



Pienjänniteverkon muutostyö säävarmuuden edistämiseksi

Noora Syvänperä

Opinnäytetyö, AMK

Helmikuu 2023

Tekniikan ala

Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma

Syvänperä, Noora

Pienjänniteverkon muutostyö säävarmuuden edistämiseksi

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Helmikuu 2023, 44 sivua

Tekniikan ala. Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö AMK.

Julkaisun kieli: suomi

Julkaisulupa avoimessa verkossa: kyllä

Tiivistelmä

Tavoitteena oli korvata Koillis-Satakunnan Sähkö Oy:n verkkoalueella noin 40 vuotta vanha, asemakaava-alueella sijaitseva pienjänniteverkon osa uudella, säävarmalla vaihtoehdolla ja selvittää, mitä asennus- ja suunnittelutyötä edistäviä parannuksia on tehtävissä jo suunnitteluvaiheessa. Suunnitteluprosessista pyrittiin saamaan aikaan mahdollisimman kustannustehokas ja selkeä lopputulos, jotta myös valmiin suunnitelman toteutus on helppoa.

Pienjänniteverkon muutostyö aloitettiin suunnittelemalla kartalle uusi kaapelireitti sekä tutkimalla reitin sopivuutta maastossa. Reittiä varten huomioitiin maaston olosuhteet, reitin läheisyydessä sijaitseva sähköasema sekä maanomistajien toiveet maankäytöstä. Suunnittelutyössä käytettiin useita sovelluksia ja laitteita, joiden avulla selvitettiin suunnittelun kannalta välttämättömiä tietoja, kuten maanomistajat, muu maahan kaivettu infra, sekä kaapelireittien pituudet.

Työn tuloksena saatiin valmis suunnitelma tarvikkeineen uutta säävarmaa kaapelireittiä varten sekä tarjouslaskelma työmaan tarvikkeista. Tulevaisuuden suunnittelu- ja asennustyötä tehostamaan selvitettiin nykyisten sovellusten yhtenäistämisen tarvetta sekä komponenttien teknisiä ominaisuuksia asennusta varten.

Pienjänniteverkon säävarmuuden edistäminen on monivaiheinen prosessi, joka vaatii suunnitelman läpikäyntiä ja muutosten tekoa useaan kertaan. Erilaisilla laeilla ja maanomistajan tahdolla on erittäin suuri vaikutus kaapelireitin suunnitteluun ja rakentamiseen.

Avainsanat (asiasanat)

pienjänniteverkot, sähköjakeluverkko, suunnittelu, säävarma

Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)

Syvänperä, Noora

Modification of low voltage network to make it weatherproof

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, February 2023, 44 pages

Engineering and technology. Degree Programme in Electrical and automation Technology. Bachelor's Thesis.

Permission for open access publication: Yes

Language of publication: Finnish

Abstract

The goal was to replace a 40-year-old low-voltage distribution line in zoned area for Koillis-Satakunnan Sähkö Oy with a new weatherproof option and to find out what kind of improvements can be made for installation and electrical design work in the planning phase. The aim was to achieve the most cost-effective and clear end result from the planning process so that the implementation of the finished plan is also easy to make.

The modification of low-voltage distribution line started by planning a new route on a map for new cables and examine how suitable the terrain was for it. For the route, the conditions of the terrain, the power station located near the cable route, and the land owners' wishes regarding land use were taken into account. Several applications and devices were used in the planning work. The applications and devices were used to find out necessary information for planning, such as land owners, other underground infrastructure and the lengths of the cable routes.

The result of the work was a finished plan with supplies for a new weatherproof cable route and a bid calculation of site supplies. In order to make future planning and installation work more efficient, technical properties of the components for installation and the need to unify current applications were investigated.

The promotion of weatherproof distribution line is a multi-step process which requires going through the plan and making changes several times. Various laws and the will of the landowner have a very large impact on the planning and construction of the cable route.

Keywords/tags (subjects)

low voltage networks, distribution network, planning, weatherproof

Miscellaneous (Confidential information)

Sisältö

Lyhenteet ja määritelmät	3
1 Johdanto	4
2 Koillis-Satakunnan Sähkö Oy.....	5
3 Sähkönjakeluverkko.....	6
3.1 Säävarmuus	7
3.2 Erilaisia verkon vikoja	8
3.3 Keskijänniteverkko	9
3.4 Muuntamot	10
3.5 Katkaisijat	11
3.6 Erottimet	12
3.7 Jälleenkytkentä.....	13
3.8 Pienjänniteverkko	13
3.9 Jako- ja haaroituskaapit	15
3.10 Jonovarokeytkin	17
3.11 Pylväsvarokeytkin	18
4 Suunnittelun teoria.....	19
4.1 Suunnittelun aloittaminen	19
4.2 Sähkötekninen suunnittelu ja maastosuunnittelu	19
4.3 Sopimukset ja luvat suunnittelua varten	20
4.4 Asiakkaan liittäminen verkkoon	20
4.5 Loppudokumentointi.....	21
4.6 Sähköverkon hallinnan ja suunnittelun ohjelmat	22
4.6.1 Käytäntökijärjestelmät ABB ja Trimble.....	22
4.6.2 Verkostosuunnittelu pohjautuu verkkotietojärjestelmään.....	24
5 Suunnittelutyön toteutus.....	25
5.1 Alue.....	26
5.2 Maasto.....	27
5.3 Raakaversio kartasta	28
5.4 Reittivaihtoehtojen selvittäminen	29
5.5 Reittien sopiminen maanomistajien kanssa	30
5.6 Reitin merkintä maastoon.....	31
5.7 Sähköiset työmaadokumentit	32

5.8 Tarvikkeiden tilaus	32
6 Lopputulos	33
7 Pohdinta.....	35
Lähteet	37
Liitteet	40
Liite 1. Työkartta	40
Liite 2. Tarjouslaskelma	41

Kuviot

Kuvio 1. Ksat verkkoalue	6
Kuvio 2. Savonvoima	7
Kuvio 3. Alumiinijohdin	9
Kuvio 4. Wiski-kaapeli	10
Kuvio 5. Vioittunut pylväsmuuntamo	11
Kuvio 6. Linjaerotin ja muuntajaerotin	12
Kuvio 7. Riippukierrekaapeli	14
Kuvio 8. AXMK-kaapeli	14
Kuvio 9. Jakokaappi	15
Kuvio 10. Haaroituskaappi	16
Kuvio 11. Talovarokekaappi	17
Kuvio 12. Jonovarokekytkimiä	18
Kuvio 13. Pylväsvarokekytkimet	18
Kuvio 14. ABB käytöntukijärjestelmä	23
Kuvio 15. Trimble käytöntukijärjestelmä	24
Kuvio 16. Muuntamot	26
Kuvio 17. Trimble geoXH	29
Kuvio 18. Reittivaihtoehdot	30

Taulukot

Taulukko 1. Alueet ja lait	20
----------------------------------	----

Lyhenteet ja määritelmät

Päävaroke	Pääkeskuksessa sijaitseva liittymisjohtoa ja pääkeskusta suojaava varoke
Välivaroke	Kaapelinjakokaapissa tai pylväsvarokeytkimessä sijaitseva, kaapeleita tai johtimia suojaava varoke
DMS	Distribution Management System, sähkönjakeluverkon hallintajärjestelmä
NIS	Network Information System, verkkotietojärjestelmä

1 Johdanto

Sähköverkkoyhtiön on tarjottava asiakkailleen riittävän hyvälaatuista sähköä. Tämä tarkoittaa, että sähköverkkoyhtiön on pidettävä jakeluverkkonsa kunnossa ja ennakoitava mahdollisia vikatilanteita. Maan laajuisen luotettavan sähköverkon takaamiseksi vuonna 2013 julkaistu sähkömarkkina-laki sekä vuonna 2021 voimaan astunut laki sähkömarkkinalain muuttamisesta määräävät, että jakeluverkon on täytettävä kantaverkonhaltijan asettamat verkon käyttövarmuutta ja luotettavuutta koskevat vaatimukset vuoden 2036 loppuun mennessä. Myrskyn, lumikuorman tai vioittumisen seurauksena asemakaava-alueella sähkönjakelun keskeytys ei saa olla kuutta tuntia pidempi. Asemakaava-alueen ulkopuolella sähkönjakelun keskeytys saa olla enintään 36 tuntia.

Jotta sähköverkkoyhtiö saa aikaan luotettavan jakeluverkon, siitä on tehtävä sää- ja huoltovarma. Sää- ja huoltovarmuutta edistävät verkon maakaapelointi, ilmalinjojen siirto teiden varsiin tai ilmalinjoja ympäröivän puuston poisto tietyltä etäisyydeltä. Säävarma sähköverkko saadaan aikaan suunnittelemalla tarkoin uudelle verkolle suotuisa paikka, sopivat kaapelityypit sekä maanpäälliset sähköverkon rakenteet, joita maakaapeloinnissa ovat esimerkiksi jako- ja haaroituskaapit sekä puistomuuntamot.

Opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä sähköverkon säävarmuutta edistävä kaapelointisuunnitelma Koillis-Satakunnan Sähkö Oy:n verkkoalueelle sekä selvittää, mitä asennus- ja suunnittelutyötä edistäviä parannuksia on tehtävissä jo suunnitteluvaiheessa. Jotta näihin tavoitteisiin päästiin, oli tarkasteltava suunnitteluun ja asentamiseen liittyviä vaiheita. Suunnittelussa oli syytä tarkastella käytettäviä sovelluksia, niiden yhtenäistämistä, helppokäyttöisyyttä sekä yleistä toimivuutta. Asennustyön osalta tarkasteltiin maanpäällisten komponenttien sopivuutta. Suunnitelmaa tehdessä pyrittiin myös kiinnittämään huomiota suunnittelun ja asennustyön kustannustehokkuuteen. Uuden suunnitelman kohteena oli noin 40 vuotta vanha, asemakaava-alueella sijaitseva pienjänniteverkon osa. Vanha pienjänniteverkko korvattiin uudella, säävarmalla vaihtoehdolla.

Opinnäytetyö oli luonteeltaan tutkimuksellinen kehittämistyö, jonka tarkoituksena oli selvittää kehitettävien kohteiden nykytila, tarpeet, mahdollisuudet sekä haasteet. Tutkimuksen avulla maakaapelointisuunnitelmaa laadittaessa selvitettiin, mitä asennus- ja suunnittelutyötä edistäviä parannuksia on tehtävissä jo suunnitteluvaiheessa, sekä kuinka uuden kaapeloinnin suunnitelma toteutetaan.

Kehittämiskohteiksi rajattiin sähköverkon suunnittelun sekä maanpäällisten komponenttien asennamisen tehostaminen. Tutkimustyössä haluttiin siis selvittää, miten kaapelointisuunnitelma tehdään parhaalla tavalla sekä millaisia parannuksia suunnittelu- ja asennustyöhön voidaan tehdä.

Tutkimustyössä käytettiin myös kvalitatiivisen, eli laadullisen tutkimuksen elementtejä, joita olivat lähtötilan kartoitus, ongelmakohtien määrittäminen sekä toimenpiteiden kartoitus. Kvalitatiivisen tutkimuksen avulla saadaan vastaukset tätä opinnäytetyötä koskeviin tutkimuskysymyksiin, joita ovat:

- ”Miten kaapelointisuunnitelma tehdään nyt?”
- ”Miten kaapelointisuunnitelma tehdään parhaalla tavalla?”
- ”Miten suunnittelu- ja asennustyöhön voidaan tehdä parannuksia?”
- ”Miten suunnittelu- ja asennustyön kustannustehokkuutta voidaan parantaa?”

2 Koillis-Satakunnan Sähkö Oy

Koillis-Satakunnan Sähkö Oy on vuonna 1946 perustettu sähköverkkoyhtiö, jonka henkilökuntaan kuuluu noin 50 henkeä ja joka myy ja toimittaa sähköä sekä sähköön liittyviä palveluita asiakkailleen. Yhtiöllä on kaksi toimipistettä, jotka sijaitsevat Ähtärissä ja Virroilla. Kuviosta 1 nähdään, että yhtiön sähköverkko kattaa osan Etelä-Pohjanmaan, Pirkanmaan sekä Keski-Suomen jakeluverkosta. Koillis-Satakunnan Sähkö Oy:n Sähköverkkoon kuuluu noin 16 000 käyttöpaikkaa, 1 233 jakelumuuntamoaa sekä 4 127 km johtoja. Pääosan yhtiön osakkeista omistavat kunnat; Ähtäri, Virrat, Alavus, Keuruu ja Kihniö. (Koillis-Satakunnan Sähkö Oy n.d.)



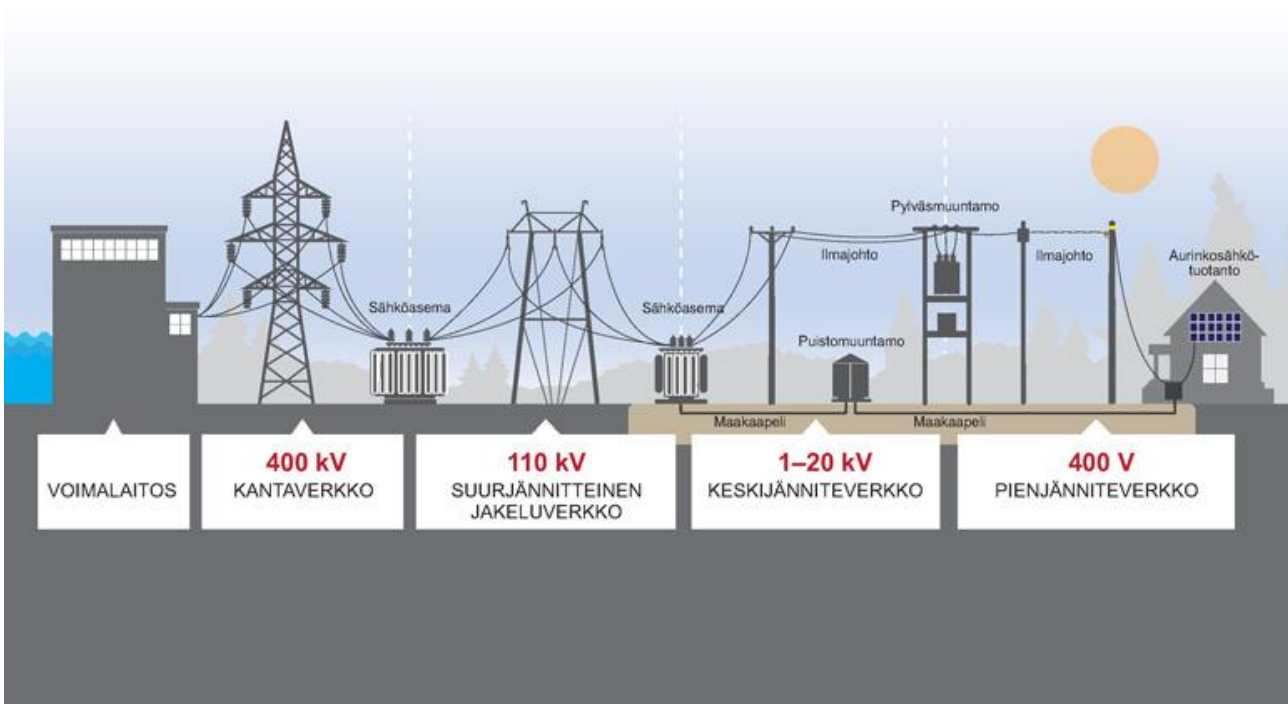
Kuvio 1. Ksat verkkoalue (Tuotteet ja hinnastot n.d.)

Koillis-Satakunnan Sähkö muodostuu emoyhtiöstä, Koillis-Satakunnan Sähkö Oy:stä, sekä tytäryhtiöistä Killin Voima Oy, Perhon Voima Oy, Voima-Keljo Oy sekä Sähkö-Virkeät Oy. Killin Voima Oy ja Perhon voima Oy tuottavat sähköä omistamistaan vesivoimalaitoksista. (Koillis-Satakunnan Sähkö Oy n.d.)

3 Sähkönjakeluverkko

Sähkönjakeluverkko koostuu komponenteista, jotka toimittavat sähkön asiakkaalle. Se sisältää lukuisia rakenteita ja tiloja, laitteita ja komponentteja, järjestelmiä ja osajärjestelmien monimutkaisia yhteyksiä. Sähkönjakeluverkko voidaan jakaa kolmeen osioon, jotka ovat sähkön tuotanto-, siirto- ja jakelujärjestelmä. Jotta sähkö pysyy laadukkaana, on virransyötön oltava luotettava. Sähkölajärjestelmät ovat nykypäivänä ehkä monimutkaisimpia suuren mittakaavan järjestelmiä, joiden halutaan olevan myös mahdollisimman luotettavia. Sähkönjakeluyhtiöiden suurin huolenaihe onkin sähkönjakeluverkon luotettavuus. (Ridzuan 2020.)

Kuten kuviosta 2 nähdään, Suomen sähköjärjestelmä saa alkunsa sähköä tuottavista voimalaitoksista ja eri jännitetasoisista verkoista, joita pitkin sähkö siirretään kuluttajille. Voimalaitoksilla tuotettu sähkö siirretään ensin kantaverkkoon, jonka jännitetaso on 400, 220 tai 110 kilovolttia. Kantaverkosta sähkö siirretään sähköasemia ja muuntajia hyväksi käyttäen keskijänniteverkkoon, jonka jännitetaso on 1–20 kilovolttia. Keskijänniteverkosta sähkö siirretään kuluttajien käytettäväksi jakelumuuntamoiden avulla pienjänniteverkkoon, jonka jännitetaso on 400 voltia. (Sähkön-siirto ja -jakelu n.d.)



Kuvio 2. Savonvoima (Tiedätkö, miten sähkö kulkee? Tunnistatko erilaiset johdot? 2021.)

3.1 Säävarmuus

Jotta sähkönjakeluverkosta saadaan koko maan laajuisesti säävarma ja luotettava, on sähkömarkkinalaki pistänyt voimaan linjauksen, joka määrää sähkönjakeluverkolle tietyt laadulliset vaatimukset. Sähkömarkkinalaki ja laki sähkömarkkinalain muutoksesta vaativat, että sähkönjakeluverkko on säävarmaa vuoteen 2036 mennessä. Lain avulla varmistetaan luotettava sähköverkon rakenne ja tasalaatuinen sähkö asiakkaille. Säävarma sähköverkko voidaan toteuttaa esimerkiksi maakaapelioimalla, siirtämällä ilmalinjoja teiden varsiin tai poistamalla ilmalinjoja ympäröivä puusto tietystä etäisyydeltä. (Sähkömarkkinalaki 588/2013.) (SäädK 730/2021.)

Ilmajohtoverkot ovat rakenteensa vuoksi alttiita vikaantumisille erilaisissa sääolosuhteissa. Suurimpia vikojen aiheuttajia ovat myrskyt, joiden seurauksena esimerkiksi puu kaatuu linjalle ja aiheuttaa verkon vikaantumista. Talvella suurinta tuhoa aiheuttavat lumikuormat langoilla ja lumi-kuormien vuoksi linjalle kaareutuneet ja kaatuneet puut.

Ilmassa olevan pienjänniteverkon päälle kaatunut puu aiheuttaa harvoin välittömän vikatilän ja silloinkin yleensä yhden muuntopiirin yhden ryhmän asiakkailta sähkönjakelun keskeytyksen. Ilmassa olevan keskijänniteverkon päälle kaatunut puu taas voi aiheuttaa sähkönjakelun keskeytyksen useille muuntamoille, eli useille kymmenille tai sadoille asiakkaille. Silti myös pienjänniteverkkojen säävarmuus on tärkeää, jotta mahdollisen myrskyn sattuessa tuhojen vuoksi korjausta vaativaa verkkoa on mahdollisimman vähän.

3.2 Erilaisia verkon vikoja

Puhuttaessa sähköverkon vioista virallisesti, ovat termeinä usein oikosulku ja maasulku. Tällaiset viat aiheutuvat yleensä salamaniskun, pylvään katkeamisen tai sortumisen, virtamuuntajan räjähtämisen, erottimen murtumisen, lumen, jään tai johtimen katkeamisen tai maahan putoamisen takia. (Elovaara & Haarla 2011, 340.)

Oikosulku tapahtuu, kun sähköverkon 2 tai 3 sähköistä vaihetta osuvat toisiinsa ja luovat johtavan yhteyden. Oikosulun vaikutuksesta johtuen johtimissa kulkeva virta on suuri. Johtimien osuminen toisiinsa kovan tuulen vaikutuksesta voi aiheuttaa oikosulun. (Elovaara & Haarla 2011, 340.) Myös sähköä johtavan asian tai esineen, kuten suuren linnun tai kostean puunoksan osuessa sähkölinjaan, voi aiheutua 2- tai 3-vaiheinen oikosulku, riippuen siitä, kuinka moneen johtimeen vianaiheuttaja osuu.

Maasulku on nimensä mukaan tila, jossa johdin joutuu johtavaan yhteyteen maan kanssa. Johdin voi eristysvian vuoksi tulla sähköiseksi maahan johtavassa laitteistossa tai johdin voi suoraan koskettaa maata, jolloin molemmissa tapauksissa aiheutuu maasulku. Maasulun aikaansaama jännite voi olla suuri. Maasulun takia maadoitettu verkko voi aiheuttaa verkkoon ja vikapaikkaa ympäröivään maastoon hengenvaaran. (Elovaara & Haarla 2011, 340.)

3.3 Keskijänniteverkko

Keskijänniteverkko, eli 1-20kV sähköverkko, joka siirtää sähkön sähköasemalta kohti kuluttajia, on avainasemassa verkon luotettavuudessa. Keskijänniteverkko voidaan toteuttaa maakaapeloinnilla tai ilmalinjana. Ilmalinjan johtoina käytetään joko kirkkaita, kuvion 3 mukaisia alumiinisia johtimia, eristepäällysteisiä PAS-johtimia tai riippukierrekaapelia. Keskijänniteverkon maakaapeloinnissa käytetään erityistä, kuvion 4 mukaista Wiski-maakaapelia (Prysmian Group 2018). Johtimien lisäksi keskijänniteverkko sisältää erottimia ja muuntamoita. Verkon toteutustapa määräytyy alueen ja maaston olosuhteiden mukaan. Mahdollisuuksien mukaan keskijänniteverkko pyritään toteuttamaan rengasyhteydellä sähkönsyötön turvaamiseksi.



Kuvio 3. Alumiinijohdin



Kuvio 4. Wiski-kaapeli

Sähkönjakeluverkon rengasyhteydet mahdollistavat sähkönsyötön vikatilanteissa niin, että mahdollisimman vähän sähkönkäyttäjiä joutuu olemaan ilman sähköä vian seurauksena. Rengasyhteys on mahdollista toteuttaa niin ilmajohtoilla kuin maakaapeleillakin. Tulevaisuudessa yhä useampi verkko on varmistettu rengasyhteydellä ja varasyötöllä. (Guo, Qi, & Du 2012.) Rengasyhteys tarkoittaa siis sitä, että yhteen muuntopiiriin voidaan syöttää sähköä kahta tai useampaa kautta, jolloin esimerkiksi alkuperäisen syöttösuunnan vioittuessa kyseinen muuntopiiri ei jää sähköttömäksi, vaan sen syöttösuunta voidaan vaihtaa. Rengasyhteys helpottaa usein keskijänniteverkon vianetsintää, sillä vika-aluetta saadaan rajattua tehokkaasti kahdesta suunnasta.

3.4 Muuntamot

Keskijänniteverkon muuntajien tehtävä on muuntaa suuri, 1-20kV jännite pienemmäksi, 400V jännitteeksi. Pylväs- ja puistomuuntamoissa käytettävät muuntajat ovat rakenteeltaan samanlaisia, niiden sijoituspaikka on vain eri. Kuten kuviosta 5 voidaan nähdä, pylväsmuuntamot ovat alttiita erilaisille sääolosuhteille ja ulkopuolisille uhille, kuten ukkoselle, kaatuville puille ja koneiden aiheuttamille vioille, sillä muuntajakoneet on sijoitettu muutaman metrin korkeudelle pylvääseen. Muuntajakoneet ovat paremmassa suojassa ulkopuolisilta vaurioilta maan tasolle pystytetyn puistomuuntamon sisällä.



Kuvio 5. Vioittunut pylväsmuuntamo

Jakeluverkon muuntajat ovat usein öljyeristeisiä. Öljyä käytetään muuntajissa eristämisen lisäksi myös niiden jäähdyttämiseen, sillä öljy toimii lämpöä siirtävänä väliaineena (Elovaara & Haarla 2011, 141). Öljyn vuoksi maastoon rikkoutunut muuntaja voi aiheuttaa uhan sen ympäristön saastumiselle, mikäli öljyä pääsee ympäristöön. Uusissa puistomuuntamoissa tämä on otettu huomioon rakentamalla muuntamon sisälle muuntajaa varten allas, johon öljy valuu, jos muuntaja vikaantuu.

3.5 Katkaisijat

Sähkönjakeluverkon keskijännitepuolella verkon kytkemiseen ja erottamiseen käytetään katkaisijoita ja erottimia. Katkaisijoiden tehtävä on sulkea ja avata virtapiiri. Katkaisijoita käytetään säh-

könjakeluverkossa esimerkiksi sähköasemilla avaamaan ja sulkemaan piirejä, joissa voi kulkea moninkertainen virta niiden mitoitusvirtaan nähden. Ne voivat toimia käsiohjattuina ja automaattisesti. (Elovaara & Haarla 2011, 162, 163.)

Katkaisijan automaattisesta avautumisesta on hyötyä tilanteessa, jossa katkaisija avautuu oikosulkuvirran tai maasulkuvirran takia. Näin saadaan nopeasti erotettua vioittunut sähköverkon osa muusta verkosta. Katkaisija voi myös sulkeutua automaattisesti esimerkiksi jälleenkytkentätilanteessa. (Elovaara & Haarla 2011, 163.)

3.6 Erottimet

Erottimien avulla sähköverkon osia voidaan tehdä jännitteettömiksi tai jännitteisiksi. Esimerkiksi keskijännitevikojen rajauksessa erottimien avulla voidaan erottaa sähköstä vioittunut verkon osa tai muuntaja. (Elovaara & Haarla 2011, 190.) Kuviossa 6 näkyy linjaerotin oikealla ylhäällä sekä muuntajaerotin vasemmalla alhaalla.



Kuvio 6. Linjaerotin ja muuntajaerotin

Toisin kuin katkaisijan ohjaus, erottimien ohjaus tapahtuu ainoastaan manuaalisesti ihmisen toimesta, joko fyysisesti erotinkahvaa ohjaamalla tai moottorin avustamana. Moottorilla varustetuissa erottimissa on myös etäohjaus, joka mahdollistaa erottimen ohjaamisen esimerkiksi valvomosta.

3.7 Jälleenkytkentä

Jälleenkytkentä on sähköverkon tapahtuma, jossa katkaisija avaa ja sulkee virtapiirin sen automaatiikan havaitessa vian. Jälleenkytkentöjen avulla voidaan tietyin edellytyksin välttää pitkiä sähkökatkoja. Jälleenkytkentöjä on kahdenlaisia, pikajälleenkytkentä ja aikajälleenkytkentä. (Sähkölinjat lintupommituksessa syksyisin n.d.)

Pikajälleenkytkentä tapahtuu, kun verkossa havaitaan vika. Katkaisija katkaisee sähkön muutamaksi sekunniksi ja kytkee sen sitten takaisin. Jos vika havaitaan uudestaan heti sähköjen takaisin kytkemisen jälkeen, tapahtuu aikajälleenkytkentä. (Sähkölinjat lintupommituksessa syksyisin, n.d.)

Aikajälleenkytkennän aikana sähköt ovat pois muutaman minuutin. Tässä ajassa vian aiheuttaja voi poistua verkosta joko tipahtamalla tai palamalla, mikäli katkon on aiheuttanut linjalla oleva oksa tai eläin. Jos vika kuitenkin ei poistu, sähkön uudelleen kytkemisen jälkeen katkaisija havaitsee vian ja aukeaa taas. Tässä tapauksessa vikaa on lähdettävä poistamaan fyysisesti. (Sähkölinjat lintupommituksessa syksyisin n.d.)

3.8 Pienjänniteverkko

Sähkö siirretään jakelumuuntajalta asiakkaalle pienjänniteverkon avulla. Pienjänniteverkko voidaan nykypäivänä toteuttaa ilmalinjana tai maakaapeloimalla. Käytettävien johtojen tyypit ovat ilmalinjassa kuviossa 7 esitetty riippukierrekaapeli ja maakaapeloinnissa esimerkiksi kuvion 8 tyyppinen AXMK-kaapeli. Molemmissa johdoissa on päällä muovinen eriste, joka edistää niiden viankestoa. Kirkkaita, muovikuorettomia avojohtoja ei käytetä uuden pienjänniteverkon rakentamiseen.



Kuvio 7. Riippukierrekaapeli



Kuvio 8. AXMK-kaapeli

Ilmassa kulkevat pienjännitejohdot ovat lähes yhtä alttiita myrskyille, kuin ilmassa kulkevat keski- jännitejohdot. Johdon päälle kaatunut puu saattaa pahimmassa tapauksessa katkaista johtimen tai vioittaa sitä. Johtoa suojaa kuitenkin muovinen kuori, jonka ansiosta päälle kaatuneet puut eivät aina aiheuta vikaa. Kuitenkin kauan johdinta hangannut puu voi rikkoa muovikuoren ja aiheuttaa maa- tai oikosulun.

Maahan kaapeloitu pienjännitejohto ei ole altis maanpäällisille myrskyille, mutta voi vikaantua esimerkiksi asennusvaiheessa johtimeen tulleen, syvän naarmun tai kaapeliojassa olevan kiven takia. Pieni vika kaapelin pinnassa ei välttämättä aiheuta heti oiko- tai maasulkua kaapelin, mutta tällaiset viat paljastuvat usein kuukausien tai vuosien kuluttua kaapelin käyttöönoton jälkeen, kun

maan kosteuden ja kaapelissa kulkevan sähkön yhteisvaikutuksesta kaapeli syöpyy vioittuneesta kohdasta. Vian paikannus maakaapelista voi olla haastavaa.

3.9 Jako- ja haaroituskaapit

Pienjänniteverkon maanpäällisiä komponentteja ovat erilaiset jako- ja haaroituskaapit. Kaapit toimivat haaroituspisteinä kaapeleille sekä osana maakaapeloitavan pienjänniteverkon sulakesuojausta. Kuten kuvioista 9 huomataan, jakokaappi sisältää jonovarokeytkimiä, joihin kaapelit kytketään joko yksin tai yhdessä toisen kaapelin kanssa.



Kuvio 9. Jakokaappi

Kuviosta 10 voidaan tarkastella haaroituskaapin rakennetta. Kaappi sisältää haaroitusliittimet, joihin kaikki kaapelit kytketään kiinni.



Kuvio 10. Haaroituskaappi

Haaroituskaapista on myös olemassa kuviossa 11 näkyvä versio, jonka sisällä ovat päävarokkeet. Tällaista kaappia kutsutaan talovarokekaapiksi. Kaapelit kytketään kaapin sisällä oleviin riviliittimiin. Jakeluverkon saneerauksessa talovarokekaappi korvaa talojen seinillä olevat talovarokekotelot.



Kuvio 11. Talovarokekaappi

3.10 Jonovarokekytkin

Jonovarokekytkimet kytketään muuntamoiden tai jakokaappien virtakiskoihin. Suojattavat pienjännitekaapelit kytketään jonovarokekytkimen liittimiin. Jonovarokekytkimissä käytetään sulakkeina kahvasulakkeita, jotka asetetaan jonovarokekytkimen sisälle niin, että kahvan avautuessa myös sulake irtaana kytkimen jännitteisistä osista. Jonovarokekytkimen avulla voidaan siis kytkeä ja katkaista siihen liitetyn pienjännitekaapelin syöttö. Jonovarokekytkimen liittimen koko määrittelee, kuinka suuren kaapelin siihen voi kytkeä. (Sähkötekniikka 2021 2022.) Kuten kuviossa 12 nähdään, jonovarokekytkimiä on saatavana eri kokoisina johtuen käytettävän kaapelin ja sulakkeen koosta.



Kuvio 12. Jonovarokeytkimiä

3.11 Pylväsvarokekytkin

Pylväsvarokekytkintä käytetään pienjännitteisessä ilmalinjassa päävarokkeena tai välivarokkeena. Kuvion 13 mukaiset pylväsvarokekytkimet toimivat samaan tapaan, kuin jonovarokeytkimet, niiden sijainti vain on muutaman metrin korkeudella pylväessä. Tästä johtuen pylväsvarokekytkimen avaamiseen ja sulkemiseen käytetään siihen soveltuvaa ohjaussauvaa. Pylväsvarokekytkimiä on 1- ja 3-vaiheisia sekä eri kokoisia eri sulakekokojen ja kaapelipoikkipintojen tarpeisiin. (Ilmajohtoratkaisut 0,4kV n.d.)



Kuvio 13. Pylväsvarokekytkimet

4 Suunnittelun teoria

Sähkönjakeluverkon haltija saa yksinoikeudella rakentaa vastuualueelleen jakeluverkkoa (Verkon rakentaminen n.d). Sähkönjakeluverkkojen suunnittelu ei ole ainoastaan uusien reittien piirtämistä kartalle, vaan suunnittelu on lailla säädelty ja monivaiheinen prosessi, jossa täytyy ottaa taloudellisten ja teknisten asioiden lisäksi huomioon maankäyttö ja ympäristönäkökohdat (Suunnittelu n.d). Myös Vesa (2021) vahvistaa, että sähköverkon rakentamisen vahvana pohjana toimivat hyvä suunnittelu, yhteistyö ja osaaminen.

4.1 Suunnittelun aloittaminen

Sähköverkon saneerauksen suunnittelu alkaa yleissuunnittelulla, jossa selvitetään verkon uusinnan tarve ja alueelle tarvittavat sähkönsiirtopalvelut. Vanhat sähköverkkojen osat kulkevat monin paikoin suorinta reittiä kohti sähkönkäyttäjiä. Tämä tarkoittaa sitä, että sähköverkko kulkee pitkiäkin matkoja metsissä. Sähköverkon huolto- ja korjaustoimenpiteitä ajatellen uusi sähkölinja rakennetaan usein teiden ja muiden väylien varrelle. (Vesa 2021.)

Yleissuunnittelusta edetään tarkempaan suunnitteluun ja uuden verkon reitin etsimiseen, sillä sähköverkon sijainti muuttuu joskus hyvinkin radikaalisti vanhaan verrattuna, jolloin suunnitelma täytyy hyväksyttää maanomistajien kanssa (Vesa 2021).

4.2 Sähkötekniinen suunnittelu ja maastosuunnittelu

Niin sanotun raakaversion jälkeen suunnittelussa edetään sähkötekniiseen suunnitteluun ja maastosuunnitteluun. Tässä suunnitteluvaiheessa etsitään uudelle linjalle sopiva reitti yhdessä maanomistajien kanssa, joten tämä vaihe vaatii suunnittelijalta asiantuntijuutta sähköalalta sekä sosiaalisia taitoja ja kykyä neuvotella asioista. (Vesa 2021.)

Maastosuunnittelija esittää maanomistajille suunnitelman uuden verkon reitistä ja maanomistajalla on mahdollisuus vaikuttaa siihen. Suunnittelussa on pyrittävä lopputulokseen, joka sopii kaikille. Maanomistajille maksetaan aina ajankohtaiset korvaukset maankäytöstä. (Vesa 2021.)

4.3 Sopimukset ja luvat suunnittelua varten

Kuten sähkömarkkinalaissa (SML 588/2013) mainitaan, jakeluverkonhaltijalla on oikeus rakentaa jakeluverkkoa alueellaan. Verkon rakentamiseen maan alle tai maan päälle tarvitaan aina kirjallinen lupa tai sopimus maankäytöstä. Sähköjohdot pyritään kuitenkin aina sijoittamaan niin, että niistä on mahdollisimman vähän haittaa maanomistajalle (Maankäytössä pyritään minimoimaan haitat maanomistajalle n.d). Eri maa-alueille kaapelin asentamista koskevat erilaiset lait. Nämä alueet ja lait esitetään taulukossa 1.

Taulukko 1. Alueet ja lait (Joensuu, Välimaa, Tuominen, Ihalainen, Rissanen & Ostamo 2018.)

Alue	Laki
Maantiealue	Maantielaki
Vesistö	Vesilaki
Rautatiealue	Ratalaki
Luonnonsuojelualue	Luonnonsuojelulaki
Muinaismuistoalue	Muinaismuistolaki
Kunnan alue	Maankäyttö- ja rakennuslaki
Yksityistie	Yksityistielaki
Yksityisen omistama alue	Maankäyttö- ja rakennuslaki

4.4 Asiakkaan liittäminen verkkoon

Joskus sähköverkkoyhtiölle tulee pyyntöjä uusien asiakkaiden liittamisestä verkkoon. Usein uusi asiakas sijaitsee alueella, jossa on kelpollista sähköverkkoa ympärillä. Silloin asiakkaan liittäminen käy suhteellisen vaivattomasti. Uusia mahdollisia jakeluverkon pariin liittyviä asiakkaita on hyödyllistä kartoittaa jo verkon suunnitteluvaiheessa, mikäli se on mahdollista. Suurimpia ennakointia vaativia kohteita ovat uudet mökki- ja asuntoalueet, joille saatetaan varalle rakentaa johto jo tontin rajalle asti odottamaan liittyjää. Joskus uutta jakeluverkkoa 20kV ilmajohtoineen ja muuntajineen joudutaan rakentamaan vain yhtä asiakasta varten. Tällöin loput liittyjät lisätään myöhemmin tai rakennetaan liittymispiste jo varalle odottamaan saman alueen uusia liittyjiä.

Sähköverkon saneerauskohteissa on hyödyllistä jo suunnitteluvaiheessa kartoittaa sen hetken sähköttömät vapaa-ajan asunnot ja kysyä omistajan halukkuutta liittyä sähköverkkoon saneeraustöiden alettua. Näin saadaan toteutettua uusi verkko ja uusi liittymä samalla työmaalla.

Sähköverkonhaltija on velvollinen liittämään verkkoonsa kaikki alueensa halukkaat verkkokäyttäjät kohtuullista korvausta vastaan. Tämän vuoksi verkonhaltijan on julkaistava sähköverkkoonsa liittymistä koskevat vaatimukset, myyntiehdot, hinnastot ja liittymismaksujen määräysperusteet sekä aika, joka kuluu käsiteltäessä liittymispyynnöt. Sähköverkkoon halukkaalle liittyjälle on myös annettava riittävä aika-arvio siitä, milloin verkkoon liittyminen on valmis ja kuinka paljon liittyminen maksaa. Aika-arviota annettaessa on kuitenkin huomioitava, kuinka paljon aikaa suunnittelu, lupamenettelyt ja rakentaminen vievät. (Verkkoon liittäminen n.d.)

Jotta uusi asiakas voidaan liittää verkkoon, tulee asiakkaan sähkölaitteiston täyttää verkonhaltijan sille asettamat tekniset vaatimukset. Ehtojen tulee olla tasapuolisia, syrjimättömiä ja perusteltuja. Järjestelmälle on asetettu myös ehdot sen toimintavarmuudelle ja tehokkuudelle. (Verkkoon liittäminen n.d.)

4.5 Loppudokumentointi

Kun sähköverkon rakentamisen maastotyöt ovat päättyneet, tulee kaapelit ja ilmajohdot digitoida verkkotietojärjestelmään. Uudet, 1.1.2021 tai sen jälkeen tehdyt kaapeloinnit tulee digitoida niin, että kaapeleiden tai kaapelireitin sijaintitarkkuus voidaan ilmoittaa taajamissa ± 10 cm tarkkuudella sekä taajamien ulkopuolella vähintään ± 50 cm tarkkuudella. Myös uusien kaapeleiden syvyys on vaadittaessa pystyttävä ilmoittamaan vähintään ± 10 cm tarkkuudella, mikäli se poikkeaa suunnitellusta syvyydestä. Myös ilmalinjan pylväiden sijainti on ilmoitettava.

(TRAFICOM/455945/03.04.05.00/2022 M71.) Sijaintitiedot saadaan mittaamalla kohteiden GPS-pisteet.

Sijaintitarkkuustietoja kaapeleista tarvitaan, jotta viestintävirasto saa tiedot keskitettyyn tietopisteeseen. Keskitetystä tietopisteestä annetaan tiedot verkkojen fyysisestä infrastruktuurista sekä kaapeleiden sijainneista. (Laki verkkoinfrastruktuurin yhteisrakentamisesta ja -käytöstä 276/2016.) Kun kaapeleiden tarkat sijaintitiedot ovat tarvittaessa helposti saatavilla, voidaan vältyä tilan-

teelta, jossa kaapeli vaurioituu sen takia, että sen sijaintia ei tiedetty. Kaapeleiden sijaintitieto auttaa myös muita samalle alueelle kaivutöitä suunnittelevia tahoja välttämään kaivureitin suunnittelemaan kaapelireitille sekä pyytämään tarvittaessa kaapelinäytön, mikäli kaapeli mahdollisesti risteää uuden kaivun kanssa.

4.6 Sähköverkon hallinnan ja suunnittelun ohjelmat

Tässä osiossa tarkastellaan Koillis-Satakunnan Sähkö Oy:n käytössä olevaa verkkotietojärjestelmää, sähköverkon hallintajärjestelmää; ABB Distribution Management System (DMS) -järjestelmää, sekä vastaavaa Trimblen kehittämää DMS järjestelmää. Sähköverkon hallintajärjestelmällä tarkoitetaan tietokoneella tai mobiililaitteella käytettävää ohjelmistoa tai järjestelmää, jonka avulla voidaan nähdä koko sähköverkonhaltijan verkko sekä tehdä sille fyysisiä ja digitaalisia toimenpiteitä. Verkkotietojärjestelmästä taas löytyvät kaikki sähköverkon tiedot. Tulevaisuudessa Koillis-Satakunnan Sähkön sähköverkon suunnittelu ei tapahdu ABB:n järjestelmällä, mutta kyseinen järjestelmä jää edelleen käyttöön verkkoon tehtäviä toimenpiteitä varten.

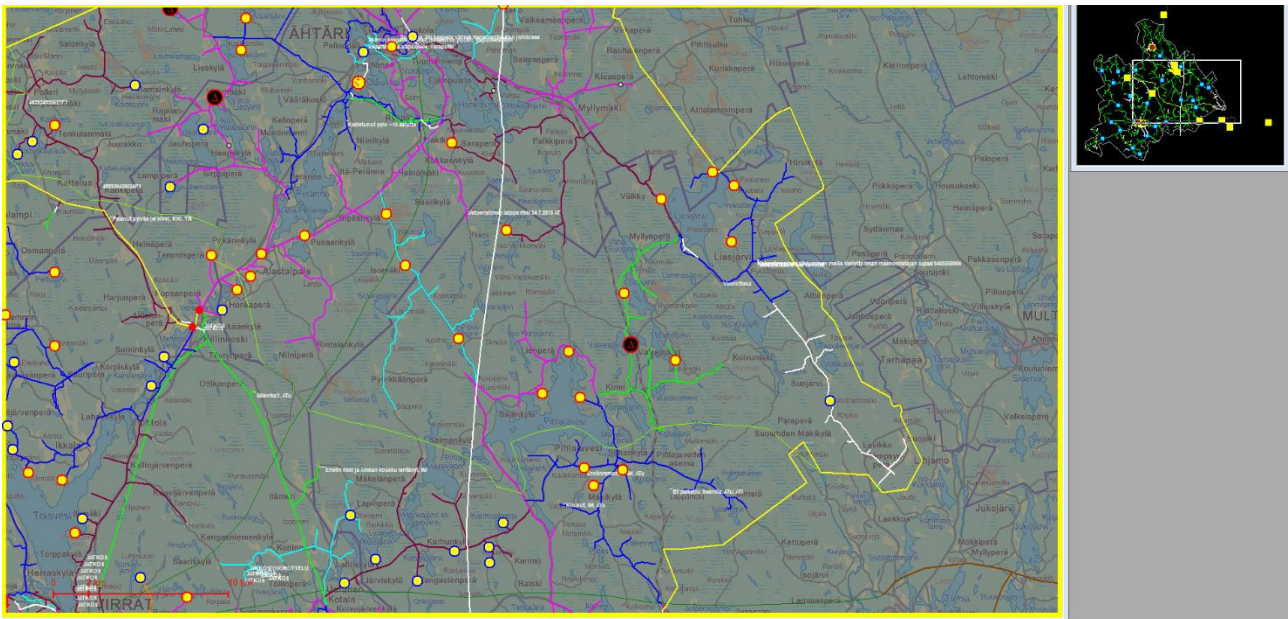
4.6.1 Käyttötukijärjestelmät ABB ja Trimble

Sekä ABB:n, että Trimblen DMS-järjestelmät toimivat verkon käyttötukijärjestelminä eli toisin sanoen verkon hallintajärjestelminä. Järjestelmillä nähdään nopea yleiskatsaus koko verkosta. Niillä voidaan tarkastella kaikkia verkon komponentteja. DMS-järjestelmä pitää sisällään koko verkonhaltijan verkon, kuten johdot ja kaapelit, muuntajat, sulakkeet, kytkimet, erottimet ja sähköasemat. Tarvittaessa molempiin järjestelmiin voidaan lisätä alueen asiakkaiden sähkökäyttöpaikat. Eri verkon värien ansiosta järjestelmän käyttäjä näkee nopealla silmäyksellä esimerkiksi verkon osaa syöttävän johtolähdön, verkkojen rengasyhteydet, jännitteettömät verkon osat sekä maadoitetun sähköverkon. (MicroSCADA Pro n.d.) (Trimble DMS n.d.)

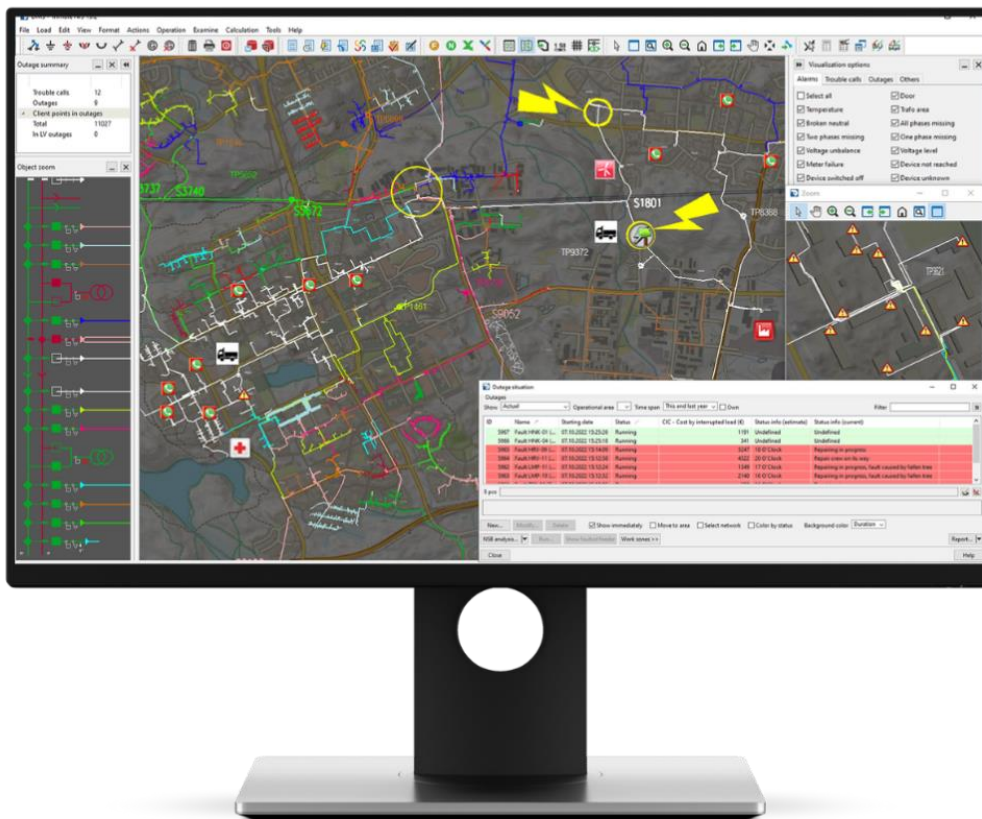
DMS-järjestelmällä voidaan hallita sähköverkon fyysisiä toimintoja etäohjattavien erottimien ja katkaisijoiden kautta. Järjestelmän avulla voidaan tehdä suunniteltuja kytkentöjä, sähkönjakelun keskeytyksiä sekä häiriötilanteen aiheuttamien vikojen rajaamista ja paikantamista. Automaattisten toimintojensa ansiosta järjestelmä ottaa yhteyden maastossa sijaitseviin erottimiin ja nopeuttaa verkkoon tehtävää työtä ja vianrajausta. Verkon vikaantuessa järjestelmä havaitsee vian ja sillä

voidaan jopa paikantaa vian suuntaa verkossa. (MicroSCADA Pro n.d.) (Trimble DMS n.d.) (Sähkökatkot lyhyemmiksi n.d.)

Kuten kuvioista 14 ja 15 nähdään, sekä ABB:n että Trimblen järjestelmillä voidaan tehdä erilaisia verkon kytkentäsuunnitelmia sekä suunnitelmien simulointia. Valkoinen verkon osa kuvissa näyttää sähköverkon jännitteettömän osan. Järjestelmä osaa tietyn edellytyksin luoda valmiit suunnitelmat esimerkiksi verkon jännitteettömäksi teosta huoltotoimenpiteitä varten. Mikäli järjestelmän tekemä suunnitelma on jostain syystä puutteellinen tai jännitteetön osa verkkoa liian suuri ottaen huomioon verkon erottimien kyvyt, pystyy suunnitelmaan tekemään manuaalisia muutoksia ja simuloida tekemänsä suunnitelman, jotta voidaan varmistua halutusta lopputuloksesta ennen fyysisten toimenpiteiden suorittamista. (Trimble DMS n.d.) (MicroSCADA Pro n.d.)



Kuvio 14. ABB käytöntukijärjestelmä



Kuvio 15. Trimble käytöntukijärjestelmä (Trimble DMS n.d)

4.6.2 Verkostosuunnittelu pohjautuu verkkotietojärjestelmään

Verkostosuunnittelun ohjelmilla voidaan suorittaa verkostolaskentaa ja verkon suunnittelua. Ohjelmat pohjautuvat verkkotietojärjestelmään, josta löytyy esimerkiksi digitoitujen johtojen, komponenttien ja asiakkaiden tietoja. Verkkotietojärjestelmän tietoja käytetään suunnittelussa ja siirretään käytöntukijärjestelmään. Sähköverkon suunnitteluun kuuluu uusien kaapelireittien, ilmalinjojen, muuntamoiden, kaappien ja liittymien suunnitteleminen.

Verkostolaskennan avulla voidaan varmistaa kaapeleiden ja muiden verkon komponenttien sekä suojalaitteiden oikea mitoitus uusissa suunnitelmissa. Näin voidaan analysoida koko verkon luotettavuutta ja pitkäaikaiskustannuksia. (Trimble NIS n.d.) (Network control and distribution management n.d.)

ABB:n järjestelmän kartta on tietokoneella tai mobiililaitteella erillisessä ladattavassa järjestelmässä. Suunnittelu- ja muokkaustöitä voidaan tehdä ABB:n järjestelmässä ainoastaan tietokoneella, josta kyseinen järjestelmä löytyy (MicroSCADA Pro n.d). Trimblen Utility Network Manager -verkonmuokkaustyökalu kuitenkin toimii selaimella, jolloin verkkoa voi muokata miltä tahansa tietokoneelta tai mobiililaitteelta, jolla on pääsy internetiin (Trimble Utility Network Manager n.d).

Koillis-Satakunnan Sähkö Oy:n käyttöön on tulossa uusi verkkotietojärjestelmä, Tietoevry NIS. Tietoevry verkkotietojärjestelmän käyttö poikkeaa hieman aikaisemmin käytössä olleesta verkkotietojärjestelmästä. Uuden järjestelmän myötä suunnittelutöitä on mahdollista tehdä tietokoneen lisäksi esimerkiksi tabletilla tai puhelimella, edellyttäen, että laitteella on pääsy internetiin. Suunnittelutöitä varten järjestelmä hakee maanmittauslaitokselta suunnitelmaan liittyvien maanomistajien yhteystiedot sen sijaan, että suunnittelija hakee itse tarvittavat tiedot. Myös valmiin suunnitelman siirto tietojärjestelmän karttapohjalle sujuu nopeasti ja helposti, sillä suunnitelma voidaan siirtää suoraan sellaisenaan kartalle. Kun uuden kaapelireitin tai ilmajohtolinjan pylväiden GPS-koordinaatit on merkitty, järjestelmässä on mahdollisuus siirtää reitit ja pylvää GPS-pisteiden mukaisille paikoille. Siirto tapahtuu niin, että reitit ja pylvää tarttuvat automaattisesti useaan pisteeseen muodostaen kartalle todellisen reitin. Aiemmin käytössä olleessa järjestelmässä suunnitelma on piirrettävä täysin uudestaan karttapohjalle sen maatöiden valmistuttua. Myös kaapelit ja pylvää on aiemmin käytössä olleessa järjestelmässä siirrettävä manuaalisesti GPS-koordinaattien mukaisille paikoille piste kerrallaan.

5 Suunnittelutyön toteutus

Pienjänniteverkon muutoksen suunnittelun fyysinen osuus alkoi tutkimalla olemassa olevaa verkkoa verkkotietojärjestelmän kartalta tietokoneelta. Etukäteen suunnitelmasta oli keskusteltu ja varmistettu, että suunnitelman teko kuuluu sähköverkkoyhtiön vuosisuunnitelmaan.

Suunnittelutyötä varten on selvitettävä jokaisen suunnitelmaan kuuluvan sähköliittymän asiakkaan ja maanomistajan yhteystiedot. Asiakkaiden yhteystiedot löytyvät osin sähköverkkoyhtiön käytössä olevasta verkkotietojärjestelmästä. Muiden maanomistajien yhteystiedot haetaan maanmittauslaitoksen sivulta. Myös yhteiskaivumahdollisuudet on hyvä selvittää uutta kaapelointisuunnitelmaa tehdessä. Tällöin esimerkiksi kuitukaapeli tai vesijohto voidaan kaivaa maahan yhdessä sähkökaapelin kanssa.

Tätä suunnitelmaa varten selvitettiin myös vesilaitoksen halukkuus ja kyvykkyys osallistua yhteiskaivuuseen. Vesilaitos ei voinut tällä kertaa osallistua.

Maastoon lähdettäessä on hyödyllistä, että mukana on kartta, johon voi suunnitella paikan päällä reittiä ja esitellä suunnitelmaa myös paikan päällä tavoitetuille maanomistajille.

5.1 Alue

Alueella on valmiina puistomuuntamo, jonka sisällä ovat suunnittelun alkaessa jännitteettömät 20 kilovoltin syöttökaapelit. Vanha, toistaiseksi toiminnassa oleva muuntaja sijaitsee uuden puistomuuntamon takana, kuten kuviosta 16 nähdään.



Kuvio 16. Muuntamot

Muuntamo sijaitsee sähköaseman välittömässä läheisyydessä, joka tuottaa suunnittelulle ja toteutukselle omat haasteensa olemassa olevien kaapeleiden ja maadoitusten takia. Nämä jo olemassa olevat kaapelit ja maadoitukset on otettava huomioon suunnitelmaa tehdessä. Muita maan alla kulkevia, huomioitavia asioita ovat vieraat kaapelit, kuidut, putket ja vesijohdot. Sähköaseman

tontilla sijaitsevalla muuntamolla on kuitenkin myös etuja, kuten se, että maanomistaja on sähköverkkoyhtiö itse, jolloin kaapelireitin saa tehdä juuri sille paikalle, johon suunnittelija sen suunnittelee.

Koska kaapelireitti alittaa 110kV ilmajohdot, täytyi suunnittelupäällikön selvittää, saako näiden johtojen alle kaapeloida. Selvityksen mukaan maakaapelointi on sallittu, kunhan kaapelit sijoitetaan vahvaseinämäiseen, yhtenäiseen putkeen niiltä osin, kun ollaan alle 10 metrin päässä 110kV maadoituksista.

Muut kaapelit ja kuidut selvitettiin johtotiedon ja kaivuluvan palveluiden avulla. Alue oli vapaa muista kaapeleista ja kuiduista lukuun ottamatta maanomistajien itse kaivamia, mittauksen takaisia kaapeleita sekä sähköverkkoyhtiön omia kaapeleita. Vesilaitoksen vesijohtoreitit eivät ole tarkoin selvillä, joten työmaapapereihin on laitettava huomautus mahdollisesta vesiputkesta tietyllä alueella.

Alueella olisi myös ollut mahdollisuus toteuttaa vesilaitoksen kanssa yhteiskaivu. Yhteiskaivun etuna on, että eri toimijoiden infraa saadaan samaan kaivantoon yhdellä kaivukerralla, jolloin molemmat infraa rakentavat osapuolet säästävät sekä ympäristöä, että rahaa. Yhteiskaivussa vältetään tilanne, jossa sama työ tehdään samaan paikkaan useamman kerran eri toimijoiden johdosta. Yhteiskaivun ansiosta vältetään myös siltä, että uutta infraa kaivaessaan toimija vaurioittaa toisen samaan paikkaan aikaisemmin kaivamaa infraa. Huonot puolet yhteiskaivussa voivat tulla esiin viikatilanteessa, jossa toisen toimijan samassa kaivussa asennettu infra vioittuu. Tällöin ehjänä pysynyt on alttiina vaurioitumiselle vioittuneen infran korjaustöiden vuoksi.

5.2 Maasto

Maahan kaivetun infran lisäksi toinen huomioitava asia on maaston olosuhteet, varsinkin maakaapelireittiä ajatellen. Kaapelointia varten kallioinen maa vaatii räjäytystyön ja liian kosteassa maassa ei voi operoida kaivinkoneella. Pylväslinjaa tehdessä on myös huomioitava maaston korkeudet.

Maastoa tutkiessa näkee myös paljon asioita, joita ei näe kartasta. Tällaisia asioita ovat esimerkiksi ihmisten rakentamat autokatokset, paljut ja muut rakennelmat, joita on vaikea siirtää pois kaapelireitin tieltä. Maastossa liikkussa on myös hyvä määrittää maakaapeloinnin maanpäällisten komponenttien, kuten kaappien sopivat paikat. Fyysinen käynti paikan päällä on siis erittäin tärkeää onnistuneen suunnitelman aikaansaamiseksi.

Ennen lopullisen reitin päättämistä on tehtävä myös maatutkimus, jotta selvitetään alueen maaston soveltuvuus maakaapelointiin. Maatutkimus voi johtaa kaapelireittimuutoksiin. Ilmalinjaa rakennettaessa maastotutkimus antaa osiittaa käytettävien pylväiden pituuksista. Yhdellä suunnitellun alueen tontilla maastoa täytyi tutkia porakoneella ja pitkällä terällä, jotta varmistuttiin pihassa olevien kivien olevan irtonaisia, eikä kalliota

5.3 Raakaversio kartasta

Maastoa ja karttaa samalla tutkien löytyi suotuisa reitti kaapeleille. Raakaversio kaapelireitistä tehtiin suurelta osin kaupungin omistamalle maalle. Muita maanomistajia reitillä ovat sähköyhtiö ja yksityiset henkilöt.

Ensimmäisen maastosuunnittelupäivän päätteeksi aikaan saatiin myös digitaalinen suunnitelma. Digitaalinen suunnitelma tehtiin verkkotietojärjestelmän sekä aikaisemman paperille piirretyn reititsuunnitelman avulla. Ensimmäinen digitaalinen versio ei välttämättä ole kaapeloinnin lopullinen reitti, mutta toimii hyvänä pohjana tulevaa suunnittelua varten. Kyseinen suunnitelma täytyy myös hyväksyttää suunnittelupäälliköllä, joka suorittaa tarkan verkkolaskennan, määrittelee kaapeleiden poikkipinnat sekä sulakekoot muuntamon pienjännitekeskuksen varokekytkimiin sekä mahdollisten kaapelinjakokaappien varokekytkimiin.

Digitaalista suunnitelmaa tehdessä suunnittelijan on mahdollista myös itse miettiä ja muuttaa kaapeleiden poikkipintoja, sekä tarkastella verkkotietojärjestelmän suunnittelutyökalun laskennan avulla saatavia eristysvastuksia liittymäpisteistä.

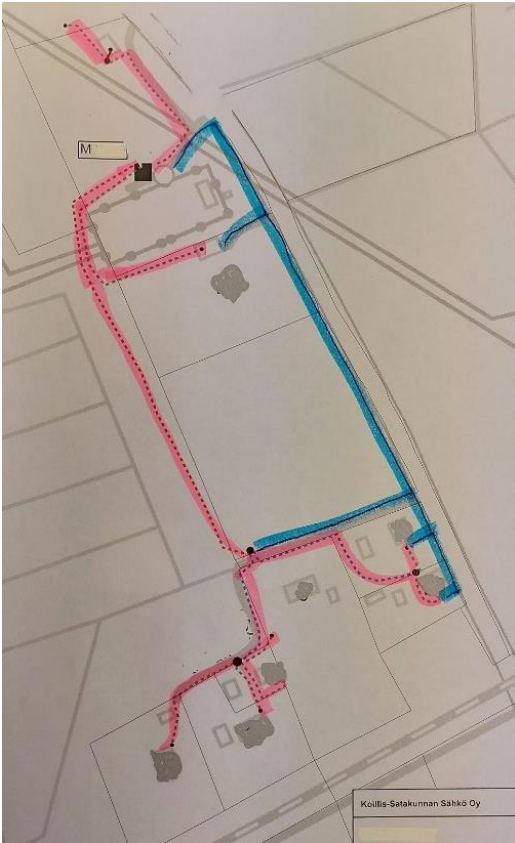
5.4 Reittivaihtoehtojen selvittäminen

Suunnittelupäällikön kehotuksen myötä tutkittiin vaihtoehtoinen reitti maakaapeloinnille. Jalkautimme maastoon GPS-laitteen kanssa ja selvitimme tarvittavat kaapelipituudet molemmille reittivaihtoehdoille. Laitteena oli kuvion 17 Trimble geoXH.



Kuvio 17. Trimble geoXH

Kaapelireittivaihtoehdoista kuviossa 18 esitetty vaaleanpunainen oli ensimmäisenä suunniteltu versio. Sininen on vaihtoehtoinen reitti, joka haluttiin myös tutkia. Eriusten reittivaihtoehtojen tutkiminen on hyödyllistä, jotta voidaan selvittää kaapeleiden pituudet eri osuuksilla eri vaihtoehdoissa. Kaapeleiden pituuksilla on vaikutusta verkostolaskentaan sekä työmaan budjettiin. Vaihtoehtoiset reitit helpottavat joskus myös maanomistajien mielikuvaa mahdollisista kaapelireiteistä.



Kuvio 18. Reittivaihtoehdot

Suunnittelupäällikkö hyväksyi toisen kaapelireitin vaihtoehdoista. Nyt oli vain enää selvitettävä, sopiiko reitti alueen maanomistajille.

5.5 Reittien sopiminen maanomistajien kanssa

Kaapelireittiä suunniteltaessa pyritään mahdollisuuksien mukaan suosimaan kaupungin omistamaa maata, jolloin yhteyshenkilön tavoittaminen ja kaapelireitin sopiminen on helppoa. Yksityisen omistaman maan kanssa haasteita voivat aiheuttaa puutteelliset yhteystiedot sekä maanomistajan oikeus vaikuttaa kaapelireittiin omalla maallaan.

Ennen kuin kaapelireitistä voidaan tehdä lopullinen suunnitelma, tulee olla yhteydessä maanomistajiin ja sopia heidän kanssaan sopiva reitti kaapelille. Tätä suunnitelmaa varten jalkauduttiin omakotitaloasujien tonteille ja haastateltiin heitä, jotta saatiin aikaan molemmille osapuolille sopiva suunnitelma kaapelien reitistä. Suuri osa asukkaista tavoitettiin paikan päältä.

Osa maanomistajista ei tavoitettu ensimmäisenä maastosuunnittelupäivänä. Jotta heidän kanssaan saatiin aikaan sopimus kaapelireitistä, heille lähetettiin sähköisesti kartta suunnittelupäällikön hyväksymästä reitistä tarvittavien kuvien kanssa.

Vaikka ensimmäinen asiakkaille esitetty kaapelointireitti ei olisikaan lopullinen, on silti tärkeää, että maanomistajat näkevät suunnitelman ja saavat itse vaikuttaa tonttinsa maankäyttöön ja ehdottaa parannuksia reittivaihtoehtoon omalla maallaan. Esimerkiksi vesilaitoksen kanssa oli tärkeää, että sähköverkkoyhtiöllä oli esittää kaapelireitistä edes raakaversio, jota he vertasivat omien putkiensa reitteihin.

Kaupungin omistamalle maalle kaapelointiluvan saaminen kävi sujuvasti puhelimitse. Kaikkien maanomistajien kanssa kaapelireitin suunnittelu onnistui hyvässä yhteisymmärryksessä ja kaapelireitistä luotiin maankäyttösopimukset jokaiselle maanomistajalle. Maankäyttösopimus sisältää korvauksen maasta. Asiakasta yksin palvelevasta kaapelista ei tule korvausta, mutta jos asiakkaan tontilla on muita palvelevia kaapeleita, tehdään sopimus korvauksesta.

5.6 Reitin merkintä maastoon

Kun kaapelireittisuunnitelma on hyväksytty kaikkien osapuolien kanssa ja lopullinen kartta suunnitelmasta on valmis, reitti merkitään maastoon. Suunniteltu kaapelireitti, maanpäälliset rakenteet sekä maastossa tarvittavat lisätiedot merkitään maastoon puisten tikkujen avulla. Tikkuihin kirjoitetaan selventävä teksti kaapelireitistä, kaapista tai liittämistavasta.

Yhdessä työkartan kanssa kaapelireittimerkinnyt auttavat kaivu-urakoitsijaa ja asentajaa hahmottamaan reitin ja toteuttamaan sen oikein. Merkitty reitti auttaa myös maanomistajaa sisäistämään kaapeleiden lopullisen paikan maallaan.

Jos suunniteltu kaapelireitti vaatii raivausta joko puskituneen maaston tai usean reitillä olevan puun takia, reitin merkintä auttaa raivaajaa suorittamaan työnsä oikealla kohdalla ja sopivalla leveydellä maastossa.

5.7 Sähköiset työmaadokumentit

Työmaata varten tehdään papereiden sijaan sähköinen versio kaikista työmaata koskevista asioista. Tällöin suunnittelijat, asentajat, työnjohto ja urakoitsijat pääsevät katsomaan ajantasaisia työmaan tietoja.

Sähköverkkoyhtiön käytössä on Teams-työtila, josta löytyvät kullekin projektille seuraavat tiedot:

- Työselosteet, joissa on työmaan kansilehti, joka kertoo yleistietoa työmaasta.
- Turvallisuuskartoitus, jossa on arvioitu työmaan eri töiden turvallisuusriskit.
- Työkartat kaapelireitistä.
- Työhön tarvittavat kaapelit ja ilmajohdot.
- Rakennekuvat jako- ja haaroituskaapeista sekä muuntamoista.
- Materiaalit-osio, josta löytyy tarvikelista työmaan kaikista tarvikkeista.
- Selvitys alueen muista vieraista johdoista, kaapeleista ja putkista.
- Työmaan tarkastuspöytäkirja, joka on linkki sähköiseen tarkastuspöytäkirjaan.
- Purkutyöt.
- Työmaakokoukset.
- Työilmoitus.
- Luvat.

Työmaata varten luodussa kaapelilistassa kerrotaan kaivusuunnitelmaan kuuluvista kaapeleista. Listassa kerrotaan mistä mihin kaapeli menee, miten se liitetään, minkä kokoinen kaapeli on kyseessä sekä kaapelin suunniteltu pituus. Samaa listaa käyttävät kaapelin asentajat ja kaivajat. Listaan merkitään asentamisen jälkeen kaapelin todellinen pituus maastossa, jotta verkostolaskenta voidaan suorittaa todellisten kaapelipituuksien avulla.

5.8 Tarvikkeiden tilaus

Työmaasta tehtiin tarjouslaskelma, johon laskettiin työmaalle tarvittavien tarvikkeiden summa. Tarjouslaskelman jälkeen on aika tarkistaa, onko varastossa valmiina kelvollisia tarvikkeita tarpeeksi ja tilata puuttuvat tarvikkeet työmaalle.

Työmaalle tarvitaan oikea määrä kaapelia, mieluummin jopa hieman suunniteltua enemmän, jotta voidaan varautua tilanteeseen, jossa kaapelireittiä joudutaan muuttamaan ja näin ollen kaapelireitin matka pitenee.

Kaapeleiden lisäksi suunniteltuun alueeseen tarvitaan sormikaspäätteet kaapeleiden päihin, jatko-paketteja, kaapelivaroitusnauhaa, jako- sekä haaroituskaapit, kytkimet puistomuuntamon pienjännitepuolelle sekä muoviputkia 110kV ilmajohtojen alla kulkevaan kaapeloinnin osuutta varten.

Osa työmaan tavaroista löytyi yrityksen kaupintavarastosta, josta ne sai ostettua heti työmaata varten varastoon. Joitain tavaroita löytyi yrityksen varastosta ja osa täytyi tilata juuri työmaata varten. On tärkeää merkitä työmaan tarvikkeet selkeästi, jotta työmaan alkaessa kaikki tarvittava tavara on edelleen tallessa ja valmiina käytettäväksi.

6 Lopputulos

Suunnittelutyötä tehdään hyvin monen eri sovelluksen avulla. Tietoja täytyy siirtää ja hakea useasta järjestelmästä ja muokata niitä eri sovelluksissa. Nykyisellä tavalla myös GPS-pisteet ovat eri järjestelmässä. Järjestelmien hajanaisuus työllistää turhan paljon, kun suunniteltu kaapelireitti piirretään verkkotietojärjestelmän suunnitteluohjelmaan GPS-pisteiden avulla, mutta pisteet eivät ole samassa karttapohjassa, vaan suunnittelija joutuu arvioimaan pisteiden sijaintia. Suunnitelman tarkkuuden ei tietenkään tarvitse olla niin suuri, sillä työryhmälle riittää selkeä kartta, jossa kaapelireitti menee suunnilleen oikeasta kohdasta. Tärkeämpiä ovat maastoon laitetut tikut, joiden mukaan kaapelireitti tulee kaivaa.

Suunnittelutyötä helpottaisi järjestelmä, joka kykenee hakemaan tiedot suunnittelun eri vaiheissa automaattisesti ja yhdistämään niitä. Esimerkiksi maanomistajien ja muun maahan kaivetun infran tiedot löytyisivät ohjelmasta, jossa myös suunnittelu tehdään. Myös GPS-pisteiden siirtyminen verkkotietojärjestelmän suunnitteluohjelmaan automaattisesti mahdollistaisi kaapelireitin piirtämisen nopeasti. Uudessa käyttöön tulevassa verkkotietojärjestelmässä olisi siis hyvä ottaa huomioon nämä asiat ja selvittää, kuinka niiden samanaikainen käyttö onnistuu.

Kyseisen suunnitelman teossa ongelmia aiheutti paljon karttatilaa vievä sähköaseman piirroskuva, jota ei saatu poistettua verkkotietojärjestelmän karttapohjasta. Sähköaseman piirroskuva peitti suuren osan yhden maanomistajan tontista. Tämän johdosta suunnitelman työkartta täytyi piirtää käsin tyhjälle karttapohjalle. Eli suunnitelma siirtyi GPS-järjestelmästä verkkotietojärjestelmään ja verkkotietojärjestelmästä muokattavaksi pdf-tiedostosi.

Vastaavia tilanteita varten uudessa käyttöön tulevassa verkkotietojärjestelmässä tulisi olla mahdollisuus poistaa sähköaseman piirroskuva tai käyttää piirtämiseen erityisemmin suunniteltua työkalua. uuden verkkotietojärjestelmän mahdollinen kyky hakea ja yhdistää tietoja eri sovelluksista ja järjestelmistä, tehostaisi suunnittelutyötä, jolloin siitä tulisi myös kustannustehokkaampaa.

Kustannustehokkuuden parantaminen alkaa jo sähköverkon suunnitteluvaiheessa. Suunnittelijan työtä tehostavat toimivimmat sovellukset ja ohjelmat, jotka on räätälöity tiettyihin töihin sekä työvaiheisiin, jolloin arvokasta työaika voi käyttää hyödyksi muihin suunnittelutyön haasteisiin. Vaikka toimivimmat ohjelmat ja sovellukset olisivat kalliimpia, kuin ne, jotka vaativat käyttäjältään enemmän itsenäistä työtä, on tarkasteltava toimivuuden tuomia hyötyjä sekä ajallisesti- että rahallisesti.

Kustannustehokkuuden ja asentajaystävällisyyden vuoksi maakaapeloinnin maanpäällisinä komponentteina, kuten jako- ja haaroituskaappeina on paras käyttää mallia, jossa kaapin alaosassa on paljon tilaa kaapeleiden kytkemistä varten. Tulevaisuudessa kaapin alaosassa hyvin näkyvät kaapelit helpottavat mahdollista kaapeleiden tutkaamista sekä niiden tarkastuksia, jolloin työtä suorittavan työntekijän aikaa ei kulu kaapin osien purkamiseen paremman näkyvyyden vuoksi. Asentajia haastatellessa esiin nousi muiden työmaiden eri mallisten kaappien kytkemiset, joissa kaivu-urakoitsijoiden jäljiltä kaappien edustat olivat joko kaivettu auki tai jo peitelty. Avonaisessa kaapin montussa kaapeleiden kytkeminen kaappiin oli huomattavasti helpompaa, kuin peiteltyyn kaapin edustalla, sillä työskentelytila kaapeleiden päätteitä varten oli kaapin ulkopuolella. Peiteltyyn kaapin kohdalla kaapeleiden työstötila oli kaapin sisällä, joka hankaloitti työtä, eli kustannustehokkuuden näkökulmasta huononsi koko työmaan kustannuksia, sillä asentajilla kului enemmän aikaa yhden kaapin kytkemiseen. Kaappiin, jossa on runsaasti tilaa alaosassa, kaapeleiden päätteiden teko on suhteellisen helppoa myös kaapin edustan ollessa peitetty. Jos tilavampi kaappi on hieman kalliimpi, on syytä tarkastella kaapin avonaisuuden tuomaa hyötyä asennus- ja tarkastustyöhön kuluvien kustannusten osalta.

Työmaalla, jossa sähköverkoasentaja pystyy koko ajan olemaan mukana kaivussa, pystyy asentaja kytkemään kaapelit kaapin sisään heti tilanteen salliessa. Tällainen työskentely ei kuitenkaan aina ole kustannustehokasta, mikäli asentaja joutuu suuren osan ajasta vain seuraamaan kaivinkoneen työskentelyä. Toisaalta työmaalla, jossa asentaja ei pysty olemaan koko ajan mukana, syntyy viive

kaappien kytkemiseen. Tällöin kaappien edustat ovat ohjeen mukaan joko peitetyjä tai auki jätettyjä sekä aidattuja. Auki jätetty kaapin edusta työllistää kaivu-urakoitsijaa vielä kaapin kytkennän jälkeen, jolloin urakoitsija joutuu siirtämään kaivinkonetta edestakaisin. Jos alaosasta tilavampi kaappi mahdollistaa kaapeleiden kytkemisen helposti myös kaapin edustan ollessa peitettynä, tehostaa se sekä asentajan, että kaivu-urakoitsijan työtä ja säästää työmaan kustannuksissa.

7 Pohdinta

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella säävarma, pienjännitteinen maakaapeliverkko asema-kaava-alueelle korvaamaan 40 vuotta vanhaa ilmajohtoverkkoa, sekä selvittää, millaisia parannuksia suunnitteluun ja asentamiseen on tehtävissä suunnittelutyön aikana myös kustannustehokkuuden näkökulmasta.

Tuloksina saatiin valmis suunnitelma uudesta säävarmasta maakaapeliverkosta tarvikkeineen, tarjouslaskelma sekä parannusehdotuksia suunnittelun toteuttamiseen ja komponenttien asentajays-tävällisyyteen sekä kustannustehokkuuteen.

Koko suunnitelman luonti onnistui hyvin. Yhteistyö suunnittelijan kanssa sekä erilaisten sovellusten käyttö ja rehelliset mielipiteet suunnittelijalta sekä asentajilta auttoivat huomaamaan, mitä asioita on kehitettävä, jotta suunnittelu- ja asennustyöstä saadaan tehokkaampaa. Asiakaskohtaisissa onnistuttiin todella hyvin, sillä kaapelireitti saatiin suunniteltua jokaista miellyttävään paikkaan. Uusia, tilavia jako- ja haaroituskaappeja ei kuitenkaan saatu tälle työmaalle, sillä varastossa olevat on käytettävä ensin pois.

Suunnittelutyöstä tehtyjä havaintoja voidaan hyödyntää tulevaisuudessa suunnitelmia tehdessä, kun tietojärjestelmiltä ja sovelluksilta vaaditaan yhteensopivuutta suunnittelutyön sujuvoittamiseksi. Koillis-Satakunnan Sähkö Oy:n käyttämän tietojärjestelmän muokattavuuden ja yhteensopivuuden kannalta on hyvä ottaa huomioon, mitä kaikkea sulavasti toimivalta järjestelmältä vaaditaan. Järjestelmien toimivuus suunnittelutyössä vaatii siis jatkokehittämistä.

Maakaapeloitu sähköverkko auttaa sähköverkkoyhtiötä pääsemään sähkömarkkinalain asettamaan tavoitteeseen säävarmuudesta sekä optimaalisimmassa tilanteessa vähentää sähköjakeluverkossa esiintyviä, myrskyjen aiheuttamia vikoja ja sähkökatkoja.

Lähteet

Elovaara, J & Haarla L. 2011. Sähköverkot II. Otatieto. Viitattu 12.9.2022.

Guo, X., Qi, C. & Du, B. 2012. Analysis and research of municipal distribution network structure. Artikkelin IEEETietokannassa. Viitattu 14.7.2022. <https://ieeexplore-ieee-org.ezproxy.jamk.fi:2443/document/6508540>

Haarituskaappi_OT28F-H. N. d. Kuva Sonepar nettisivulla. Viitattu 4.10.2022. https://ideat.sonepar.fi/haarituskaappi_ot28f-h/

Ilmajohtoratkaisut 0,4kV, N.d. Enston tuote-esitys. Viitattu 6.10.2022. https://proelektro.eu/userfiles/files/21070_ilmajohtoratkaisut_0_4_kv_small_web.pdf

Joensuu, K., Välimaa, I., Tuominen, H., Ihalainen, J., Rissanen, I. & Ostamo, T. 2018. Sähkön jakeluverkon luvitusmenettelyjen sujuvoittaminen. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisu. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/160987/48-2018-S%C3%A4hk%C3%B6n%20jakeluverkon%20luvitusmenettelyjen%20sujuvoittaminen.pdf?sequence=4&isAllowed=y>

Koillis-Satakunnan Sähkö Oy. N.d. Julkaisu Koillis-Satakunnan Sähkö Oy:n nettisivulla. Viitattu 15.7.2022. <https://ksat.fi/yritys/>

Laki verkkoinfrastruktuurin yhteisrakentamisesta ja -käytöstä 276/2016. Viitattu 12.12.2022. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2016/20160276#Pidm45053757888384>

Maankäytössä pyritään minimoimaan haitat maanomistajalle. N.d. Artikkelin Energiatieteiden ja Energiateollisuuden nettisivulla. Viitattu 20.10.2022. <https://energia.fi/energiasta/energiaverkot/maankaytto>

MicroSCADA Pro. N.d. ABB:n verkkosivusto. Viitattu 23.8.2022. https://library.e.abb.com/public/ee139a7216ca44bc8bcc9cf167f93428/1MRS756253_F_en_MicroSCADA_Pro_for_network_control_and_distribution_management.pdf

Network control and distribution management. N.d. Hitachi Energy verkkosivusto. Viitattu 18.10.2022. <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=1MRS756253&LanguageCode=en&DocumentPartId=LoRes&Action=Launch>

Prysmian Group. 2018. Datalehti kaapelin tiedoista. Viitattu 27.9.2022. https://fi.prysmiangroup.com/sites/default/files/business_markets/markets/downloads/datasheets/AHXAMK-W%2020kV_170418.pdf

Ridzuan, M. I. M. 2020. Reliability Performances of Low Voltage & Medium Voltage Networks in Different Areas. Artikkelin IEEETietokannassa. Viitattu 20.7.2022. <https://ieeexplore-ieee.org.ezproxy.jamk.fi:2443/document/9350920>

Suunnittelu. N.d. Tiedote Fingrid verkkosivulla. Viitattu 21.8.2022. <https://www.fingrid.fi/kanta-verkko/suunnittelu-ja-rakentaminen/hankkeen-vaiheet/suunnittelu/>

Sähkökatkot lyhyemmiksi. N.d. Julkaisu Trimble:n nettisivulla. Viitattu 31.8.2022. <https://upa.trimble.com/fi-fi/asiakastarinat/sahkokatkot-lyhyemmiksi>

Sähkölínjat lintupommituksessa syksyisin. N.d. Artikkelin Energiaa -nettisivulla. Viitattu 5.10.2022. <https://energiaa.pks.fi/sahkolinjat-lintupommituksessa-syksyisin/>

Sähkömarkkinalaki 588/2013. Viitattu 2.6.2022. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2013/20130588>

Sähkönsiirto ja -jakelu. N.d. Julkaisu säteilyturvakeskuksen nettisivulla. Viitattu 10.7.2022. <https://www.stuk.fi/aiheet/sahkonsiirto-ja-voimajohto/sahkonsiirto-ja-jakelu>

Sähkötekniikka 2021. 2022. Mikä on jonovarokeytkin?. Video Youtube videopalvelussa. <https://www.youtube.com/watch?v=Ntnqrvrsn4Q>

SäädK 730/2021. Laki sähkömarkkinalain muuttamisesta. Viitattu 8.12.2022. <https://www.finlex.fi/fi/laki/kokoelma/2021/sk20210730.pdf>

Tiedätkö, miten sähkö kulkee? Tunnistatko erilaiset johdot?. 2021. Verkkójulkaisu Savon Voiman nettisivulla. Viitattu 2.10.2022. <https://savonvoima.fi/miten-sahko-kulkee/>

TRAFICOM/455945/03.04.05.00/2022 M71. Määräys 71 verkkotietojen ja verkon rakentamissuunnitelmien toimittamisesta. Annettu 27.9.2022. Viitattu 9.12.2022. <https://www.finlex.fi/fi/viranomaiset/normi/480001/48538>

Trimble DMS. N.d. Esittely Trimble:n nettisivulla. Viitattu 31.8.2022. <https://upa.trimble.com/fi-fi/fi/tuotteet/trimble-dms>

Trimble NIS. N.d. Esittely Trimble:n nettisivulla. Viitattu 18.10.2022. <https://upa.trimble.com/fi-fi/tuotteet/trimble-nis-sahkoverkoille>

Trimble Utility Network Manager. N.d. Esittely Trimble:n nettisivulla. Viitattu 31.8.2022.

<https://upa.trimble.com/fi-fi/fi/tuotteet/trimble-unity-network-manager>

Tuotteet ja hinnastot. N.d. Julkaisu Koillis-Satakunnan Sähkö Oy:n nettisivulla. Viitattu 2.10.2022.

<https://ksat.fi/sahkon-siirtoatuotteet-ja-hinnastot/>

Verkkoon liittäminen. N.d. Opas Energiaviraston nettisivulla. Viitattu 21.8.2022. <https://energiavirasto.fi/verkkoon-liittaminen>

Verkon rakentaminen. N.d. Opas Energiaviraston nettisivulla. Viitattu 21.8.2022. <https://energiavirasto.fi/verkon-rakentaminen>

Vesa, A. 2021. Sähköverkon suunnittelu on osaamista ja yhteistyötä. Artikkelij Kajaven nettisivulla. Viitattu 21.8.2022. <https://asiakkaille.kajave.fi/paikalliset/sahkoverkon-suunnittelu-on-osaamista-ja-yhteistyota.html>

