

Joonatan Kinnunen

Jakeluverkon suunnitteluratkaisut tehokkaan rakentamisen näkökulmasta

# Jakeluverkon suunnitteluratkaisut tehokkaan rakentamisen näkökulmasta

Joonatan Kinnunen  
Opinnäytetyö  
Kevät 2023  
Sähkö- ja automaatiotekniikka  
Oulun ammattikorkeakoulu

## TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma, Sähkötekniikka

---

Tekijä(t): Joonatan Kinnunen

Opinnäytetyön nimi: Jakeluverkon suunnitteluratkaisut tehokkaan rakentamisen näkökulmasta

Työn ohjaaja(t): Ensio Sieppi ja Tapio Vierelä

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2023

Sivumäärä: esim. 66 + 1 liitettä

---

Omexom toimii pohjoismaissa energianjakeluverkoissa tuotannosta aina asiakkaiden liittymiin asti. Omexom on osa ranskalaista VINCI ENERGIES -yhtiötä. (1.) Opinnäytetyöaiheen tarve tuli Omexomin Sähköverkkoprojektiosastolta, jossa työskentelen. Urakoimme pääosin 20kV:n ja 400V jakeluverkoissa eli ilmalinjojen ja maakaapeloinnin uudis- ja saneerausrakentamisessa. Projektin eri työvaiheista on tullut ilmi yllättäviä puutteellisesta suunnittelusta tai toteutuksesta johtuneita lisäkustannuksia. Työ on seisahtanut yllättäen tai työ on jouduttu tekemään kalliilla ratkaisulla, jolla ei ole ollut mitään tekemistä kustannustehokkaan rakentamisen kanssa. Opinnäytetyöhön on koottu käytännön ongelmat ja ratkaisut niihin. Ongelmien löytäminen ja niihin ratkaisujen löytäminen ovat opinnäytetyön 1. tavoite. Ratkaisussa on myös kehityskohteita, joille ei ole varsinaista käytännössä tullutta ongelmaa esiin, mutta jonka huomioiminen suunnitteluratkaisuna lisää kustannustehokkuutta. Toinen tavoite opinnäytetyölle, jonka itse asetin, oli projekti-insinöörin työtehtävien kuvaus laajasti luvussa 2, ennen varsinaisia työn aiheita (luvut 3 ja 4).

Opinnäytetyön toteutus sisälsi tutustumista alan aiempiin opinnäytetöihin ja yrityksen sisäisiin materiaaleihin, haastatteluja ja Word-raportointia. 2 luvun tiedot ovat peräisin omista kokemuksistani, vanhoista opinnäytetöistä, yrityksen sisäisistä materiaaleista ja kollegojen haastatteluista. Luvun 3 ja 4 tieto perustuu pääosin haastateltavien kokemuksiin ja ratkaisuihin. Haastateltavilla on siis monesti ollut myös kustannustehokkaat ja työtä helpottavat ratkaisut esille tuotuihin ongelmiin. Lisäksi luvun 4 on täydennetty yleisillä kustannustehokkailla suunnitteluratkaisuilla ilman varsinaista käytännön ongelmaesimerkkiä. Logiikka on selkeä: 3. luvussa esitetään ongelma ja luvussa 4 sille esitetään ratkaisu.

Luku 2 antaa laajan työnkuvan esittelyn projekti-insinöörille. Luvussa 4 kaikkiin ongelmiin löytyi suora tai epäsuora ratkaisu, joka helpottaa työn tekoa ja ehkäisee työn aikaisia lisäkustannuksia aiheuttavia virheitä. Osa virheistä on ollut kalliimpia ja toiset vähemmän kalliita. Osaa suunnitteluratkaisuista sovelletaan mahdollisuuksien mukaan ja osa niistä otetaan suoraan suunnittelun ja projektinhoidon käyttöön. Opinnäytetyöstä tuli laaja. Ongelmia oli runsaasti ja lähes kaikkiin löytyi ratkaisut. Lukemalla opinnäytetyön kokonaisuudessaan, projekti-insinööri saa laajan yleiskuvan työtehtävistään. Opinnäytetyön lukeminen jo työuran alussa, ehkäisee kokemattomuudesta ja osaamattomuudesta johtuvia virheitä suunnittelu- ja projektityössä. Tämän lukeminen ei korvaa projekti-insinöörin perehdyttämistä eri työtehtäviin tai työkokemuksen tuomaa varmuutta. Opinnäytetyö toimii tukena ja pikaoppaana projekti-insinöörin kehittyessä urallaan eteenpäin. Työn pikatyökaluina projekti-insinöörimme saavat "Suunnittelijan merkinnät työkarttoihin" -alaotsikot ja liitteenä olevan "Suunnittelijan muistilista ilmalinjan ja maakaapeloinnin kustannustehokkaalle maastokatselmukselle" -muistilistan suunnittelun käyttöön.

# SISÄLLYS

SELITTEET.....	6
1 JOHDANTO.....	7
2 JAKELUVERKON SUUNNITTELU.....	8
2.1 Sähköinen suunnittelu.....	8
2.1.1 Lausuntopyyntöjen lähettäminen eri tahoille.....	9
2.1.2 Verkon piirto ja laskenta.....	9
2.1.3 Verkon mitoituksen toimivuuden ja turvallisuuden tarkistaminen.....	10
2.2 MAASTOSUUNNITTELU.....	11
2.2.1 Luvat.....	12
2.2.2 Tarvittavat katselmukset.....	12
2.2.3 Yksikköluettelon laadinta ja tarvikkeiden tilaus.....	13
2.2.4 Materiaalien toimitusaikojen ja työn eräpäivän huomioinen aikataulutuksen kannalta.....	13
2.2.5 Kaapelireitin ja ilmajohdon merkitseminen maastoon.....	14
2.2.6 Projektinjohdon informoiminen suunnittelun etenemisestä ja työn aikataulusta .....	14
2.2.7 Turvallisuusriskiarvion tekeminen.....	15
2.2.8 Ympäristö-, laatu- ja turvallisuussuunnitelma.....	16
2.2.9 Työjärjestysuunnittelu.....	16
2.2.10 Keskeytysten ja käyttöönottojen suunnittelu.....	16
2.2.11 Dokumentointi.....	18
2.2.12 Maan resistiivisyyden mittaus.....	18
2.2.13 Purkutyösuunnittelu.....	22
3 KUSTANNUKSIA AIHEUTTAVAT ONGELMAT.....	24
3.1 ILMALINJAT.....	24
3.1.1 Ilmalinjareitit.....	25
3.1.2 Pylväsmuuntamot.....	27
3.1.3 Sähköinen suunnittelu.....	30
3.1.4 Raivaukset.....	30
3.1.5 Maasto-olosuhteet.....	31
3.1.6 Purkutyöt.....	32

3.2	MAAKAAPELOINTI .....	33
	3.2.1 Maakaapelireitit .....	33
	3.2.2 Muuntamot .....	34
	3.2.3 Jakokaapit .....	35
	3.2.4 Sähköinen suunnittelu .....	36
	3.2.5 Raivaukset.....	38
	3.2.6 Maasto-olosuhteet.....	38
	3.2.6 Työkartat .....	40
	3.2.7 Purkutyöt .....	40
4	KUSTANNUSTEHOKKAAT RATKAISUT SUUNNITTELUSSA.....	41
4.1	ILMALINJAT .....	41
	4.1.1 Ilmalinjareitit .....	41
	4.1.2 Pylväsmuuntamot.....	45
	4.1.3 Sähköinen suunnittelu .....	46
	4.1.4 Raivaukset.....	47
	4.1.5 Maasto-olosuhteet.....	47
	4.1.6 Suunnittelijan merkinnät työkarttoihin.....	49
	4.1.7 Purkutyöt .....	50
4.2	Maakaapelointi .....	52
	4.2.1 Maakaapelireitit .....	52
	4.2.2 Muuntamot .....	53
	4.2.3 Jakokaapit .....	55
	4.2.4 Sähköinen suunnittelu .....	57
	4.2.5 Raivaukset.....	59
	4.2.6 Maasto-olosuhteet.....	59
	4.2.7 Työkartat .....	61
	4.2.8 Suunnittelijan merkinnät työkarttoihin.....	61
	4.2.9 Purkutyöt .....	63
5	YHTEENVETO .....	64
	LÄHTEET.....	65
	LIITTEET .....	67

## SELITTEET

Sähkösuunnittelu	Suunnittelun sähköverkon mitoittaminen sähkötekniisesti ja käyttöturvallisesti toimivaksi.
Luvitus	Sähköverkon ja sen osien sijoitus- ja rakennuslupien hankkiminen.
Maastosuunnittelu	Sähkösuunnitelman luvittaminen, sovittaminen ja merkintä maastoon
Dokumentointi	Rakennetun valmiin verkon paikantaminen GPS-laitteella. Paikannetun verkon ja sen osien merkitseminen verkkotietojärjestelmään.
Verkkotietojärjestelmä	Verkkoyhtiön selainpohjainen ohjelmisto, jonne mitoitamme, piirrämme, suunnittelemme ja dokumentoimme sähköverkon.
Jakeluverkko	20/0,4 kV ilmalinja- tai maakaapeliverkko
Tilaaja	Verkkoyhtiö eli sähköverkon omistaja, joka on sopimussuhteessa Omexomin kanssa.
Urakoitsija	Omexom, Omexomin vastaava kilpailija tai maanrakennusta tekevä aliurakoitsija.
kV	Lyhenne sanasta kilovoltti, joka kuvaa sähköän jännitearvon suuruuden.
ELY	Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus

# 1 JOHDANTO

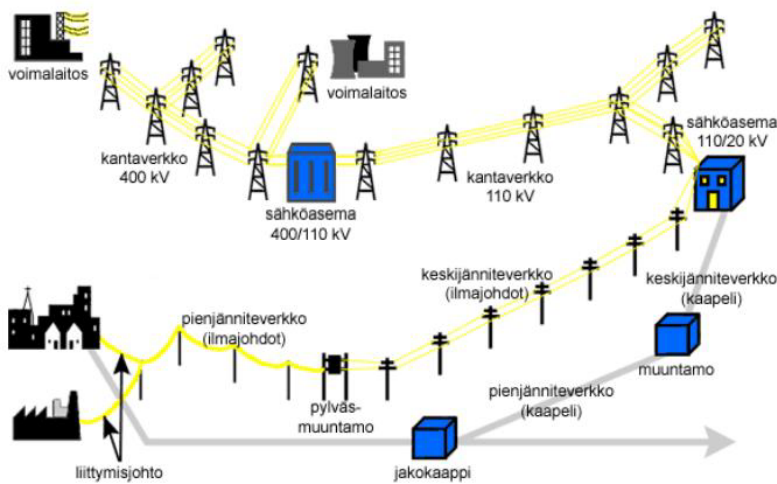
Tämän opinnäytetyön tarve tuli Omexomin Sähköverkkoprojektit-yksiköltä. Omexom toimii pohjoismaissa energianjakeluverkoissa tuotannosta aina asiakkaiden liittyisiin asti. Omexom on osa ranskalaisesta VINCI ENERGIES -yhtiötä. (1.) Tässä opinnäytetyössä keskitytään jakeluverkon (20kV/0,4kV) suunnittelun kehittämiseen. Opinnäytetyön ohjaajina toimivat Omexomin puolesta Tapio Vierelä ja Hannu Eskelinen. Työmaalta eri työn vaiheista on tullut yllättäviä lisäkustannuksia, jotka ovat johtuneet puutteellisesta ja välinpitämättömästä suunnittelusta sekä puutteellisista toimintatavoista. Osa ongelmista ovat olleet sellaisia, joita ei ole kartoitettu tai huomioitu työmaan alussa työmaan urakkatarjousta laskettaessa ennen tarjouksen antamista verkkoyhtiön kilpailutukseen ja näin ollen näillä asioilla olisi voinut olla vaikutusta urakkahintaan (11).

Opinnäytetyön tavoitteena oli siis hakea uusia kustannustehokkaampia toimintatapoja vanhojen suunnittelutapojen tilalle. Nykyään Omexomilla suunnittelija toimii projekti-insinöörinä. Projekti-insinöörin tehtäviin kuuluvat suunnittelu, dokumentointi ja projektien hoito yhdessä työnjohton kanssa. Työnkuva on siis laajentunut ja vastuu kasvanut vanhoilta ajoilta. Tämän opinnäytetyön tavoitteet olivat projekti-insinöörin tehtävien esittely luvussa 2 ja varsinaisen opinnäytetyön aiheeseen liittyvät asiat esitellään luvuissa 3 (kustannuksia aiheuttavat ongelmat) ja 4 (kustannustehokkaat ratkaisut ongelmiin). Opinnäytetyö oli teoreettinen kehitysprojekti, jonka tieto on hankittu useilla toimialan työntekijöiden haastatteluilla, omasta kokemustiedosta sekä vanhoista opinnäytetöistä. Haastatteluissa projektien eri työvaiheiden ja tehtävien työntekijät esittelivät kokemusperäisiä lisäkustannuksia ja -työtä aiheuttaneita ongelmia. Ongelmiin heillä oli yleensä selkeät kustannustehokkaat ratkaisut. Opinnäytetyö antaa suunnitteluun suoria suunnittelutapojen linjauksia tai suosituksia kustannustehokkaaseen suunnittelutyöhön. Opinnäytetyö toimii oppaana aloittavalle ja kokeneelle projekti-insinöörille.

Alaotsikoiden 4.1.6 Suunnittelijan merkinnät työkarttoihin (ilmalinjaprojektit) ja 4.2.8 Suunnittelijan merkinnät työkarttoihin (maakaapeliprojektit) -sisällöt antavat suunnittelijalle sähköverkon suunnittelu- ja luvitusvaiheeseen valmiin muistilistan työ- ja lupakarttoihin merkittävistä asioista. Lisäksi liite toimii koottuna tehtävälistan suunnittelijan maastokatselmukselle ilmalinja- ja maakaapelointiprojekteissa. Tehtävälista on koottu oman kokemustiedon ja opinnäytetyön tulosten perusteella. Tehtävälista on pyritty kokoamaan jonkinlaisessa järjestyksessä, mutta suunnittelijan tulee aina tehtäviä suorittaessaan tehdä asiat järjestelmällisesti välttäen turhia ajoja.

## 2 JAKELUVERKON SUUNNITTELU

Jakeluverkon suunnittelulla tarkoitetaan tässä opinnäytetyössä 20/0,4 kV sähköjakeluverkon suunnittelua, koska toteutan opinnäytetyön Sähköverkkoprojektiit-yksiköllemme, jossa työskentelem. Yksikkömme urakoi pääsääntöisesti edellä mainittujen jännitetasojen parissa. Uusi jakeluverkko toteutetaan joko ilmajohtona tai maakaapelina. Jakeluverkko jakaa nimensä mukaisesti sähkön kuluttajille aina liittymiin asti. Kuvassa 1 näemme kantaverkon ja jakeluverkon rakenteen aina sähkön tuotannosta kuluttajille asti.



KUVA 1. Sähköjakeluverkon rakenne (2.)

### 2.1 Sähköinen suunnittelu

Sähköinen suunnittelu alkaa verkkoyhtiön antamasta toimeksiannosta. Urakoitsija on voittanut tarjouskilpailun, ja meidät on valittu työkohteen urakoitsijaksi. Riippuen verkkoyhtiöstä, sähköisen suunnitelman on tehnyt verkkoyhtiö itse tai me urakoitsijana tulemme tekemään sen. Tässä opinnäytetyössä oletetaan, että urakoitsija tekee sähköisen suunnittelun pienjänniteverkkoon. Yksikkömme ei ole tähän mennessä tehnyt 20 kV:n eli keskijänniteverkon piirtoa ja mitoitusta suunnitelmalle, joten keskijänniteverkko on ollut suunnitelmalla valmiina piirrettynä, mukaan lukien muuntamot. Tätä em. suunnittelua kutsutaan yleissuunnitteluksi. Piirrämme ja laskemme pienjännitepuolen sähköverkon muuntamoilta aina liittymiin asti. (3.)



### 2.1.1 Lausuntopyyntöjen lähettäminen eri tahoille

Kun urakoitsija on voittanut urakan, alamme tiedustelemaan, mitä mahdollisia haittoja verkon rakentamiselle alueella voi olla. Tällaisia voivat olla mm. vanhat sähkö- ja telekaapelit, vesi- ja viemäriputket, luonnonsuojelukohteet ja muinaismuistot. Kun saadaan ns. haittakartat, liitetään ne työkarttoihin, jolloin uusi verkko osataan suunnitella oikeista paikoista eikä vahinkoja pääse syntymään.

Palvelut ja tahot, joille lausuntopyynnöt lähetetään:

- ELY (luonnonsuojelukohteet ja muinaismuistot)
- Kaivulupa.fi (sähkö- ja telekaapelit)
- Operaattorit (telekaapelit)
- Paikalliset valokuituyhtiöt
- Verkkoselvitys.fi
- Paikallinen museo (muinaismuistot)
- AVI (rata- ja vesialueet)
- Kunta (kunnallistekniikka)
- Vesihuollosta vastaava yritys

Mahdollisten vanhojen kaapelien paikantaminen maastossa tilataan kaapelitiedustelupalveluilta tai suoraan verkonomistajalta (14). Tonttikohtaiset haittapyynnöt esitetään maanomistajalle lupahakuvaiheessa tehtävässä sopimuskartassa, johon maanomistaja piirtää mahdolliset haitat ja esteet kaivamiselle.

### 2.1.2 Verkon piirto ja laskenta

Verkkoyhtiön antamasta suunnitelmapohjasta nähdään saneerattava verkko, joka on yleensä rajattu alue. Verkkotietojärjestelmän suunnitelmassa avautuu verkkoyhtiön suunnittelema 20 kV:n verkko. Lisäksi tietokannasta saadaan ladattua alueen vanha verkko, jonka liittymien tietoja, mm. kulutustietoja voidaan hyödyntää uuden pienjänniteverkon mitoittamisessa. (3.)

Sähköinen suunnitelma tehdään verkkotietojärjestelmään suunnitelmatasolle, johon piirretään kaapelireitit, jatkot, kaapelijakokaapit, kaapelihaarotuskaapit, erottimet ja kiinteistöjen seinäkotelot standardien mukaisesti. Tämän jälkeen järjestelmän laskentaohjelma laskee ja mitoittaa verkon ja antaa liittymille oikosulkuvirrat, jännitteet, jännitteenalenemat ja oikeat sulakekoot. Kaapelien poikkipinta-alat voidaan muuttaa sähköalan säädösten materiaaleista löytyvien asennusolosuhteiden vastaaviksi poikkipinnoiksi. (4, s. 5.)

### 2.1.3 Verkon mitoituksen toimivuuden ja turvallisuuden tarkistaminen

Jotta verkko toimisi turvallisesti ja sähköteknisesti oikein, tulee tarkastaa muutama tärkeä asia: Pysyvätkö jännitteenalenemat standardien vaatimissa rajoissa? Ovatko oikosulkuvirrat riittäviä liittymillä ja jakokaapeilla? Vastaavatko kaapelien poikkipinta-alat asennusolosuhteita? Ovatko sulakoot oikeat?

SFS 6000-5-52:2022-standardi toimii hyvänä oppaana oikeiden sulakekokojen, asennusolosuhteiden, lämpötilojen, sulakkeiden pienimpien oikosulkuvirtojen ja jännitteenalenemien löytymiseksi. Lopuksi, kun kaikki tärkeät kohdat on muutettu oikeiksi, lasketaan verkko vielä uudelleen, jonka jälkeen laskentaohjelma kertoo, onko verkko valmis vai pitääkö vielä jotakin korjata. Tämän jälkeen sähköinen suunnitelma lähetetään verkkoyhtiölle tarkastettavaksi ja hyväksyttäväksi (3).

## 2.2 MAASTOSUUNNITTELU

Maastosuunnittelu on sähköisen suunnitelman sovittamista maastoon, jossa katsotaan, miten kaapelireiitit, kaapelijakokaapit, muuntamot ja mahdolliset ilmalinjat voidaan maastoon käytännössä sijoittaa. Alla on lueteltu maastosuunnitteluun sisältyvät tehtävät. Projektimuotoisesti toimittaessa osa tehtävistä tehdään päällekkäin, mutta pyrin karkeasti jaottelemaan tehtävät aikajärjestykseen. Yrityksessämme pyritään sisällyttämään projekti-insinöörin tehtävään dokumentointi-, suunnittelu- ja työnjohtotehtävät. Tulevaisuudessa on tavoitteena, että yksi henkilö hoitaa työmaan suunnittelun, dokumentoinnin ja työnjohdon. Avaan tehtäviä lisää omissa alaluvuissaan.

### Maastosuunnitteluun sisältyy

- lupa-asioiden hoito eri asianosaisten kanssa
- tarvittavat katselmukset
- työ-, purku-, ja raivauskarttojen teko
- yksikköluettelon laadinta ja tarvikkeiden tilaus (jos projektilla on työnjohtaja, tämä tehdään yhdessä hänen kanssaan)
- materiaalien toimitusaikojen ja työn eräpäivän huomioiminen aikataulutuksen kannalta
- kaapelireitin tai ilmajohdon merkitseminen maastoon
- projektinjohdon informoiminen suunnittelun etenemisestä ja työn aikataulusta
- turvallisuusriskiarvion tekeminen (yhteistyössä työnjohdon kanssa)
- ympäristö-, turvallisuus- ja laatusuunnitelma (yhteistyössä työnjohdon kanssa)
- työjärjestysuunnittelu (yhteistyössä työnjohdon ja käyttöönoton kanssa)
- keskeytysten ja käyttöönottojen suunnittelu (yhteistyössä työnjohdon kanssa)
- dokumentointi
- maan resistiivisyyden mittaaminen (tietyillä verkkoyhtiöillä jo suunnitteluvaiheessa)
- purkutyösuunnittelu.

## 2.2.1 Luvat

Uuden sähköverkon sijoittamiselle tarvitaan erilaisia lupia. Kun luvat on tehty, voidaan kyseiselle maapalstalle rakentaa verkkoa. Lupa-hakemukset ovat urakasta riippuen seuraavat:

- johtoalueen käyttöoikeussopimukset maanomistajien kanssa
- yksityistiesopimukset
- muuntamon toimenpidelupa kunnan tai kaupungin rakennusvalvonnalta ja kuntakohtainen rakennuslupa
- ELY-lupa tiealueille sekä luonnonsuojelukohteille
- ratahallinnon lupa ja vesistö lupa AVI:lta
- museoviraston lupa.

## 2.2.2 Tarvittavat katselmuks

Maastoon tehdään muutama katselmus ennen lupavaihetta ja verkon rakentamista, jotta verkko osataan luvittaa oikeita maastoreittejä pitkin. Katselmuks

- muuntamoiden rakennuspaikkojen katsominen kunnan tai kaupungin edustajan kanssa, jos kunnat tai kaupungit vaativat sen
- urakasta riippuen: alituspaikkojen, sähköverkon, jakokaappien ja muuntamoiden sijoitusten katselmus kaivuu-urakoitsijan kanssa tai yksin
- ELY:n aloitus ja lopetuskatselmuks

Katselmuksessa merkitään verkon rakentamisessa suunnitellulla reitillä esteenä olevia puita maanomistajien kanssa tai maanomistajien kaatoluvan kanssa (14). Samalla katsotaan, miten sähköverkko voidaan rakentaa mahdollisimman kustannustehokkaasti sähkötekninen mitoitus huomioiden. Kaadettavista puista ilmoitetaan hakkuu-urakoitsijallemme. Katselmuks kannattaa pyrkiä järjestämään samalla työmatkalla, jolloin säästetään kustannuksia ja eri lupahakemukset saadaan nopeammin vetämään.

### 2.2.3 Yksikköluettelon laadinta ja tarvikkeiden tilaus

Uuden projektin suunnitelmalta laskemme verkon komponenttien määrät. Näistä luodaan esimerkiksi Excel-tiedostoon tai Headpower-palveluun yksikköluettelo, jossa lasketaan jokaisen komponentin pituus- tai kappalemäärä. Näistä muodostetaan luettelo, joka lähetetään valituille tukkukauppiaille tarjouskilpailutukseen.

Kun tukkukauppiailta on saatu tarjoukset materiaaleista, aletaan tutkimaan tarjouksia ja vertailemaan niitä toisiinsa. Parhaan tarjouksen valintaan vaikuttaa seuraavia tekijöitä: verkkoyhtiön eli työn tilaajan vaatimukset, tukkukauppiaan ammattitaito, tavaroiden toimitusajat sekä saatavuus ja tarjouksen kokonaishinta. Valinnassa katsotaan kokonaisuutta, josta päätös lopulta syntyy. (5.)

### 2.2.4 Materiaalien toimitusaikojen ja työn eräpäivän huomioinen aikataulutuksen kannalta

Materiaalien toimitusaikoja on tärkeä huomioida, jotta työ alkaa ja etenee aikataulussa koko projektin ajan. Nykyisen epävakaan maailmantilanteen vuoksi joidenkin materiaalien saatavuus- ja toimitusajat ovat pidentyneet. Tällaisia ovat mm. muuntamot, kupari- ja alumiinikaapelit. Tämä on johtanut siihen, että tukkukauppioiden materiaalihinnat vaihtelevat säännöllisesti. Siksi tukkukauppioiden urakoitsijalle tekemät tarjoukset ovat voimassa vain 1–4 viikkoa. Tämä luo omat haasteensa työlle laaditulle budjetille ja aikataulussa pysymiselle. Toimitusaikojen ja tarvehintojen vaihtelevuuden vuoksi joudutaan pohtimaan, mitä materiaaleja tarvitaan ja milloin niitä tarvitaan. (5.)

Muuntamot ja muut pidemmällä toimitusajalla olevat materiaalit tulee laittaa tilaukseen mahdollisimman nopeasti. Muuntamot tilataan suoraan valmistajalta tai tukkukauppiaan kautta. Eri tukkukauppiilla on erilainen materiaalien saatavuus, mikä vaikuttaa materiaalien toimitusaikoihin. Siksi saatamme projektin aikana käyttää useampaakin tukkukauppiasta työn jouhevan etenemisen vuoksi. Valtaosa työssä tarvittavista materiaaleista tulee valitun tukkukauppiaan tilauspaketista. Materiaalien toimitusajoilla on myös vaikutusta tulevaan projektin työsuunnitteluun. On tiedettävä, mitä tavaraa meillä on käytettävissä eli mistä voimme aloittaa esimerkiksi kaivuutyöt. (5.)

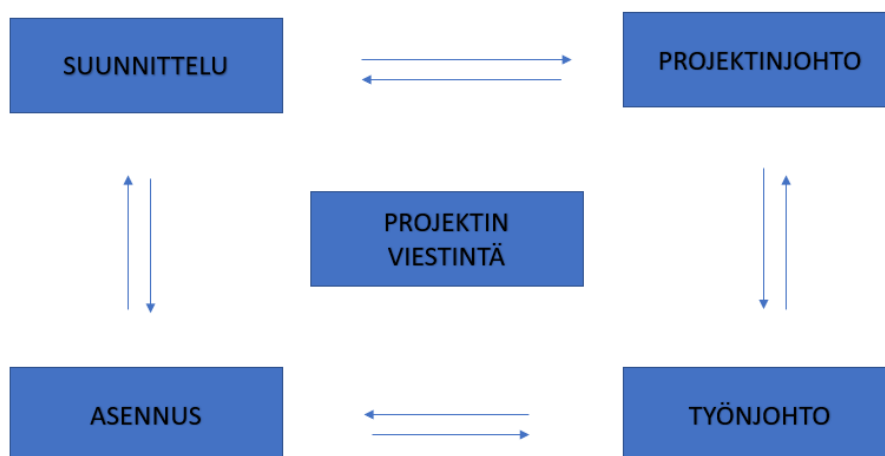
## 2.2.5 Kaapelireitin ja ilmajohdon merkitseminen maastoon

Kaapelireitti merkitään maastoon helpottamaan ja selkeyttämään kaivuutyötä. Se merkitään maastoon merkkauksmaalatuilla puukepeillä, lekalla, työkartoilla ja GPS-laitteella. GPS-laitteella voidaan katsoa tonttien rajoja tarkasti, jolloin tiedetään tarkalleen kaapelireitin sijoitus. Kaapelireittiin kuuluu itse kaapelireitti, muuntamot, jako- ja haaroituskaapit, jatkot, liityntäpisteet ja alitukset. Myös kaapelireitillä sijaitsevien puiden kaatomerkkaukset kuuluvat työnkuvaan, koska kaivurin pitää mahtua kulkemaan reitillä. Merkkauksessa on tärkeää pitää mielessä vastuu: tehty merkintä voi vaikuttaa suoraan työn lopputulokseen.

Ilmajohdon merkkauksessa keskitytään pylväspaikkojen, harusten, tukipylväiden ja puun poiston merkitsemiseen. GPS-laitteesta olevasta ilmajohtokuvasta nähdään tolppien paikat. Erillisestä profila-tiedostosta nähdään harusten ja tukitolppien kulma-asteet suhteessa tolppaan, minkä perusteella ne voidaan tarkasti GPS-laitteen avulla maastoon sijoittaa. Puun poiston merkkaukset tehdään GPS-laitteen reitin avulla.

## 2.2.6 Projektinjohdon informoiminen suunnittelun etenemisestä ja työn aikataulusta

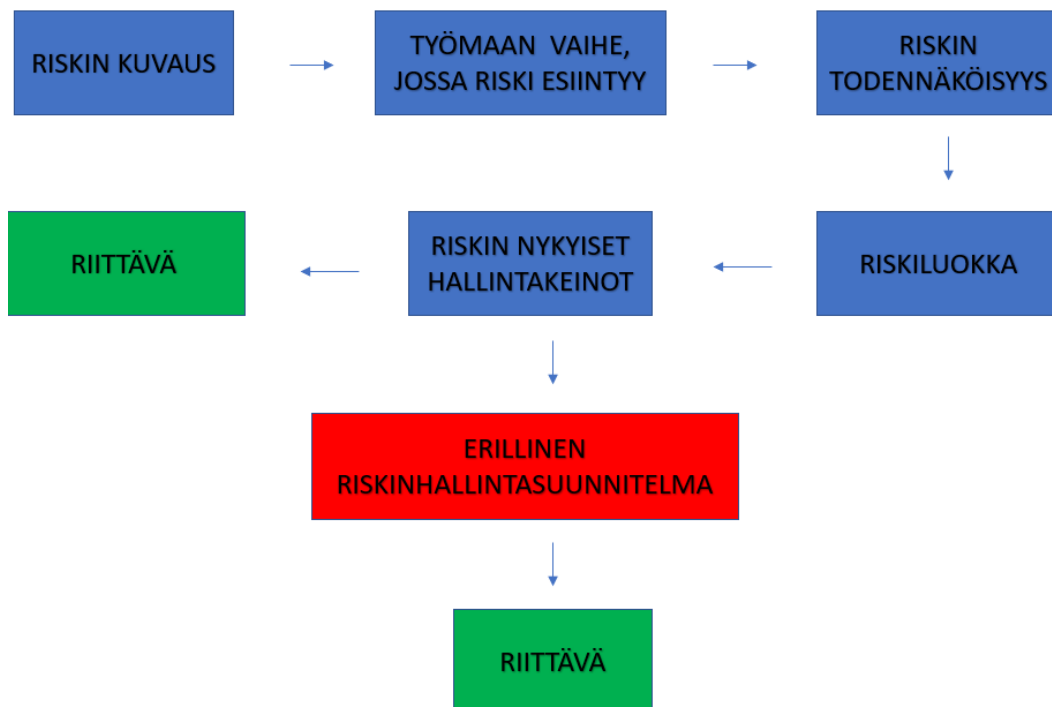
Suunnittelu toimii yhteistyössä projektin- ja työnjohdon kanssa koko projektin ajan, jotta työ voidaan suunnitella aikataulussa ja kaikilla on projektista kokonaiskuva. Projektinjohto vastaa työmaasta kokonaisuudessaan, joten sillä täytyy olla ajantasainen tilannetieto myös suunnittelun etenemisestä. Kuvassa 2 on esitetty projektin viestintäketju.



KUVA 2. Projektin viestintäketju

## 2.2.7 Turvallisuusriskiarvion tekeminen

Omexom käyttää työmaakohtaiseen turvallisuusriskiarviointiin valmista Excel-pohjaista Ympäristö- ja turvallisuusriskianalyysin arviointia. Turvallisuusriskiarvioinnilla on tarkoitus ennaltaehkäistä työnaikaiset työtaturmat ja ympäristövahingot. Siinä on esitetty pitkä luettelo erilaisia riskien kuvauksia, niiden esiintymisaikoja eri työn vaiheissa, todennäköisyysarvoja, riskiluokituksia ja niiden hallintakeinoja. Arvioinnissa saadaan tuloksia väliltä vähäinen, kohtalainen, merkittävä ja kriittinen, jotka kuvaavat minkälainen riski on, minkälaisia toimenpiteitä se vaatii ja voiko työtä toteuttaa sellaisenaan vai vaatiiko se lisätoimenpiteitä riskin hallitsemiseksi. (6.) Ennen projektin aloitusta arvioinnin tekee suunnittelija yhdessä työnjohdon kanssa (14). Suunnittelija on tätä ennen tehnyt perusteellisen työmaakatselmuksen aiheeseen liittyen. Ennen katselmusta suunnittelija tutustuu huolellisesti Ympäristö- ja turvallisuusanalyysi -exceliin, jotta hän osaa ottaa katselmuksessa huomioon oikeat asiat. Työmaalla käydessään suunnittelija käy käytännössä paikat huolellisesti läpi, muuttuvat sääolosuhteet huomioiden ja pyrkii ajattelemaan asioita eri työvaiheiden tekijöiden näkökulmasta. (7.) Kuvassa 3 on esitetty turvallisuusriskiarvion tekemisen prosessi pääpiirteittäin.



KUVA 3. Ympäristö- ja turvallisuusriskianalyysin prosessi (6.)

## 2.2.8 Ympäristö-, laatu- ja turvallisuussuunnitelma

Omexomilla on käytössä Ympäristö-, laatu- ja turvallisuussuunnitelma, jota sovelletaan joka työmaalle erikseen. Suunnitelman tarkoituksena on Omexomin toimintajärjestelmään perustuen suunnitella tarvittavat turvallisuustoimenpiteet, joiden mukaan työt, työvaiheet ja niiden ajoitus järjestetään mahdollisimman turvallisiksi ja siten ettei niistä aiheudu vaaraa työmaalla työskenteleville ja muille työn vaikutuspiirissä oleville. Laadukkaalla suunnittelulla varmistetaan työn suoritus määräysten, verkkoyhtiön toiveiden ja hyvien työtapojen mukaisesti. (7.)

Suunnittelija osallistuu turvallisuussuunnitelman tekemiseen yhdessä projektin- ja työnjohdon kanssa. Suunnittelijan työtehtäviä ko. suunnittelussa ovat mm

- dokumenttien hallintasuunnitelmat
- käyttöönottotarkastukset
- työmaakokouksiin osallistuminen.

## 2.2.9 Työjärjestyssuunnittelu

Suunnittelija osallistuu työjärjestyssuunnitteluun kaivuujärjestyksen ja käyttööntojen osalta. Suunnittelun alussa ennen kaivuuta on tärkeää määrittellä, missä järjestyksessä verkko otetaan käyttöön eli missä järjestyksessä kaivuu kannattaa suorittaa. Määrittely tehdään yhdessä työnjohdon kanssa. Työkartta, jossa näkyy selkeä kaivuujärjestys, toimitetaan kaivuu-urakoitsijalle ennen kaivuiden aloittamista. (7.) Ilmalinjarakentamisessa pylväsrakentajan sähköasentajista riippuvat työt on hyvä suunnitella niin, että sähköasentajat ovat tekemässä konekaluston ollessa paikalla (26).

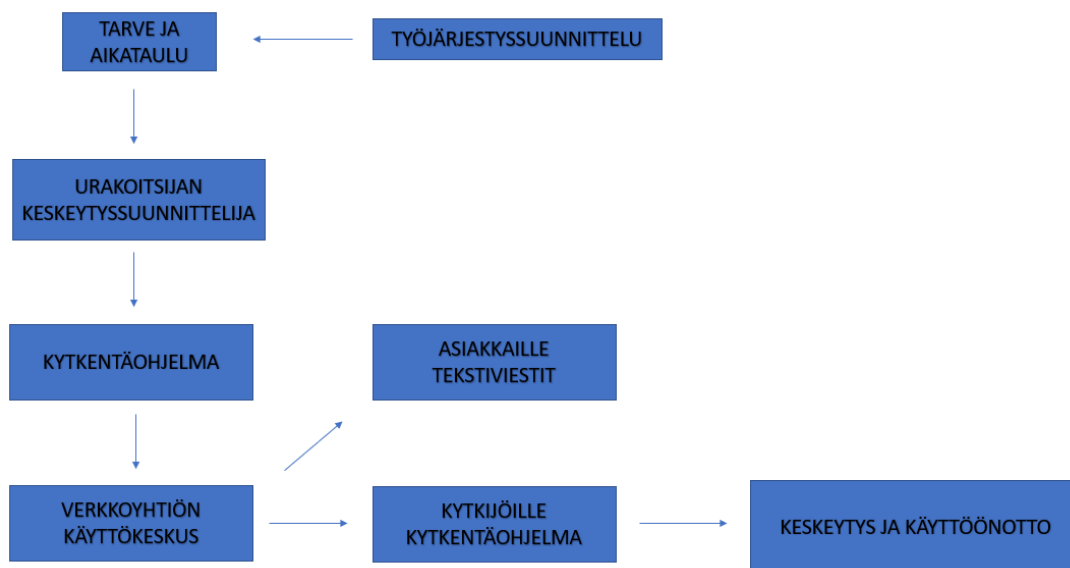
## 2.2.10 Keskeytysten ja käyttööntojen suunnittelu

Aluksi käyttöönotetaan uusi keskijänniteverkko muuntamoineen, joka otetaan käyttöön mahdollisimman vähällä keskeytysmäärillä (14). Kun uusi keskijänniteverkko on käyttöönotettu, alkaa pienjänniteverkon käyttöönto, jolle tehdään käyttökeskeytykset. (3.) Urakoitsijan keskeytysuunnittelija tekee käyttökeskeytysohjelmat vanhan pienjänniteverkon liittyviä syöttäville osille, jotta uusi



pienjänniteverkko voidaan liittää turvallisesti liittymäkaapeliin. Uuden pienjännitejakeluverkon käyttöönottovaiheessa vanhan pienjännitejakeluverkon tulee olla sähkötön, jotta uuden verkon käyttöönottokytkenät voidaan tehdä turvallisesti ja jotta muu sähköverkko toimisi keskeytyksettömästi (9, s. 16). Jossain tilanteessa vanhaa pienjännitejakeluverkkoa ei saada jännitteettömäksi, jolloin vanha pienjänniteverkko katkaistaan liittymäkaapelista jännitetyönä. Tämän jälkeen voidaan jatkos uuden pienjännitejakeluverkon liittymiseksi liittymäkaapeliin tehdä turvallisesti. (14.)

Käyttökeskeytys toteutetaan urakoitsijan käytönsuunnittelijan tekemän keskeytys suunnitelman perusteella (9, s. 16). Urakoitsijan työjärjestyksestä vastaavalta työnjohtajalta on tullut tarve käyttöönottokytkenöille. Pienemmässä katkossa työnjohtaja on tätä ennen sopinut keskeytysajat liittymien omistajien kanssa. Laajemmassa katkossa ilmoitus asiakkaalle tapahtuu verkkoyhtiön valvomon kautta. Näin on saatu selville keskeytysten tarve ja niiden ajankohdat. Seuraavassa vaiheessa urakoitsijan käytönsuunnittelija tekee verkkotietojärjestelmässä kytkentäohjelman, jonka perusteella keskeytys toteutetaan. Liittymien omistajille lähetetään verkkoyhtiön toimesta tekstiviesti tai kirjepostiviesti keskeytyksen ajankohdasta (14). Kun ohjelma on valmis, lähetetään se verkkoyhtiön käyttökeskukseen tarkastettavaksi. Käyttökeskus korjaa mahdolliset virheet, jonka jälkeen se hyväksyy sen ja näin ohjelma on valmis toteutettavaksi. Valmis kytkentäohjelma lähetetään maastoon kytkentää tekeville asentajille. (9, s. 16.) Kuvassa 4 on esitetty keskeytyksen käytännönprosessi.



KUVA 4. Keskeytyksen käytännönprosessi.

## 2.2.11 Dokumentointi

Dokumentointi tarkoittaa uusien tai vanhojen sähköverkkojen erilaisten tietojen päivittämistä oikeiksi projektin edetessä tai käyttöönottovaiheessa. Dokumentoitavat asiat ja niiden ajankohta riippuu verkkoyhtiöistä ja niiden ohjeistuksista (3). Dokumentointia tehdään koko projektin ajan, jotta esim. ohjeistukset, asennukset ja muut tiedot ovat ajan tasalla (10, s. 14). Laadukas ja ajantasainen dokumentointi lisää verkon käytön turvallisuutta sekä mahdollisen vian tunnistettavuutta. Dokumentointia tehdään verkkotietojärjestelmään ja fyysisesti sähköverkon osiin. Dokumentointiohjeen esittelee verkkoyhtiö urakoitsijalle.

Yleisimpiä dokumentoitavia asioita ovat seuraavat:

- muuntamoiden ja erottimien tunnusten merkitseminen maastossa ja verkkotietojärjestelmässä
- muuntamoiden, erottimien ja jakokaappien osoitteiden merkinnät verkkotietojärjestelmään
- kaapelityyppien ja niiden syöttösuuntien merkinnät kaapeleihin
- sulaketyyppien- ja kokojen merkinnät verkkotietojärjestelmässä
- sähköverkon siirto GPS-paikannetulle reitille verkkotietojärjestelmässä
- GPS-paikannetun verkon siirto verkkotietojärjestelmän tietokantaan ennen kyseisen verkon osan käyttöönottovaihetta. (Masterointi)

Edellisessä listassa ei ollut kaikkia dokumentoitavia asioita. Dokumentoitavat asiat riippuvat verkkoyhtiöstä, joten suunnittelija tutustuu huolellisesti verkkoyhtiön dokumentointiohjeistukseen ennen työn aloittamista.

## 2.2.12 Maan resistiivisyyden mittaus

Osa verkkoyhtiöistä vaatii puistomuuntamopaikkojen maan resistiivisyyden mittauksen ennen muuntamoiden kaivuuta. Ne, joilla ei ole kyseistä mittausta käytössä, korvaavat mittauksen työmaan valmistuttua tehtävällä käännepestemenetelmän mittauksella. Maan resistiivisyyden mittauksella on tarkoitus ennakkoon helpottaa maadoituksen suunnittelua ja rakentamista. Mittauksella

saadaan selville paikan maadoitusimpedanssi ja se, onko impedanssi riittävän pieni. Tulos kertoo myös, minkälaisen maadoitusrakenteen muuntamopaikka tarvitsee tarpeeksi hyvän maadoituksen saavuttaakseen. (11.)

Maan ominaisresistanssia ei tarvitse mitata perusmaadoituksissa kuten jakokaappien, kaapelijatkosten tai kaapelipäätteiden maadoituksissa. Mittaus tehdään silloin, kun maadoitusresistanssille on asetettu jokin raja-arvo, joka rakennettavan maadoituksen tulee saavuttaa tai maadoitusolosuhteiden ollessa vaikeat ja oletetaan, ettei perusmaadoituksella saavuteta riittävää maadoitusresistanssia. (12.)

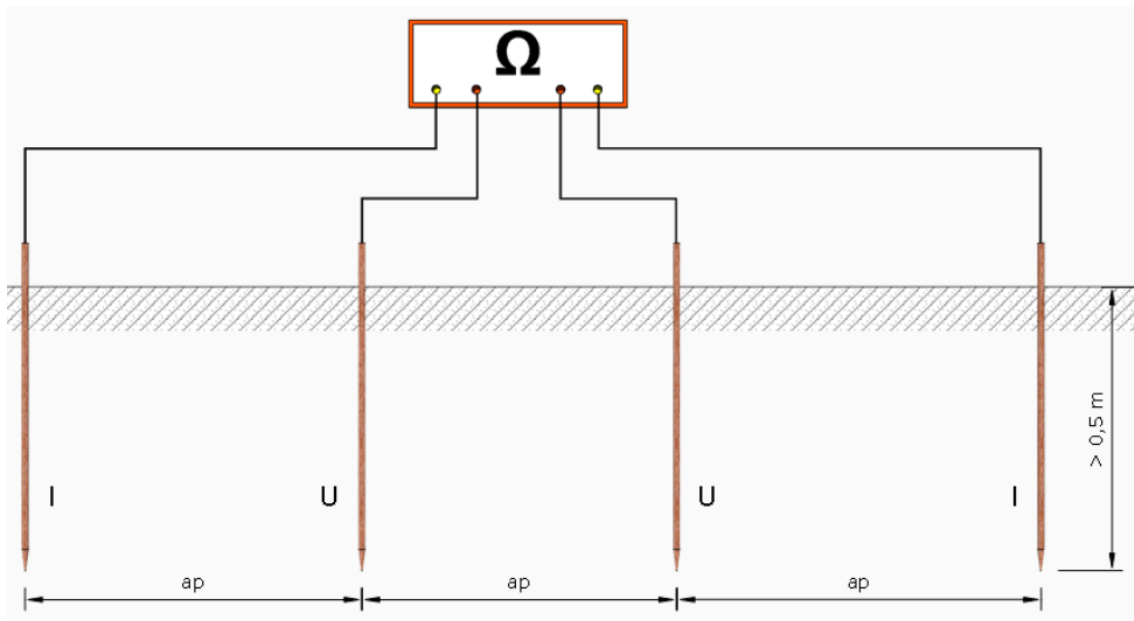
Maaperä on hyvin epähomogeeninen ja koostumus vaihtelee lyhyelläkin matkalla sekä pysty- että vaakasuunnassa. Suomessa keskimääräinen maaperän ominaisresistanssi on 2300  $\Omega\text{m}$ . Taulukossa 1 on esitetty erilaisten maalajien keskimääräiset resistiivisyydet vaihteluväleineen. (12.)

MAA-AINES	KESKIVARVO ( $\Omega\text{m}$ )	VAIHTELUVÄLI ( $\Omega\text{m}$ )
Savi	40	25 - 75
Saven sekainen hiekka	100	40 - 300
Lieju, turve, multa	150	50 - 250
Hiekka, hieta	2 000	1 000 - 3 000
Moreenisora	3 000	1 000 - 10 000
Harjusora	15 000	3 000 - 30 000
Graniittikallio	20 000	10 000 - 50 000
Kuiva betoni	10 000	2 000 - 100 000
Järvi- ja jokivesi	250	100 - 400
Pohja-, kaivo- ja lähdevesi	50	10 - 150
Merivesi (Suomenlahti)	2,5	1 - 5

TAULUKKO 1. Maalajien resistiivisyyden keskimääräinen vaihteluväli (12.)

Maanlaadulla on iso merkitys ominaisresistanssin arvoihin ja näin myös maadoituksen rakentamiskustannuksiin. Vaihtelurajojen laajuus osoittaa sen, että esimerkiksi kosteassa maassa suoritettavat mittaukset antavat keskimääräistä arvoa pienemmät lukemat kuin kuivassa maassa mitatut arvot. Maan lämpötilan laskiessa maan ominaisresistanssi kasvaa ja on erityisen suuri maan jäätyessä. (12.)

Ennen mittausta asetetaan neljä elektrodia maahan vierekkäin tasavälein. Elektrodien tulee upota maahan vähintään 0,5 m syvyyteen luotettavan tuloksen saamiseksi. Reunimmaisien elektrodien kautta syötetään maahan virtaa (I) ja sisempien elektrodien välinen jännite-ero (U) mitataan. Mittaus suoritetaan neljällä eri elektrodivälillä ja kahdesta eri mittaustaikasta. Mittauksessa käytettävät elektrodivälit ovat: 2 m, 3 m, 4 m ja 10 m. (13.) Kuvassa 5 on esitetty Wennerin neljän pisteen menetelmä. (12.)



KUVA 5. Wennerin neljän pisteen menetelmä maan resistiivisyyden mittaukseen. (12.)

Maan ominaisresistanssi luetaan mittarista. Maan ominaisresistanssi  $\rho$  ( $\Omega\text{m}$ ) saadaan lasketuksi, kun mittaustulos  $R$  ( $\Omega$ ) ja elektrodien välinen etäisyys  $ap$  (m) sijoitetaan kuvan 6 yhtälöön. (12.)

$$\rho = 2 \cdot \pi \cdot ap \cdot R.$$

KUVA 6. Maan ominaisresistanssin laskukaava (12.)

Yhtälössä oletetaan, että maa on tasalaatuista. Likimääräisenä sääntönä pidetään mittausta, joka antaa keskimääräisen ominaisresistanssin syvyyteen  $h = ap$  saakka. Tulokset kirjataan mittauspöytäkirjaan ja lasketaan mittaustulosten keskiarvo. Saatuja mittaustuloksia on hyvä verrata taulukon 1 arvoihin. Erojen ollessa huomattavan suurina mittaustulosten ja taulukon 1 arvojen välillä on syytä epäillä mittaustulosten virhettä. (12.)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	
1	<b>Maaperän resistiivisyyden mittauspöytäkirja</b>																					
2																						
3																						
4																						
5																						
6																						
7																						
8																						
9																						
10	<b>Mittauskohde:</b>	Jakelumuuntamo <input type="checkbox"/>			Erotinasema <input type="checkbox"/>			Tunnus: _____														
11																						
12																						
13																						
14																						
15																						
16	<b>Mittaustulos <math>R_E^{70}</math> (<math>\Omega</math>):</b>	1. mittaus _____					2. mittaus _____															
17																						
18																						
19																						
20	<b>Mittaustulos <math>R_E^{150}</math> (<math>\Omega</math>):</b>	1. mittaus _____					2. mittaus _____															
21																						
22																						
23	<b>Laskettu maaperän</b>																					
24	<b>resistiivisyys <math>\rho^{70}</math></b>	1. mittaus _____					2. mittaus _____															
25																						
26																						
27	<b>Laskettu maaperän</b>																					
28	<b>resistiivisyys <math>\rho^{150}</math></b>	1. mittaus _____					2. mittaus _____															
29																						
30																						
31	<b>Mittauksessa</b>																					
32	<b>käytetty mittalaite:</b>	_____																				
33																						
34	<b>Mittauksessa</b>																					
35	<b>käytetyn maapiikin</b>																					
36	<b>pituus ja halkaisija</b>	_____																				
37																						
38																						
39																						
40																						
41																						
42																						
43																						
44	<b>Mittaus pvm.</b>	_____									<b>Mittauksen suorittaja:</b>	_____										
45																						
46																						

KUVA 7. Maan resistiivisyyden mittauspöytäkirja Excelissä. (13.)

Kuvassa 7 on maan resistiivisyyden mittaustulosten dokumentointiin tarkoitettu mittauspöytäkirja. Mittauspöytäkirjan yläindeksit 70 ja 150 ovat mittauselektrodien syvyysmittoja, jotka verkkoyhtiö määrittelee. Mittaukset suoritetaan muuntamon pohjan kahdesta eri paikasta. Kun mittaustulokset on saatu taulukon 1 vaihteluvälejä vastaaviin arvoihin ja laskennat tehty, toimitetaan mittauspöytäkirja täytettynä verkkoyhtiölle. Verkkoyhtiö tekee tarvittavat laskelmat siitä, ovatko maadoitukset riittävät vai pitääkö erillisellä työllä parantaa maadoituksia. (11.)

### 2.2.13 Purkutyösuunnittelu

Tämän luvun esittelyssä keskitytään ilmalinjojen purkutöiden suunnitteluun, koska se on pääasiallinen purkutöiden kohde. Suunnittelija osallistuu ilmalinjan purkutöiden suunnitteluun yhteistyössä työnjohdon kanssa. Suunnittelun tarkoitus on määrittellä selkeä purkutyöjärjestys, jotta purkutyöt etenisivät mahdollisimman nopeasti, ilman ongelmia ja turvallisesti. (14.) Purkutyösuunnitelmassa määritellään purettavat määrät sekä purkutyöhön valmistavat tehtävät. Valmistavia tehtäviä ovat mm. työturvallisuuden ja ympäristön riskinarvioinnit ja katselmus purkajien kanssa ennen työn aloittamista. (15.) Purkutyösuunnitelmaan täytyy myös merkitä jakeluverkon työmaadoituspaikat purkutyön turvallista suorittamista varten (10).

Purkutyön aloituspalaverissa käydään seuraavat asiat:

- purkujärjestyksessä huomioitujen jakeluverkon työmaadoituspaikat (11.)
  - purkujärjestyksen määrittely ja kirjaus purkukarttoihin.
  - purku toteutetaan vaiheittain niin, että työmaadoitukset säilyvät koko purkutyön ajan (11.)
  - purettavien ilmalinjojen jännitteettömyyden varmistaminen, toteaminen ja siihen liittyvät käytännöt purun edetessä.
  - mitkä ilmajohdot puretaan ja mitkä jäävät pylväisiin
  - mitkä pylväät jäävät pystyyn
  - pylvästuennat
  - mitkä materiaalit/pylväät säästetään ehjänä, mitkä menevät jätteisiin
  - pylväiden varastointipaikat ja jaottelu
  - jätteiden varastointipaikka ja -tilan määrä eri jätelajeille
  - pylväsmuuntamoiden purkutyöt
- (15.)

Lisäksi projektista riippuen purkutöihin voi sisältyä vanhojen maakaapeleiden, jakokaappien ja puistomuuntamoiden purku tai jokin näistä (14.) Näihin käytetään samaa työturvallisuuden ja ympäristön riskienarviointia. Maakaapeliverkon puruissa noudatetaan pitkälti samaa sisältöä kuin edeltävässä katselmuksen sisällössä. Poikkeuksia käytännöissä ja työskentelytavoissa voi tuki olla suhteessa ilmalinjojen purkuun ja ne kannattaa varmistaa omalta esimieheltä.

### 3 KUSTANNUKSIA AIHEUTTAVAT ONGELMAT

Tähän lukuun on koottu käytännön esimerkkejä työmailta, joissa työ on toteutettu niin, että se on aiheuttanut turhia lisäkustannuksia. Aiheuttajina ovat olleet joko puutteellinen suunnittelu tai puutteelliset työmenetelmät ja -tavat. Esimerkit on saatu eri osa-alueiden osaajien haastatteluiden perusteella. Haastateltaviin kuului sähköasentajia, projektinjohtoa, työnjohtoa, maanrakentajia, ilmalinjan rakentaja sekä suunnittelun ja dokumentoinnin henkilöitä.

#### 3.1 ILMALINJAT

Ilmalinjan rakentajiin kuuluu yleensä ilmalinjan pystyttäjä ja sähköasentajat. Ilmalinjan suunnittelusta vastaa Omexomin projekti-insinööri. Pystyttäjän tehtäviin kuuluvat pylväsrakenteiden kokonainen maassa ennen pylvästystä, ilmalinjan pylväiden kaivu maahan, ilmajohtojen nosto ilmaan, tukirakenteiden asennukset (haruslangat ja tukipylväät), ilmajohtojen esikiristys sekä pylväsmuuntamoiden nosto pylvääseen yhteistyössä sähköasentajan kanssa.

Sähköasentaja hoitaa ilmalinjan sähköiset työt ja kytkennät, joita ovat mm. ilmajohtojen kiristys, kaapelinousujen päätteiden asennus ja kytkentä, erotinkytkennät sekä muuntajaan liittyvät kytkennät. Johtojen sidonta kuuluu yleensä asentajalle, mutta joskus pylvästäjä saattaa sen tehdä. Sidonnassa taso-orren posliinieristeet lukitaan kierukalla ja kulmaorren vetoeristimet kiristetään, eli ilmajohdot saavat lopullisen lukituksensa. (16.)

Projekti-insinöörin yksi työtehtävä on suunnittelija, eli hän suunnittelee myös ilmalinjan sille tarkoitetulle paikalle. Ensin suunnittelija tekee verkkoyhtiön esisuunnittelemaalle työlle tarvittavat johtovaluesopimukset kuntoon maanomistajien kanssa. Jos työtä ei ole esisuunniteltu, suunnittelija piirtää ja mitoittaa ilmajohdon verkkotietojärjestelmän suunnitelmapohjalle standardien ja verkostosuosituksen mukaisesti. Ilmalinjat sijoitetaan tiealueen ulkopuolelle tiealueen rajan läheisyyteen maanomistajan tontilla. Kun luvat ovat kunnossa ja tiedetään mihin ilmalinja tulee, tehdään maastossa tarkka ilmalinjan merkintä GPS-laitteen avulla. Ensin merkitään johtokadun puunpoistot. Kun puut on poistettu, voidaan ilmalinjan pylväs-, tukipylväs- ja haruspaikat merkitä.



### 3.1.1 Ilmalinjareitit

20 kV:n jakeluverkon ilmalinjareitit ovat standardileveydeltään 10 metriä. Nykyään uudet ilmalinjat pyritään sijoittamaan teiden varsille, jotta niiden huoltaminen ja korjaaminen olisi helppoa. Lisäksi tällainen sijoitus parantaa niiden sähkön toimitusvarmuutta. Nykyisen jakeluverkkoalan kovan kilpailun vuoksi on selkeä kilpailuetu hakea entistä kustannustehokkaampia sekä yhtenäistettyjä suunnitteluratkaisuja yhtiön käyttöön.

Varsinainen sisältö on piilotettu opinnäytetyön julkisesta versiosta ja se on nähtävillä vain Omexomin sisäisessä opinnäytetyön versiossa.



### 3.1.2 Pylväsmuuntamot

Pylväsmuuntamot sijoitetaan tyypillisesti jakeluverkon rakentamiseen tarkoitettuihin painekyllästettyihin puupylväisiin, joko yhteen pylvääseen tai kahden pylvään väliin rakennettuna. Kustannustehokkaan rakentamisen kannalta, on jo suunnitteluvaiheessa tärkeää miettiä, kummalla tavalla pylväsmuuntamoiden rakentaminen kannattaa toteuttaa. Kumpi pylväs rakenne lopulta valitaan vaikuttaa useampi tekijä, joita voivat olla mm. verkkoyhtiön vaatimukset, pylväspaikan sijainti, asennusolosuhteet, johdintyyppin paino tai muuntajakoneen koko.

Varsinainen sisältö on piilotettu opinnäytetyön julkisesta versiosta ja se on nähtävillä vain Omexomin sisäisessä opinnäytetyön versiossa.



### 3.1.3 Sähköinen suunnittelu

Sähköinen suunnittelu on suunnitellun alueen sähköverkon mitoittamista ja suunnittelemista oikeankokoiseksi. Mitoitukseen vaikuttaa mm. liittymien määrä ja teho sekä kaapeleiden ja johtojen pituudet. Tässä kappaleessa keskitytään ilmajohtojen sähköisen suunnittelun kehittämiseen lisäkustannuksia aiheuttaneiden ongelmaesimerkkien kautta. Käytännön esimerkkejä sain Työmaapäälliköltä.

Varsinainen sisältö on piilotettu opinnäytetyön julkisesta versiosta ja se on nähtävillä vain Omexomin sisäisessä opinnäytetyön versiossa.

### 3.1.4 Raivaukset

Varsinainen sisältö on piilotettu opinnäytetyön julkisesta versiosta ja se on nähtävillä vain Omexomin sisäisessä opinnäytetyön versiossa.

### 3.1.5 Maasto-olosuhteet

Maasto-olosuhteisiin oleellisesti kuuluvat sekä suunnittelussa ja rakentamisessa haasteita tuovat tekijät ovat kallio, vesistö ja märät paikat. Kallioon on hankalampi ja kalliimpi pystyttää pylvästä. Vesistön läheisyyteen tai läpi on hidas ja vaarallisempi rakentaa. Märillä paikoilla pylväs ei välttämättä pysy itsestään pystyssä. (17.) Tällaisia paikkoja on siis tärkeää kartoittaa jo suunnitteluvaiheessa, jotta rakentaminen sujuu turvallisesti ja vaivattomasti ja tällaiset kohdat osataan aikatauluttaa ajoissa (11).

Varsinainen sisältö on piilotettu opinnäytetyön julkisesta versiosta ja se on nähtävillä vain Omexomin sisäisessä opinnäytetyön versiossa.

### 3.1.6 Purkutyöt

Varsinainen sisältö on piilotettu opinnäytetyön julkisesta versiosta ja se on nähtävillä vain Omexomin sisäisessä opinnäytetyön versiossa.



## 3.2 MAAKAPELOINTI

Maakaapeloinnin vaiheista löydettiin lisäkustannuksia aiheuttaneita suunnittelu- sekä toteutustapoja. Suunnittelijoiden vähäiset käynnit olivat yksi merkittävä tekijä, joka aiheutti turhia sekä kalliita lisäkustannuksia. Huolellisella työmaakäynnillä, jossa otetaan maasto-olosuhteet, maanrakentajan työ sekä maanomistajat huomioon, on iso merkitys työmaan edistymiseksi aikataulussa ilman työn keskeytyksiä ja sovitussa budjetissa. (7, 11, 23, 24.) Eri alaotsikoissa tuodaan aiheeseen kuuluvia käytännön ongelmakohtia ilmi.

### 3.2.1 Maakaapelireitit

Varsinainen sisältö on piilotettu opinnäytetyön julkisesta versiosta ja se on nähtävillä vain Omexomin sisäisessä opinnäytetyön versiossa.

### 3.2.2 Muuntamot

Varsinainen sisältö on piilotettu opinnäytetyön julkisesta versiosta ja se on nähtävillä vain Omexomin sisäisessä opinnäytetyön versiossa.

### 3.2.3 Jakokaapit

Varsinainen sisältö on piilotettu opinnäytetyön julkisesta versiosta ja se on nähtävillä vain Omexomin sisäisessä opinnäytetyön versiossa.

### 3.2.4 Sähköinen suunnittelu

Varsinainen sisältö on piilotettu opinnäytetyön julkisesta versiosta ja se on nähtävillä vain Omexomin sisäisessä opinnäytetyön versiossa.



### 3.2.5 Raivaukset

Varsinainen sisältö on piilotettu opinnäytetyön julkisesta versiosta ja se on nähtävillä vain Omexomin sisäisessä opinnäytetyön versiossa.

### 3.2.6 Maasto-olosuhteet

Varsinainen sisältö on piilotettu opinnäytetyön julkisesta versiosta ja se on nähtävillä vain Omexomin sisäisessä opinnäytetyön versiossa.



### 3.2.6 Työkartat

Varsinainen sisältö on piilotettu opinnäytetyön julkisesta versiosta ja se on nähtävillä vain Omexomin sisäisessä opinnäytetyön versiossa.

### 3.2.7 Purkutyöt

Varsinainen sisältö on piilotettu opinnäytetyön julkisesta versiosta ja se on nähtävillä vain Omexomin sisäisessä opinnäytetyön versiossa.



## 4 KUSTANNUSTEHOKKAAT RATKAISUT SUUNNITTELUSSA

Tähän lukuun on koottu ilmalinja- ja maakaapelirakentamisessa puutteellisesta suunnittelusta tai toteutuksesta lisäkustannuksiin johtaneisiin ongelmiin ratkaisuja. Ratkaisut ovat tulleet itse ongelman esittäjältä, minulta tai joltain muulta haastateltavalta. Osa ratkaisuista ovat olleet sellaisia, joihin ei ole löytynyt varsinaista ongelmakokemusta, mutta joka lisää työn tehokkuutta ja vähentää kustannuksia. On pyritty löytämään eri osa-alueiden tekijöidemme työtä helpottavia ja ylimääräisiä kustannuksia ehkäiseviä ratkaisuja.

### 4.1 ILMALINJAT

Kustannustehokas ilmalinjan suunnittelu on maasto-olosuhteet monipuolisesti huomioivaa sekä sen työvaiheiden rakentajien työtä helpottavaa toimintaa. Suunnittelu on tehty perusteellisesti ja suunnittelija on käyttänyt suunnittelussa tukenaan tämän opinnäytetyön liitteenä olevaa "SUUNNITTELIJAN MUISTILISTA KUSTANNUSTEHOKKAAN ENSIMAASTOKATSELMUKSEN SAAVUTTAMISEKSI" -muistilistaa. Siitä on helppo tarkistaa maastokäynnin tehtävät. Lisäksi oman ammattitaidon ja muistilistan tueksi, suunnittelija tarvitsee kokeneemman esimiehensä tuen.

#### 4.1.1 Ilmalinjareitit

Varsinainen sisältö on piilotettu opinnäytetyön julkisesta versiosta ja se on nähtävillä vain Omexomin sisäisessä opinnäytetyön versiossa.







#### 4.1.2 Pylväsmuuntamot

Varsinainen sisältö on piilotettu opinnäytetyön julkisesta versiosta ja se on nähtävillä vain Omexomin sisäisessä opinnäytetyön versiossa.

#### 4.1.3 Sähköinen suunnittelu

Varsinainen sisältö on piilotettu opinnäytetyön julkisesta versiosta ja se on nähtävillä vain Omexomin sisäisessä opinnäytetyön versiossa.

#### 4.1.4 Raivaukset

Varsinainen sisältö on piilotettu opinnäytetyön julkisesta versiosta ja se on nähtävillä vain Omexomin sisäisessä opinnäytetyön versiossa.

#### 4.1.5 Maasto-olosuhteet

Varsinainen sisältö on piilotettu opinnäytetyön julkisesta versiosta ja se on nähtävillä vain Omexomin sisäisessä opinnäytetyön versiossa.





#### 4.1.6 Suunnittelijan merkinnät työkarttoihin

Varsinainen sisältö on piilotettu opinnäytetyön julkisesta versiosta ja se on nähtävillä vain Omexomin sisäisessä opinnäytetyön versiossa.

#### 4.1.7 Purkutyöt

Varsinainen sisältö on piilotettu opinnäytetyön julkisesta versiosta ja se on nähtävillä vain Omexomin sisäisessä opinnäytetyön versiossa.



## 4.2 Maakaapelointi

Kaapeliverkon sijoittamisella, johon kuuluvat puistomuuntamot, jakokaapit, kaapelireitit, jatkot ja pylväsnousut, on työn kustannustehokkuuden kannalta merkitystä. Maasto-olosuhteet vaikuttavat merkittävästi näiden em. kaapeliverkon osien sijoittamiseen. Jos urakan tarjouslaskentavaiheessa toteutettavan verkon sijoittaminen on selvitetty huolellisesti ja laskettu sen mukaan, ehkäistään monia rakentamisen vaiheessa esiintyviä lisäkustannuksia. Yhtä lailla huolellinen monet asiat huomioon ottava suunnittelu ehkäisee ylimääräisten kustannusten syntymistä. Tämän luvun alaotsikoissa annetaan huonosta suunnittelusta johtuneiden ongelmien ratkaisuja. Otsikoissa voi olla myös kehityskohteita, joista ei välttämättä ole ollut kokemusperäistä ongelmatapausta oikeasta elämästä, mutta jonka huomioiminen verkon suunnittelussa säästää rakentamisen kustannuksissa.

### 4.2.1 Maakaapelireitit

Varsinainen sisältö on piilotettu opinnäytetyön julkisesta versiosta ja se on nähtävillä vain Omexomin sisäisessä opinnäytetyön versiossa.

#### 4.2.2 Muuntamot

Varsinainen sisältö on piilotettu opinnäytetyön julkisesta versiosta ja se on nähtävillä vain Omexomin sisäisessä opinnäytetyön versiossa.



### 4.2.3 Jakokaapit

Varsinainen sisältö on piilotettu opinnäytetyön julkisesta versiosta ja se on nähtävillä vain Omexomin sisäisessä opinnäytetyön versiossa.





#### 4.2.4 Sähköinen suunnittelu

Varsinainen sisältö on piilotettu opinnäytetyön julkisesta versiosta ja se on nähtävillä vain Omexomin sisäisessä opinnäytetyön versiossa.



#### 4.2.5 Raivaukset

Varsinainen sisältö on piilotettu opinnäytetyön julkisesta versiosta ja se on nähtävillä vain Omexomin sisäisessä opinnäytetyön versiossa.

#### 4.2.6 Maasto-olosuhteet

Varsinainen sisältö on piilotettu opinnäytetyön julkisesta versiosta ja se on nähtävillä vain Omexomin sisäisessä opinnäytetyön versiossa.



#### 4.2.7 Työkartat

Varsinainen sisältö on piilotettu opinnäytetyön julkisesta versiosta ja se on nähtävillä vain Omexomin sisäisessä opinnäytetyön versiossa.

#### 4.2.8 Suunnittelijan merkinnät työkarttoihin

Varsinainen sisältö on piilotettu opinnäytetyön julkisesta versiosta ja se on nähtävillä vain Omexomin sisäisessä opinnäytetyön versiossa.



#### 4.2.9 Purkutyöt

Varsinainen sisältö on piilotettu opinnäytetyön julkisesta versiosta ja se on nähtävillä vain Omexomin sisäisessä opinnäytetyön versiossa.

## 5 YHTEENVETO

Opinnäytetyön aiheen tarve tuli Omexomilta. Opinnäytetyön tavoitteena oli tuoda projektin eri vaiheista lisäkustannuksia aiheuttaneita puutteellisesta suunnittelusta tai toteutuksesta johtuneita ongelmia ja hakea niihin kustannustehokkuutta lisääviä suunnitteluratkaisuja. Ongelmaesimerkit eli kehitettävät asiat sain haastatteleamalla maanrakentajia, ilmalinjarakentajia, sähköasentajia, työjohtajia, projektipäällikköä, suunnittelijaa ja dokumentoijaa? Haastateltavilla oli monesti myös ratkaisut ongelmiinsa, joskus ongelman ratkaisi minä tai kollegani. Toiseksi tärkeimmäksi opinnäytetyön tavoitteeksi asetin projekti-insinöörin työtehtävien esittelyn luvussa 2. Suunnittelu on Omexomilla osa projekti-insinöörin työnkuvaa, joten työnkuvan esittelylle oli hyvät perusteet.

Tavoitteisiin päästiin hyvin. Ongelmat olivat erikokoisia lisäkustannuksiltaan, mutta kaikille löytyivät ratkaisut. Osa ratkaisuista ovat sellaisia, että niitä käytetään mahdollisuuksien mukaan muut asiat huomioiden ja osa sellaisia, mitkä otetaan suoraan käyttöön. Myös lukuun 2 eli projekti-insinöörin työtehtäviin, pystyin hyödyntämään omaa aiempaa kokemustani sekä haastateltavien tietotaitoa. Yrityksen sisäinen materiaali ja vanhat opinnäytetyöt antoivat arvokasta lisätietoa luvun 2 työtehtäviin. Tulevat uudet ja nykyiset projekti-insinöörimme saavat opinnäytetyöstäni hyvän oppaan kustannustehokkaaseen suunnitteluun ja projektinhoitoon. Opinnäytetyö ei tee kenestäkään valmista suunnittelijaa tai projektinhoitajaa, mutta sen lukemalla välttyy ennaltaehkäisevästi virheiltä projektin eri vaiheissa. Lisäksi projekti-insinööri pystyy kätevästi tarkastamaan opinnäytetyöltä itselle kuuluvia tai yhdessä jonkun kanssa tehtäviä töitä. Suunnittelijan merkinnät työkarttoihin alaotsikoista suunnittelija näkee suoraan eri työkarttoihin lisättävät huomiot ja asiat. Nämä lisäävät omalta osaltaan työn tehokkuutta ja laatua. Liitteenä olevat muistilistat toimivat projekti-insinöörin tukena projektin kustannustehokkaan maastokatselmuksen onnistumiseksi.

Itse koen, että opin opinnäytetyön aikana toisen kuuntelemista, keskittymistä, ongelmien ratkaisukykyä sekä erilaisia asennustapoja- ja tekniikoita työmailta. Opin jäsentelemään ja luomaan tekstikokonaisuuksia käsiteltävistä asioista. Opin sen, että eri työvaiheiden tekijöiden näkökulman muistaminen suunnittelussa on äärimmäisen tärkeää projektin onnistumiseksi aikataulun, työn tehokkuuden ja budjetin osalta. Myös projektin eri vaiheiden työntekijöiden työnteko helpottuu, kun mietitään ja suunnitellaan asioita järkevämmiin. Vanha sanonta ”hyvin suunniteltu on puoliksi tehty” pitää edelleen erittäin hyvin paikkansa. Kiitän loistavia ohjaajiani Tapio Vierelää, Ensio Sieppiä, Hannu Eskelistä, Karoliina Piggia sekä kaikkia haastateltaviani arvokkaasta tiedosta!



## LÄHTEET

1. Omexom 2023. Hakupäivä 14.2.2023. <https://www.omexom.fi/ymtiomme/keitameolemme/>
2. Saartoala, Tomi 2018. Pien- ja keskijännitekaapelien käyttöönotto- ja vianpaikannusmitaukset. Oulu: Oulun Ammattikorkeakoulu, Sähkö- ja Automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö. Hakupäivä 15.12.2022.
3. Haastateltava 1, 2022. Dokumentoija ja keskeytyssuunnittelija. Omexom. Keskustelut käyty joulukuussa 2022 ja tammi- ja helmikuussa 2023.
4. Ylitalo, Tero 2016. Suunnittelutyön kehittäminen. Ylivieska: Centria ammattikorkeakoulu, sähkötekniikan yksikkö. Opinnäytetyö. Hakupäivä 2.12.2022.
5. Haastateltava 2, 2022. Projektivastaava. Omexom. Keskustelut käyty joulukuussa 2022.
6. Projektien Ympäristö- ja turvallisuusriskianalyysin arviointi 2022. Omexom. Yrityksen sisäisen materiaali. Hakupäivä 16.12.2022.
7. Haastateltava 3, 2022. Työmaapäällikkö. Omexom. Keskustelut käyty joulukuussa 2022 ja tammikuussa 2023.
8. Projektien Ympäristö-, turvallisuus ja laatusuunnitelma 2022. Omexom. Yrityksen sisäisen materiaali. Hakupäivä 22.12.2022.
9. Lindroos, Niko 2018. Sähkönjakeluverkon käyttövarmuus ja vianhoito. Kouvola: Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, sähkövoimatekniikan yksikkö. Opinnäytetyö. Hakupäivä 15.12.2022.
10. Jokinen, Juha 2019. Dokumentoinnin kehittäminen sähköverkon rakentamisessa. Valkeakoski: Hämeen Ammattikorkeakoulu, Sähkö- ja Automaatiotekniikka. Opinnäytetyö. Hakupäivä 15.12.2022.
11. Haastateltava 4, 2022. Projektipäällikkö. Omexom. Keskustelut käyty joulukuussa 2022, Tammi- ja Helmikuussa 2023.
12. Maan ominaisresistanssin mittaus 2022. Headpower Oy. Yrityksen sisäinen palvelu. Hakupäivä 21.12.2022.
13. Maan resistiivisyyden mittauspöytäkirja 2022. Omexom. Yrityksen sisäinen materiaali. Hakupäivä 22.12.2022.
14. Haastateltava 5, 2022. Suunnittelupäällikkö. Omexom. Keskustelut käyty joulukuussa 2022, tammi- ja helmikuussa 2023.
15. Projektien Purkutyösuunnitelma 2022. Omexom. Yrityksen sisäinen materiaali. Hakupäivä 10.1.2022.

16. Haastateltava 6, 2022. Projekti-insinööri. Omexom. Keskustelut käyty joulukuussa 2022, tammi- ja helmikuussa 2023.
17. Haastateltava 7, 2022. Yrittäjä. Koneurakointi V. Mäkelä Oy. Keskustelut käyty joulukuussa 2022 ja tammikuussa 2023.
18. Ilmalinjarakentamisen ohjeistot, 2023. Headpower Oy. Yrityksen sisäinen palvelu. Hakupäivä 13.1.2023.
19. Haastateltava 8, 2023. Sähköasentaja. Omexom. Keskustelut käyty tammikuussa 2023.
20. Haastateltava 9, 2023. Projektivastaava. Omexom. Keskustelut käyty joulukuussa 2022.
21. Haastateltava 10, 2022. Toimialajohtaja. Sitema Oy. Keskustelut käyty joulukuussa 2022 ja helmikuussa 2023.
22. Haastateltava 11, 2023. Työnjohtaja ja alitustyöt. Joupet Oy. Keskustelut käyty tammikuussa 2023.
23. Haastateltava 12, 2023. Toimitusjohtaja. Veljekset Toivanen Oy. Keskustelut käyty tammikuussa 2023.
24. Haastateltava 13, 2023. Aluepäällikkö. Veljekset Toivanen Oy. Keskustelut käyty tammikuussa 2023.
25. Haastateltava 14, 2023. Yrittäjä. Maakvist Oy. Keskustelut käyty helmikuussa 2023.
26. Haastateltava 15, 2023. Työnjohtaja ja Ostaja. Joupet Oy. Keskustelut käyty helmikuussa 2023.
27. Mitta Group Oy 2023. Hakupäivä 10.3.2023. <https://mitta.fi/palvelut/mittaus/vesistomittaukset-ja-rakenteiden-luotaukset/>

SUUNNITTELIJAN MUISTILISTA ILMALINJAN JA MAAKAAPELOINNIN KUSTANNUSTE-  
HOKKAALLE ENSIMAASTOKATSELMUKSELLE

LIITE 1

Varsinainen sisältö on piilotettu opinnäytetyön julkisesta versiosta ja se on nähtävillä vain Omexomin sisäisessä opinnäytetyön versiossa.







