243	349	2568	1137	63	63	18.0	0.0									
22	23	54196688	MMJ10	97	446	1902	649	63	63	10.3	0.0	G								
23	24		AM35	1	447	1158	642	63	63	10.2	0.0	G								
24	25		AM35	150	499	1802	520	63	63	8.2	0.0									
25	26		AM35	57	556	956	427	63	63	6.8	0.0									
26	27		AM35	207	763	802	258	63	63	4.1	6.1	H								
27	28	54192458	AMC16	110	873	502	213	63	63	3.4	11.4	G H								
28	29		AM16	29	902	418	193	63	63	3.1	13.7	G H I								
29	30	54192484	MC10	40	803	502	222	63	63	3.5	10.3	G H								
30	31		AM35	23	826	493	205	63	63	3.3	12.3	G H I								
31	32		AM35	115	671	802	313	63	63	5.0	2.7									
32	33	54193664	MMJ10	43	714	603	285	63	63	4.5	4.1	G								
33	34		AM70	2	715	551	282	63	63	4.5	4.3	G								
34	35		AM70	86	757	603	283	63	63	4.5	4.2	C								
35	36	54192544	AX25	191	948	549	234	63	63	3.7	8.9	G H								
36	37		AM16	59	1007	457	204	63	63	3.2	12.4	G H I								
37	38	54195482	MMJ10	58	557	956	355	63	63	5.6	0.6	G								
38	39		AM25	1	558	672	353	63	63	5.6	0.7	G								
L Ä H T Ö : 4																				
39	40		AX50	110	459	1902	514	63	63	8.2	0.0									
40	41	54195288	AX50	30	32	3101	2155	50	50	43.1	0.0	G								
L Ä H T Ö : 5																				
41	42		AX50	109	141	2727	975	50	50	19.5	0.0	G								
42	43	55190290	AX50	29	31	3101	2176	50	50	43.5	0.0	G								
L Ä H T Ö : 6																				
43	44		AX50	165	196	2739	752	50	50	15.0	0.0	G								
44	45	55192981	AX16	483	485	3101	338	50	50	6.8	0.0	G								
45			AX16	33	518	712	284	50	50	5.7	0.2	G								
Huomautuskoodien selitykset																				
A - 1. nolausehto ei voimassa																				
B - 1. nolausehto liittyvän verkossa																				
C - Epäselektiivinen sulakekoko																				
D - Rinnankytkennän rakennevirhe																				
E - Sulake > johdon sallittu oikosulkusuoja																				
F - Rinnankytketty johto-osuus																				
G - Liittymisjohto																				
H - Liian hidas suojaus																				
I - Liian pieni liittyvän oikosulkuvirta																				

## KUVA 10. Trimble NIS -oikosulkuvirtalaskenta M1288

Kuormituslaskennassa tarkastellaan erityisesti kunkin verkon pisteen jännitealenemaa (Uh), ja laskennasta ilmenee prosentuaalinen jännitealenema. Kuormituslaskennassa tarkastellaan myös suunnittelu- vaiheessa laskennan antamia virheitä, joita voi olla mm. kaapelin läpi kulkeva virta (I) > verkon sulake.

Oikosulkuvirtalaskennassa ollaan eniten kiinnostuneita verkon komponenttien oikosulkuvirroista mutta myös laskennan ilmoittamista suojaus- ja selektiivisyysvirheistä. Näitä virheitä voi olla mm. Sulake (on suurempi kuin) > Johdon sallittu oikosulkusuoja.

Maastosuunnittelu on tärkeä osa projektin onnistumista ja maastosuunnittelija toimii osana projektioorganisaatiota alusta loppuun. Projektit muuttuvat usein maastosuunnittelun myötä myös kokonais- kustannuksien osalta ja tästä syystä maastosuunnittelijan on hyvä olla mukana arvioimassa asennettavien kaapelien, jakokaappien, muiden tarvikkeiden ja tehtävien töiden määriä projektin aikana sen budjetin korjausta varten. Samoin myös projektin päätteeksi maastosuunnittelija on osana ryhmää, joka tarkistaa projektissa toteutuneet työt ja kustannuslaskelman.

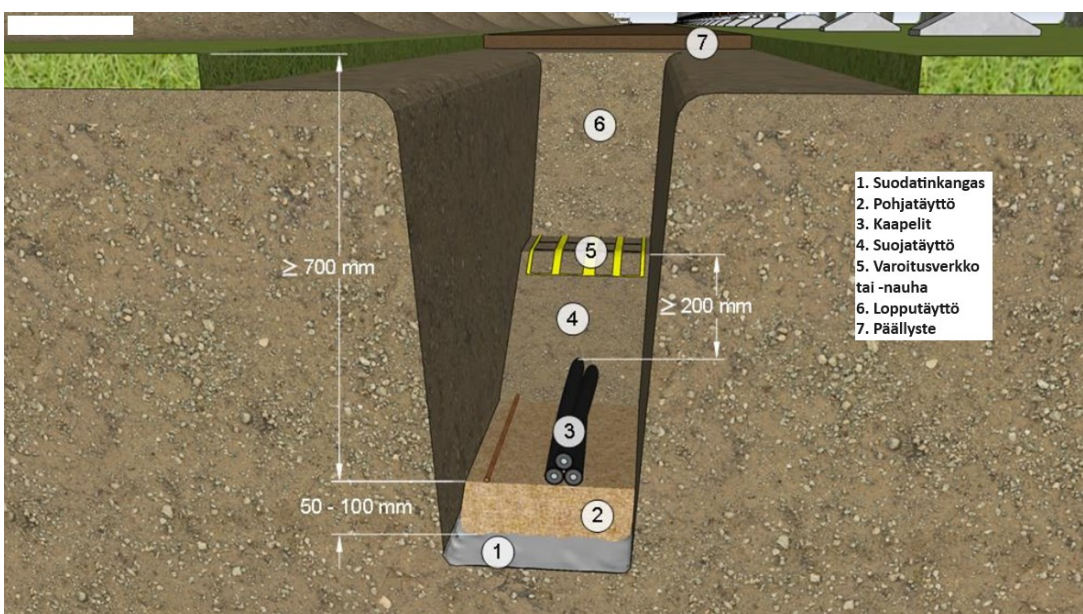
Vakka-Suomen voima vaatii myös sijaintipaikkakartoituksen uusille verkkoon asennettaville komponenteille, joten kaapelit, jakokaapit ja muuntamot gps-kartoitetaan projektin aikana. Maastosuunnittelija hoiti kartoituksen Raulio-Pyhämaa projektissa.

### 4.3 Maanrakennustyöt

Maanrakennustyöissä on urakoitsijan noudatettava Headpower-ohjeistusta komponenttien asennuksessa. Maanrakennustyössä ei tarvitse olla sähköalan ammattilainen asentamassa maakaapeleita ja sähköverkon muita komponentteja, mutta maanrakentajat ovat kuitenkin työhön perehdytettyjä henkilöitä ja sähköalan ammattilainen valvoo työtä.

Ennen kuin voi aloittaa maanrakennustyöt kaivajan on selvitettävä kohteen maanalaiset rakenteet ja tutustuttava katu- ja tiealueiden sekä verkonhaltijan kaivuohjeisiin. Kaivannon tulee olla tarpeeksi syvä ja leveä, jotta suunnitellut putkitukset sekä kaapelit pystytään asentamaan niiden välisten etäisyysvaatimusten ja suunnitelmien mukaan. (Headpower.)

Vakka-Suomen Voiman verkossa maakaapelit asennetaan Headpower-ohjeiston määrittelemiin syvyyksiin (KUVA 11) vähintään 1000 mm:n syvyyteen pelloilla ja 700 mm:n syvyyteen muilla alueilla.



KUVA 11. Kaapelikaivanto (Headpower)

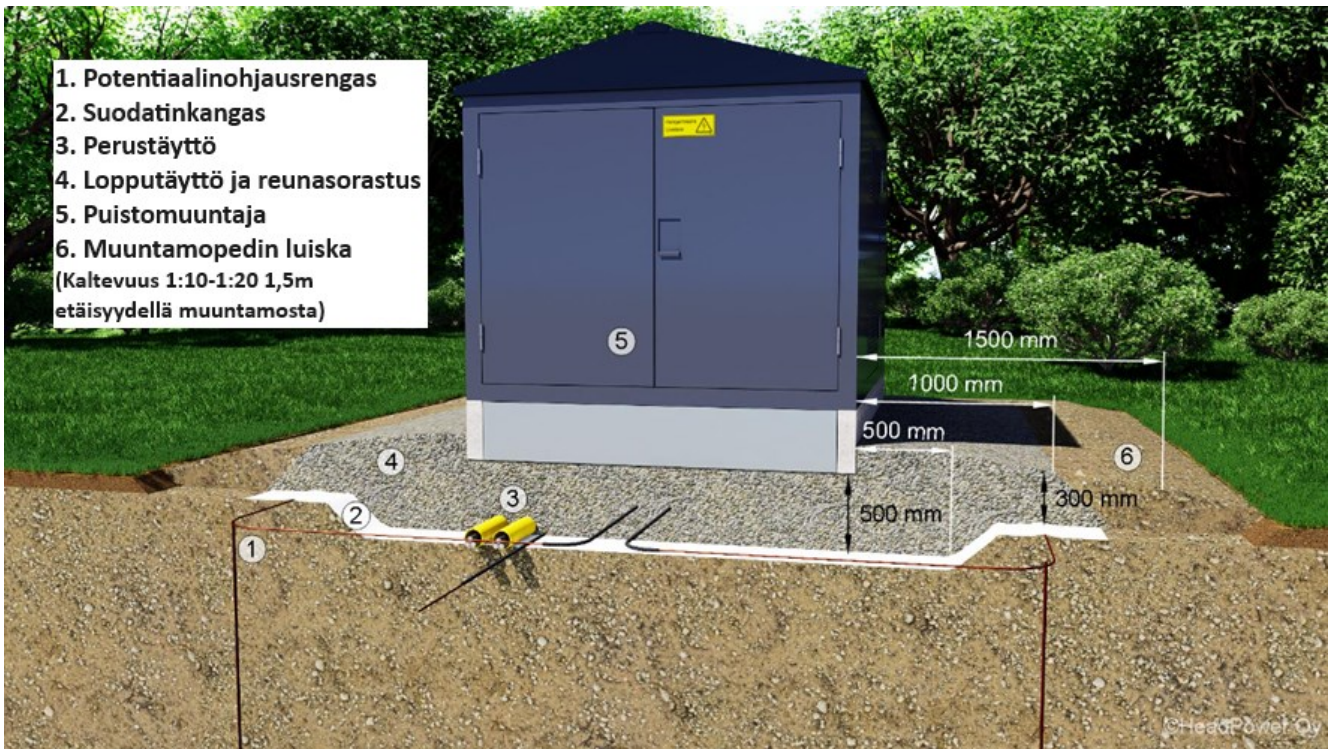
Poikkeustilanteissa kaapeleita voidaan myös asentaa matalampaan syvyyteen kuin edellä mainitut, mutta tällöin kaapeleille on asennettava mekaaninen suojaus (TAULUKKO 5) ja tällaiset asennukset tulee hyväksyttää tilaajalla ennen työhön ryhtymistä.

TAULUKKO 5. Kaapelien suojaus poikkeustilanteissa

Kaapelin tai suojaputken asennusalustan syvyys h erilaisilla alueilla	Kaapelisuojaputken halkaisija	SFS-EN 50626-1 mukainen putkiluokka valmistajan ilmoittamaan käyttötarkoituksen mukaan	Aikaisemmin standardin SFS 5608 mukaisen putken luokka ja vastaavan putken rengasjäykkyys	SFS 7505 mukaisten kaapelikourujen luokka
500 mm < h < 700 mm	50 mm - 75 mm	L 450	Kevyt käyttö C (SN 4)	Kevyt käyttö C (SN 4)
	100 mm - 200 mm	N 750	Keskiraskas käyttö B (SN 8)	Keskiraskas käyttö B (SN 8)
300 mm ≤ h ≤ 500 mm piha- ja puistoalueet sekä muut alueet (kevyt kuormitus)	50 mm - 75 mm	N 450	Keskiraskas käyttö B (SN 8)	Keskiraskas käyttö B (SN 8)
	100 mm - 160 mm	N 750	Keskiraskas käyttö B (SN 8)	Keskiraskas käyttö B (SN 8)
300 mm ≤ h ≤ 500 mm tie- ja liikennealueet (raskas kuormitus)	50 mm - 75 mm	N 750	Raskas käyttö A (SN 16)	Raskas käyttö A (SN 16)
	100 mm - 160 mm	N 1250	Raskas käyttö A (SN 16)	Raskas käyttö A (SN 16)
pinta-asennus 0 mm ≤ h ≤ 300 mm ei normaalisti liikennöitävät alueet	Pinta-asennuksissa esim. kalliolla tulee suojauksen kestää ympäristön räsitystä ja mahdollista satunnaista liikennettä. Kallion pintaan kiinnitetyn kaapelin suojana suositellaan käytettäväksi teräskourua tai SN 64 suojaputkea. Jos käytetään normaalia suojaputkea tai kourua, on putken tai kourun päälle laitettava lisäsuojauksen betonivalua.			

Vakka-Suomen Voiman sähköverkon maakaapelointiprojekteissa maanrakennusurakoitsija rakentaa puistomuuntamoiden perustukset (KUVA 12) ja asentaa maahan potentiaalinhjausrankaan. Maanrakentajalla on oltava nähtävillään muuntamon pohjapiirros, KJ-kaavio sekä asemapiirros. Näiden dokumenttien avulla muuntamon perustukset pystytään rakentamaan oikean kokoisiksi, 20 kV:n maakaapelit voidaan sijoittaa oikeiden KJ-kennojen kohdalle ja muuntamo voidaan asentaa toimenpideluvan mukaisesti. Muuntamon potentiaalinhjausrankaan rakennuksessa muuntamon jokaisesta kulmasta 1 m:n päähän asennetaan maahan kuparinen maadoitussauva. Alempi potentiaalinhjausringas asennetaan vaakasuunnassa 1 m:n päähän muuntamon reunoista liittäen se myös maadoitussauvoihin ja toinen ylempi rengas asennetaan heti päällismaan kerroksen alle. Molempien renkaiden molemmat päät tuodaan tämän jälkeen muuntamon päämaadoituskiskoon, johon verkostoasentaja kytkee ja merkitsee ne.





KUVA 12. Puistomuuntamon korotettu kevytperustus, routimaton maa (Headpower)

#### 4.4 KytKentätyöt

KytKentätyöt aloitetaan yleensä maanrakennustöiden jälkeen. Tällöin maanrakentaja saa aikaa asentaa riittävästi verkon komponentteja maahan, jotta kytKentätöitä voidaan suorittaa systemaattisesti esimerkiksi jokin kaapeloinnin tietty osa-alue tai muuntopiiri kerrallaan. KytKentätyöt suorittavat sähköalan ammattilaiset, joilla on riittävä koulutus sekä perehdytys kyseiseen työkohteeseen. KytKentätöiden työnaikaisena sähköturvallisuudesta vastaavana toimii yleensä työmaan kärkimies, joka myös vastaa omalta osaltaan kytKentätöiden toteuttamisesta suunnitelmien mukaan. Lisäksi sähköurakointiyhtiöllä on sähkötöiden johtaja vastuuhenkilönä.

Kärkimies tutustuu työmaan suunnitelmiin, tavoitteisiin, aikatauluihin, riskeihin ja haasteisiin yhdessä työmaan projektipäällikön tai vastaavan kanssa ennen töiden aloittamista. Tällöin aletaan myös hahmottelemaan kokonaiskuvaa kytKentöjen etenemisestä koko työmaan keston ajalta. Kärkimiehen tehtäviin kuuluu myös pitää projektipäällikkö ajan tasalla kytKentöjen etenemisestä työn aikana.

Projektipäällikön tai vastaavan on pidettävä huoli riittävästä resursseista työmaalla kytKentöjen aikana. Raulio-Pyhämaa kaapeloinnissa työmaalla oli pääsääntöisesti yksi kytKentäryhmä, lukuun ottamatta

joitain yksittäisiä sähköverkon jakelukeskeytyksiä vaativia kytkentätöitä, joihin osallistui useampia asentajia.

Kytkentöjen aikana projektipäällikkö tai työmaan kärkeä kommunikoi myös maanrakentajan kanssa kytkentämonttujen peittämisistä. Maanrakentaja jättää usein mm. jakokaappien ja puistomuuntamoiden edustat auki siten, että kytkentätöitä on helpompi suorittaa. 20 kV:n maakaapelien päätteiden tekeminen vaatii tilaa ja oikeanlaisen mitoituksen, jotta päätteen tekeminen ja sen asentaminen valmistajan ohjeiden mukaan on mahdollista. ABB:n Kabeldon-kaapelinjakokaapeilla vedonpoistokisko on sijoitettu maanpeittorajan alapuolelle, jolloin myös 0,4 kV:n maakaapelien haaroitussuojien ja vedonpoiston asentaminen on huomattavasti helpompaa jakokaapin edustan ollessa auki. Jakokaapin ja puistomuuntamoiden PJ-keskusten edustojen ollessa auki ei myöskään maanrakentajan tarvitse niin tarkkaan katsoa, mihin järjestykseen hän kaapelien päät asetellaan jakokaapin tai muuntamon pj-keskuksen eteen, tai ainakin niiden uudelleen sijoittelu järjestyksen mennessä väärin on helpompaa.

Vakka-Suomen Voiman verkossa kaikille kaapeleille asennetaan vedonpoisto. 0,4 kV:n kaapeleilla vedonpoistona jakokaapeilla toimii usein kaksi ristiin asennettua raudalla vahvistettua nippusidettä. 20 kV:n maakaapeleilla puistomuuntamoiden kennoihin asennetaan vedonpoistoon ABB:n Ukra-kiinnikkeet.

Uutta verkkoa rakennettaessa 0,4 kV:n maakaapelit kytketään Vakka-Suomen Voiman projekteissa aina SFS600 standardin mukaiseen värijärjestykseen, joka on: L1 = ruskea, L2 = musta, L3 = harmaa ja PEN = keltavihreä. Näin toimittiin myös kohdeprojektissa. Joskus rakennusten vanhat sisäverkot on rakennettu niin sanotulla ”väärällä” kiertosuunnalla, jolloin vaihejärjestys joudutaan kytkemään rakennuksen päässä käyttöönottovaiheessa muusta sähköverkosta poikkeavaksi. Kiertosuunta tarkistetaan käyttöönoton yhteydessä.

Kytkentävaiheessa myös verkon komponentit numeroidaan, nimikoidaan ja merkitään ennen käyttöönottoa. Nimikoinnit puistomuuntamoille, jakokaapeille, kytkimille ja liittymien osoitteille on Vakka-Suomen Voima tehnyt ennen projektin aloittamista. Maastosuunnittelussa merkinnät tai numeroinnit voivat muuttua alkuperäisestä suunnitelmasta tai merkittäviä kohteita voi tulla lisää. Myös kytkentöjen yhteydessä merkinnät ja numeroinnit voivat muuttua esimerkiksi jonkin teknisen muutoksen takia. Nämä muutokset dokumentoidaan ja välitetään suunnittelijalle päivitettäväksi NIS-verkkotietojärjestelmään.

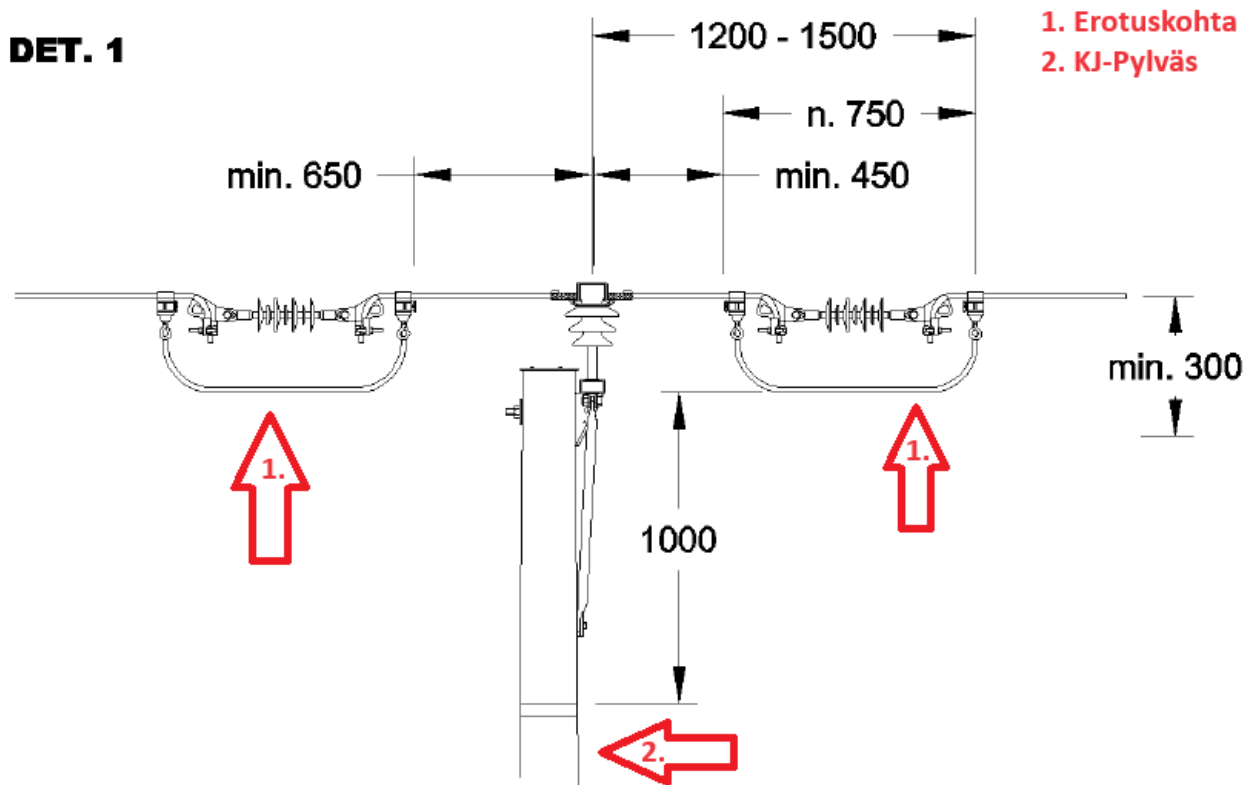
Suunnittelu tulostaa alkuperäisen suunnitelman mukaiset KJ- ja PJ-kaaviot kytkentäryhmälle, joiden mukaan heidän tulisi numeroinnit, nimikoinnit ja merkinnät suorittaa. Opinnäytetyössä esimerkki-muuntamon numerointi on M1288 ja nimikointi RAULIO. Näiden numerointien ja nimikointien pohjalta muuntamot voidaan erottaa toisistaan. 0,4 kV:n kytkimille numerointi tapahtuu numerosta 1 eteenpäin joka kaapilla ja muuntamon pj-keskuksella erikseen, ja nimikointi tulee kaapelin toisen pään kytkentäpisteen mukaan. Esimerkiksi muuntamolla M1288 RAULIO PJ-lähtö 2 on nimikoitu seuraavan jakokaapin mukaan: JK48923. 20 kV:n lähdöt puistomuuntamoilla nimikoidaan myös kaapelin päätepisteen mukaan ja niiden numeroinnista on tunnistettavissa myös mistä erottimesta on kyse. Numerointi tulee lähtökohtaisesti puistomuuntamoilla muuntamon numeron ja kennon numeron mukaan. M1288 RAULIO:n ensimmäinen 20 kV:n lähtö on nimikoitu seuraavan muuntamon mukaan eli M1287 RAULIONPERÄ ja numeroitu seuraavasti: E12881. Kytkennoissä on tarkasti noudatettava varsinkin muuntamoiden 20 kV:n kytkentäkaaviota, sillä muuntamoiden kennoihin on saatettu asentaa tehtaalla ylijännitesuojia. Ylijännitesuojia ei asenneta puistomuuntamoihin puhtaisiin maakaapeliverkon lähtöihin Vakka-Suomen Voiman verkossa. Ylijännitesuojilla suojataan mm. muuntajakoneita ilmajohtoihin kytkettyjen maakaapelien kautta tulevilta ylijännitteiltä.

Maadoitukset kytketään myös ennen käyttöönottoa joka kohteessa, ja niiden eheys tarkastetaan maadoitusjohtimen jatkuvuusmittauksella. Maadoituksina 0,4 kV:n verkossa käytetään poikkipinta-alaltaan 16mm<sup>2</sup> olevaa paljasta kupariköyttä, jota asennetaan 25 m maadoitettavaan kohteeseen maan alle. Yleensä maadoitusköysi asennetaan pitkittäin kaapeliojaan. PJ-verkossa maadoitettavia kohteita ovat esimerkiksi liittymät, kaapelinjakokaapit ja ilmajohtoverkossa tietyn matkan välein AMKA-johtojen PEN-johdin. 20 kV:n verkon maadoitukset ovat poikkipinta-alaltaan 25mm<sup>2</sup> vastaavan laista kupariköyttä kuin 0,4 kV:n verkon maadoitukset. KJ-verkossa maadoitettavia kohteita tälläkin projektilla olivat puistomuuntamot, maakaapelien pylväsnousut ja pylväserottimet. Muuntamoille asennetaan myös potentiaalintasausrenkaat suojaamaan muuntamoa käyttäviä henkilöitä.

Joskus kytkentätöissä joudutaan tekemään jännitetöitä 20- tai 0,4 kV:n verkoissa. Vertekissä jännitetyöhön vaaditaan monta asiaa, jotka pitää toteutua ennen töihin ryhtymistä. Kaikki standardien ja Headpower-ohjeiston jännitetyön suorittamiseen vaatimat asiat tulee täytyä, jotta jännitetyötä voidaan tehdä. 20 kV:n jännitetyöhön ryhtyvän asentajan on mm. suoritettava siihen vaadittava erillinen koulutus, 20 kV:n jännitetyöt on myös suoritettava ryhmässä eli vähintään 2 henkilön voimin ja niihin on käytettävä siihen tarkoitukseen valmistettuja ja tarkastettuja 20 kV:n jännitetyökaluja. 20 kV:n jännitetyökaluilla tarkoitetaan lähinnä jännitetyöhön soveltuvia eristeaineisia sauvoja. 0,4 kV:n jännitetöihin

eli mm. eristeenläpäisevien AMKA-liittimien ja CDC-jakokaappien liittimen jännitetyöasennukseen on pidetty erikseen koulutus.

Esimerkkinä 20 kV:n jännitetöistä Raulio-Pyhämaa projektissa rakennettiin vanhaan avojohtolinjaan erotuskohta eli ns. JT-katkopaikka (KUVIO 1). Tällainen erotuskohta voidaan rakentaa 20 kV:n linjaan jännitetyönä ja se voidaan myös sulkea sekä avata jännitetyönä. Johtoon asennetaan jännitetyönä päätepidimet molempiin suuntiin, ja päätepidinten välissä on 20 kV:n eristin. Tämän jälkeen johto katkaistaan siihen tarkoitetuilla leikkureilla ja erotuskohta ohitetaan jomppiköydellä. Jomppiköyden molempiin päihin asennetaan jännitetyönä avattavat liittimet, jolloin sähkön kulku erotuskohdan ylitse voidaan katkaista halutessa jännitetyömenetelmin. Työmaalla myös kytkettiin jännitetyönä samanlaisilla jännitetyöliittimillä ja jomppiköydellä AHXAMK-W 20 kV:n maakaapeli jännitteeseen ilmalinjaan.



KUVIO 1. JT-Erotuskohta (Headpower)

## 4.5 Käyttöönotto

Raulio-Pyhämaa maakaapelointiprojektissa käyttöönotoissa noudatettiin sähköturvallisuuslain (1135/2016) sille asettamia vaatimuksia, lakia täydentäviä Valtioneuvoston asetuksia (1434/2016) sekä standardin SFS600-6 määrittelemiä tarkastusvaatimuksia.

Ennen jännitteen kytkemistä uuteen 20 kV:n maakaapeliverkkoon on varmistuttava kaapelien kytkentäpisteistä, jotka saadaan todennettua esim. johtavuusmittauksella. On varmistuttava myös siitä, että kaapelit ovat ehjät. Kaapeleista tulee mitata jokaisen johtimen vaiheen ja metallisen kosketussuojan välinen eristysvastus, vaihejohtimien välinen eristysvastus, johdinten ja maadoitusjohtimen välinen eristysvastus sekä vaippavuotovirta. On myös tehtävä silmämääräisiä tarkastuksia, mm. kaapelin peiton tarkastus, ja myös kaapelipääteiden ja kosketussuojamanteleiden oikeellinen kytkentä ja kaapelin kaikkien osien vauriottomuus on tarkastettava. 20 kV:n maakaapeliverkkoa rakennettaessa on syytä tarkastaa myös muuntamoiden KJ-kennoista kulunesto laudan tai levyn paikallaan olo sekä sisäpeitto. 20 kV:n kennojen peittäminen kaapelin käyttöönoton jälkeen vaatii jännitekatkon kyseiselle kaapelilähdölle.

Vakka-Suomen Voimalle uutta maakaapeliverkkoa rakennettaessa uusien puistomuuntamoiden vaihejohtinten kiertosuunta tulee asentaa verkkoyhtiön määrittelemällä tavalla. Uuden puistomuuntamon vaiheiden kiertosuunta pyritään tarkastamaan ennen sähköjen kytkentää muuntamoon. Muuntamon kiertosuunnan muuttaminen käyttöönoton jälkeen vaatii jännitekatkon kyseisen muuntamon muuntajakoneelle tai muuntamoa syöttävälle 20 kV:n kaapelille.

Muuntamoiden yleensä 5 portainen jännitteensäätökytkin muuntajakoneen kannella säädetään Vakka-Suomen Voiman verkossa tyypillisesti puoliväliin eli asentoon 3/5. Tällä säädetään muuntajakoneen toisiopuolen jännitteen suuruutta. Uudet muuntajakoneet ovat jo tehtaalla mitattuja mutta mikäli kohteeseen asennettaisiin verkossa ennen toisessa kohteessa käytössä ollut muuntajakone, siitä mitattaisiin napojen välinen eristysvastus. Juuri ennen muuntamon käyttöönottoa avataan myös muuntamalla sitä syöttävän 20 kV:n maakaapelilähdön maadoituserotin.

Kun muuntamoon kytketään jännite, suoritetaan siihen lisää lakien, asetusten ja standardien vaatimia käyttöönottotarkastuksia sekä mittauksia. Tällaisia mittauksia ovat mm. muuntajan PJ-keskuksen jän-

nite- ja oikosulkuvirta-arvot. Muuntamon PJ-omakäyttökeskuksessa on myös vikavirtasuojaja, jonka toiminta tulee testata. Omakäyttökeskukseen on yleensä kytketty esim. muuntamon keskuksen valaistus. Ennen muuntamolta poistumista on aina varmistettava ovien lukitus.

Raulio-Pyhämaa projektissa uudet muuntamot oli suunniteltu kaikki ketjuun uuden 20 kV:n maakaapeliverkon kautta. Muuntamoiden 20 kV:n kaapelilähtöjen erottimet mahdollistivat tällöin muuntamoiden käyttöönoton yksi kerrallaan ketjussa sitä mukaa kun kaivuut valmistuivat kyseisellä osuudella.

20 kV:n käyttöönotoissa kytkevä työryhmä toimi tiiviissä yhteistyössä Vakka-Suomen Voiman käyttökeskuksen kanssa koko projektin ajan. Käyttökeskukselta vaaditaan lupa kaikille toimenpiteille erikseen 20 kV:n verkossa. Käyttökeskus päivittää 20 kV:n verkon tilatietoja järjestelmässä reaaliajassa ja sitä mukaa kun verkossa tehdään kytkentöjä projektin aikana. Yhteydenpito työryhmän ja käyttökeskuksen välillä tapahtui VIRVE-radiopuhelimella.

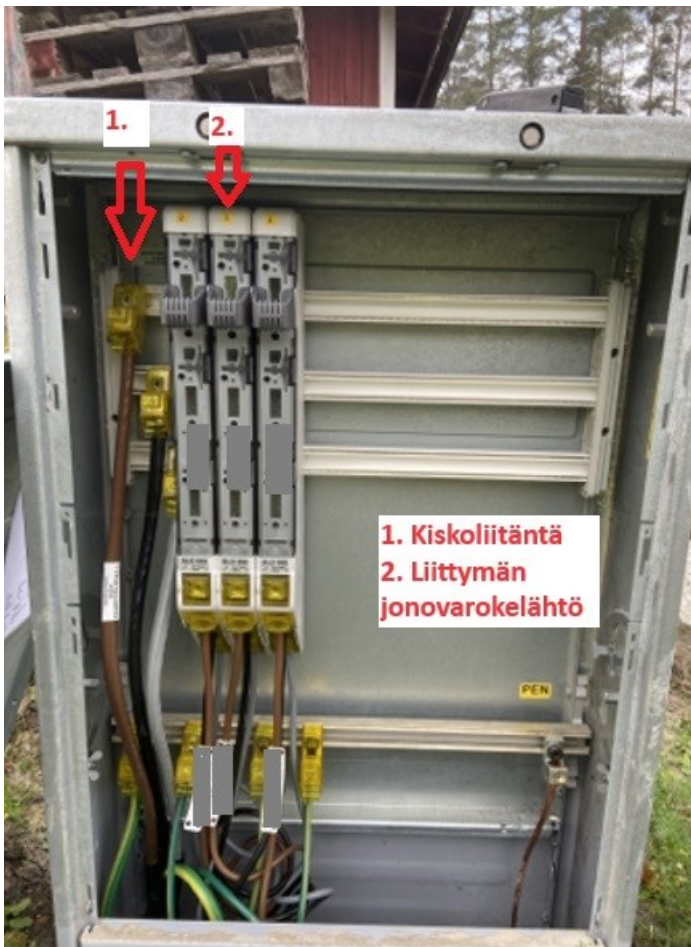
Uuden PJ-verkon käyttöönotot aloitettiin maakaapelointiprojekteissa uusilta puistomuuntamoilta. Puistomuuntamon käyttöönototarkastuksissa on jo mitattu muuntamon pienjännitekeskuksen jännitteet ja oikosulkuvirrat, jotka ovat tärkeitä arvoja pienjänniteverkon käyttöönoton näkökulmasta. Kun todettiin näiden olevan kunnossa, pystyttiin muuntamolta lähteviä pienjänniteverkon runkokaapeleita ryhtyä ottamaan käyttöön. Muuntamoilta lähtee lähtökohtaisesti Vakka-Suomen Voiman verkossa PJ-kaapeleita jakokaapeille, joista sähkö jaetaan selektiivisten sulakesuojausten kautta liittymille. Kahvasulakkeet toimivat niin muuntamoilla kuin jakokaapeilla kaapelien ja laitteiden ylivirta- ja oikosulkusuojausina.

Ennen sähkön kytkemistä uuteen pienjänniteverkkoon puistomuuntamolta suoritettiin osa käyttöönototarkastuksista ja mittauksista. Näihin kuului mm. eristysvastusmittaukset PJ-kaapelien johdinten väliltä sekä johtimien jatkuvuusmittaus. PEN-johtimien jatkuvuudet kirjataan kaapelien käyttöönottopöytäkirjoihin. Headpower IWD -sovelluksen kautta täytettiin kaikki käyttöönototarkastuspöytäkirjat täysin digitaalisesti tässä projekteissa. IWD-sovelluksen kautta valmiit pöytäkirjat liitettiin suoraan kyseiselle Headpowerin projektille. Tilaaja ja Vertekin projektipäällikkö pystyvät IWD:n kautta tarkastamaan pöytäkirjat.

Kun voidaan todeta jännitteettömien mittausten jälkeen kaapelin olevan kunnossa, voidaan siihen kytkeä sähkö. Kytkentä tapahtuu asentamalla muuntamon PJ-kaavioon määritellyt sulakkeet jonovaro-kekytkimeen muuntamon PJ-keskukselle. Vakka-Suomen Voiman verkkoa rakennettaessa usein sähköä syöttävän suunnan kaapeli kytketään kiskoliittimillä (KUVA 13) suoraan jakokaapin kiskoon. Välittömästi sulakkeiden asennuksesta muuntamolle, jakokaapin kiskot tulevat jännitteiseksi. Jakokaapin kiskojen ollessa jännitteiset, voidaan suorittaa jakokaapille myös käyttöönottotarkastukset ja mittaukset. Jakokaapeilta mitataan myös mm. jännite, kiertosuunta ja oikosulkuvirta.

Muuntamoiden tavoin projektissa oli myös jakokaappeja ketjussa. Tällöin jakokaapin käyttöönoton jälkeen sen kautta pystyttiin ottamaan käyttöön ketjussa seuraava jakokaappi edellä mainitulla tavalla. Työryhmä informoi työnjohtoa ja käyttökeskusta käyttöönottojen aikana niiden etenemisestä. Käyttökeskus päivitti työryhmän antamiin tietoihin perustuen verkkotietojärjestelmään myös PJ-verkon kytkentätilanne KJ-verkon tavoin.

Jakokaapeissa oli suurin osa projektissa liittymille lähtevistä kaapeleista. Niille suoritettiin myös vastaavat mittaukset ja tarkastukset kuin runkokaapeleille. Liittymien siirto vanhasta verkosta uuteen 0,4 kV:n maakaapeliverkkoon tapahtui useassa kohteessa asentamalla maahan haudattava kaapelijatko vanhan liittymän syöttökaapelin ja uuden verkon maakaapelin välille. Projektissa oli myös runsaasti liittymiä, joille ei ennestään maakaapelia mennyt kiinteistölle tai liittymispisteelle. Tällöisissä tapauksissa kaivettiin uudet 0,4 kV:n maakaapelit rakennusten seinälle saakka. Seinille asennettiin näissä kohteissa talovarokekotelot, joihin uudet kiinteistön omaa verkkoa suojaavat päävarokkeet sijoitettiin. Liittymiskaapelit kytkettiin jonovaroKelähtöihin (KUVA 13) jakokaapeilla. JonovaroKelähtöihin jakokaapeilla ja muuntamoilla asennettiin myös kahvasulakkeet suojaamaan liittymiskaapeleita, liittymien laitteita sekä sen käyttäjiä. Liittymien siirrosta vanhasta verkosta uuteen verkkoon tarkastetaan liittymän vanha vaiheiden kiertosuunta. Kiertosuunta on kytkettävä vanhan järjestyksen mukaan myös uudessa verkossa



KUVA 13. Jakokaappi RAULIO-muuntopiirissä

Liittymän käyttöönoton jälkeen sillekin suoritetaan vastaavanlaiset käyttöönottomittaukset ja tarkastukset kuin jakokaapille. Kun voidaan todeta näiden olevan kunnossa, lisätään liittymän käyttöönotto-tarkastukset sekä mittaukset jakokaapin käyttöönottotarkastuspöytäkirjaan omaksi alakohdaksi IWD-sovelluksessa. Nämä tarkastukset ja mittaukset suoritetaan kaikille liittymille. Kaikkien verkon käyttöönotettavien osien ollessa käytössä ja vanha purettava verkko jännitteetön on kaapeloinnin uuden verkon rakentamisen osuus valmis.

#### 4.6 Purkutyöt

Raulio-Pyhämaa projektissa vanhat ilmalinjat purettiin talvella alkuvuodesta 2023. Purkutyöt tehtiin yhteistyössä aliurakoivan maanrakentajan ja kytkennät suoritetaan työryhmän välillä. Maanrakentajat tyypillisesti purkavat vain vanhan täysin jännitteettömäksi tehdyn, muusta verkosta erotetun ja maadoitetun ilmajohtoverkon.



Purkutöissä tulee noudattaa erityistä varovaisuutta, Vertek on tehnyt maanrakentajille ja omille työryhmilleen erillisen purkutyöohjeen ja purkusuunnitelman. Tässä ohjeessa määritellään mm. miten purkutyöt tulee suorittaa, millaisilla työkaluilla se tulee tehdä ja miten verkosta purkautuvaa jätettä käsitellään sekä miten ne kierrätetään. Vertekissä isommilla työmailla kuten Raulio-Pyhämaa projektissakin on erilliset kierrätyslavat purkujätteille. Purkujätteet lajitellaan näille lavoille. Osa purkujätteestä kierrätetään, esim. vanhat alumiinijohdot ja teräsorret ja pylväiden tukiraudat. Työmaan turvallisuus- ja ympäristösuunnitelmassa on määritelty jätelavojen sijainti.

Purkutyöt alkoivat purkutyön perehdytyksellä. Työmaan projektipäällikkönä perehdytin purkutöitä suorittavat henkilöt työn luonteeseen sekä sen riskeihin ja vaaroihin. Perehdytyksen jälkeen Vertekin työryhmä koesti ja maadoitti jännitteestä erotetun ilmalinjan sekä varmisti kytkentälaitteiden ohjausten lukitukset. Maadoittaminen tapahtuu myös tiiviissä yhteistyössä Vakka-Suomen Voiman käyttökeskuksen kanssa, joka päivittää 20 kV:n verkon kytkentätilannetta sen muuttuessa. Maadoittamisen jälkeen työryhmä ryhtyi laskemaan teitä ylittäviä ilmajohtoja maahan nostokorista käsin. Työryhmä laskee usein maahan myös rakennusten seinille kiinnitettyt purettavat ilmajohdot. Henkilönostotyötä varten niin kuin muutakin nostotyötä varten tehdään erikseen työsuunnitelma sekä riskien arviointi. Mikäli nostotyössä on pakottava tarve mennä Headpower:in ohjeistossa määritellyn jännitetyöalueen sisäpuolelle on työkone tai nostolaite maadoitettava.

Nostokoriauton avulla työryhmä poisti myös vanhat pylväsmuuntamoissa olevat muuntajakoneet sekä käytetyt johtoerottimet. Joitain verkosta purkautuvia muuntajakoneita ja johtoerottimia otetaan talteen uudelleen käyttöä varten. Niiden kunto tarkastetaan ja arvioidaan, kannattaako niitä varastoida uudelleen käyttöä varten. Verkosta purettu muuntajakoneet, jotka eivät mene uudelleen käyttöön, kuljetetaan Vertekin käytöstä poistuneiden muuntajakoneiden varastoon. Verekin varastossa on valuma-allas öljyä vuotavia muuntajakoneita varten. Muuntajan uudelleen käyttöönoton määrittelee se, kuinka hyvässä kunnossa ja minkä ikäinen muuntajakone on kyseessä.

Työryhmän suoritettua erottamisen, lukitsemisen, koestamisen, maadoittamisen, johtojen maahan laskun ja mahdollisesti uudelleen käyttöön tulevien verkon komponenttien purun voi maanrakentaja ryhtyä purkamaan linjoja. Maanrakentaja käytti lähinnä kaivinkonetta ja traktoria linjojen purussa, kaivinkoneen kouralla nostettiin vanhat pylväät pois maasta ja traktorin perässä vedettävällä kelakoneella kelattiin vanhat purettavat johdot pois maastosta. Kelakone ja kaivinkone maadoitetaan erikseen purkutöissä, mikäli työ tai olosuhteet sen vaativat. Purettu johdot kelattiin halkaistaville metallikehikoille,

jolloin johtokiepit saatiin helposti kehikon täytyttyä purettua kierrätyslavalle. Pylväistä irrotettiin metalliset orret, jotka kuljetettiin metallinkierrätyslavalle. Vanhat pylväät kerättiin pinoihin teiden reunoille niiden pois noutoa varten. Tukkiauto kuljetti pylväät pois maastosta. Purettujen pylväiden jälkeensä jättämät, vaaralliset ja syvät kuopat maassa täytettiin maa-aineella.

Joskus 20 kV:n linjoja purkaessa niiden vierelle voi jäädä käyttöön esim. 20 kV:n- tai 110 kV:n ilmalinja. Tällöin on mahdollista riippuen etäisyydestä purettavan ja käyttöön jäävän linjan välillä, että käyttöön jäävä ilmalinja indusoi varauksen purettavaan johtoon. Tällaiset paikat pitää projektipäällikön tai projektivastaavan ottaa huomioon purkuja suunnitellessaan ja tuoda esille purkuperehdytyksessä. Tällaisissa tapauksissa ensi-sijaisesti pyritään tekemään käyttöön jäävä linja jännitteettömäksi, mutta aina se ei ole mahdollista. Tällöin purettavaan linjaan on asennettava työmaadoituksia huomattavasti tiheämmin.

Vanhojen linjojen purkutöiden jälkeen tarkistettiin työmaa, maastoon jääneen purkujätteen varalta ja ne kerättiin pois. Kaivuujälkien viimeistelytyöt on sujuvaa ja järkevää suorittaa vasta keväällä purkutöiden jälkeen, mikäli purkutöiden ajankohta on talvisaikaan. Tällöin saadaan kaikki pinnat korjattua entiselleen viimeisenä työnä, eivätkä kaivinkone ja traktori ole aiheuttamassa enää lisää korjattavia jälkiä maastoon. Näin tehtiin myös kohdeprojektissa.

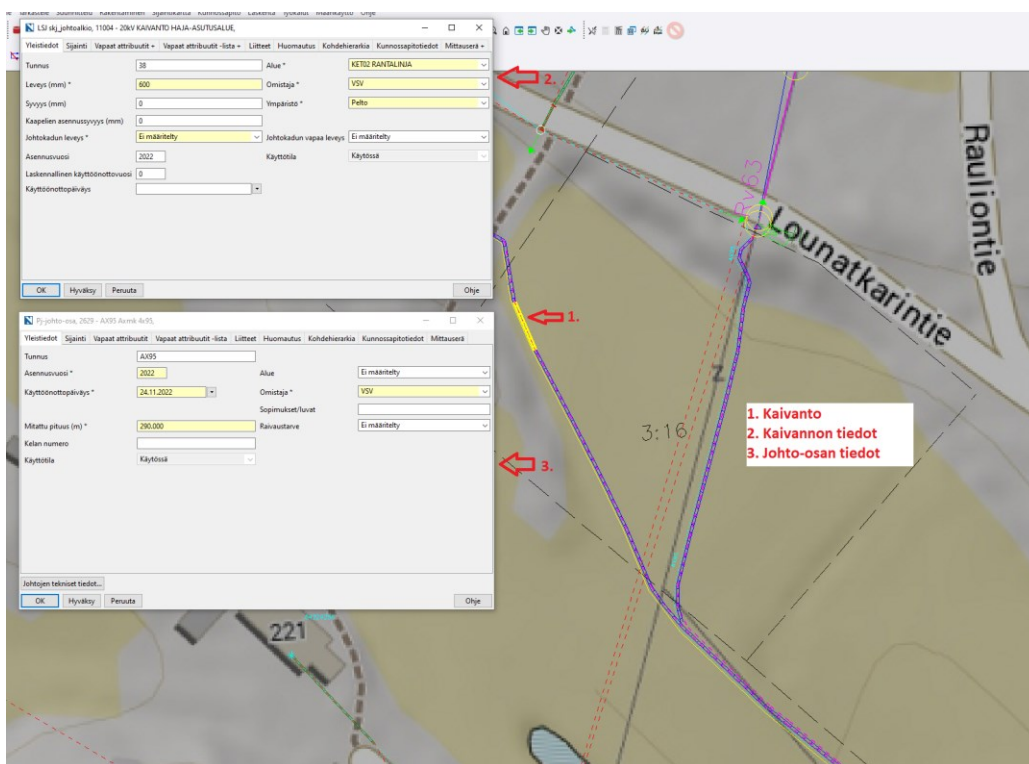
#### **4.7 Dokumentointi**

Dokumentoinnin Raulio-Pyhämaa projektissa suoritti työn suunnittelija. Suunnittelija saa dokumentointiin ison osan tarvittavista asiakirjoista maastossa työskenteleviltä työ- ja kaivuuryhmiltä. Työryhmä toimitti suunnittelijalle käyttöönottopöytäkirjat, valokuvat jakokaapeista ja muuntamoista sekä liittymistä. Työryhmä toimitti myös oman punakynäpiirroksensa työmaan kohteista. Punakynäpiirroksiin työryhmä kirjasi tarvikkeet ja tehdyt työt kohde kohtaisesti. Kaivaja merkkasi punakynäpiirroksiinsa suunnitelmista poikenneet kaivuureitit, kaapeleille asennetut mekaaniset suojaukset ja lisätyöt. Kaapelisuojusta maanrakentaja kirjaa niiden sijainnin sekä määrän toimittamiinsa punakynäkuviin.

Suunnittelija siirsi suunnitellut kaapelit Trimble NIS -verkkotietojärjestelmässä sijaintipaikkakartoite-tuille kaivannoille (KUVA 14) ja lukitsi kaivannot siirtojen päätteeksi paikoilleen. Lukitsemisen jälkeen niitä ei voi liikutella pois kartoitetuilta sijainneiltaan järjestelmässä ilman, että järjestelmä huomauttaa siitä. Kaivannolle merkittiin asennusvuosi, alue, kaivannon omistaja, ympäristö sekä syvyys-

ja leveystiedot. Kaivannoille liitettiin myös projektilla kerätyt dokumentit, mm. punakynät, valokuvat ja käyttöönottopöytäkirjat. Muutkin verkon uudet komponentit kartoitettiin ja siirrettiin järjestelmässä kartoituksen niille osoittamille sijainneille.

Jokaisella kaapelilla on johto-osa (KUVA 14), jolle suunnittelija kirjaa dokumentoinnin yhteydessä kaapelintietoja. NIS järjestelmä ymmärtää johto-osasta myös, mihin kaapeli on kytketty. Johto-osille kirjattiin mm. pituus, käyttöönottopäivä, asennusvuosi, johdon omistaja ja kaapelilaji. Suunnittelija päivitti myös kaikille uusille kytkimille, johtoerottimille, jakokaapeille, muuntamoille, johtoalkioille, pylväille, haruksille ja varokekoteloidille asennusvuoden ja käyttöönottopäivän.



KUVA 14. NIS -dokumentointi

Dokumentoinnissa työryhmien ottamat valokuvat sekä pöytäkirjat tarkastivat Vertekin ja VSV:n suunnittelijat, jonka jälkeen ne liitettiin niitä koskeville jakokaapeille ja muuntamoille. Suunnittelija ilmoitti minulle dokumentoinnin olevan valmis, ja minä projektipäällikkönä tarkistin dokumentoinnin ja ilmoitin työmaan valmistumisesta Vakka-Suomen Voimalle. Tämän jälkeen VSV:n suunnittelija tarkisti dokumentoinnin vielä ennen suunnitelman master-ajoa. Master-ajolla tarkoitetaan sitä, että dokumentoitu uusi sähköverkko siirtyy suunnitelmasta NIS-järjestelmän master puolelle ja tulee osaksi reaaliaikaista verkkoa. Dokumentoinnin sekä purku- ja viimeistelytyöiden valmistuttua projekti katsottiin valmistuneeksi.

## 5 TULOKSET

Raulio-Pyhämaa maakaapelointiprojektissa asennettiin maahan ja veteen 8,1 km pienjännite- sekä 9 km keskijännitemaakaapelia. Näiden sähkökaapelien lisäksi asennettiin 16,2 km valokuitukaapelia. Uutta kaapeliojaa kaivettiin kaiken kaikkiaan 10,9 km. Uusia 0,4 kV:n jakokaappeja asennettiin 11 kpl ja uusia 20/0,4 kV:n puistomuuntamoita asennettiin 7 kpl. Vanhoja 0,4- ja 20 kV:n ilmalinjoja purettiin yhteensä 10,2 km. Projektin valmistuttua 41 kpl ennen vanhojen ilmalinjojen varassa ollutta asiakasta siirtyi säävarman maakaapeliverkon taakse, ja joillekin asiakkaille meneviä vanhoja 0,4 kV:n sähkölinjoja vahvistettiin tai osittain kaapeloitiin. Tilaaja Vakka-Suomen Voima ja Vertek suorittivat yhdessä työmaan lopputarkastuskierroksen 15.12.2022, johon osallistui minun lisäksi Vakka-Suomen Voiman rakennuttamispäällikkö ja suunnittelija. Tilaaja ei antanut merkittäviä korjauskehotuksia työmaan lopputarkastuskierroksella. Pienet lopputarkastuskierroksella huomautetut poikkeamat korjattiin välittömästi lopputarkastuskierroksen jälkeen ja käyttöön otettu verkko luovutettiin tilaajalle 16.12.2022. Purkutyöt valmistuivat maaliskuussa 2023, minkä jälkeen Vakka-Suomen Voima suoritti jälkitarkastuskierroksen 30.4.2023. Jälkitarkastuskierroksella ei todettu puutteita. Vakka-Suomen Puhelimella työn toisena tilaajana ei myöskään ollut huomautettavaa omalla tarkastuskierroksellaan kuituverkon osalta. Työmaalla ei sattunut läheltä piti -tilanteita tai työtapaturmia.

## 6 POHDINTA

Työn tavoitteena oli suorittaa Raulio-Pyhämaa sähköverkon maakaapelointiprojekti tilaajan antamien ohjeiden mukaan, sujuvasti ja turvallisesti samalla tarkastellen miten Vakka-Suomen Voiman sähköverkon saneerausprojektit normaalisti etenevät ja pohtien kehitysideoita niihin. Raulio-Pyhämaa projektista suoriuduttiin hyvin työturvallisuuden näkökulmasta katsottuna, pois lukien yksittäiset työmaakäynneillä todetut suojaruste puutteet. Projektin etenemistä seurattiin tarkasti viikoittain päivittyvistä kartoitustiedoista, kaivajan täyttämästä etenemätaulukosta sekä viikoittaisilla työmaakäynneillä. Myös työryhmän suullinen raportointi helpottaa etenemän seuranta. Työryhmille myös erillisen etenemätaulukon käyttöönotto helpottaisi projektipäällikön tai projektivastaavan kytkentätilanteen seuraamista. Projektipäällikön osallistaminen jo tarjousvaiheessa projektiin pohjustaisi myös hyvin projektin sisällön ja tavoitteet vastuuhenkilölle. Työmaan valokuvaamista työn aikana esim. MVRS-raporttien liitteeksi olisi hyvä myös tehostaa ja luoda siitä enemmänkin käytäntö. Tällaisia työmaan aikaisia valokuvia kaivataan aina välillä jälkitarkastuksissa tai myöhemmin verkon muutostöiden yhteydessä. Projektissa ei ollut käytössä kaivinkonekartoitusta, joka helpottaa realististen syvyystietojen saamista sijaintipaikkakartoitukseen. Syvyystieto on pakollinen tieto Vakka-Suomen Voiman maakaapeliasennuksille. Kaivinkonekartoitus on muodostumassa yleiseksi käytännöksi nykyajan sähköverkon rakentamisessa Vakka-Suomen Voiman verkossa. Raulio-Pyhämaa verkon saneerausprojekti onnistui aikataulullisesti, kustannuksien ja työn laadun osalta hyvin. Työmaalta työn aikana kerättävien etenemätietojen raportointiin käytettävää excel-tilukkoa voisi kehittää siten, että siihen täytettyjen massojen etenemätilanne olisi helpommin tulkittavissa ja lopputulos helpommin ennustettavissa.

## LÄHTEET

ABB. *Kabeldon-kaapelinjakokaapit*. Saatavissa: <https://new.abb.com/low-voltage/fi/tuotteet/kaapelija-kokaapit/kabeldon-kaapelijakokaapit>. Viitattu 28.9.2023.

Energiavirasto. 2020. *Siirtohinnoittelun valvontamenetelmien muutoksella mahdollistetaan toimitusvarmuuden parantaminen*. Saatavissa: <https://energiavirasto.fi/-/siirtohinnoittelun-valvontamenetelmien-muutoksella-mahdollistetaan-toimitusvarmuuden-parantaminen>. Viitattu 28.9.2023.

Headpower. *Kaapelointi maanrakentajille (Koulutus)*. Saatavissa: <https://ohjeistot.headpower.fi/hpo731/2021>. Viitattu 3.11.2023.

Katunpää, A. 2023. Rakennuttamispäällikkö haastattelu 22.9.2023. Vakka-Suomen Voima Oy. Uusi-kaupunki.

Reka a. *AHXAMK-W*. Saatavissa: <https://www.reka.fi/tuoteryhma/ahxamk-w-12-20-24-kv-3-johdin/>. Viitattu 28.9.2023.

Reka b. *AXMK*. Saatavissa: <https://www.reka.fi/tuoteryhma/axmk/>. Viitattu 28.9.2023.

Salo, J. 2019. *Rakennekuva 3+1*. Ulvilassa: UTU Oy.

Tuominen, J. 2023. Sähkötöidenjohtaja haastattelu 22.9.2023. Vertek Oy. Uusikaupunki.

UTU. *Ilmaeristeiset muuntamot*. Saatavissa: <https://www.utugroup.com/fi/tuotekategoria/sahkonjaku-ja-energia/puistomuuntamot/ilmaeristeiset-muuntamot/>. Viitattu 28.9.2023.

VSV. *Tietoa meistä*. Saatavissa: <https://vsv.fi/vsv-konserni/tietoa-meista>. Viitattu 28.9.2023.